



Technische Universität München
TUM School of Education

TUM Science Labs

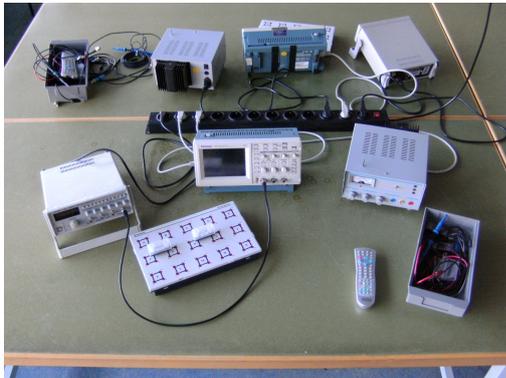
Gefördert durch die

Deutsche Telekom Stiftung



Oszilloskop (OSZ)

Versuch im Physikalischen Praktikum für Maschinenwesen



Bearbeitet von:

Andrea Bugl und Christian Clemens

Stand: 28. März 2012

Zielgruppe Dieses Angebot eignet sich besonders für Schüler/-innen der gymnasialen Oberstufe und der Berufsschule, die Physik als naturwissenschaftliches Fach gewählt haben.

Gruppenstärke Dieser Versuch ist für eine Gruppenstärke von acht bis zwölf Personen ausgelegt und sollte mit einer Führung am „Lehrstuhl für Ultraschnelle Phänomene und Quantenoptik“ kombiniert werden. Es können jedoch auch 16 bis 24 Personen teilnehmen, da diese dann auf zwei unterschiedliche Versuche aufgeteilt werden. Größere Gruppen mit bis zu 48 Personen sind auch möglich, und werden dementsprechend auf zwei unterschiedliche Führungen sowie Versuche aufgeteilt.

Zeitplan Der Tagesablauf eines Science Labs besteht aus einer Versuchsdurchführung (90 min) und einer Führung an einem Forschungsinstitut (90 min) am Vormittag, sowie der Auswertung des Versuchs (2,5 h) im Mathematik-Rechnerraum am Nachmittag. Das Programm beginnt somit üblicherweise um 9 Uhr und endet um 16 Uhr, wobei eine halbstündige Mittagspause vorgesehen ist. Der detaillierte Zeitplan hängt jedoch stark von der Gruppengröße ab und muß daher individuell festgelegt werden.

Erforderliche Grundlagen Die vorliegende Anleitung beschreibt einen Versuch, der Bezug auf den Abschnitt: „Elektromagnetische Schwingungen und Wellen“ des bayerischen Lehrplans nimmt. Sie folgt den Ausführungen des Schulbuchs *Metzler Physik* und setzt die dort erarbeiteten Grundlagen als geläufig voraus. Insofern sind die Science Labs ein weiterführendes Angebot, welches auf dem Schulstoff aufbaut und somit über diesen in einem gewissen Rahmen auch hinausgeht. So sind die angebotenen Versuche zum Teil durchaus anspruchsvoll, da durch eigenständiges Experimentieren und themenbezogene Besichtigungen an die moderne Forschung herangeführt werden soll. Die Schüler/-innen sollen sich jedoch nicht durch kompliziertere Formeln und Zusammenhänge abschrecken lassen, da sie während der Versuchsdurchführung und -auswertung umfassend von Studierenden betreut werden.

Lernziele Die Schüler/-innen lernen

- den Aufbau eines Versuchs im Physikalischen Praktikum für Maschinenwesen,
- das eigenständige Experimentieren,
- das Protokollieren ihres Versuchs und
- die Auswertung eines eigenständig durchgeführten Versuchs.

Arbeitsunterlagen und -mittel Die Bearbeitung der gestellten Aufgaben erfordert die folgenden Arbeitsunterlagen und -mittel, die die Schüler/-innen am Besuchstag bitte selbst mitbringen: diese Versuchsanleitung, einen Schreibblock sowie Stifte, einen Taschenrechner und ggf. eine Digitalkamera oder ein Mobiltelefon mit Photofunktion zur Illustration der gemeinsamen Ausarbeitung. (USB-Kabel und ein Kartenlesegerät stehen zur Verfügung.)

Inhaltsverzeichnis

1. Einführung	4
1.1. Vorwissen	4
1.2. Grundlagen	5
1.2.1. Das Elektronenstrahloszilloskop	5
1.2.2. Das digitale Oszilloskop	5
1.2.3. Bedienung des digitalen Oszilloskops	6
1.2.4. Anschluss des digitalen Oszilloskops	9
1.2.5. Der Funktionsgenerator	9
2. Versuchsaufbau	10
3. Versuchsdurchführung	10
3.1. Einführende Experimente	11
3.2. Messung der Signallaufzeit in einem BNC-Kabel	13
3.3. Messungen an einem Tief- oder Hochpassfilter	14
3.4. Messungen an einer Photodiode	15
4. Versuchsauswertung	16
4.1. Einführende Experimente	16
4.2. Messung der Signallaufzeit in einem BNC-Kabel	17
4.3. Messungen an einem Tief- oder Hochpassfilter	17
4.4. Messungen an einer Photodiode	17
5. Forschungspräsentation	17

1. Einführung

1.1. Vorwissen

Folgende Begriffe sollten Ihnen für diesen Versuch geläufig sein:

- analog und digital
- elektrische Spannung U , elektrischer Strom I und elektrischer Widerstand R
- Sinus-, Dreieck- und Rechtecksignal
- Frequenz

Sie sollten folgende Fragen beantworten können:

- Geben Sie die Definitionen für elektrische Spannung U , elektrischen Strom I und elektrischen Widerstand R an.
- Geben Sie das Ohmsche Gesetz und eine kurze Erklärung dazu an.
- Was ist eine Amplitude?
- AC/DC ist nicht nur der Name einer Rockband sondern auch eine Abkürzung. Wie lautet die deutschsprachige Bezeichnung?
- Erklären Sie den Begriff Periodendauer.
- Sie messen mit einem Oszilloskop die Netzspannung an einer Steckdose. Welchen Spannungsverlauf zeigt es Ihnen an?
- Auf den meisten Haushaltsgeräten finden Sie die Angabe 230 V/50 Hz. Was bedeuten diese 50 Hz?

Zusatzfragen:

- Erklären Sie jeweils mit Hilfe eines Schaltbilds die Funktion eines Tief- und Hochpassfilters. Wo werden diese verwendet?
- Was ist eine Photodiode?
- Erklären Sie die Begriffe: Rechteck- und Sägezahnspannung. Fertigen Sie zur Unterstützung je ein Diagramm an. Wo finden sie Verwendung?

Recherchieren Sie vor dem Praktikum:

- Woher stammt der Name BNC-Kabel und wer hat es erfunden? Was ist demnach ein BNC-Kabel und wozu wird es verwendet?

1.2. Grundlagen

In diesem Versuch geht es weniger um die Erklärung eines physikalischen Phänomens oder eines Gesetzes, sondern mehr um das Kennenlernen und richtige Anwenden eines in Technik und Wissenschaft weitverbreiteten Geräts. So soll dieser Versuch einen Einblick in die vielseitigen Anwendungsmöglichkeiten eines Oszilloskops bieten, wobei ein wichtigstes Ziel das Erlernen der Handhabung dieses in der Messtechnik unentbehrlichen Geräts ist. Nach einführenden Experimenten sollen an einigen Beispielen quantitative Messungen durchgeführt werden.

Das Oszilloskop dient zur graphischen Darstellung des zeitlichen Verlaufs von elektrischen Signalen, wobei die Zeitdarstellung über viele Größenordnungen (von mehreren Sekunden bis Nanosekunden) variiert werden kann. Demgegenüber können mit einem einfachen Spannungsmesser (Voltmeter bzw. Multimeter) nur Signale analysiert werden, die konstant sind oder sich auf einer Zeitskala von Sekunden ändern.

Das Oszilloskop scheint also zunächst für jeden wichtig zu sein, der sich mit elektrischen Schaltungen beschäftigt. Tatsächlich ist aber der Einsatzbereich eines Oszilloskops wesentlich größer. Mit Hilfe der entsprechenden Umwandler (Sensoren) lassen sich nahezu alle messbaren Phänomene in elektrische Signale umsetzen. Ein solcher Umwandler ist z.B. ein Mikrofon oder eine Photodiode. Wir haben es hier mit einem universell einsetzbaren Instrument zu tun, mit dem sich von Karoserieschwingungen bis zu Gehirnströmen praktisch alles darstellen lässt.

In den vergangenen Jahren haben sich *digitale Oszilloskope* gegenüber den herkömmlichen, *analogen Oszilloskopen* am Markt immer mehr durchgesetzt. Deshalb wird auch dieser Versuch mit einem Digitaloszilloskop durchgeführt.

1.2.1. Das Elektronenstrahloszilloskop

Unter einem *analogen Oszilloskop* versteht man in der Regel ein klassisches Elektronenstrahloszilloskop. Bei diesem wird ein Elektronenstrahl in einer Vakuumröhre (Braunsche Röhre) von elektrischen Feldern innerhalb von Plattenkondensatoren abgelenkt. Durch entsprechende Ansteuerung dieser Ablenkplatten kann ein zeitlicher Spannungsverlauf auf einem Leuchtschirm graphisch abgebildet werden. Da im vorliegenden Versuch ein *digitales Oszilloskop* Verwendung findet, soll hier jedoch nicht näher auf das Elektronenstrahloszilloskop eingegangen werden.

1.2.2. Das digitale Oszilloskop

Bei einem *digitalen Oszilloskop* wird der zu analysierende Spannungsverlauf (über einen Eingangsverstärker) einem Analog-Digital-Wandler zugeführt. Dieser wandelt in festen Zeitabständen (Samplingrate) das analoge (Spannungs-)Signal in einen digitalen (Zahlen-)Wert um. Die Auflösung hierbei beträgt in der Regel 8 bit. Auf diese Weise wird das zeitabhängige Signal abgetastet und als Wertetabelle in einem Speicher abgelegt. Ein digitales Oszilloskop ist also vom Funktionsprinzip her stets ein Speicheroszilloskop, welches das gespeicherte Signal auf einem Bildschirm dargestellt.

Die Vorteile eines *digitalen Oszilloskops* gegenüber einem *analogen Oszilloskop* sind:

- Durch die Signalspeicherung können auch Ereignisse (d.h. charakteristische Spannungsverläufe), die nur selten bzw. einmalig auftreten, dargestellt werden.
- Da das Signal in digitaler Form vorliegt, bestehen viele Möglichkeiten, es mathematisch zu analysieren.
- Aufgezeichnete Signale können auf Datenträgern oder angeschlossenen Geräten ausgegeben werden.

Als Nachteil des *digitalen Oszilloskops* kann gesehen werden, dass durch die Digitalisierung die Auflösung begrenzt wird (bei 8 bit auf lediglich 256 Spannungsstufen), während bei einem *analogen Oszilloskop* die Auflösung prinzipiell unbegrenzt ist (abgesehen von Darstellungs- und vor allem Ableseungenauigkeiten auf dem Bildschirm).

1.2.3. Bedienung des digitalen Oszilloskops

Auf dem Bildschirm des Oszilloskops wird der zeitliche Verlauf eines Signals graphisch dargestellt, wobei entlang der horizontalen Achse die Zeit und entlang der vertikalen Achse die Spannung dargestellt wird. Da man es in der Praxis mit Signalen zu tun hat, die sich sowohl in der Zeit wie auch in der Spannung um viele Größenordnungen unterscheiden, muss die Darstellung auf dem Bildschirm entsprechend angepasst werden. Dies ist die Aufgabe des Anwenders. Die Schwierigkeit besteht darin, die interessierenden Spannungsverläufe (bzw. Teile davon) überhaupt erst zu sehen und dann möglichst vorteilhaft darzustellen.

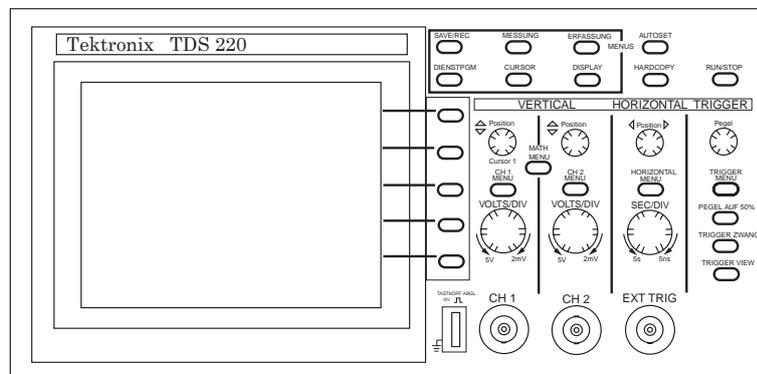


Abb. 1: Das verwendete Zweikanal-Digitaloszilloskop

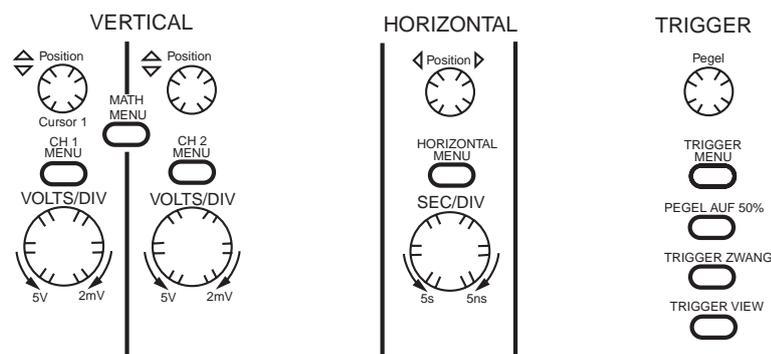


Abb. 2: Die wichtigsten drei Bedienelemente

Wichtig sind insbesondere die folgenden drei Einstellmöglichkeiten, die anhand des hier verwendeten Oszilloskopmodells erklärt werden sollen (vgl. Abb. 1 und Abb. 2). Da die Bedienung verschiedener Oszilloskope sehr ähnlich ist, findet man sich in der Regel auch auf anderen Oszilloskopen schnell zurecht, sobald die grundlegende Funktionsweise geläufig ist.

Vertikale Achse - Die Darstellung der Spannung Die meisten Oszilloskope haben zwei Kanäle, d.h. es können gleichzeitig zwei Messsignale dargestellt werden. Für jeden Kanal gibt es einen Einstellknopf für die Verstärkung, der mit VOLTS/DIVISION bezeichnet ist. Mit „division“ ist die Unterteilung des Bildschirms gemeint. Wir stellen also ein, welchem Spannungshub (in Volt) die vertikale Seite eines der kleinen Kästchen entspricht. Des Weiteren kann die vertikale Lage der Signaldarstellungen jeweils mit dem Einstellknopf POSITION verändert werden. Nach Aktivieren des Knopfs CH1 MENU bzw. CH2 MENU können wir für jeden Eingang zwischen DC-, AC- und GND wählen (DC: Direct current = Gleichstrom, AC: Alternating current = Wechselstrom, GND: Ground = Erde).

Unter CH1 MENU bzw. CH2 MENU können Sie auch einen Skalierungsfaktor für das dargestellte Signal wählen. Eine andere Skalierung als 1x ist bei angeschlossenen Tastköpfen¹ (in der Regel 10x oder 100x) sinnvoll, da dann der Spannungswert angezeigt wird, der tatsächlich an der Tastkopfspitze anliegt.

Horizontale Achse - Der Zeitverlauf Die Darstellung der Zeitachse kann mit dem Einstellknopf SEC/DIV eingestellt werden. Er ordnet den horizontalen Unterteilungen definierte Zeitintervalle zu. Die Einstellung der Zeitachse gilt in gleicher Weise für alle Signale, die gleichzeitig dargestellt werden (d.h. die an den Eingangskanäle anliegen). Mit dem Einstellregler POSITION kann die Signaldarstellung (relativ zum Triggerzeitpunkt, vgl. unten) in der Zeit verschoben werden.

Trigger - Definition der Startbedingung Ein bestimmtes Spannungssignal bzw. ein Teil davon kann nur dann mit Hilfe des Oszilloskops analysiert werden, wenn dieses auf dem Bildschirm auch dargestellt wird. Dazu ist es notwendig, den auf dem Bildschirm dargestellten Zeitabschnitt mit dem Verlauf des Signals zu koordinieren. Dies wird mit dem Trigger erreicht (von engl. „trigger“ = Auslöser). Der Triggerzeitpunkt legt fest, wann die Aufzeichnung des Signals starten soll. Dieser Zeitpunkt wird (in der klassischen Betriebsweise) dadurch definiert, dass das Eingangssignal einen bestimmten Spannungswert über- bzw. unterschreitet. Der entsprechende Spannungswert (Triggerpegel) kann mit dem Drehknopf PEGEL eingestellt werden.

Darüberhinaus muss noch definiert werden, welches der Eingangssignale für die Triggerbedingung herangezogen wird. Das zugehörige Einstellungsmenü kann mit dem Knopf TRIGGER MENU aufgerufen werden. In unserem Fall kann auf das erste oder zweite Eingangssignal (CH 1 oder CH 2) getriggert werden, es kann aber auch auf den externen Kanal (EXT TRIG) getriggert werden. (Dieser externe Kanal wird nicht als Signal auf dem Bildschirm dargestellt.) Ob auf eine steigende oder fallende Signalfanke getriggert werden soll, kann ebenfalls im Triggermenü festgelegt werden (von engl. „slope“ = Steigung).

¹Tastköpfe besitzen meistens ein Spannungsteilverhältnis von 10:1, um eine möglichst geringe Eingangskapazität zu haben und so eine Signalquelle möglichst wenig zu belasten.

Der oben dargestellte Triggervorgang (Über- bzw. Unterschreiten einer bestimmten Spannung) wird dann ausgeführt, wenn der Triggermodus auf `NORMAL` eingestellt ist. Daneben gibt es noch die Betriebsarten `AUTO` und `SINGLE SWEEP`. Bei `AUTO` wird die Darstellung auf dem Bildschirm auch ohne erfüllte Triggerbedingung aktualisiert, jedoch ohne Bezug zum Signalverlauf. Die Einstellung `SINGLE SWEEP` ist für einmalige Signalvorgänge, die man festhalten will, sinnvoll.

Signalanzeigen Das Erhalten einer Signalanzeige hängt von vielen unabhängigen Geräteeinstellungen ab. Sobald ein Signal erfasst wurde, können Messungen vorgenommen werden. Beim verwendeten Oszilloskop enthält auch das Erscheinungsbild des dargestellten Signals wichtige Informationen über das Signal selbst. Dies ist eine der Möglichkeiten, die uns ein digitales Oszilloskop bietet.

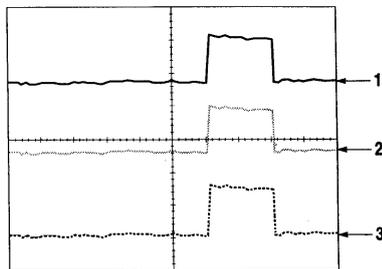


Abb. 3: Die verschiedenen Formen der Signaldarstellung beim verwendeten Oszilloskop

Das Signal kann in dreierlei Form angezeigt werden: schwarz, grau und unterbrochen (vgl. Abb. 3):

1. Ein schwarzes Signal deutet auf die Anzeige eines aktuellen Signals hin. Das Signal bleibt schwarz, wenn die Erfassung gestoppt wird und keine Einstellungen verändert werden, die die Anzeigegenauigkeit beeinflussen. Die Änderung vertikaler und horizontaler Einstellungen ist bei gestoppten Erfassungen erlaubt.
2. Referenzsignale und Signale bei eingeschaltetem Nachleuchten erscheinen grau.
3. Eine unterbrochene Linie deutet darauf hin, dass die Anzeigegenauigkeit ungewiss ist. Der Grund dafür ist das Stoppen der Erfassung und die Änderung von Einstellungen, die es dem Gerät unmöglich macht, das angezeigte Signal abzustimmen. Das Verändern der Triggersteuerungen bei einer gestoppten Erfassung würde beispielsweise zur Anzeige eines unterbrochenen Signals führen.

Hinweis: Oft ist es wünschenswert, das Oszilloskop in einen definierten Ausgangszustand zu versetzen, bei dem (undurchsichtige und ungewollte) Einstellungen deaktiviert werden. Zu diesem Zweck existiert beim vorliegenden Oszilloskop (und in der Regel auch bei anderen Modellen) ein Knopf, der mit `AUTOSET` bezeichnet ist.

Im Übrigen kann das Oszilloskop durch „falsche“ Einstellungen nicht beschädigt werden. Es kann also ohne Bedenken mit dem Gerät experimentiert werden. Am Versuchstisch liegt eine Bedienungsanleitung mit weiterführenden Erklärungen aus.

1.2.4. Anschluss des digitalen Oszilloskops

Um mit dem Oszilloskop messen zu können, müssen dessen Eingänge mit dem Messobjekt elektrisch verbunden werden. Die Eingänge von Oszilloskopen sind dabei als BNC-Buchsen (BNC = Bayonet Neill Concelman) ausgeführt.

1.2.5. Der Funktionsgenerator

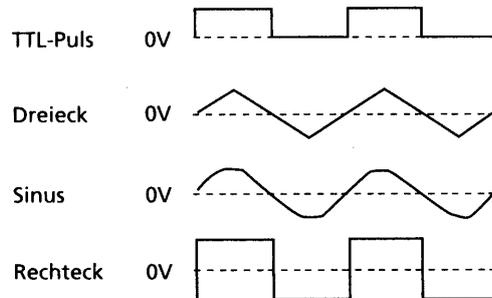


Abb. 4: Ausgangssignale des Funktionsgenerators

Der Funktionsgenerator selbst ist kein Messgerät, sondern ein Hilfsgerät um insbesondere an elektronischen Schaltungen Messungen oder Funktionstests vorzunehmen. Ein Funktionsgenerator liefert periodische Ausgangssignale (Sinus, Dreieck und Rechteck), deren Amplitude und Frequenz über einen weiten Bereich einstellbar sind (vgl. Abb. 4). Auch in diesem Praktikumsversuch kommt ein derartiges Gerät zum Einsatz.

Der hier verwendete Funktionsgenerator besitzt zudem einen Ausgang mit TTL-Pegel², welcher bei digitalen Schaltungen vorkommt. Außerdem ist ein Frequenzzähler eingebaut, der eine tatsächliche Frequenzmessung vornimmt. Bei den späteren Messungen muss daher die Frequenz nicht mit dem Oszilloskop bestimmt werden sondern kann hier abgelesen werden. Einige der Funktionen bzw. Einstellmöglichkeiten werden im Praktikum nicht verwendet.

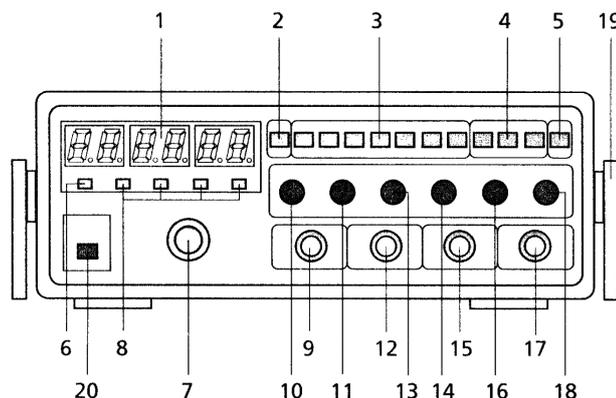


Abb. 5: Bedienelemente des verwendeten Funktionsgenerators

Die Bedienelemente des Funktionsgenerators sind in Abb. 5 gezeigt und in nachfolgender Auflistung erklärt, die zum allgemeinen Verständnis dient:

²Die Transistor-Transistor-Logik (TTL) ist eine Schaltungstechnik für logische Schaltkreise, die für einen Betrieb an einer Versorgungsspannung von 5 V mit einer Abweichung von 5% ausgelegt ist.

1. LED-Display für die Anzeige der Generator- oder externen Frequenz
2. Umschalter: Anzeige der externen Frequenz / Anzeige der Generatorfrequenz
3. Umschalter für die sieben Frequenzbereiche
4. Schalter für die grundlegende Kurvenformen: Sinus, Rechteck oder Dreieck
5. Schalter für den Abschwächer um -20 dB
6. Gate-Time Anzeige
7. Stellknopf für die Einstellung der Frequenz
8. Anzeigen für Maßeinheiten der Frequenz
9. BNC-Buchse für den externen Signaleingang
10. Stellknopf für Wobbelgeschwindigkeit
11. Wobbeln aus und Wobbeln ein (mit Einstellung der Band-Sweep-Breite)
12. VCF-BNC-Buchse für die spannungsgesteuerte Frequenzverstellung
13. Symmetrieeinstellung automatisch/manuell
14. TTL-Pegel fest eingestellt / CMOS-Pegel einstellbar von 4-15 V
15. BNC-Buchse für den TTL-/CMOS-Ausgang
16. DC-Offset automatisch/manuell
17. BNC-Buchse für den Generatorausgang, Impedanz: 50 Ohm
18. Knopf für die Einstellung der Ausgangsamplitude von 0-20 dB
19. Aufstellbügel verstellbar
20. Netzschalter EIN/AUS

2. Versuchsaufbau

Abb. 6 zeigt den Versuchsaufbau.

3. Versuchsdurchführung

In der Wissenschaft ist das Erstellen eines detaillierten Versuchsprotokolls sehr wichtig, denn es macht den Ablauf Ihrer Arbeit für eine spätere Auswertung nachvollziehbar. Ebenso ist eine lückenlose Dokumentation wichtig, falls ein Experiment z.B. aufgrund neuer Erkenntnisse wiederholt werden soll. Auch können bei längeren Experimenten Probleme

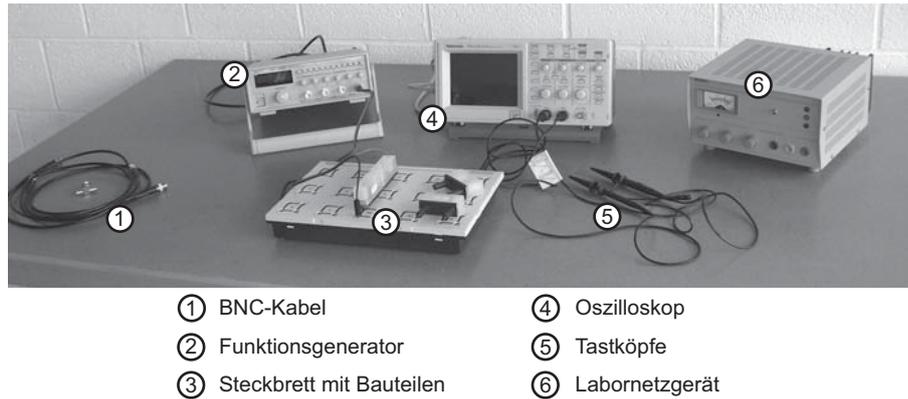


Abb. 6: Versuchsaufbau

auftauchen, und Ihre Partner müssen die genaue Vorgeschichte nachlesen können. So ist in erster Linie der Inhalt des Protokolls wichtig, nicht seine äußere Form. Allerdings soll es auch für andere nachvollziehbar sein und muß deshalb übersichtlich und sauber geführt werden.

Skizzieren Sie zunächst den Versuchsaufbau sowie ggf. einen Schaltplan und beschriften Sie die Zeichnung mit relevanten Informationen (z.B.: Abmessungen, verwendete Substanzen, ...). Alle weiteren Eintragungen in Ihr Versuchsprotokoll müssen zeitnah und deshalb während der Versuchsdurchführung erfolgen: Schreiben Sie sich hierzu wichtige Beobachtungen auf und dokumentieren Sie alle erforderlichen Versuchsparameter (z.B.: Ströme, Spannungen, Widerstände, ...) zusammen mit den Einstellungen der Netzteile und Messgeräte (z.B.: Strom-, Spannungsbereiche, Wechsel- oder Gleichspannung, ...). Vergessen Sie dabei bitte nicht Ihre Messwerte aufzuschreiben! Notieren Sie sich ferner auch Ideen bzw. Dinge, die Sie nicht verstehen.

3.1. Einführende Experimente

In diesem ersten Versuchsteil geht es darum, sich mit der grundlegenden Funktionsweise des Oszilloskops (OSZ) und des Funktionsgenerators (FG) vertraut zu machen. Je nachdem, ob Sie bereits Erfahrung im Umgang mit diesen Geräten haben, kann hier mehr oder weniger Zeit investiert werden.

Im Folgenden finden Sie einige Arbeitsanweisungen hierzu:

Grundeinstellung

1. Verbinden Sie den Ausgang `Output 50` des Funktionsgenerators mit dem Eingang `CH1` des Oszilloskops durch ein BNC-Koaxialkabel.
2. Wählen Sie am Funktionsgenerator: Frequenz 10 kHz Dreieck; Maximale Amplitude; Abschwächer -20 dB ausgeschaltet.
3. Schalten Sie am Oszilloskop: Eingang `CH1`; Eingangskopplung auf `AC`; Volts/Div auf 5 V/Div; Skalierung auf 1x; Trigger-Modus auf `AUTO`; Trigger-Quelle auf `CH1`; Trigger-Pegel ca. 1 Div über der Skalenmitte; `Sec/Div` auf 50 $\mu\text{s}/\text{Div}$. Sie sollten nun eine stehende Signaldarstellung erhalten.

4. Verschieben Sie die Signaldarstellung so, dass das Signal in vertikaler Richtung (= Spannungsachse) symmetrisch zur Skalenmitte liegt und einer der Nulldurchgänge des Signals in horizontaler Richtung (= Zeitachse) ebenfalls in der Skalenmitte zu liegen kommt. Diese Einstellungen sollten idealerweise unabhängig von der Wahl Sec/Div und Volts/Div sein. Überprüfen Sie dies und gehen Sie dann zurück zu den oben angegebenen Einstellungen.

Triggereinrichtung und Ablesen von Messwerten am Oszilloskop

1. Verringern Sie nun die Amplitude am Funktionsgenerator. Wenn das Signal unter einen bestimmten Wert (= eingestellter Trigger-Pegel) kommt, fällt das Oszilloskop aus der Triggerung. Das stehende Bild verschwindet, d.h. im Trigger-Modus AUTO läuft jetzt die Zeitdarstellung periodisch und ohne Koordination mit dem Signalverlauf.
2. Wählen Sie nun Trigger-Modus NORMAL. Sobald hier der Trigger ausfällt, verschwindet die Signaldarstellung ganz, das Oszilloskop wartet, bis die Triggerbedingung erfüllt ist. Verschieben Sie den Trigger-Pegel auf und ab, um dies sehen zu können. In der Betriebsart NORMAL ist man also sicher, dass Triggerung vorliegt, wenn ein Bild erscheint. Andererseits weiß man beim Fehlen der Signaldarstellung nicht, ob kein Signal oder nur ein zu kleines Signal anliegt. Um dies besser entscheiden zu können schaltet man auf AUTO.
3. Bleiben Sie im Trigger-Modus NORMAL. Schalten Sie nun am Funktionsgenerator die Signalform auf Sinus um. Stellen Sie am Funktionsgenerator die Frequenz auf 2,0 kHz und die Amplitude auf genau 3,0 V. (Letzteres müssen Sie mit Hilfe einer Messung am Oszilloskop durchführen, da am Funktionsgenerator die Höhe der Ausgangsspannung nicht kalibriert eingestellt werden kann.) Stellen Sie (sofern noch nicht der Fall) die Spannungs- und Zeitdarstellung am Oszilloskop so ein, dass nicht viel mehr als eine Periodendauer des Signals den Bildschirm des Oszilloskops ausfüllt.
4. Messen Sie mit dem Oszilloskop die Periodendauer und berechnen Sie daraus die Frequenz des Signals. Stimmt diese Frequenz mit derjenigen überein, die Sie am Funktionsgenerator eingestellt haben (2,0 kHz)?
5. Studieren Sie nun den Einfluss der Triggerkontrollen Pegel und Flanke (im Trigger Menü).
6. Schalten Sie nun auf externe Triggerung (im Trigger Menü Quelle) und benutzen Sie das Signal von der Buchse TTL des Funktionsgenerators zum Triggern des Oszilloskops (Eingang EXT TRIG). Sie erhalten jetzt ein stehendes Bild selbst für sehr kleine Amplituden. Überprüfen Sie dies, indem Sie den -20 dB Abschwächer¹ einschalten.

¹In der Elektrotechnik ist das Verhältnis zweier Leistungen P_1 und P_2 in dB durch den Ausdruck $10 \cdot \log(P_1/P_2)$ gegeben. Da die Leistung quadratisch von der Spannung abhängt ergibt sich entsprechend das Verhältnis der beiden Spannungen U_1 und U_2 in dB zu $20 \cdot \log(U_1/U_2)$.

Fazit: Wenn Sie ein Signal suchen, so benutzen Sie `AUTO` Modus. Wenn Sie ein gefundenes Signal studieren wollen, wechseln Sie in `NORMAL`. Wenn das Signal stehend bleiben soll, selbst bei veränderlicher Amplitude und Form, so benutzen Sie möglichst die externe Triggerung. Die externe Triggerung dient auch dazu, die Synchronisation zwischen zwei Signalen zu überprüfen.

Kopplung der Eingangssignale am Oszilloskop

1. Schalten Sie den `-20 dB` Abschwächer wieder aus. Stellen Sie die Eingangskopplung von `CH1` auf `DC`. Eventuell verschiebt sich das Signal entlang der vertikalen Achse aufgrund eines vorhandenen Offsets (= Gleichspannungskomponente des Signals). Schalten Sie `DC Offset` am Funktionsgenerator ein (durch Herausziehen des entsprechenden Drehreglers) und ändern Sie die überlagerte Gleichspannung mit dem Drehknopf. Beobachten Sie, wie sich das Signal auf dem Bildschirm des Oszilloskops entsprechend verschiebt. (Bei sehr großer Offset-Spannung wird der Ausgangsverstärker des Funktionsgenerators übersteuert und das Signal verzerrt dargestellt.) Wenn Sie den Eingang des Oszilloskops wieder auf `AC` stellen, sollten Sie sehen, wie sich das Signal (mit einer gewissen Zeitkonstante) wieder symmetrisch zur ursprünglichen Nulllinie einstellt. Schalten Sie `DC Offset` am Funktionsgenerator jetzt wieder ab.
2. Bei sehr niedrigen Frequenzen (< 50 Hz) bringt die `AC`-Kopplung jedoch Probleme mit sich. Betrachten Sie, wie in diesem Fall Dreieck- oder Rechtecksignale verzerrt dargestellt werden.

Zweikanalbetrieb

1. Schalten Sie den Funktionsgenerator wieder auf die Signalform Sinus und die Frequenz auf ca. 1 kHz um. `CH1` am Oszilloskop sollte noch mit `Out 50` am Funktionsgenerator verbunden sein. Stellen Sie nun zusätzlich eine Verbindung zwischen dem Ausgang des Funktionsgenerators `TTL Out` und dem zweiten Eingangskanal `CH2` des Oszilloskops her. Eventuell muss `CH2` durch Drücken der `CH2 MENU`-Taste erst noch aktiviert und richtig eingestellt werden. Bei richtiger Triggereinstellung sollten nun beide Signale gleichzeitig am Bildschirm zu sehen sein.
2. Mit Hilfe des Mathematik Menüs können Sie nun die algebraische Summe bzw. Differenz der beiden Signale betrachten.

3.2. Messung der Signallaufzeit in einem BNC-Kabel

Ein elektrisches Signal, das in einem Kabel transportiert wird, besitzt eine sehr hohe, aber trotzdem endliche Geschwindigkeit. Bei vielen Messproblemen in der Praxis ist dieser Aspekt vollkommen vernachlässigbar, in bestimmten Situationen, z.B. bei modernen, hoch getakteten Prozessoren, kann die Berücksichtigung der endlichen Signalgeschwindigkeit jedoch ein wesentlicher Punkt sein. Im Folgenden soll die Signalgeschwindigkeit in den von uns benutzten BNC-Kabeln gemessen werden. Als Signalquelle benutzen wir den `TTL`-Ausgang des Funktionsgenerators, da dieser ein Rechtecksignal mit sehr steilen Flanken liefert. Gehen Sie hierzu folgendermaßen vor:

1. Verzweigen Sie das TTL-Signal direkt am Ausgang des Funktionsgenerators mit einem BNC-T-Stück. Verbinden Sie eine Seite mit einem 1 m langen Kabel mit dem ersten Kanal des Oszilloskops. Die andere Seite verbinden Sie ebenfalls mit einem 1 m langen Kabel mit dem zweiten Kanal des Oszilloskops.
2. Stellen Sie nun beide Signale mit höchster Zeitauflösung dar. (**Hinweis:** Die Bandbreite des Oszilloskops sollte nicht begrenzt sein, eventuell muss die Bandbreite im CH1- und CH2-Menü auf BANDBREITE VOLL gestellt werden.) Schieben Sie mit den POSITION-Reglern beide Signal übereinander. Es sollte kein Zeitversatz zwischen beiden Signalen erkennbar sein.
3. Ersetzen Sie nun das 1 m lange Kabel zum zweiten Kanal des Oszilloskops durch ein 2 m langes Kabel. Messen Sie den Zeitversatz, mit dem die beiden Signale zueinander am Oszilloskop ankommen.
4. Ersetzen Sie das 2 m lange Kabel durch ein 3 m langes Kabel und wiederholen Sie die Messung.
5. Notieren Sie sich alle für die spätere Versuchsauswertung notwendigen Parameter.

3.3. Messungen an einem Tief- oder Hochpassfilter



Abb. 7: Links: RC-Tiefpassfilter / Rechts: RC-Hochpassfilter

Im Folgenden sollen Messungen an einem Tief- oder Hochpassfilter durchgeführt werden (vgl. Abb. 7). Im einfachsten Fall kann ein solcher Filter aus einem ohmschen Widerstand (Widerstand R) und einem Kondensator (Kapazität C) aufgebaut werden. Eine solche Schaltung stellt einen frequenzabhängigen Spannungsteiler dar, da der (Blind-)Widerstand des Kondensators frequenzabhängig ist.

Entscheiden Sie zunächst, ob Sie einen Tief- oder Hochpassfilter untersuchen wollen. Bauen Sie diesen auf dem Steckbrett auf. Das Eingangssignal liefert der Ausgang Output 50 des Funktionsgenerators. Verwenden Sie zum Anschluss das Kabel, das auf der einen Seite einen BNC-Stecker und auf der anderen Seite zwei Bananenstecker hat. Der schwarze Stecker befindet sich dann automatisch auf Erdpotential. Zur Messung mit dem Oszilloskop werden für beide Kanäle jeweils ein 10x Tastkopf verwendet. Kanal 1 des Oszilloskops soll das Eingangssignal darstellen, Kanal 2 das Ausgangssignal der Filterschaltung. Denken

Sie bitte daran, die Skalierung der Vertikaldarstellung am Oszilloskop an den Tastkopf anzupassen.

Bestimmen Sie die Durchlasskurve des Tief- oder Hochpassfilters. Diese gibt an, wie stark eine bestimmte Frequenz (z.B. eines Sinussignals) vom Filter durchgelassen wird. Ein Tiefpassfilter lässt bevorzugt niedrige Frequenzen durch, ein Hochpassfilter entsprechend hohe Frequenzen. Stellen Sie den Funktionsgenerator hierzu auf Sinus mit einer Signalamplitude von 2,0V ein. Um die Durchlasskurve zu erhalten bestimmen Sie nun für verschiedene Frequenzwerte das Amplitudenverhältnis von Ausgangs- zu Eingangssignal. Notieren Sie sich für die spätere Versuchsauswertung die technischen Werte der verwendeten Bauteile sowie alle notwendigen Parameter (d.h. Frequenzwerte und entsprechende Amplitudenverhältnisse) in einer handschriftlichen Tabelle.

ACHTUNG: Sie dürfen nicht automatisch davon ausgehen, dass die Amplitude des Eingangssignals konstant bleibt, wenn die Frequenz verändert wird. Kontrollieren Sie daher stets die Eingangsamplitude und regeln diese falls notwendig nach.

Hinweis: Bevor mit der Messung begonnen wird, ist es ratsam, den ganzen Frequenzbereich (ca. 10 Hz bis 100 kHz) einmal schnell durchzufahren. Daraus erkennt man, in welchen Frequenzbereichen sich viel und in welchen sich wenig ändert. In den Bereichen mit großer Änderung sollten mehr Messpunkte liegen als in denjenigen mit geringer Änderung.

3.4. Messungen an einer Photodiode

Eine Photodiode ist ein elektronisches Bauteil, das Licht in elektrische Signale umwandelt. Die Photonen (Lichtteilchen) erzeugen dabei im Halbleitermaterial der Diode Elektron-Loch-Paare. Eine gewisse Photonenzahl wird also in eine elektrische Ladungsmenge umgewandelt bzw. eine gewisse Photonenzahl pro Zeiteinheit (entspricht Lichtleistung) wird in einen elektrischen Strom umgewandelt. Da das Oszilloskop nur Spannungen messen kann, muss zunächst der Strom in eine Spannung umgesetzt werden. Dieses grundlegende messtechnische Problem wird im einfachsten Fall mit Hilfe eines ohmschen Widerstands gelöst, durch welchen der zu messende Strom hindurchfließt. Wegen des ohmschen Gesetzes $U = R \cdot I$ ist die Spannung U zwischen den Anschlüssen des Widerstands R (zu jedem Zeitpunkt) proportional zur Stromstärke I . Auch im folgenden Versuch wird dieser Effekt benützt werden.

Gehen Sie folgendermaßen vor:

1. Bauen Sie die Schaltung gemäß Abb. 8 auf dem Steckbrett auf. Die Photodiode wird in Sperrrichtung betrieben (Polarität beachten). In diesem Fall fließt dann nur der Strom, welcher vom einfallenden Licht erzeugt wird. Die lichtempfindliche Fläche ist die seitliche, dunkle Fläche. Verwenden Sie denselben Widerstand wie bei der Filterschaltung (R beträgt einige $k\Omega$). Die Versorgungsspannung von 10V entnehmen Sie dem Labornetzgerät (**Hinweis:** Die Spannung liegt zwischen der blauen und roten Buchse am Netzgerät an. Die Ausgänge sind potentialfrei, d.h. sie sind nicht geerdet und somit ist ihre Spannung relativ zum Erdpotential zunächst nicht definiert.)

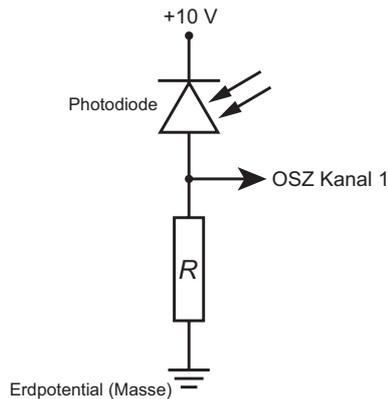


Abb. 8: Beschaltung der Photodiode

ACHTUNG: Legen Sie keine Spannung ohne Vorwiderstand in Durchlassrichtung an die Diode an! Die Diode wird dadurch im Normalfall zuverlässig zerstört. Lassen Sie bitte Ihre Verkabelung vor dem Einschalten des Netzteils durch Ihren Betreuer kontrollieren!

2. Greifen Sie die Spannung am ohmschen Widerstand mit dem Tastkopf ab. Wenn Sie die Photodiode mit der Hand verdunkeln, sollte sich (bei geeigneter Oszilloskopeinstellung) das Ausgangssignal ändern.
3. Falls Sie ein Mobiltelefon mit Blitz besitzen: Stellen Sie den Helligkeitsverlauf des Blitzes auf dem Oszilloskop dar. Messen Sie die Blitzdauer und notieren Sie sich Ihr Ergebnis für die spätere Versuchsauswertung.
4. Verwenden Sie die beim Versuch ausliegende Infrarotfernbedienung als Signalquelle. Derartige Fernbedienungen kommen bei den meisten Geräten der Unterhaltungselektronik zum Einsatz. Das infrarote Licht ist für das menschliche Auge unsichtbar, erzeugt jedoch in der Photodiode² einen Photostrom. Versuchen Sie die Signale verschiedener Tasten der Fernbedienung darzustellen. Bestimmen Sie die Trägerfrequenz, die allen Signalen zu Grunde liegt, und notieren Sie sich Ihr Ergebnis für die spätere Versuchsauswertung.

4. Versuchsauswertung

Fertigen Sie, wie in Kap. 5. beschrieben, als Versuchsauswertung bitte eine Forschungspräsentation an. Dokumentieren Sie hierzu Ihre Ergebnisse aus der Versuchsdurchführung, diskutieren Sie diese sowie gegebenenfalls entstandene Auffälligkeiten ausführlich.

4.1. Einführende Experimente

Zu diesen ersten Übungen muss keine Versuchsauswertung erstellt werden.

²Photodioden werden (in integrierter Bauweise) auch in den Bildaufnahmechips von Digitalkameras verwendet. Daher kann auch mit diesen Kameras das infrarote Licht sichtbar gemacht werden.

4.2. Messung der Signallaufzeit in einem BNC-Kabel

Berechnen Sie aus Ihren Messwerten jeweils die Signalgeschwindigkeit bei Verwendung des 2 m bzw. 3 m langen BNC-Kabels. Bilden Sie den Mittelwert der Signalgeschwindigkeiten aus den beiden Messungen. Wieviel Prozent der Vakuumlichtgeschwindigkeit $c_0 = 3 \cdot 10^8$ m/s beträgt Ihr ermittelter Wert?

4.3. Messungen an einem Tief- oder Hochpassfilter

Bearbeiten Sie die folgenden Aufgaben:

1. Zeichnen Sie anhand Ihrer handschriftlichen Tabelle die Durchlasskurve des Tief- oder Hochpassfilters in OpenOffice, indem Sie Ihre Messwerte über die Frequenz auftragen (Frequenzachse: logarithmisch, Achse für das Amplitudenverhältnis: linear).
2. Für jeden Tief- bzw. Hochpassfilter gibt es eine charakteristische Frequenz, die Grenzfrequenz $f_G = 1/(2\pi RC)$. Bei der Grenzfrequenz f_G gilt für das Verhältnis von Ausgangsspannung U_A und Eingangsspannung U_E folgendes: $U_A/U_E = 1/\sqrt{2}$.
 - (a) Berechnen Sie mit den notierten Bauteilwerten die Grenzfrequenz f_G .
 - (b) Bestimmen Sie aus Ihrem Diagramm die experimentelle Grenzfrequenz f_G^l und vergleichen Sie diese mit der zuvor berechneten Grenzfrequenz f_G .

4.4. Messungen an einer Photodiode

Geben Sie ggf. die Blitzdauer Ihres Mobiltelefons und die zugrunde liegende Trägerfrequenz der Infrarotfernbedienung an.

5. Forschungspräsentation

Auf Fachkonferenzen ist es üblich, die eigenen Forschungsergebnisse durch einen Vortrag und ein detailliertes Poster im Format DIN A0 zu präsentieren (vgl. Abb. 9). Diese Poster müssen inhaltlich fehlerfrei sein sowie optisch ansprechend und übersichtlich gestaltet werden, damit ein(e) Konferenzteilnehmer/-in zum Lesen angeregt wird und zudem das Wesentliche in kurzer Zeit erfassen kann. Ein solches Poster gliedert sich deswegen in

- eine aussagekräftige Überschrift,
- eine alphabetisch sortierte Autorenliste (z.B.: A. Bugl, C. Clemens, ...),
- eine Auflistung der beteiligten Forschungsinstitute bzw. Gymnasien,
- eine Einführung in die physikalischen Grundlagen des Versuchs (I),
- eine detaillierte Beschreibung des Versuchsaufbaus u.a. anhand von Skizzen und Schaltplänen (II),

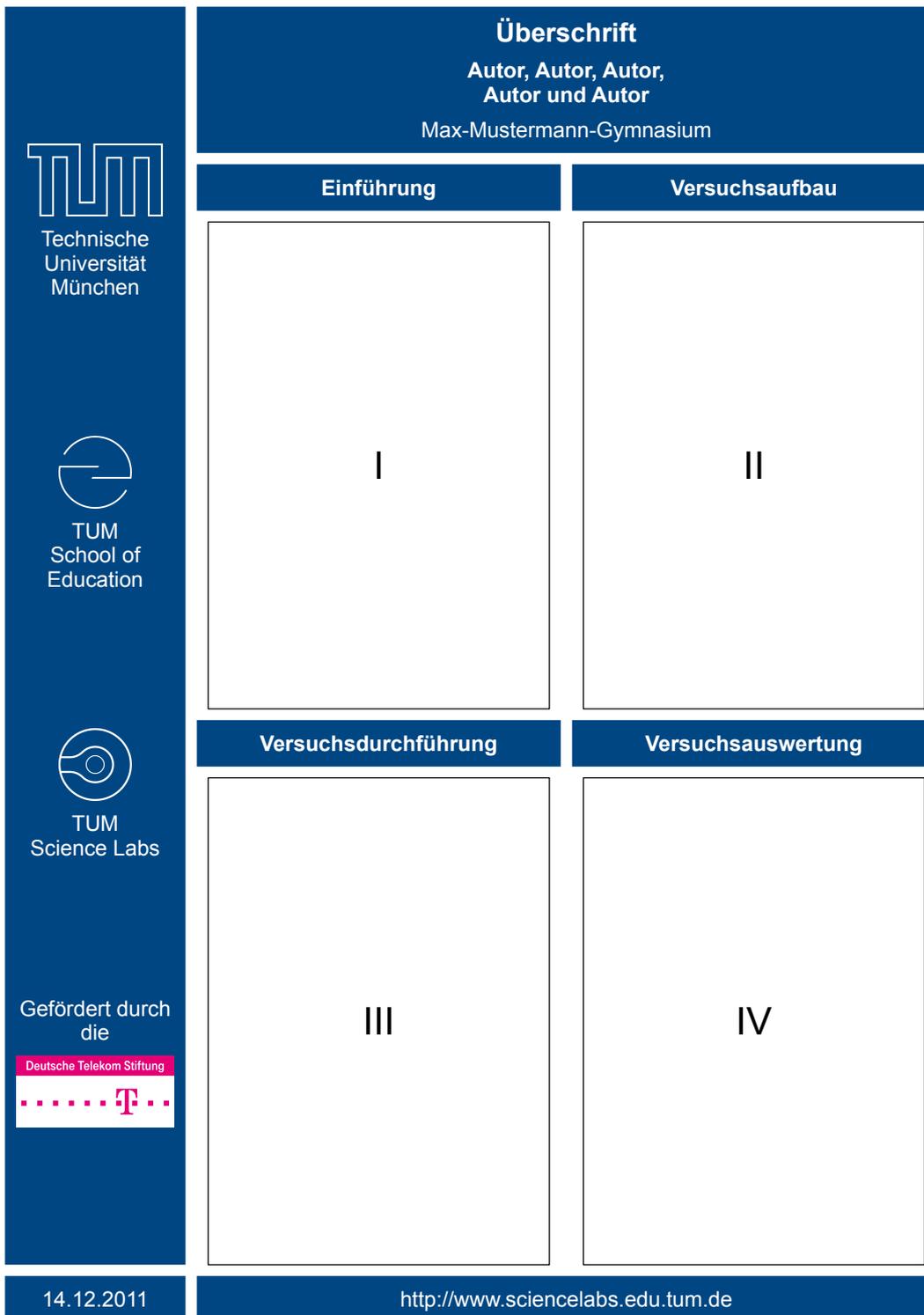


Abb. 9: Forschungspräsentation: Struktur und Aufbau eines Posters

- eine Erläuterung der Versuchsdurchführung mit wichtigen Beobachtungen, allen erforderlichen Versuchsparemtern und einer tabellarischen Aufstellung der Messwerte (III) sowie
- eine Versuchsauswertung mit Angabe der verwendeten Formeln, einer Beschreibung der angewandten Methoden (Wie haben Sie die Daten ausgewertet?), einer übersichtlichen Darstellung der Ergebnisse anhand von Diagrammen sowie einer

Diskussion bzw. Interpretation der Ergebnisse, wobei letzteres eine physikalische Erklärung der gemachten Beobachtungen und mögliche Folgerungen, die aus den gewonnenen Ergebnissen gezogen werden können, umfasst (IV).

Diese vorgegebene Struktur hat sich über die Jahre hinweg bewährt und wird deswegen in der Forschung bevorzugt verwendet.

Fertigen Sie als Versuchsauswertung bitte ein solches Poster an und gehen Sie dazu wie nachfolgend beschrieben vor:

1. Überlegen Sie sich zunächst gemeinsam eine aussagekräftige Überschrift und versetzen Sie sich dabei in die Lage des Forschenden, der bzw. die auf seine bzw. ihre neuartige Entdeckung aufmerksam machen möchte.
2. Öffnen Sie dann ein neues OpenOffice-Textdokument und notieren Sie sich darin die Überschrift auf die Sie sich geeinigt haben.
3. Erstellen Sie im gleichen Dokument eine vollständige Namensliste der beteiligten Schüler/-innen und fügen Sie diesem Dokument auch den Namen und den Ort Ihres Gymnasiums bei.
4. Speichern Sie nun dieses Dokument in einem beliebigen Verzeichnis unter der Kurzbezeichnung des Versuchs (z.B.: SEL.odt) ab.
5. Überlegen Sie sich jetzt, wie Sie sich die Abschnitte I bis IV untereinander aufteilen. Jedes Team erstellt im Anschluss daran für seinen Abschnitt ein zweites OpenOffice-Textdokument. Übernehmen Sie für dieses Dokument die Standardvorgaben von OpenOffice und ändern Sie nur folgende Einstellungen:
 - Papierformat: Breite: 30,09 cm (= 11,85"), Höhe: 43,26 cm (= 17,03")
 - Papierausrichtung: Hochformat
 - Seitenränder: links, rechts, oben und unten: 0,00 cm (= 0,00")
 - Schrift: -art: Arial, -größe: 36 pt, -stil: normal, -farbe: schwarz
 - Absatzausrichtung: Blocksatz

Speichern Sie am Ende dieses Dokument in einem beliebigen Verzeichnis unter der Kurzbezeichnung des Versuchs und der arabischen Nummer des bearbeiteten Abschnitts (z.B.: SEL1.odt) ab.

6. Die weitere Gestaltung und der genaue Inhalt Ihres Abschnitts ist frei und somit Ihnen überlassen. Bemühen Sie sich jedoch Ihren Abschnitt vollständig auszufüllen bzw. den vorhandenen Platz komplett auszunutzen.

Versuchen Sie sich beim Formulieren möglichst prägnant und unmissverständlich auszudrücken. Diskutieren Sie jedoch die physikalischen Grundlagen, den Versuchsaufbau, Ihre Beobachtungen und Messungen sowie Ihre Vorgehensweise und

Ergebnisse ausführlich. Beantworten Sie zudem die Fragestellungen der Versuchsanleitung und formulieren Sie deutlich die Zielsetzung (d.h. Sinn und Zweck) des Versuchs.

Fügen Sie zur Veranschaulichung ausreichend Skizzen, Photos, Messwerttabellen und Diagramme ein.

Denken Sie bei der Gestaltung des Posters daran, daß es sich um eine Forschungspräsentation handelt mit der Sie auf Ihre Ergebnisse aufmerksam machen wollen und vor allem Interesse an Ihrer Arbeit wecken möchten.

7. Der Praktikumsleiter wird aus den einzelnen Abschnitten ein gemeinsames Poster im Format DIN A0 zusammenstellen und es Ihnen sobald wie möglich als Datei sowie ausgedruckt per Post zuschicken. Sie können es dann in Ihrem Klassenzimmer oder in Ihrer Schule aufhängen.