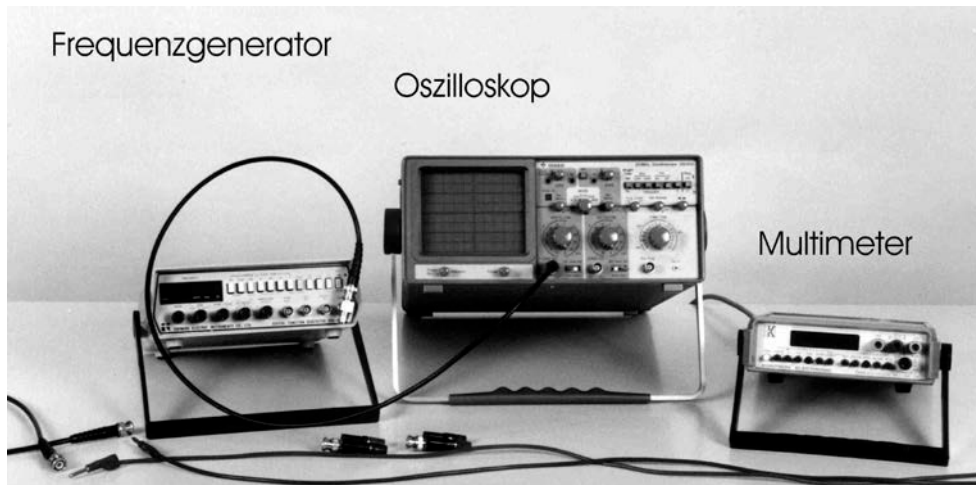


## 5 Elektrisches Feld



Messung von Wechselströmen

### 5.1 Grundlagen

#### 5.1.1 Ionenbeweglichkeit

In metallischen Leitern wird der elektrische Strom von freien Elektronen transportiert. Der Mechanismus des Ladungstransports in Elektrolyten beruht dagegen ausschließlich auf dem Vorhandensein elektrisch geladener Atome oder Moleküle, den Ionen. Elektrolytische oder Ionenleiter sind vor allem Salze in festem, geschmolzenem oder gelöstem Zustand, ferner Säuren und Basen in wässriger Lösung sowie Stoffe, die erst durch Wechselwirkung mit dem Lösungsmittel Ionen bilden.

Die Leitfähigkeit hängt ab von

1. der Ionenbeweglichkeit  $\mu$ ,
2. der Anzahl der verfügbaren Ionen,
3. der Temperatur des elektrolytischen Leiters.

Zu 1:

Die Leitfähigkeit ist proportional zur Ionenbeweglichkeit  $\mu$ :

$$\mu = \frac{ze}{6\pi\eta r} \quad (1)$$

(Herleitung der Gleichung s.u.). Dabei ist  $ze$  die Ladung des Ions ( $z$  ist die Wertigkeit,  $e$  die Elementarladung),  $\eta$  ist die Viskosität des Elektrolyten,  $r$  ist ein Maß für die 'Größe' des Ions (hier kommt es nicht nur auf die räumliche Ausdehnung an, sondern es spielen auch noch andere Effekte wie z.B. die Hydratation eine Rolle).

Über die Viskosität hängt die Ionenbeweglichkeit von der Temperatur ab. Mit steigender Temperatur nimmt die Viskosität ab, bei Wasser hat sie zum Beispiel für Temperaturen von 10/20/30/40° C die Werte 1309/1006/800/657  $\mu\text{Pa}\cdot\text{s}$ . Daraus folgt eine Erhöhung der Leitfähigkeit des Elektrolyten bei steigender Temperatur.

Zu 2:

Je höher die Konzentration und je größer der Dissoziationsgrad des Elektrolyten sind, desto mehr Ladungsträger (Ionen) stehen für den Elektrizitätstransport zur Verfügung, desto größer ist also die Leitfähigkeit (Dissoziationsgrad: Zahl der in

Ionen dissoziierten Moleküle). Die Konzentration eines Elektrolyten und sein Dissoziationsgrad sind nicht unabhängig voneinander: Nach dem Ostwaldschen Verdünnungsgesetz nimmt der Dissoziationsgrad mit steigender Konzentration ab.

Zu 3:

Der Zusammenhang zwischen Leitfähigkeit und Temperatur ist komplexer Art: Zunächst nimmt die Viskosität des Lösungsmittels mit steigender Temperatur ab (vgl. 1.). Darüber hinaus nimmt bei vielen Elektrolyten der Dissoziationsgrad mit der Temperatur zu. Addieren sich beide Effekte, so resultiert eine starke Zunahme der Leitfähigkeit mit wachsender Temperatur. Es gibt aber eine Reihe von Elektrolyten, bei denen der Dissoziationsgrad mit steigender Temperatur abnimmt. Dabei kann der Fall eintreten, dass die Leitfähigkeit aufgrund der Viskositätsabnahme bei steigender Temperatur zunächst zunimmt, dann aber wegen des fallenden Dissoziationsgrades ein Maximum erreicht oder sogar wieder abnimmt

Herleitung von Gl. (1):

Befindet sich ein Ion mit der Ladung  $Q = ze$  in einem elektrischen Feld mit der Feldstärke  $E = U_0 / l$ , so wirkt eine Kraft

$$F_E = QE = zeU_0 / l$$

auf das Ion. Hierbei ist  $U_0$  die Spannung zwischen den Elektroden und  $l$  deren Abstand (wir setzen voraus, dass das elektrische Feld homogen ist, d.h. dass die Kraft  $F_E$  innerhalb des Raumes zwischen den Elektroden überall gleich groß und gleich gerichtet ist.).

Durch das Einwirken der Kraft  $F_E$  wird der ungeordneten Wärmebewegung der Ionen eine gerichtete Bewegung überlagert. Infolgedessen kommt es zu einer beschleunigten Bewegung der Ionen in Richtung auf die Elektroden.

Der Kraft  $F_E$  ist in flüssigen Medien die *Reibungskraft*

$$F_R = 6\pi\eta r v \quad (\text{Stokessches Gesetz})$$

entgegengerichtet.  $\eta$  ist die Viskosität des Lösungsmittels,  $r$  ist ein Maß für die "Größe" des Ions und  $v$  seine Geschwindigkeit. Die Reibungskraft nimmt also mit der Geschwindigkeit zu.

Unter geeigneten Bedingungen kann sich der stationäre Fall  $F_E = F_R$  einstellen; die Bewegung erfolgt nicht mehr beschleunigt, die Geschwindigkeit ist konstant. Dann ist

$$6\pi\eta r v = QE = ze \frac{U_0}{l}$$

und also:

$$v = \frac{ze}{6\pi\eta r} \frac{U_0}{l}$$

Die Ionen legen in der Zeit  $\Delta t$  den Weg  $\Delta s$  zurück:

$$\Delta s = \frac{ze}{6\pi\eta r} \frac{U_0}{l} \Delta t \quad (2)$$

Die *Ionenbeweglichkeit*  $\mu$  ist als das Verhältnis der Ionengeschwindigkeit  $v$  zur Feldstärke  $E$  definiert:

$$\mu = \frac{v}{E} = \frac{\Delta s}{\Delta t} \frac{l}{U_0}$$

Hieraus folgt: 
$$\Delta s = \mu \frac{U_0}{l} \Delta t \quad (3)$$

Aus dem Vergleich von Gl. (2) und (3) folgt:

$$\mu = \frac{ze}{6\pi\eta r}$$

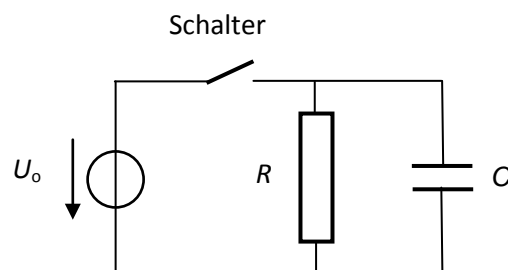
Die Ionenbeweglichkeit wächst also proportional zur Ladung  $ze$  und umgekehrt proportional zur Viskosität des Lösungsmittels und zur "Größe" des Ions.

### 5.1.2 Ladung und Entladung eines Kondensators

Ein Kondensator besteht im Prinzip aus zwei metallischen Körpern beliebiger Form (den sogenannten *Belegungen*), die einander isoliert gegenüber stehen. Bei den üblicherweise verwendeten Kondensatoren bestehen die Belegungen meist aus dünnen Metallfolien, die – durch eine Isolierschicht voneinander getrennt – aufgewickelt und mit Anschlüssen versehen werden.

Wird ein Kondensator an eine Gleichspannungsquelle angeschlossen, so entsteht auf der einen Belegung ein Elektronenüberschuss, also negative Ladung, auf der anderen Belegung bildet sich ein Elektronenmangel, also positive Ladung. Zwischen den so aufgeladenen Belegungen besteht ein elektrisches Feld.

Das Verhältnis der Ladung  $Q$  des Kondensators zu der Spannung  $U$  an seinen Anschlüssen wird als *Kapazität* bezeichnet. Kapazitäten werden mit dem Formelzeichen  $C$  bezeichnet und in der Einheit Farad (F) gemessen:  $[C]=F$ .



Sobald der Kondensator bei geschlossenem Schalter aufgeladen ist, fließt kein Ladestrom mehr, obwohl die Spannungsquelle noch angeschlossen ist. Wird die Spannungsquelle durch Öffnen des Schalters entfernt, so bleibt der Ladezustand erhalten; der Kondensator selbst stellt eine Spannungsquelle dar.

Wir betrachten einen Kondensator, der bis zur Spannung  $U_0$  aufgeladen sei. Dann ist die im Kondensator gespeicherte elektrische Ladung

$$Q = C U_0.$$

Nun klemmen wir die Spannungsquelle ab und lassen den Kondensator sich über einen Widerstand  $R$  entladen. Dadurch verringert sich die Ladung auf dem Kondensator exponentiell mit der Zeit nach dem Gesetz<sup>1</sup>

$$U_c^{Entl}(t) = U_0 \exp\left(-\frac{t}{RC}\right) \quad (4)$$

Für die Aufladung des Kondensators ergibt sich in ähnlicher Weise

<sup>1</sup> Zur Erinnerung:  $e^z = \exp(z)$

$$U_c^{Auffl}(t) = U_\infty \left[ 1 - \exp\left(-\frac{t}{RC}\right) \right] \quad (5)$$

Dabei ist  $U_\infty$  die Ladung, mit der der Kondensator für  $t \rightarrow \infty$  aufgeladen wird.

Nach der sog. Halbwertszeit  $t_h$  sinkt die Spannung am Kondensator vom Anfangswert auf die Hälfte ab. G1. (5) liefert für diesen Fall

$$\frac{U_c^{Entl}(0)}{2} = U_0 \exp\left(-\frac{t_h}{RC}\right)$$

$$\frac{1}{2} = \exp\left(-\frac{t_h}{RC}\right) \quad \text{bzw.} \quad t_h = RC \ln 2 \approx 0,693 RC \quad (6)$$

Die letzten Gleichungen enthalten im Nenner des Exponenten das Produkt  $RC$ , dessen Maßeinheit die Dimension einer Zeit besitzt.  $RC$  ist die Zeit, in der die Spannung beim Entladen auf  $e^{-1} = 0,368$  des Anfangswertes  $U_0$  abgesunken bzw. beim Aufladen auf  $1 - e^{-1} = 0,632$  des Endwertes  $U_\infty$  angestiegen ist. (Für die Zeiten  $t = 2/3/4/5 RC$  steigt die Spannung auf  $0,86 / 0,95 / 0,98 / 0,99 U_\infty$ )

### 5.1.3 Zeitaufgelöste Darstellungen: das Oszilloskop

Das Oszilloskop zählt zu den wichtigen Messinstrumenten in der experimentellen Physik und findet auch vielfältigen Einsatz in Chemie und Biologie. Mit ihm ist es z.B. möglich, die zeitlichen Änderungen einer elektrischen Spannung  $U$  bildlich darzustellen und quantitativ zu vermessen. Mit Hilfe eines Oszilloskops lässt sich der zeitliche Verlauf sämtlicher physikalischer Größen darstellen, sofern sie in ein elektrisches Signal „übersetzt“ werden können (z.B. die (mechanische) Bewegung eines Pendels anhand eines elektrischen Entfernungsmessers oder der zeitliche Verlauf der Intensität einer Lichtquelle mithilfe eines Fotodetektors).

Während noch vor etlichen Jahren hauptsächlich analoge Elektronenstrahl-Oszilloskope zum Einsatz kamen, werden mittlerweile aufgrund vieler Vorteile und einfacherer Handhabung oftmals Digital-Oszilloskope benutzt, so auch in den nachfolgenden Praktikumsversuchen. Das Funktionsprinzip eines Elektronenstrahl-Oszilloskops als auch eines Digitaloszilloskops findet man in vielen Lehrbüchern ausführlich beschrieben; es kann dort nachgelesen werden. Für die Versuche im Praktikum sollte aber der folgende Überblick über die Grundfunktionen eines Digitaloszilloskops ausreichen.

Ein Digital-Speicher-Oszilloskop (kurz: Digital-Oszilloskop) ist im Grunde nichts anderes als ein Computer, der neben den üblichen Einheiten wie Prozessor, internem / externem Speicher, Bussystem und Software folgende spezielle Komponenten enthält (siehe Abb. 1):

- Ein Bedienfeld mit Drehknöpfen (z.B. VOLTS/DIV, SEC/DIV, LEVEL,...) und Tasten (z.B. CH1/2 MENU, TRIG MENU, CURSOR,...), über die die Steuerung der Software erfolgt (statt über Tastatur und Maus).
- Eine Einheit zur Erfassung und Digitalisierung der zu messenden Spannungssignale, die an die BNC-Buchsen CH1 und CH2 angelegt werden (es können demnach zwei unterschiedliche Spannungssignale quasi gleichzeitig erfasst werden).

- Einen LCD-Bildschirm zur Anzeige der erfassten Signale, zur Ausgabe von Messwerten und Einstellungsparametern sowie zur Darstellung der Menüs zur Gerätesteuerung.

Die analogen Eingangssignale werden mit einem *Analog/Digital-Wandler* (A/D-Wandler) in digitale Signale umgewandelt. Die Umwandlung *analog* → *digital* geschieht nicht kontinuierlich, sondern nur zu diskreten, periodisch angeordneten Zeitpunkten, den so genannten *Abtastpunkten* (*sampling points*, Abb. 2). Die Häufigkeit, mit der ein Signal abgetastet wird, ist durch die *Abtastrate* oder *Abtastfrequenz*  $f_a$  vorgegeben, ihr Kehrwert ist das *Abtastintervall*  $T_a$ . Je höher  $f_a$ , je kleiner also  $T_a$ , desto präziser kann der zeitliche Verlauf eines Eingangssignals dargestellt werden. Bei den im Praktikum eingesetzten Geräten beträgt  $f_a$  maximal 1 GHz.

Die höchstmögliche Abtastfrequenz  $f_a$  bestimmt nach dem *Abtasttheorem* gleichzeitig die maximale Frequenz  $f_s$  eines harmonischen Eingangssignals, die mit einem Digital-Oszilloskop noch erfasst werden kann. Für eine korrekte Signalerfassung muss die Bedingung

$$f_a > 2 f_s \quad (7)$$

erfüllt sein, andernfalls treten Fehler auf (*Aliasing*)



Abb. 1: Frontansicht des im Praktikum eingesetzten Digital-Oszilloskops TEKTRONIX TBS 1102EDU.

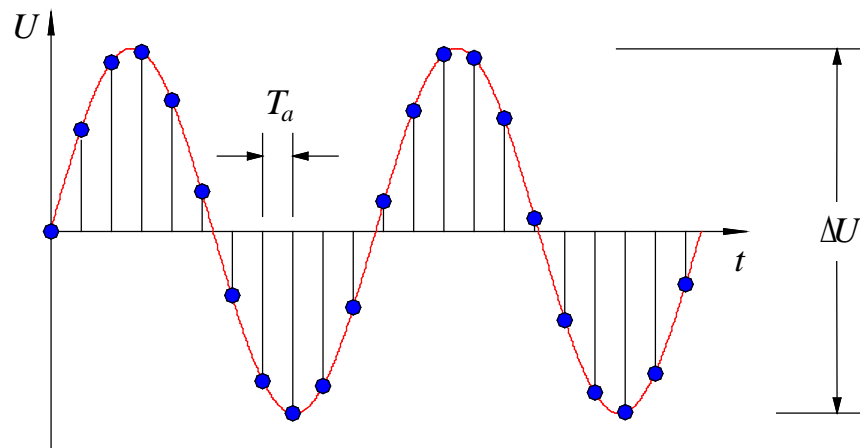


Abb. 2: Abtastung eines Sinussignals (durchgezogene Linie, rot). Die Abtastpunkte (Punkte, blau) haben den zeitlichen Abstand  $T_a = 1/f_a$  voneinander.  $\Delta U$  gibt die maximale Spannungsdifferenz im dargestellten Signal an (aus: H. Helmers, Anleitung Grundpraktikum Physik).

Um den Spannungswert an einem Abtastpunkt möglichst genau bestimmen zu können, benötigt man einen A/D-Wandler mit möglichst großer *Auflösung*, die durch die Zahl  $n$  der verfügbaren Bits gegeben ist.  $n$  Bits erlauben eine relative Genauigkeit für Spannungsmessungen von  $1/2^n$ . Bei den im Praktikum eingesetzten Typen ist  $n = 8$ , es können also  $2^8 = 256$  unterschiedliche Spannungswerte erfasst werden. Dazu zwei Beispiele:

- Bei einer Verstärkereinstellung am VOLTS/DIV-Schalter von 1 V/DIV und 8 Divisions in vertikaler Richtung können Eingangssignale mit maximalen Spannungsunterschieden von  $\Delta U = 1 \text{ V/DIV} \times 8 \text{ DIV} = 8 \text{ V}$  dargestellt werden. Einzelne Spannungswerte können dann mit einer Genauigkeit (Auflösung) von  $8 \text{ V} / 2^8 \approx 30 \text{ mV}$  gemessen werden. Spannungsunterschiede im Eingangssignal, die kleiner als ca. 30 mV sind, können demnach nicht *aufgelöst* werden.
- Bei einer Verstärkereinstellung von 20 mV/DIV und 8 Divisions können Eingangssignale mit maximalen Spannungsunterschieden von  $\Delta U = 20 \text{ mV/DIV} \times 8 \text{ DIV} = 160 \text{ mV}$  dargestellt werden. Die Auflösung bei der Messung einzelner Spannungswerte beträgt dann  $160 \text{ mV} / 2^8 \approx 0,63 \text{ mV}$ .

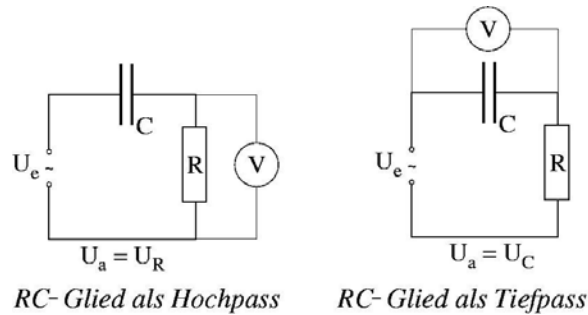
Für Messungen mit möglichst hoher Auflösung ist es deshalb wichtig, die Eingangssignale über die richtige Einstellung am VOLTS/DIV-Schalter immer soweit zu verstärken, dass sie sich in vertikaler Richtung über den gesamten Bildschirm erstrecken.

Eine weitere Größe, die die Güte eines Digital-Oszilloskops bestimmt, ist die maximale Zahl  $N$  von Abtastwerten, die gespeichert werden können. Bei den im Praktikum eingesetzten Geräten ist  $N = 2.500$ . Die Darstellung der Messwerte erfolgt auf einem Bildschirm mit 320 (horizontal)  $\times$  240 (vertikal) Pixeln.

Zur Bedienung des Oszilloskops wird zu Beginn des Praktikumsversuches eine kurze Einführung gegeben.

### 5.1.4 Passverhalten eines RC-Glieds

Ein  $RC$ -Glied besteht aus einem ohmschen Widerstand  $R$  und einem Kondensator  $C$ , die hintereinander an eine Wechselspannungsquelle mit der Spannung  $U_e$  angeschlossen werden.



Solche  $RC$ -Glieder sind durch ein besonderes Passverhalten gekennzeichnet: aus einem Gemisch von Wechselspannungen verschiedener Frequenzen am Eingang  $U_e$  werden vom "Hochpass" nur Spannungen hoher Frequenz zum Ausgang  $U_a$  durchgelassen, Spannungen kleiner Frequenz (insbesondere Gleichspannungen mit der Frequenz Null) werden blockiert. Umgekehrt werden beim "Tiefpass" Spannungen kleiner Frequenz durchgelassen und Spannungen hoher Frequenz kurzgeschlossen.  $RC$ -Glieder ermöglichen es z. B., unerwünschte Frequenzen aus einem Frequenzgemisch von einer Messschaltung (Schreiber, Oszilloskop etc.) fernzuhalten.

In der von  $U_e$ ,  $C$  und  $R$  gebildeten Masche gilt

$$U_e - U_R = U_C \quad \text{und} \quad U_R = RI \quad (7)$$

Für die weitere Diskussion nehmen wir an, dass die Spannung  $U_e$  eine mit der Schwingungsdauer  $T$  periodisch alternierende Gleichspannung ist (also  $U_e = U_0$  für  $0 < t < T/2$ ,  $U_e = -U_0$  für  $T/2 < t < T$  plus periodische Fortsetzung). In der Zeitspanne  $0 < t < T/2$  ist  $U_C$  durch Gl. (5) gegeben; damit erhält man aus Gl. (7):

$$U_C = U_e - RI = U_e \left[ 1 - \exp\left(-\frac{1}{RC}t\right) \right]$$

und

$$U_R = RI = U_e \exp\left(-\frac{1}{RC}t\right) \quad (8)$$

Es sei  $t_\alpha$  die Zeit bis zur vollständigen Aufladung des Kondensators (in guter Näherung etwa in der Größenordnung von  $4RC$ , und  $T/2$  die Dauer einer Halbwelle der Spannung  $U_e$  (halbe Periodendauer). Bei *großer* Frequenz (kleine Schwingungsdauer) der Eingangsspannung  $U_e$  gilt  $0 < t < T/2 \ll t_\alpha$ . Der exponentielle Faktor in Gl. (8) bleibt in diesem Zeitintervall annähernd 1; damit gilt  $RI \approx U_e$  und  $U_C \approx 0$ . Mit anderen Worten: Spannungen großer Frequenz können nur über  $R$  gemessen werden (*Hochpass*).

Bei *kleiner* Frequenz der Spannung  $U_e$  gilt umgekehrt, dass sich  $U_C$  sehr schnell dem Endwert  $U_e$  annähert, während  $U_R$  sehr schnell auf den Wert Null fällt; in Formeln  $RI = U_R \approx 0$  und damit  $U_C \approx U_e$ . Mit anderen Worten: Spannungen kleiner Frequenz können nur über dem Kondensator gemessen werden (*Tiefpass*).

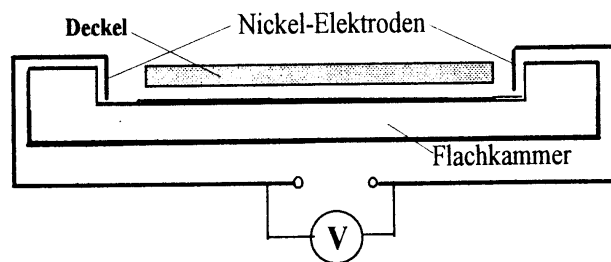
Die hier für eine spezielle Form der Eingangsspannung  $U_e$  hergeleiteten Ergebnisse gelten sinngemäß auch für beliebige Wechselspannungen.

## 5.2 Aufgaben

### 5.2.1 Beweglichkeit von $\text{MnO}_4^-$ -Ionen

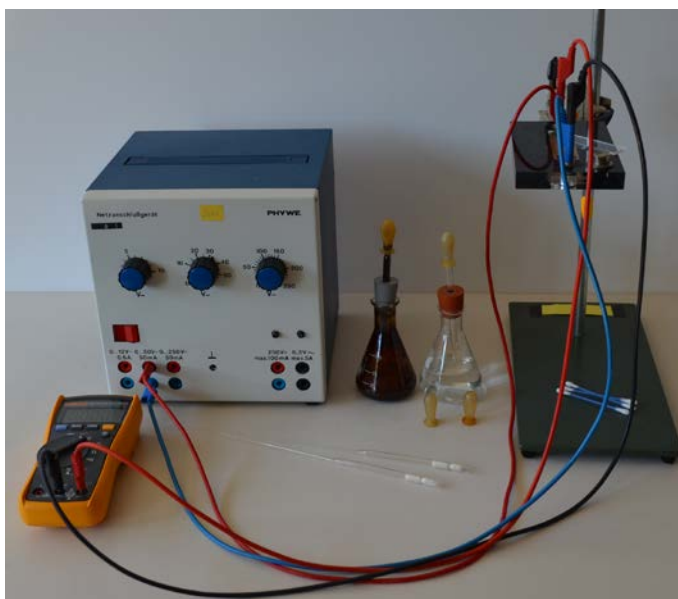
Geräte: Netzgerät 30-50 V Gleichspannung, Flachkammer für Ionenwanderung, Stativ mit Drehgelenk, Voltmeter,  $\text{KNO}_3$ -Lösung (0,01m),  $\text{KMnO}_4$ -Lösung (0,06 m), Uhr mit Sekundenanzeige, Tropfpipetten, Voltmeter.

Zur Beobachtung der Ionenwanderung benutzen wir eine 6 cm lange Kapillare mit rechteckigem Querschnitt. Diese besteht aus einer in eine Kunststoffplatte eingefrästen Rinne mit aufgelegtem Glasdeckel.



Zuerst wird die Schaltung hergestellt und anschließend die Kammer exakt horizontal ausgerichtet. Schließlich wird das schon vorher auf 50 V eingeregelterte Netzgerät eingeschaltet.

Das größte Problem bei diesem Experiment ist das saubere Füllen der Kapillare: Die Vertiefung an der Anodenseite wird nach Herstellung der Schaltung, jedoch vor dem Einschalten, mit  $\text{KNO}_3$ -Lösung (Kaliumnitrat) gefüllt (Tropfpipette). Die Lösung soll sich infolge der Kapillarkräfte zur Kathodenseite bewegen. Wenn die Kapillare blasenfrei mit der Lösung gefüllt ist (evtl. muss tropfenweise nachgefüllt werden), wird an der Kathodenseite die  $\text{KMnO}_4$ -Lösung (Kaliumpermanganat) eingebracht. Wenn dabei die violette Lösung in den Kapillarraum eindringt, ist der Füllstand zu hoch; durch Zugabe von  $\text{KNO}_3$ -Lösung an der Anodenseite oder durch Absaugen von  $\text{KMnO}_4$ -Lösung an der Kathodenseite kann der Füllstand ausgeglichen werden.



Messaufbau zur Ionenbeweglichkeit.



**Aufgabe:**

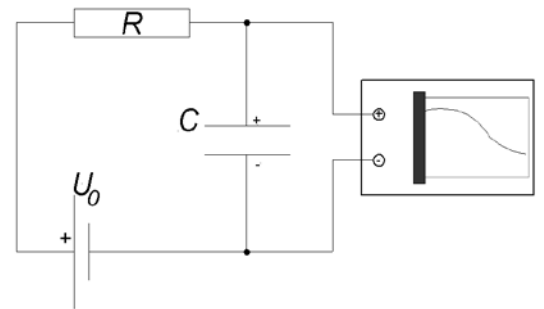
Nach Einschalten der Spannung soll der von den  $\text{MnO}_4^-$  - Ionen (Permanganat-Anionen) zurückgelegte Weg in Abhängigkeit von der Zeit gemessen werden (ca. 8 Werte, Diagramm  $s$  gegen  $t$ ). Aus der Steigung des Graphen ist die Ionenbeweglichkeit  $\mu$  incl. Des Fehlers zu berechnen. Der Versuchsparameter Feldstärke muss während der Messung konstant gehalten werden.

**5.2.2 Laden und Entladen eines Kondensators**

Geräte: Netzgerät 15 V, x-t-Schreiber, Widerstand  $10 \text{ k}\Omega$ , Kondensator  $2500 \mu\text{F}$

Ein Kondensator wird über einen Widerstand aufgeladen und anschließend wieder entladen. Es soll die Spannung am Kondensator sowohl für den Aufladevorgang, als auch für den Entladevorgang mit Hilfe eines Schreibers in Abhängigkeit von der Zeit aufgenommen werden.

Zur Kalibrierung des Schreibers werden die Eingangsbuchsen polrichtig mit den entsprechenden Buchsen des (ausgeschalteten) Netzgerätes verbunden. Mit dem Nullsteller wird der Schreibstift so verschoben, dass er exakt auf der linken Linie des Papiers aufliegt. Einstellung des Messbereichs: 10 Volt; Papiervorschub: 6 cm/min. Das Netzgerät wird nun eingeschaltet und so eingeregelt, dass der Schreibstift auf der äußersten rechten Linie des Papiers aufliegt.



Vor dem eigentlichen Schaltungsaufbau wird der Kondensator durch ein Kabel kurzgeschlossen, damit evtl. vorhandene Restladungen abfließen können.

**Vor dem Einschalten auf richtige Polung achten. Der Kondensator wird bei falscher Polung zerstört.**

Nach Einschalten des Netzgerätes und des Papiervorschubs wird der Spannungsverlauf am Kondensator aufgezeichnet. Nach erfolgter Aufladung wird Stecker A aus dem Netzgerät entfernt und mit B verbunden. Die Ladung des Kondensators fließt über den Widerstand (und den Schreiber) ab.

**Auswertung:**

1. Die Entladekurve wird halblogarithmisch aufgetragen (also  $\ln U$  gegen  $t$ ). Aus der Steigung ist die Zeitkonstante  $RC$  zu berechnen.
2. Auf welchen Bruchteil der Anfangsspannung  $U_0$  ist die Spannung nach der Zeit  $RC$  abgesunken ?
3. Wie groß ist die Halbwertszeit bei der Entladung ?

Die in 1., 2. und 3. experimentell bestimmten Werte sollen mit den theoretisch (aus den aufgedruckten  $R$ - und  $C$ - Werten) errechneten Daten verglichen werden. Welche möglichen Fehlerquellen existieren?

Der Eingangswiderstand des Schreibers beträgt  $1 \text{ M}\Omega$ .

### 5.2.3 Zeitaufgelöste Darstellung von Wechselströmen

Geräte: Oszilloskop, Funktionsgenerator (FG), Digitalvoltmeter

Machen Sie sich zunächst mit den einzelnen Bedienelementen und Funktionen des Oszilloskops vertraut.

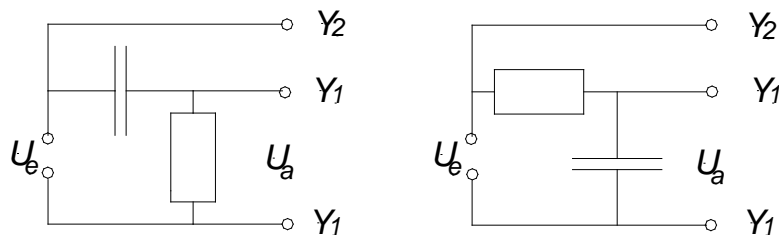
Der FG wird mit Hilfe eines BNC-Kabels an einen der beiden Y-Eingänge angeschlossen. Durch Einregeln der Zeitablenkung und der Spannungsverstärkung lässt sich erreichen, dass ein stehendes Bild entsteht.

#### Aufgabe:

- Stellen Sie verschiedene Frequenzen am Funktionsgenerator ein und messen Sie die Frequenz auf dem Schirm. Vergleichen Sie die Messwerte mit der Frequenzeinstellung am Funktionsgenerator.
- Der Funktionsgenerator wird auf Rechteckspannung umgeschaltet, eine große Frequenz wird eingestellt. Auf dem Schirm soll nur eine positive Flanke des Rechteckimpulses erscheinen. Wie groß ist die Anstiegszeit der Flanke bei dieser Frequenz?
- Die Ausgangsspannung des Funktionsgenerator (Sinusbetrieb) wird direkt mit einem Voltmeter gemessen. Das Signal wird gleichzeitig auf den Y-Kanal des Oszilloskops gegeben und gemessen. Zu berechnen ist das Verhältnis der am Oszilloskop gemessenen Spannung zu der mit dem Voltmeter gemessenen Spannung für verschiedene Frequenzen  $U_{Osz} / U_{Voltm}$ .

### 5.2.4 Passverhalten eines RC-Gliedes

Geräte: 2-Kanal-Oszilloskop, FG, Schaltplatte mit  $R=2,2\text{ k}\Omega$ ,  $C=10\text{ nF}$



**Aufgabe:**

Der "Durchlass", d.h. der Quotient  $U_o/U_e$ , soll für jede der beiden Schaltungen in Abhängigkeit von der Frequenz gemessen werden.

**Durchführung:**

Die vom Funktionsgenerator gelieferte Spannung  $U_e$  wird auf einem der beiden Y-Kanäle, die Spannung  $U_o$  auf dem zweiten Y-Kanal gemessen. Die Frequenz  $f$  (nicht  $\omega$ !) wird in Intervallen ( $10^2$ ,  $10^3$ ,  $10^4$ ,  $10^5$ ,  $10^6$ ) Hz in entscheidenden Bereichen auch dazwischen, am Funktionsgenerator variiert. Beachten Sie die Erdung der Geräte.

**Auswertung:**

Die Messwerte  $U_o/U_e$  werden (für beide Schaltungen) in einem Diagramm gegen die Frequenz (diese logarithmisch) aufgetragen. Für welche Frequenz zeigen beide Schaltungen den gleichen Durchlass ("Grenzfrequenz" des RC-Gliedes)? Wie groß ist das Verhältnis  $U_o/U_e$  für diese Grenzfrequenz?