

---

# Operationsverstärker

## Fortgeschrittenenpraktikum

---

Betreuer: **Andreas Tonin**  
andreas.tonin@unibas.ch

### **Abstract**

Der Operationsverstärker ist ein elektronisches Bauteil, welches in der analogen Elektronik wegen seiner Vielseitigkeit unverzichtbar geworden ist. Noch vor und während den ersten digitalen Computern konnten so Rechenoperationen in analoger Weise durch kontinuierlich ausgeführte Operationen ausgeführt werden. Hier wurde es ermöglicht sowohl die Grundrechenarten als auch Differentiation und Integration durch maschinelle Hilfe zu bewerkstelligen.

Heute wird der Operationsverstärker neben seinen Grundfunktionen wie verstärken und rechnen auch für Filter, Regler, Stabilisierungen und Signalwandler eingesetzt. Mit einem Strom-Spannungswandler können z.B. winzige Ströme im Picoampère-Bereich in messbare Spannungen gewandelt werden. Jeder der gerne Musik hört oder gar macht profitiert von diesen Bauteilen. Die Liste der Anwendungen ist beliebig fortsetzbar.

# Inhaltsverzeichnis

<b>1</b>	<b>Einführung Operationsverstärker</b>	<b>3</b>
<b>2</b>	<b>Theoretische Grundlagen</b>	<b>4</b>
2.1	Operationsverstärker	4
2.2	Grundlagen Oszilloskop und Funktionsgenerator	5
2.3	Warnhinweise	7
<b>3</b>	<b>Versuchsaufbau oder verwendete Materialien</b>	<b>8</b>
3.1	Materialliste	8
3.2	Hilfsblatt zum Versuchsaufbau	9
3.3	Hilfe zum Versuchsaufbau	10
<b>4</b>	<b>Aufgaben</b>	<b>11</b>
4.1	Aufgabe 1 -> Oszilloskop und Funktionsgenerator	11
4.2	Aufgabe 2 -> Nicht-Invertierender Verstärker	12
4.3	Aufgabe 3 -> Invertierender Verstärker	13
4.4	Aufgabe 4 -> Präzisionsgleichrichter	14
4.5	Aufgabe 5 -> Oszillator	15
4.6	Anhang -> Aufzeichnungsblätter zu Aufgaben 3 und 4	16
<b>5</b>	<b>Appendix/Kontakt</b>	<b>18</b>

# 1 Einführung Operationsverstärker

Der Aufbau und das Ausmessen von Schaltungen mit Operationsverstärkern und anderen Bauteilen soll einen Einblick in die Welt der analogen Elektronik geben. Zudem soll die Bedienung eines Oszilloskopes und eines Funktionsgenerators vermittelt werden. Bitte lesen Sie die folgenden Seiten Theorie und Tipps zum Versuchsaufbau, bevor Sie mit den Aufgaben beginnen.

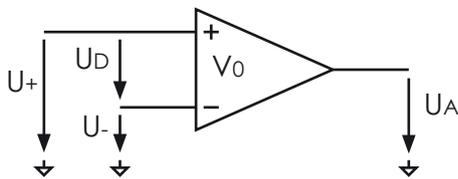
Im FP dauert der Versuch 2 Nachmittage und es sind folgende Aufgaben zu lösen:

- Aufgabe 1 → Kennenlernen der Geräte, **nicht schriftlich**
- Aufgabe 2 oder 3 → (nicht beide)
- Aufgabe 4 oder 5 → (nicht beide)

## 2 Theoretische Grundlagen

### 2.1 Operationsverstärker

Der Operationsverstärker (OP) ist ein sehr vielseitiges elektronisches Bauteil welches in der analogen Schaltungstechnik zum Einsatz kommt. Er ist in der Lage bestimmte mathematische Operationen auf elektrische Signale anzuwenden – deshalb der Name.



$$U_A = U_D \cdot V_0$$

$$U_D = U_+ - U_- \text{ (Differenzspannung)}$$

$$V_0 = \text{Leerlaufverstärkung}$$

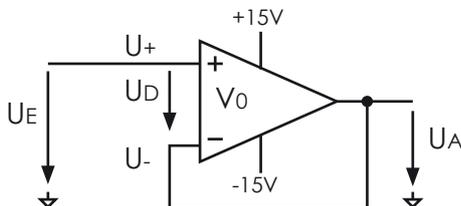
$$\downarrow = \text{Erde (Referenzspannung 0V)}$$

Abbildung 1: Idealer OP

Ein idealer OP verstärkt die Spannungsdifferenz der beiden Eingänge unendlich gross und gibt das Resultat als Spannung rauschfrei ohne Verzögerung auf den Ausgang gegenüber der Erde (Referenzspannung = 0V). In die Eingänge fließt dabei kein Strom und der Ausgang kann beliebig viel Spannung und Strom abgeben.

Damit ein OP sinnvoll genutzt kann, muss er mit zusätzlichen Bauteilen beschaltet werden. Dabei spielt die Rückkopplung vom Ausgang zum invertierenden Eingang eine wichtige Rolle.

Nachfolgend wird die Rückkopplung an einem realen OP mit nicht ganz idealen Eigenschaften gezeigt. Er benötigt zudem eine Spannungsversorgung von typisch  $\pm 15V$ .



$$U_A = U_D \cdot V_0$$

$$U_A = (U_E - U_A) \cdot V_0$$

$$U_A = U_E / (1 + 1/V_0)$$

$$U_A = U_E \quad U_D = 0V \quad (\text{für } V_0 \gg 1)$$

Abbildung 2: realer OP mit direkter Rückkopplung

Das ist die einfachste Beschaltung eines OP (Spgs.-Verstärkung  $V=1$ ).

Bei funktionierender Rückkopplung beträgt die Spannungsdifferenz der beiden Eingänge praktisch Null Volt, da die Leerlaufverstärkung sehr gross ist (z.B.  $10^6$ ). Dies ist sehr nützlich um OP-Schaltungen zu verstehen und Berechnungen anzustellen.

Für einen realen Op gibt es einige Einschränkungen, die in einem Datenblatt festgehalten sind. Je nach Anwendung gibt es verschiedene Typen. Für die folgenden Versuche wird der CA3140E verwendet (Googlesuche: CA3140 Datasheet QSL pdf).

Weiterführende Informationen und Übungen im Buch: Operationsverstärker von Joachim Federau im Kapitel 1+7.

Auch zu empfehlen ist die Wikipediaseite, auf der unterschiedliche Bauformen und Schaltungsbeispiele detailliert beschrieben sind. Im Versuch wird der normale spannungsverstärkende OP behandelt. (<https://de.wikipedia.org/wiki/Operationsverstärker>)

## 2.2 Grundlagen Oszilloskop und Funktionsgenerator

Das Oszilloskop stellt den zeitlichen Verlauf von elektrischen Spannungen auf einem Bildschirm dar.

Die älteren analogen Oszilloskope (Kathodenstrahl Oszillograph, KO) arbeiten mit einem fokussierten Elektronenstrahl der wiederholt von links nach rechts über einen Phosphorschirm geführt wird, und von der Mess-Spannung vertikal abgelenkt, ein nachleuchtendes Bild auf dem Schirm hinterlässt. Sie sind nur für sich zeitlich wiederholende Signale geeignet, haben dafür aber eine sehr rasche Reaktion und eine stufenfreie Anzeige.

Digitaloszilloskope digitalisieren mit sehr schnellen AD-Wandlern die Mess-Spannung und stellen das Resultat auf einem Videodisplay dar. Gegenüber den analogen Geräten bieten sie viel mehr Messmöglichkeiten und die Messdaten können auf einen Computer übertragen werden. Auch einmalige Signale können gemessen werden, weil das Bild gespeichert wird. Die analogen Geräte haben zwar noch Vorteile bei der Reaktionsgeschwindigkeit und der Auflösung, verlieren aber immer mehr an Bedeutung.

Die Bedienung der Oszilloskope ist bei beiden Typen sehr ähnlich.

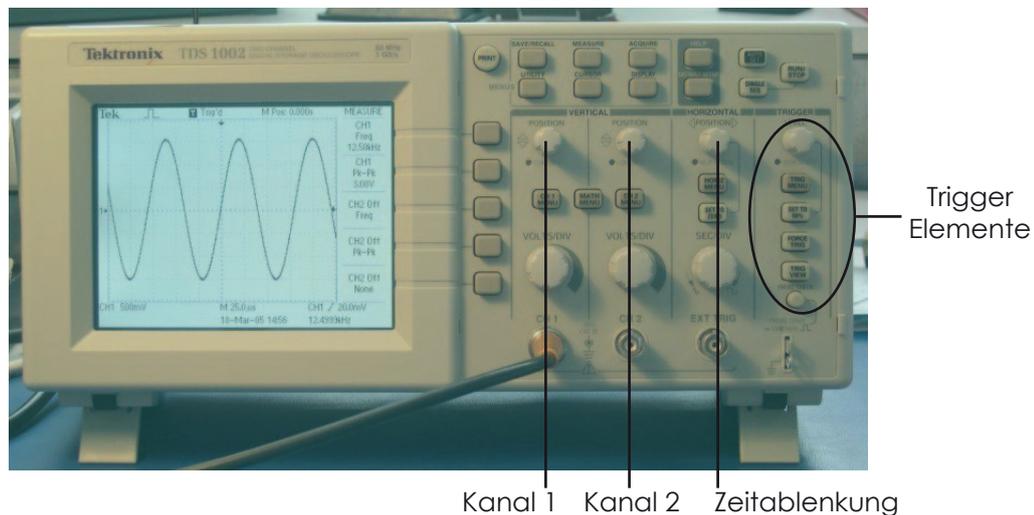


Abbildung 3: Digital-Oszilloskop Hauptbedienungs-elemente

Vertikalelemente:

Die meisten Oszilloskope besitzen 2 Spannungseingänge mit Empfindlichkeitseinstellung (Volt/Division), Position und wählbarer Eingangskopplung (DC, AC, GND). Beim analogen Gerät muss man noch wählen wie die 2 Kanäle gleichzeitig dargestellt werden sollen (alternating oder chopper).

Horizontalelemente:

Die Zeitablenkung ist für beide Kanäle gemeinsam (Zeit/Division).

Damit auf dem Bildschirm ein stehendes Bild erscheint, muss mit dem sogenannten Trigger das repetierende Mess-Signal stets zum richtigen Zeitpunkt gemessen werden. In der Regel genügt dazu der „Auto“-Mode, die Wahl der Flankenrichtung und der Pegel. Für schwierige Fälle können noch weitere Modi (Normal, Single), andere Kopplungsarten, oder ein externes Triggersignal gewählt werden.

Weitere Infos sind unter <https://de.wikipedia.org/wiki/Oszilloskop> zu finden.

Der Funktionsgenerator ist ein wichtiges Gerät um elektronische Schaltungen zu testen. Er liefert am Ausgang einfache periodische Spannungsfunktionen (Kurvenformen: Sinus, Dreieck, Rechteck), welche in Frequenz und Amplitude eingestellt werden können. Zudem lässt sich der Ausgang meist noch auf verschiedenen Arten modulieren (z.B. Frequenzsweep).

Der hier verwendete Funktionsgenerator arbeitet analog und ist einfach zu bedienen.

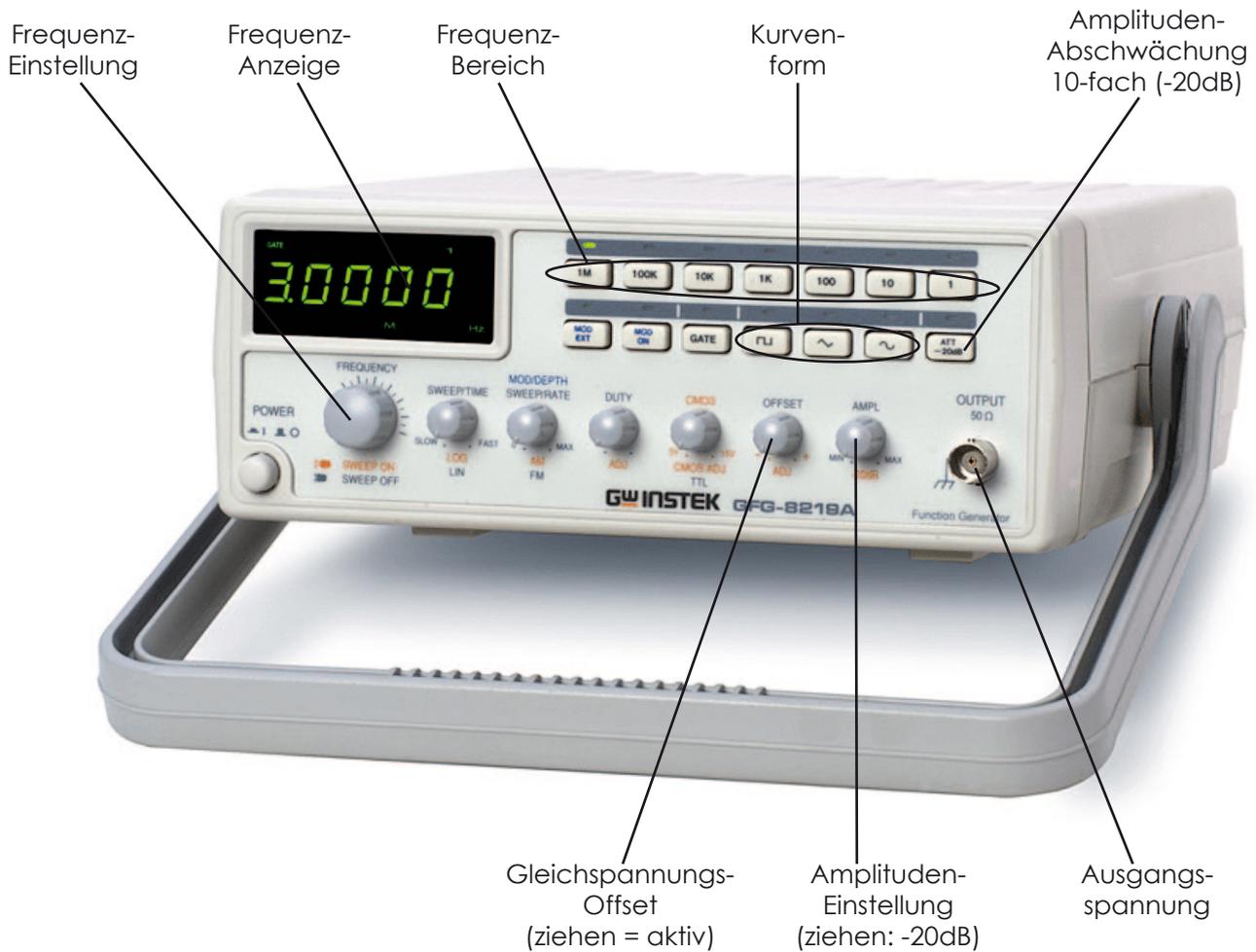


Abbildung 4: Funktionsgenerator mit wichtigen Bedienelementen

**Tipp:**

Wenn sehr kleine Amplitudenwerte eingestellt werden sollen, dann kann man sowohl mit der Taste „ATT -20 dB“ wie durch das Ziehen des Amplitudeneinstellungsknopfes das Ausgangssignal jeweils um den Faktor 10 abschwächen, also insgesamt um den Faktor 100.

## 2.3 Warnhinweise

### **!ACHTUNG!**

Spannungen müssen mit dem Oszilloskop immer gegenüber 0V gemessen werden, weil alle Eingänge am Gerät geerdet sind. Sonst kann es Kurzschlüsse zur Folge haben!

Verwenden Sie zum Herausziehen eines Operationsverstärkers aus dem Steckbrett einen kleinen Schraubenzieher den Sie seitlich unter das IC (integrated circuit) schieben, damit die Anschlussbeine nicht plötzlich im Finger stecken bleiben.

Bitte versuchen Sie **niemals** mit den Messgeräten (Multimeter, Oszilloskop usw.) die Netzspannung zu messen.

**Bei weiteren Fragen steht der Assistent jederzeit zur Verfügung.**

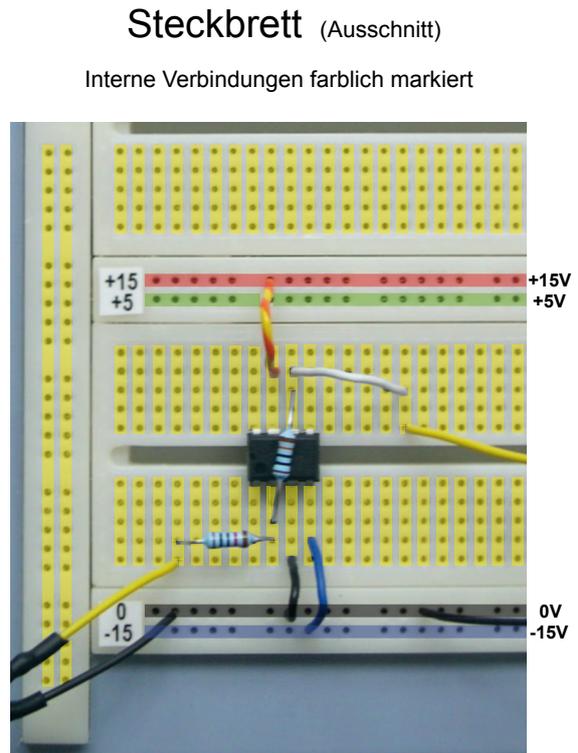
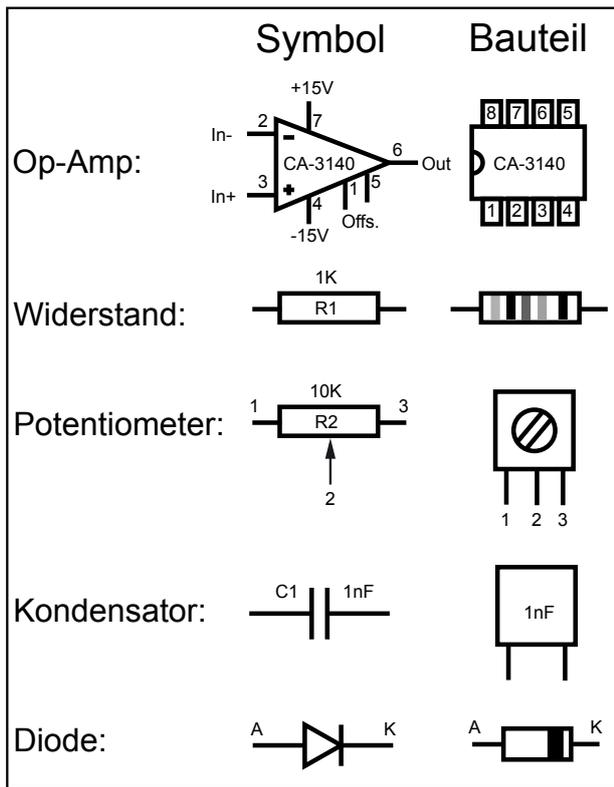
## 3 Versuchsaufbau oder verwendete Materialien

### 3.1 Materialliste

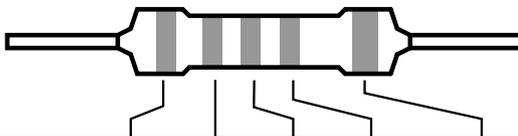
<b>Geräte:</b>	Computer:	Rechts vom Versuch
	Funktionsgenerator:	GW instek GFG-8219A
	Netzgerät:	N1-13 Cool (oder vergleichbar)
	Oszilloskop Analog:	Hameg HM204-2 (Triggereingang Extern verwenden)
	Oszilloskop Digital:	Tektronix TDS1002
	Steckbrett:	K&H SD-35 Solderless Breadboard
	Digitales Voltmeter:	Voltcraft VC160 und gelbes DVM (inkl. Messkabel)
	Werkzeugbox:	1x graue Kunststoff-Schachtel
<b>Kabel:</b>	in Kunststoffkiste gross:	2x BNC-BNC Kabel 1m 2x BNC-Drahtanschluss 1m 2x Bananen-Drahtanschluss 4x Bananenkabel 0.5m (sw, rt, gn, bl) 1x RS232 Kabel (TDS1002)
<b>Bücher:</b>	in Kunststoffkiste gross:	Halbleiter-Schaltungstechnik, Tietze Schenk Operationsverstärker, Joachim Federau Bedienungsanleitung GW instek GFG-8219A Bedienungsanleitung Tektronix TDS1002
<b>CD's:</b>	in Kunststoffkiste gross:	CD1: Tektronix „Open Choice“ CD2: Tietze Schenk
<b>Kleinteile:</b>	Schachtel 1:	Widerstände Trimm-Potentiometer: 10K Kondensatoren
	Schachtel 2:	2x Schraubenzieher (Trimmpoti) 2x BNC T-Adapter 8x CA3140E Operationsverstärker Dioden, Leuchtdioden diverse Verbindungsdrähtchen

Bitte überprüfen Sie am Ende des Versuchs die Vollständigkeit des Materials, Danke!

### 3.2 Hilfsblatt zum Versuchsaufbau



### Widerstands-Farbcode



Farbe	1.Ziffer	2.Ziffer	3.Ziffer	Multiplikator	Toleranz	(T. -Koeff.)
ohne					+/- 20%	
silber				10 <sup>-2</sup>	+/- 10%	
gold				10 <sup>-1</sup>	+/- 5%	
schwarz	0	0	0	10 <sup>0</sup>		200ppm/K
braun	1	1	1	10 <sup>1</sup>	+/- 1%	100ppm/K
rot	2	2	2	10 <sup>2</sup>	+/- 2%	50ppm/K
orange	3	3	3	10 <sup>3</sup>		15ppm/K
gelb	4	4	4	10 <sup>4</sup>		25ppm/K
grün	5	5	5	10 <sup>5</sup>	+/- 0.5%	
blau	6	6	6	10 <sup>6</sup>	+/- 0.25%	10ppm/K
violett	7	7	7	10 <sup>7</sup>	+/- 0.1%	5ppm/K
grau	8	8	8	10 <sup>8</sup>	+/- 0.05%	
weiss	9	9	9	10 <sup>9</sup>		

### Widerstandsreihen - Normwerte

E 6	E 12
100	100
	120
150	150
	180
220	220
	270

E 6	E 12
330	330
	390
470	470
	560
680	680
	820

Werte sind mit ganzzahligen pos. oder neg. Potenzen von 10 zu multiplizieren.

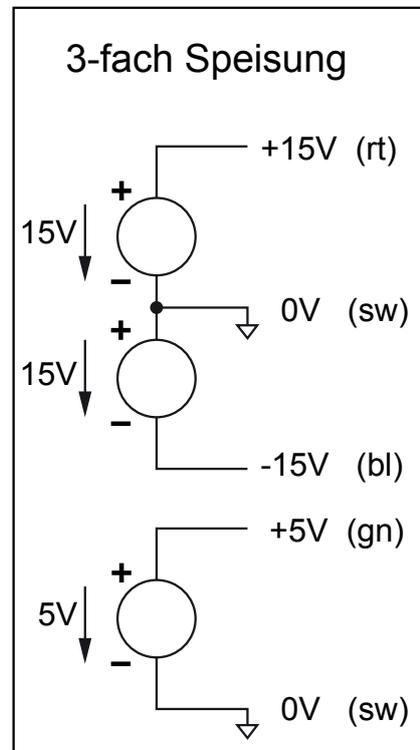


Abbildung 5: Infos zu Bauteilen, Steckbrett und Speisung

### 3.3 Hilfe zum Versuchsaufbau

Zum Aufbau der elektronischen Schaltungen (Aufgaben 2 bis 5) bietet die Abbildung 5 die notwendigen Infos.

Dabei muss die symbolische Darstellung eines elektronischen Schemas in eine Verdrahtung mit realen Bauteilen umgesetzt werden. Ein Schema hilft zwar die Funktion der Schaltung zu verstehen, nützt aber beim Schaltungsaufbau nur indirekt. Für die Verdrahtung ist die Zuordnung der Anschlüsse (Nummern, Bezeichnung) vom Symbol auf das Bauteil wichtig, die man der Tabelle oben links entnimmt. Die farbigen Hinterlegungen beim Steckbrett rechts zeigen wie dessen Anschlüsse intern miteinander verbunden sind.

Der Farbcode der Widerstandswerte ist unten links ersichtlich. Um den Widerstandswert abzulesen, muss der breitere Farbring rechts sein (oder einen grösseren Abstand zu den restlichen Farbringen aufweisen).

Beispiel - Braun, Grau, Schwarz, Rot, breiter Ring braun entspricht:

$$1 \quad 8 \quad 0 \quad * \quad 10^2 = 18 \text{ k}\Omega \text{ (Toleranz } \pm 1\%)$$

**Tipp:** Das Multimeter misst auch Widerstandswerte.

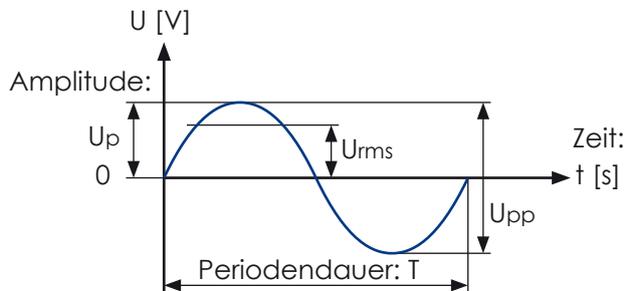
Rechts unten wird der schematische Aufbau der  $\pm 15\text{V}$  Speisung gezeigt. Das Netzgerät muss mit den Bananenkabeln mit den entsprechenden Buchsen beim Steckbrett verbunden werden. Die Spannungsquelle  $+5\text{V}$  wird in diesen Versuchen nicht gebraucht.

**Wichtig:** Das Netzgerät erst nach dem Aufbau und der Kontrolle der Schaltung hinten links einschalten. Bei Fehlfunktion der Schaltung sollte nach einer visuellen Prüfung der Schaltung auch mit dem Multimeter die Spannungswerte der  $\pm 15\text{V}$  Speisung gegenüber  $0\text{V}$  überprüft werden.

## 4. Aufgaben

### 4.1 Aufgabe 1 -> Funktionsgenerator und Oszilloskop

Verbinden Sie den Ausgang des Funktionsgenerators mittels T-Stück und BNC-Kabel jeweils mit dem Kanal 1 des analogen und des digitalen Oszilloskopes. Der Zweck dieses Versuches ist, die Geräte kennenzulernen. Bitte spielen Sie mit den Möglichkeiten der Geräte. Die Aufgabe 1 soll nicht protokolliert werden.



#### Definitionen:

$$f = 1/T$$
$$U_{pp} = 2 * U_p(\text{eak})$$
$$U_{rms} = U_p / \sqrt{2} \text{ (bei Sinus)}$$

Der RMS-Wert erzeugt in einem ohmschen Verbraucher die gleiche Leistung wie der Gleichstromwert.

Abbildung 6: Definition einer Sinusschwingung

- a) Stellen Sie den Generator auf die maximale Amplitude (1kHz Rechteck) und versuchen Sie mit beiden Oszilloskopen ein stehendes Bild zu bekommen (Trigger). Wichtige Triggereinstellungen: Quelle (**Ch1...**), Kopplung (**DC, AC...**), Mode (**Auto/Normal**), Level (drehen), Flanke (steigend oder fallend). Der Triggerzeitpunkt auf dem Schirm ist beim analogen Gerät immer links, beim digitalen einstellbar (Pfeil), aber am Besten in der Mitte (Vorgeschichte sichtbar).

Messen Sie die Amplitude und die Periodendauer. Zu Beachten sind dabei die „V/Division“ (Proben-Faktor = x1) resp. die „Time/Division“ Einstellungen.

**Tipp:** beim digitalen Gerät gibt es im Menü „Measure“ automatische Messungen, oder im Menü „Cursor“ Cursormessungen, welche die Messungen erleichtern. Daten können abgespeichert, und über RS232 auf den Computer übertragen werden. (Programm: Tektronix „Open Choice Desktop“ V1.1).

Einfachere Alternative: Bildschirmfoto mit der Handy-Kamera.

- b) Generieren Sie eine 50kHz Sinusschwingung mit einer AC-Amplitude von 100mV<sub>pp</sub> und einer DC-Offsetspannung von +1V. Skizzieren Sie die Kurve über der Nulllinie.  
**Tipp:** mit Eingangskopplung „AC“ sieht man nur die AC-Komponente.
- c) Versuchen Sie den Generator auf die kleinstmögliche Amplitude zu stellen (ca. 14mV<sub>pp</sub>). f=1kHz / Sinus. (**Tipp:** -20dB entspricht einer Abschwächung durch 10) Welches Oszilloskop bildet sauberer ab?  
Begrenzen Sie beim Digitalscope die Bandbreite im „Ch1-Menü“ auf 20MHz. Spielen Sie mit der „Average-Funktion“ im Menü „Acquire“ des Digitalscopes. Ändern sie die Kurvenform bei eingeschaltetem Average. Was fällt auf?
- d) Messen Sie gleichzeitig auf einem Oszilloskop mit 2 Kanälen. An der Rückseite des Generators befindet sich noch ein Rechteckausgang (TTL-Out). Versuchen Sie einmal sehr tiefe Frequenzen zu messen (z.B. 1Hz). Mit welchem Oszilloskop gelingt das am Besten?

## 4.2 Aufgabe 2 -> Nicht-Invertierender Verstärker

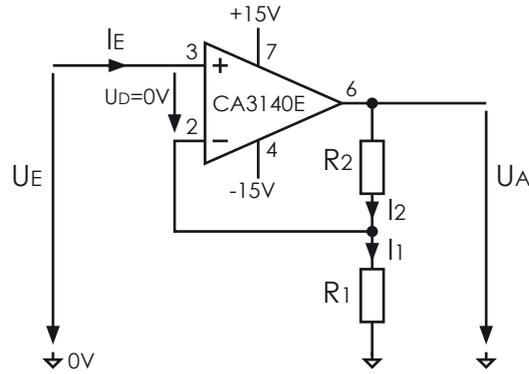


Abbildung 7: Nicht-Invertierender Verstärker

- Leiten Sie die Formel für die Ausgangsspannung  $U_A$  in Funktion von  $U_E$ ,  $R_1$  und  $R_2$  her.  
**Tipp:**  $U_D=0V$ ; Wie gross ist die Spannung über  $R_1$ ?
- Wie gross ist die minimale Spannungsverstärkung  $V_{MIN}$  der Schaltung? ( $V=U_A/U_E$ )  
 Welche Widerstände würden Sie für diese Verstärkung wählen?
- Dimensionieren Sie die Widerstände  $R_1$  und  $R_2$  für eine Verstärkung von 10.  
 Verfügbare Widerstände: 1k 2k 10k 15k 18k 20k 30k 39k 68k 100k 200k 1M.  
**Tipp:**  $I_2$  sollte nicht grösser als  $\pm 1mA$  werden (bei  $U_{Amax} = \pm 10V$ ).
- Bauen Sie die Schaltung auf dem Steckbrett auf und legen Sie den Eingang mit einem Draht auf 0V. Welche Spannung hat  $U_A$  nach dem Einschalten der Speisung?
- Schliessen Sie den Eingang nun an den Funktionsgenerator und kontrollieren sowohl die Ein- wie die Ausgangsspannung der Schaltung mit dem Oszilloskop. Stimmt die Verstärkung?  
**Tipp:** wählen Sie:  $U_E=100mV_p$  (peak Amplitude)  $f=1kHz$  Kurvenform=Sinus
- Lassen Sie die Einstellungen wie in Aufgabe e), aber variieren Sie die Frequenz.  
 Messen Sie den Frequenzgang ( $U_A$  [dB] in Funktion von  $f$  [1kHz bis 1MHz]) und tragen Sie die Kurve für  $V=10$  im logarithmischen Blatt auf Seite 17 ein ( $f$ : 1, 2, 5, 10... genügt).  
**Tipp:**  $U_A[dB] = 20 \cdot \log(U_A/U_E)$  0dB entspricht  $V=1$ , 20dB;  $V=10$ , -40dB;  $V=0.01$  usw.  
 Das Digital-Oszilloskop besitzt übrigens eine Amplitudenmessung (Measure)
- Wie gross ist die Bandbreite der Schaltung? Die Bandbreite ist die Frequenz, bei der die Amplitude auf den Faktor  $1/\sqrt{2}$  gegenüber der gewünschten Amplitude absinkt (Sinus). Zeichnen Sie den Frequenzgang von Aufgabe f) auch in das Diagramm aus dem CA3140 Datenblatt Auszuges auf der Seite 16 ein. Sehen sie den Zusammenhang zwischen der Verstärkung und der Bandbreite?
- Bestimmen Sie die „slew rate“ (max. Anstiegsgeschwindigkeit des Ausgangs) in [V/us] bei  $V=10$ .  
**Tipp:** Wählen Sie  $U_E=400mV_p$ , Rechteckspannung

### 4.3 Aufgabe 3 -> Invertierender Verstärker

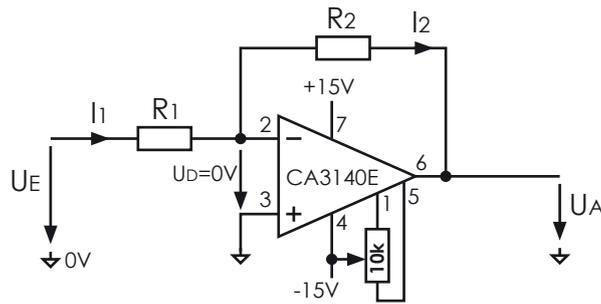


Abbildung 8: Invertierender Verstärker

- Leiten Sie die Formel für die Ausgangsspannung  $U_A$  in Funktion von  $U_E$ ,  $R_1$  und  $R_2$  her.  
**Tip:**  $U_D=0V$ ; Wie gross ist die Spannung über  $R_1$ ? Wohin fliesst  $I_1$ ?
- Wie gross ist die minimale Spannungsverstärkung  $V_{MIN}$  der Schaltung? ( $V=U_A/U_E$ )  
 Welche Widerstände würden Sie für diese Verstärkung wählen? Ist das sinnvoll?
- Dimensionieren Sie die Widerstände  $R_1$  und  $R_2$  für eine Verstärkung von 10 und 100.  
 Verfügbare Widerstände: 1k 2k 10k 15k 18k 20k 30k 39k 68k 100k 200k 1M.  
**Tip:**  $I_1$  sollte nicht grösser als 1mA werden ( $U_{E_{max}}=\pm 10V$ ).
- Bauen Sie die Schaltung auf dem Steckbrett auf (ohne das 10k Potentiometer).  
 Nach dem Anschliessen der Speisung sollte  $U_A$  etwa 0V sein (Eingang offen).  
 Messen Sie die Ausgangsspannung  $U_A$  bei beiden Verstärkungen, sowohl mit offenem Eingang, als auch mit auf 0V geerdetem Eingang.  
 Was stellen Sie fest? Welche Ursache könnte dahinter stecken?  
 Bauen Sie nun das 10k Potentiometer ein und versuchen Sie mit dem Schraubenzieher  $U_A$  auf 0V einzustellen (bei  $V=100$ , Eingang auf 0V geerdet).
- Stellen sie den Funktionsgenerator auf „10mVp / f=1kHz / Sinus“ und schliessen Sie diesen am Eingang der Schaltung an.  
 Messen Sie den Frequenzgang ( $U_A$  [dB] in Funktion von  $f$  [1kHz bis 1MHz]) und tragen Sie die Kurven für  $V=10$  und  $V=100$  im logarithmischen Blatt ein ( $f$ : 1, 2, 5, 10... genügt).  
**Tip:**  $U_A[\text{dB}] = 20 \cdot \log(U_A/U_E)$  0dB entspricht  $V=1$ , 20dB;  $V=10$ , -40dB;  $V=0.01$  usw.  
 Das Digital-Oszilloskop besitzt übrigens eine Amplitudenmessung (Measure)
- Wie gross ist die Bandbreite der Schaltung bei  $V=10$  und  $V=100$ ? Die Bandbreite ist die Frequenz, bei der die Amplitude auf den Faktor  $1/\sqrt{2}$  gegenüber der gewünschten Amplitude absinkt (Sinus). Zeichnen Sie die Frequenzgänge von Aufgabe e) auch in das Diagramm aus dem CA3140 Datenblatt Auszuges auf der Seite 16 ein.  
 Sehen sie den Zusammenhang zwischen der Verstärkung und der Bandbreite?
- Bestimmen Sie die „slew rate“ (max. Anstiegsgeschwindigkeit des Ausgangs) in [V/us] bei  $V=10$ .  
**Tip:** Wählen Sie  $U_E=400\text{mVp}$ , Rechteckspannung

## 4.4 Aufgabe 4 -> Präzisions-Gleichrichter

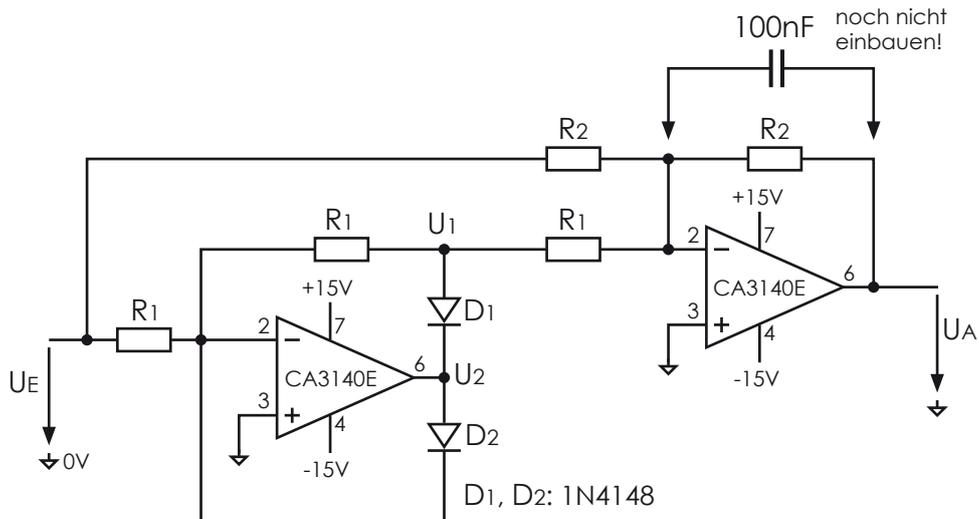


Abbildung 9: Präzisions-Gleichrichter

- Bauen Sie den Präzisionsgleichrichter auf und legen Sie mit dem Funktionsgenerator eine Sinusspannung von etwa 5 Volt an den Eingang. ( $R_1 = 10K$ ,  $R_2 = 20K$ )
- Messen Sie mit dem Oszilloskop  $U_E$ ,  $U_1$ ,  $U_2$ , und  $U_A$  bei  $f=1kHz$  und skizzieren Sie diese in Funktion der Zeit auf. (DC-Offset vorher am Funktionsgenerator ausgleichen)
- Wiederholen Sie die Messung b) mit Skizze, jedoch bei  $f=100kHz$ . Was könnte für die Signalverschlechterung verantwortlich sein?
- Schalten Sie parallel zum Rückkopplungswiderstand  $R_2$  des Ausgangsverstärkers eine Kapazität von  $100nF$  und spielen Sie etwas mit der Frequenzeinstellung. Was stellen Sie fest?  
Berechnen Sie den arithmetischen Mittelwert einer gleichgerichteten Sinusschwingung und vergleichen Sie diesen mit der Ausgangsspannung.

Weiterführende Informationen und Übungen im Buch: Halbleiter-Schaltungstechnik von Tietze Schenk Kapitel 20.3.1 (S. 1081-1083).

## 4.5 Aufgabe 5 -> Oszillator

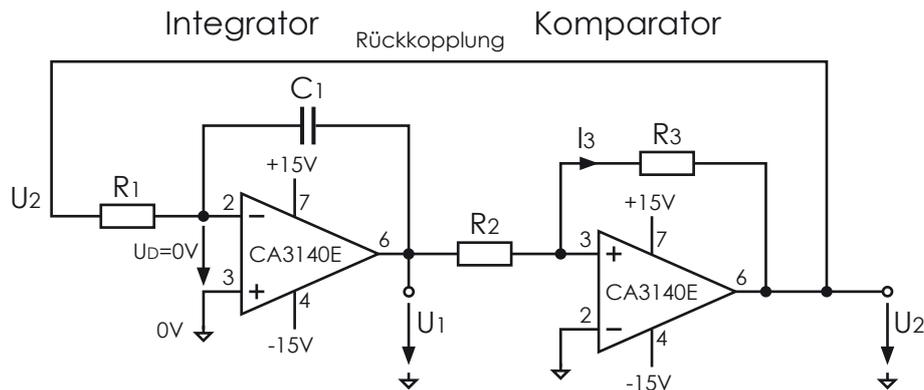


Abbildung 10: Oszillator

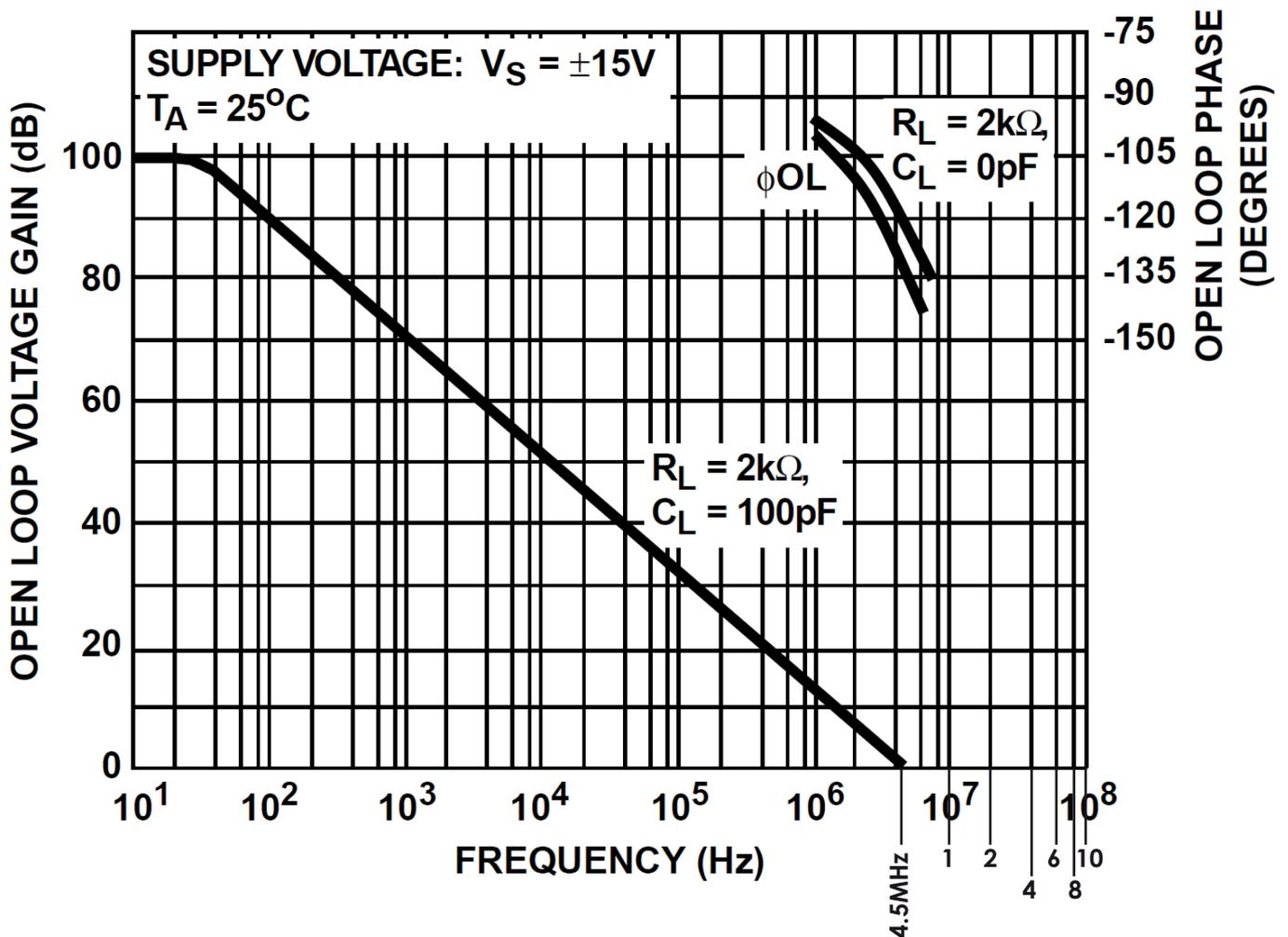
- a) Der OP rechts ist als Komparator geschaltet; erkennbar an der positiven Rückkopplung. Liegt am + Eingang eine etwas positivere Spannung als am - Eingang an, so geht der Ausgang wegen der hohen Leerlaufverstärkung in den positiven Anschlag (knapp +15V) und zieht den + Eingang über R3 noch stärker in den positiven Bereich. Bei negativer Spannung ist alles umgekehrt. Dimensionieren Sie R2 und R3 des Komparators damit er erst bei U1 von etwa +/-10V den Ausgang schaltet (I3 soll max. etwa 1mA betragen).
- b) Bauen Sie **nur** den Komparator auf, und testen sie die Schaltpunkte mit dem Funktionsgenerator (Sinus oder Dreieckspannung mit DC-Offset verwenden). Warum sind die Beträge der beiden Schaltpunkte ungleich? Wie können Sie das mit dem Einbau einer roten Leuchtdiode ausgleichen (UD=1.6V, langes Bein = Anode)?
- c) Der OP links ist als invertierender Integrator geschaltet. Leiten Sie die Formel für U1 in Funktion von U2, R1, C1 und t her.  
**Tipp:** Bei einem Kondensator gilt:  $U_c = (1/C) \cdot \int I_c \cdot dt$  (ohne Anfangsladung)
- d) Überlegen Sie sich wie die Schaltung des Oszillators funktioniert. Skizzieren Sie U2 und U1 in Funktion von t. Wie gross ist die Amplitude von U1 bzw. U2? Dimensionieren sie R1 (C1=1nF), damit der Oszillator mit 10kHz schwingt.  
**Tipp:** Lösen Sie das Integral von c) für einen Zeitabschnitt während U2 konstant ist.
- e) Bauen Sie den Integrator auf, und testen Sie ihn zuerst **alleine** mit dem Funktionsgenerator aus. Warum scheint der Integrator nicht so richtig zu funktionieren?
- f) Hängen Sie nun die vollständige Schaltung zusammen, so wie oben abgebildet. Messen und skizzieren Sie nun U1 und U2 in Funktion der Zeit. Stimmen die Kurven mit d) überein? Stimmt auch die Frequenz und die Amplitude von U1?
- g) Halbieren Sie den Wert von R2. Wie wirkt sich das auf Amplitude und Frequenz von U1 aus? Welches andere Bauteil müssen Sie wie ändern, damit die Frequenz wieder auf 10kHz zurückkehrt, ohne dabei die Amplitude zu verändern?

Weiterführende Infos und Übungen im Buch: Operationsverstärker von Joachim Federau im Kapitel 4.71 + Halbleiter-Schaltungstechnik, Tietze Schenk Kapitel 14.5.2 (S. 892).

## 6. Anhang: Aufzeichnungsblätter zu Aufgaben 2 und 3

Auf dieser Seite ist der Frequenzgang des nicht gegengekoppelten CA3140 aus dem Datenblatt kopiert. Die Frequenzachse wurde noch etwas ergänzt. Es zeigt den Zusammenhang der maximalen Bandbreite einer Verstärkerschaltung in Abhängigkeit zu der Verstärkung.

Auf der nächsten Seite befindet sich ein doppelt logarithmisches Aufzeichnungsblatt in das der Frequenzgang der Aufgaben 2 und 3 eingezeichnet werden kann.



**FIGURE 6. OPEN LOOP VOLTAGE GAIN AND PHASE vs FREQUENCY**

Abbildung 11: Frequenzgang CA3140 „open loop“ (zu Aufgaben 2+3)

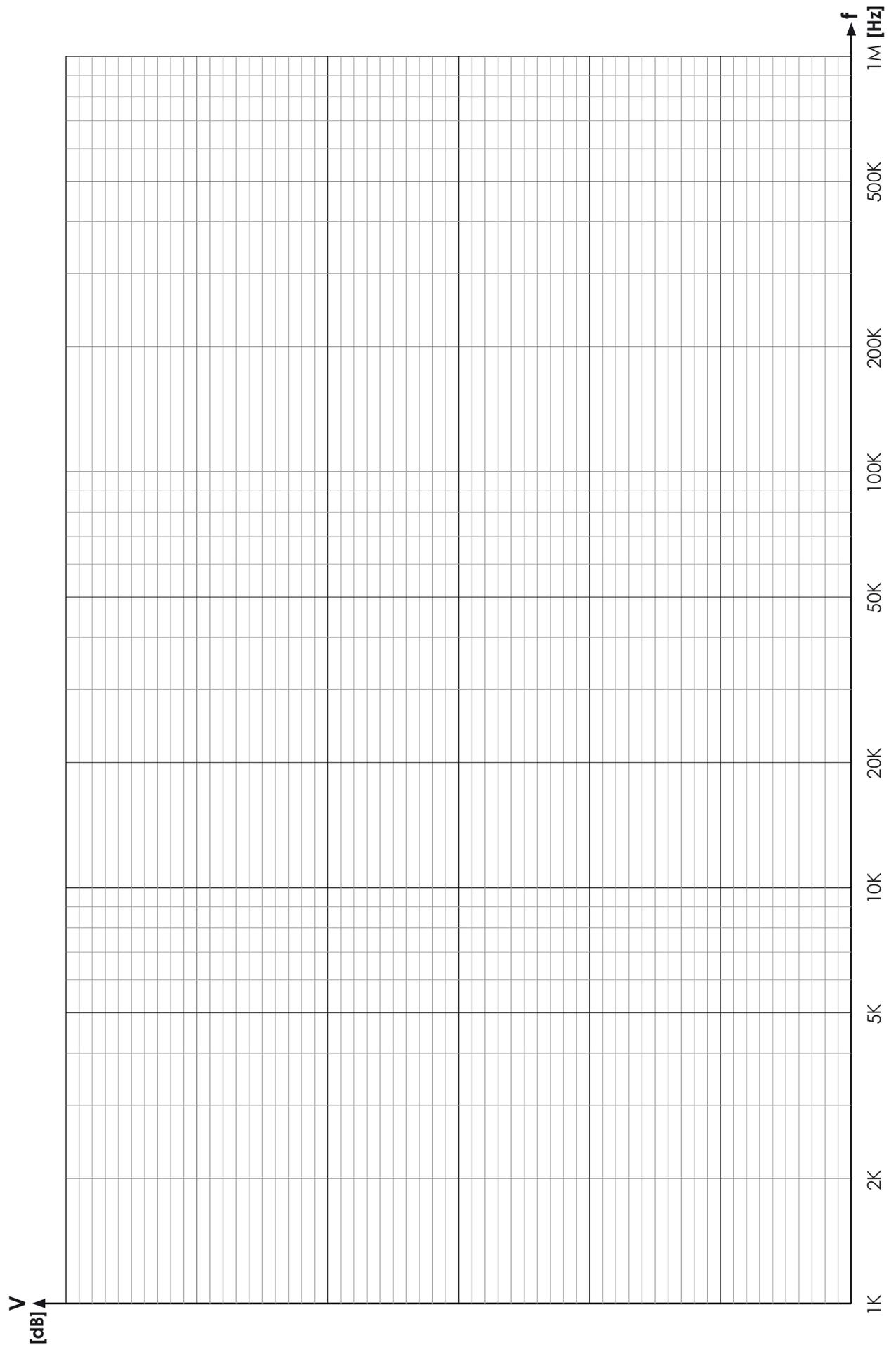


Abbildung 12: Doppelt logarithmisches Aufzeichnungsblatt (zu Aufgaben 2+3)

## **5 Appendix / Kontakt**

Bei weiteren Fragen zum Experiment oder weiteren Quellen zur Theorie steht Assistent

**Andreas Tonin**  
**andreas.tonin@unibas.ch**  
**Raum 2.21**

gerne zur Verfügung.