



Institut für Elektrische Messtechnik  
und Messsignalverarbeitung



## Elektrische Messtechnik, Labor

Rechnerunterstützte Erfassung und Analyse von Messdaten

Studienassistentin/Studienassistent	Gruppe	Datum	Note
Matthias Rath	21	23.04.15	1

# 1 Überprüfung der Funktionalität der Datenerfassung

## 1.1 Aufgabenstellung

Der Temperaturfühler des *BNC – 2120* wird über den Kanal 0 eingelesen und mit Hilfe eines Virtuellen Instrumentes in entsprechende Temperaturwerte skaliert. Danach wird die Temperatur am Frontpanel sowohl als Wert als auch als Graph ausgegeben. Bei der eingebauten Temperaturmessung entsprechen  $0^{\circ}\text{C}$  exakt  $0\text{ mV}$  und eine Temperaturänderung von  $1\text{ K}$  hat eine Spannungsänderung von  $10\text{ mV}$  zur Folge.

Im zweiten Teil der Aufgabe werden über den analogen Ausgang CH 0 Spannungen von  $0\text{ V}$  bis  $9.5\text{ V}$  in  $0.5\text{ V}$  Schritten mit einer Ausgaberate von  $50\text{ ms}$  ausgegeben. Die Ausgangsspannung soll mit dem Oszilloskop überprüft werden.

## 1.2 Diagramme

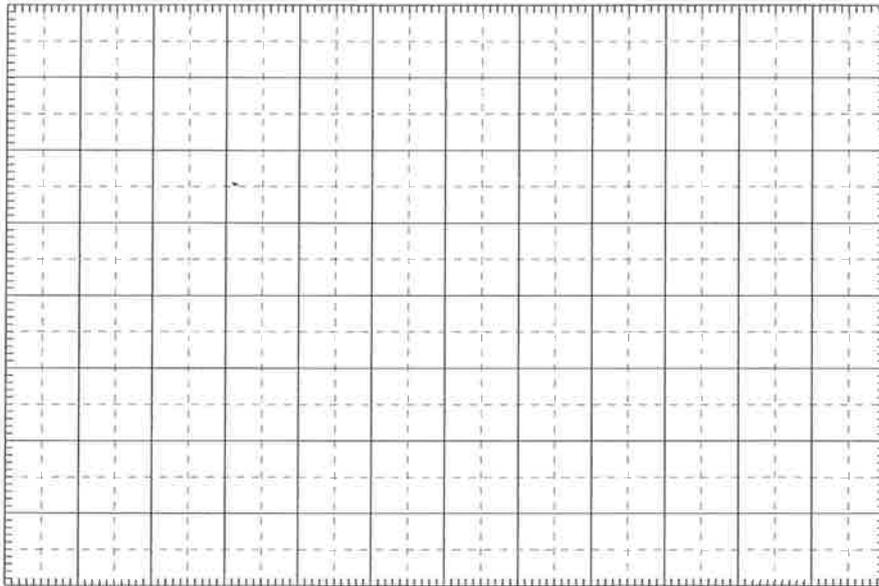


Abbildung 1: Skizze der ausgegebenen Treppenfunktion am Oszilloskop

### 1.3 Messwerte und Tabellen

Tabelle 1: Eingestellte, gemessene und berechnete Werte zu Übung 1.

	eingestellt	gemessen	berechnet	
Messwert Nr.	K	$U_T$	T	
	$\frac{C}{V}$	V	$^{\circ}C$	
Raumtemp.	1	100	0,214844	21,4844
Fingerkuppe	2	100	0,24707	24,707

### 1.4 Formeln und Berechnungsbeispiele

Berechnung des Multiplikators  $K$  zur Temperaturskalierung

Berechnung anhand Messwert 1

$$\frac{dU}{dT} = 10 \frac{mV}{K} \rightarrow dU = 10 \frac{mV}{K} dT \rightarrow U = 10 \frac{mV}{K} T + c \quad \text{mit } U \stackrel{!}{=} 0 \quad \text{für } T = 0^{\circ}C \quad \text{folgt } c = 0$$

$$\rightarrow T = \frac{1}{10} U \cdot \frac{C}{V} = 100 \cdot U \cdot \frac{C}{V} = 100 \cdot 0,214844 V \cdot \frac{C}{V} =$$

$$= \underline{\underline{21,4844 V}}$$

Überlegungen zur Genauigkeit des ADCs

$$\Delta U = \frac{U_{max} - U_{min}}{FSR} \quad \text{wobei } FSR = 2^n \quad \text{mit } n = \text{Anzahl der Bits} = 12 \text{ Bit}$$

$$\Delta U = \frac{0,8V - (-0,8V)}{2^{12}} = 3,90625 \cdot 10^{-4} V = \underline{\underline{0,390625 mV}}$$

$$\Rightarrow \Delta T = \frac{1}{10} \cdot \frac{\Delta U \frac{C}{mV}}{\frac{mV}{10}} = \frac{1}{10} \cdot 0,390625 mV \cdot \frac{C}{mV} = \underline{\underline{0,0390625 C}}$$

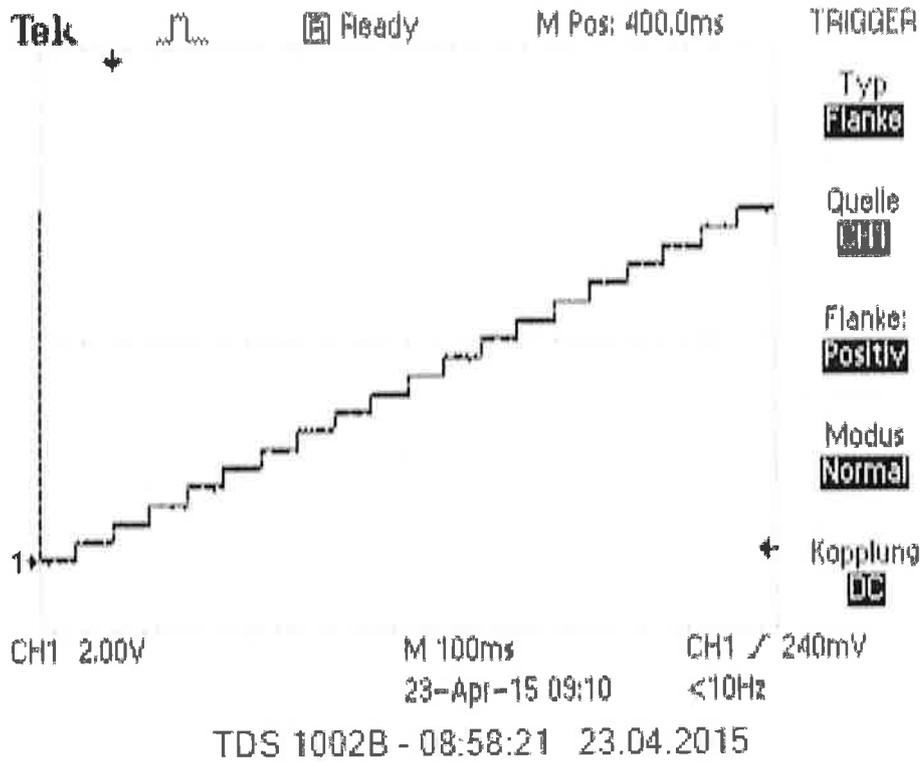


Abbildung 1: Aufnahme der ausgegebenen Treppenfunktion am Oszilloskop ✓

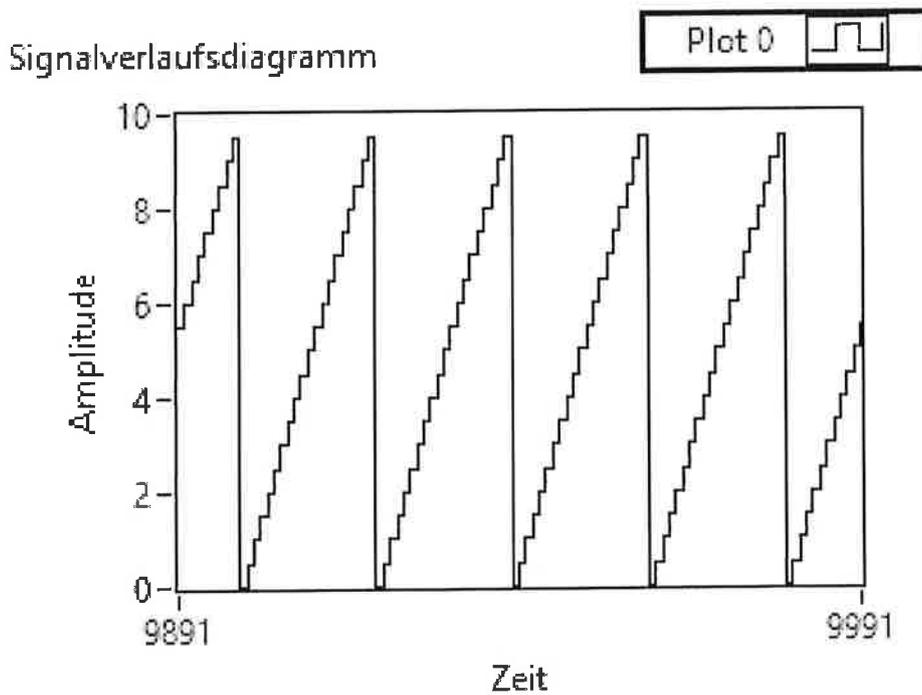


Abbildung 2: Diagramm der Treppenfunktion aus LabView ✓

## 1.5 Geräteverzeichnis

Tabelle 2: Verwendete Geräte und deren Eigenschaften

Gerät	Beschreibung	Eigenschaften
Anschlussblock	NI BNC 2120	-
Datenerfassungskarte	PCI-MIO-16E-1	-
Oszilloskop	Tektronix TDS 1002B	2 Kanal 60MHz
Multimeter		

## 1.6 Anmerkungen und Diskussion

- Wie haben Sie die Abtastrate für die Temperaturmessung gewählt? Begründen Sie Ihre Wahl.
- Wie muss die Skalierung gewählt werden?
- Wie wirkt sich der Quantisierungsfehler des ADCs aus?
- Welchen Eingangsspannungsbereich haben Sie gewählt?

- a) In diesem Beispiel wurde eine Abtastrate von 100ms gewählt. Allgemein gilt: Die Abtastrate sollte entsprechend dem Anwendungsfall ~~gewählt~~ (sinnvoll) gewählt werden ✓
- b) Die Skalierung sollte entsprechend des Anwendungsfalles gewählt werden. In unserem Fall (Temperaturmessung) wird ein Messbereich von  $-80^{\circ}\text{C}$  bis  $80^{\circ}\text{C}$  gewählt.  $\Rightarrow \Delta V \Rightarrow \Delta C$  ✓
- d) Daraus folgt ein Spannungsbereich von  $-0,8\text{V}$  bis  $0,8\text{V}$  mit  $(10 \frac{\text{mV}}{\text{bit}})$ . ✓
- c) Der Quantisierungsfehler wirkt sich mit einem Quantisierungsrauschen aus, i.e. das Messsignal springt hin und her bei einem Schwellwert des ADC. ✓

## 2 Aufnahme einer Diodenkennlinie

### 2.1 Aufgabenstellung

Mit Hilfe der Datenerfassungskarte soll die Kennlinie einer Diode aufgenommen werden. Dabei gilt es die Abhängigkeit des Diodenstromes  $I_D$  von der Diodenspannung  $U_D$  messtechnisch zu erfassen. Erstellen Sie ein Programm mit dessen Hilfe Sie den gesuchten Verlauf bestimmen können. Erstellen Sie eine Messreihe indem Sie den Diodenstrom bei verschiedenen Diodenspannungen bestimmen. Stellen Sie anschließend die Diodenkennlinie graphisch dar.

### 2.2 Schaltung

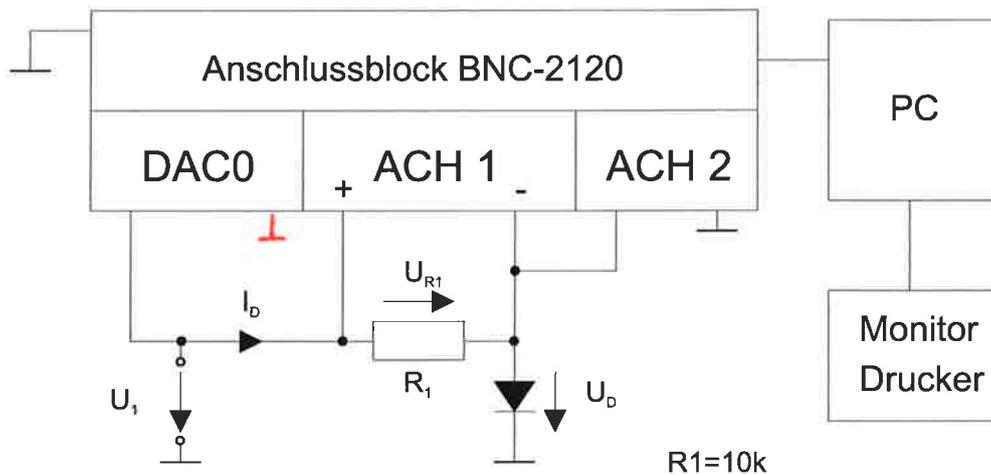


Abbildung 2: Schaltung zur Aufnahme einer Diodenkennlinie

### 2.3 Formeln und Berechnung

Diodenstrom: Für die Berechnung wird der ~~Maximalwert~~ <sup>beispielweise  $U_{R1} = 2V$</sup>  verwendet

$$I_D = \frac{U_{R1}}{R_1} = \frac{2V}{10k\Omega} = \frac{2V}{10 \cdot 10^3 \Omega} = \underline{\underline{0,2 mA}}$$

## 2.4 Diagramme

Abbildung Nr.	Inhalt
	Abhängigkeit des Diodenstromes von der Di- odenspannung
3	mit GS - Schalterstellung
4	mit FS - v -

## 2.5 Geräteverzeichnis

Tabelle 3: Verwendete Geräte und deren Eigenschaften

Gerät	Beschreibung	Eigenschaften
Anschlussblock	NI BNC 2120	-
Datenerfassungskarte	PCI-MIO-16E-1	-
Diode	Transistor Laborbox	BE-Übergang als Diode

## 2.6 Anmerkungen und Diskussion

- Welche Signalquellen finden Sie vor?
- Wie muss die Beschaltung der Datenerfassungskarte konfiguriert werden?
- Was passiert bei falsch konfigurierter Beschaltung?

Warum ist FS/GS wichtig? :

- ▷ (Die Gleichrichterspannung ...) definiert das Potential zwischen der FS und dem Versorgungspotential des OPVs.
- ▷ Damit die Eingangsruhestrom der Eingangsstufe am OPV fließen kann.
- a) Es gibt FS (Floating Source, Bsp. Batterie) und GS (Grounded Source, Bsp. Funktionsgenerator)
- b) Wir verwenden ein GS-Signal, deshalb muss ~~es~~ so eingestellt werden, dass ~~es~~ auf GS konfiguriert werden.
- c) (Siehe Abbildung 4) Es wird <sup>5</sup> das Messobjekt verfälscht geändert (R<sub>in</sub> U<sub>0</sub>).

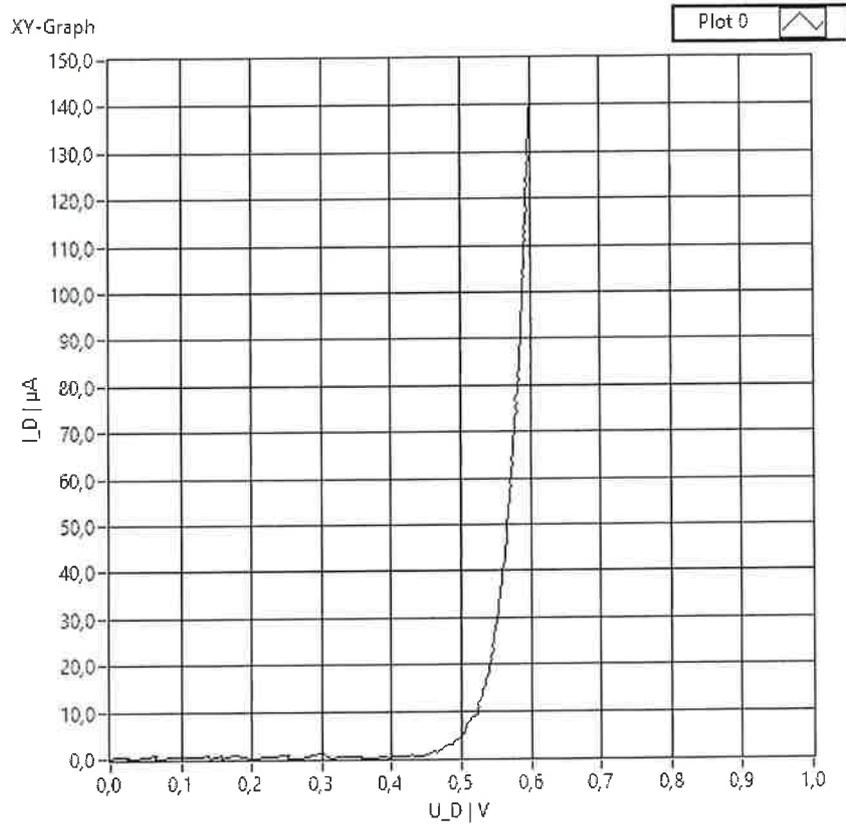


Abbildung 3: Aufnahme der Diodenkennlinie mit Grounded Source - Schalterstellung ✓

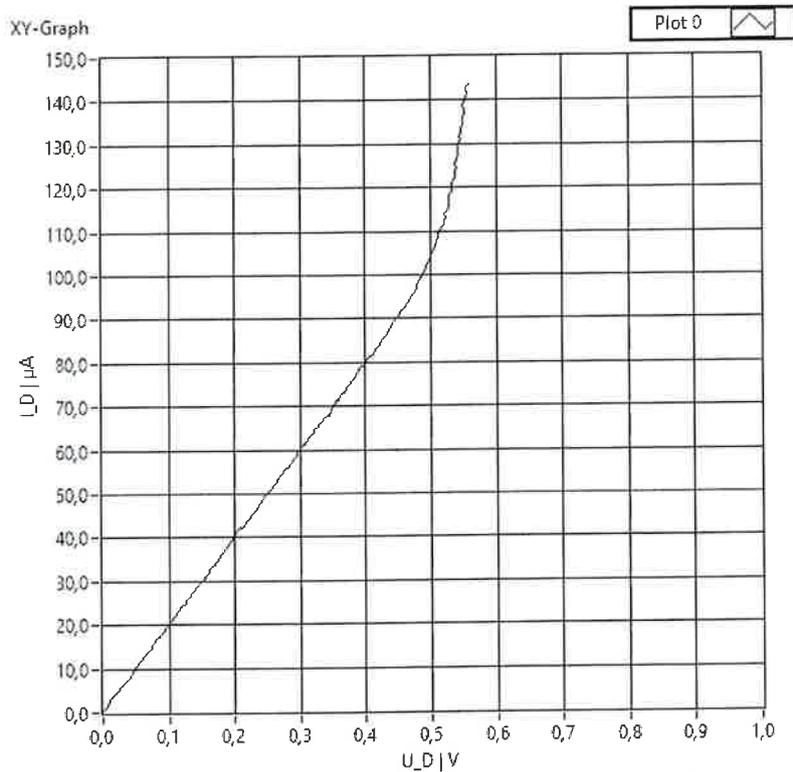


Abbildung 4: Aufnahme der Diodenkennlinie mit Floating Source - Schalterstellung ✓

### 3 Aufnahme eines Spannungssignales, Demonstration des Aliasing-Effektes

#### 3.1 Aufgabenstellung

Erzeugen Sie mit Hilfe eines Funktionsgenerators ein Signal und nehmen Sie dieses mit Hilfe der Datenerfassungskarte auf. Untersuchen Sie folgende Konfigurationen und stellen Sie jeweils den zeitlichen Verlauf sowie das Betragsspektrum graphisch dar. Diskutieren Sie die jeweiligen Fragestellungen.

1. Erzeugen Sie ein Sinussignal mit einer Frequenz von ca. 1 kHz. Wählen Sie die Abtastfrequenz so, dass sie deutlich über der doppelten Signalfrequenz liegt.
2. Erhöhen Sie die Signalfrequenz langsam bis zur Abtastfrequenz. Wie ändert sich dabei das dargestellte Betragsspektrum?
3. Wählen Sie wieder eine Signalfrequenz unterhalb der maximal zulässigen Frequenz für die Vermeidung von Aliasing. Erhöhen Sie die Frequenz langsam, bis sie knapp *unter* der halben Abtastfrequenz steht. Wie sieht das Signal jetzt im Zeitbereich aus? Wird noch korrekt abgetastet? Wie kann das Signal wieder rekonstruiert werden?

Diskutieren Sie auch welche Effekte bei Dreieck- und Rechtecksignalen in Zusammenhang mit Aliasing auftreten.

#### 3.2 Diagramme

Abbildung Nr.	Inhalt
5	Zeitlicher Signalverlauf zu Punkt 1
6	Betragsspektrum zu Punkt 1 (linear)
4	(Zeitlicher Signalverlauf zu Punkt 2)
8	(Betragsspektrum zu Punkt 2)
7	Zeitlicher Signalverlauf zu Punkt 3
8	Betragsspektrum zu Punkt 3 (linear)
9	zeit. SV $\propto$ Rechteck-S. (gefiltert)
10	Betr.-spektrum " - (linear)

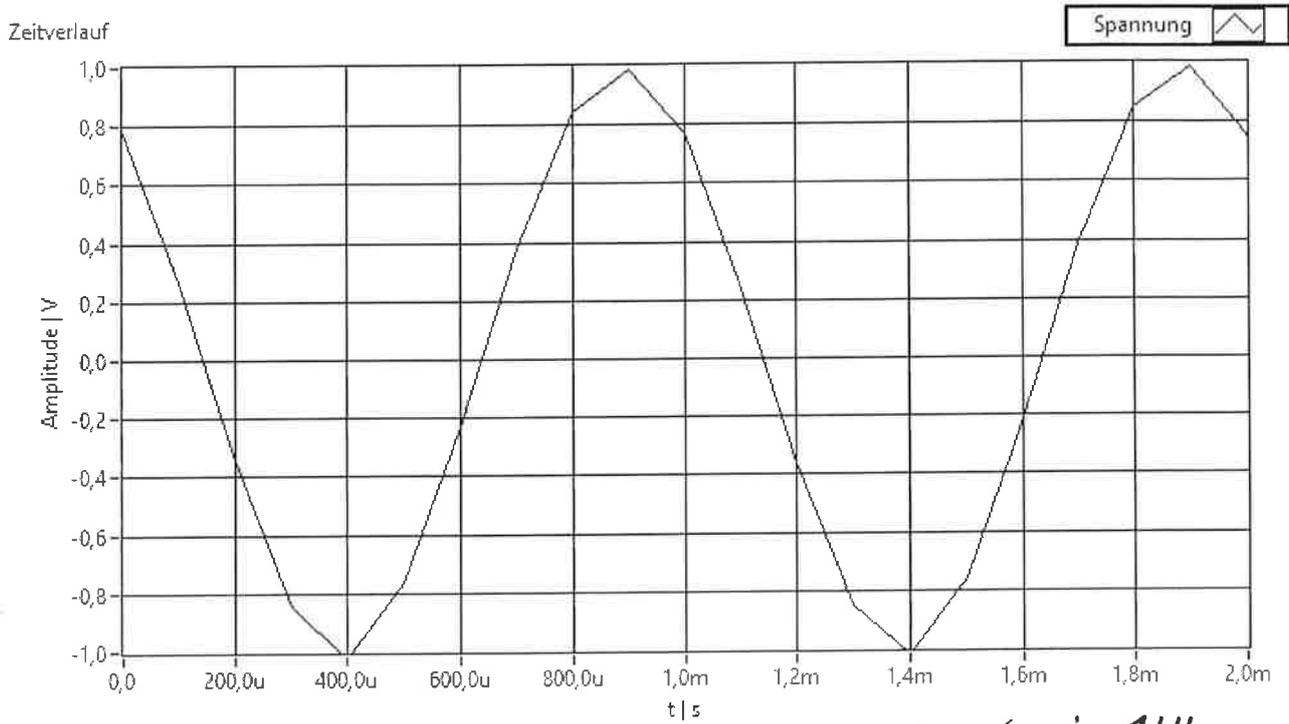


Abbildung 5: Zeitlicher Signalverlauf zu Punkt 1 ✓  $\sin 1\text{kHz}$

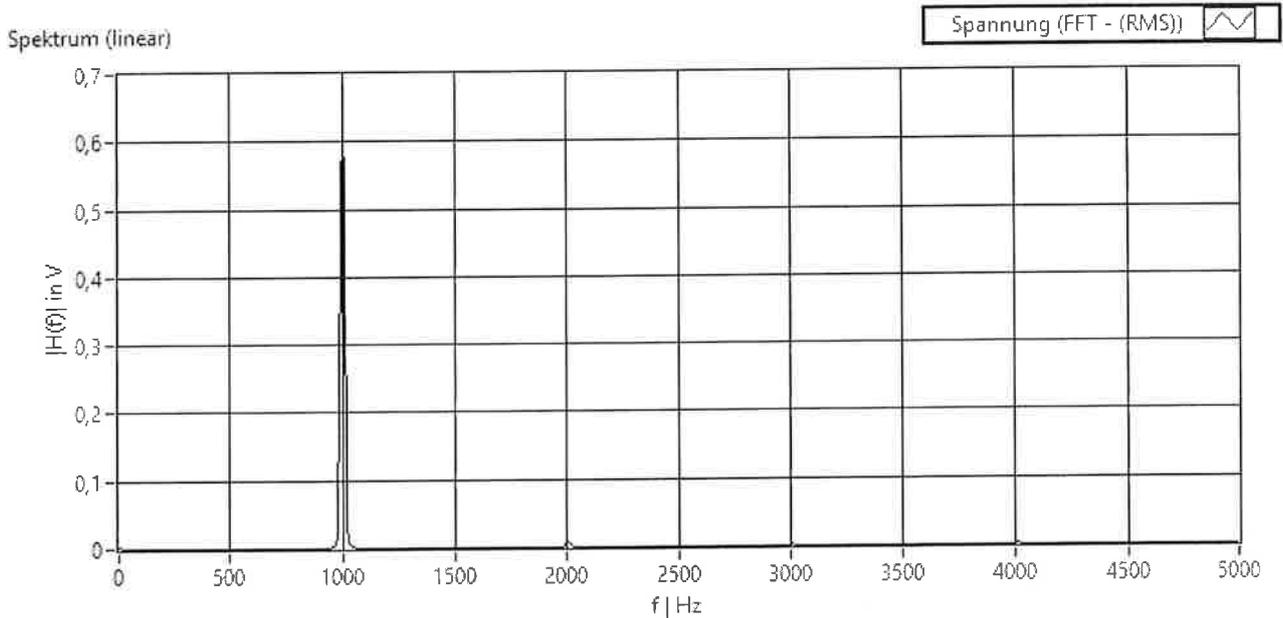


Abbildung 6: Betragsspektrum zu Punkt 1 ✓ - r -

Zeitverlauf

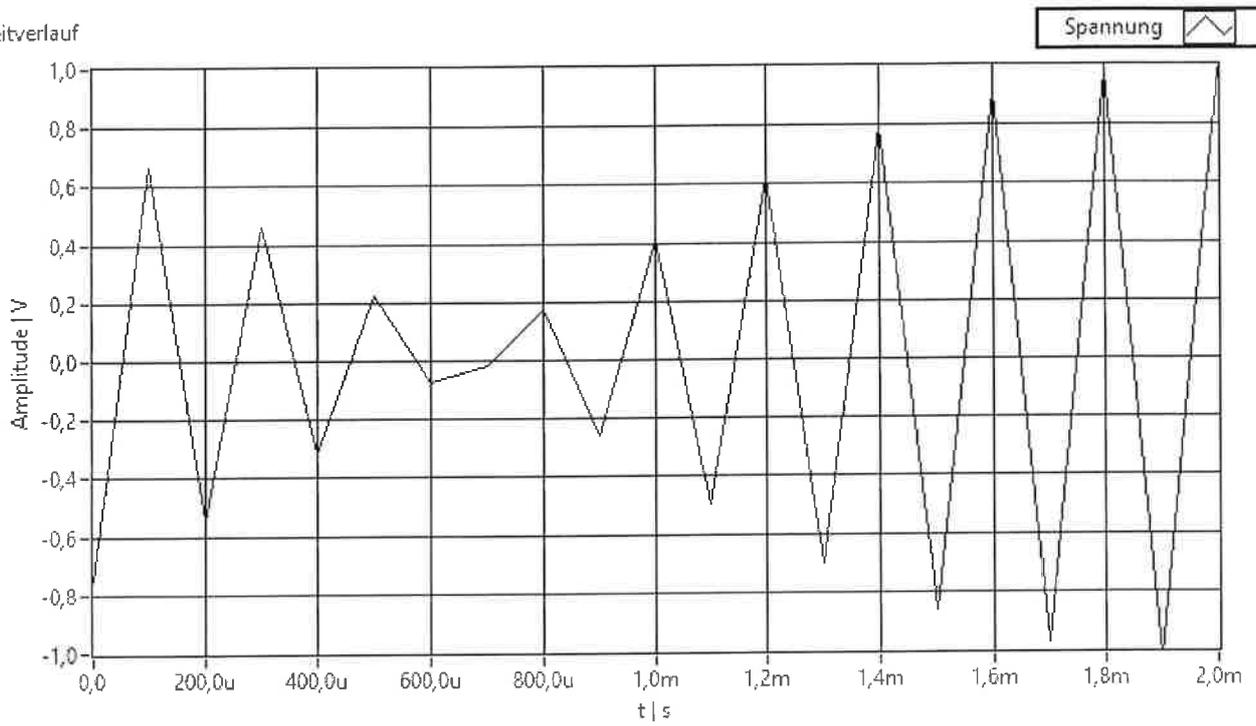


Abbildung 7: Zeitlicher Signalverlauf zu Punkt 3

$\sin 4,8 \text{ kHz}$

Spektrum (linear)

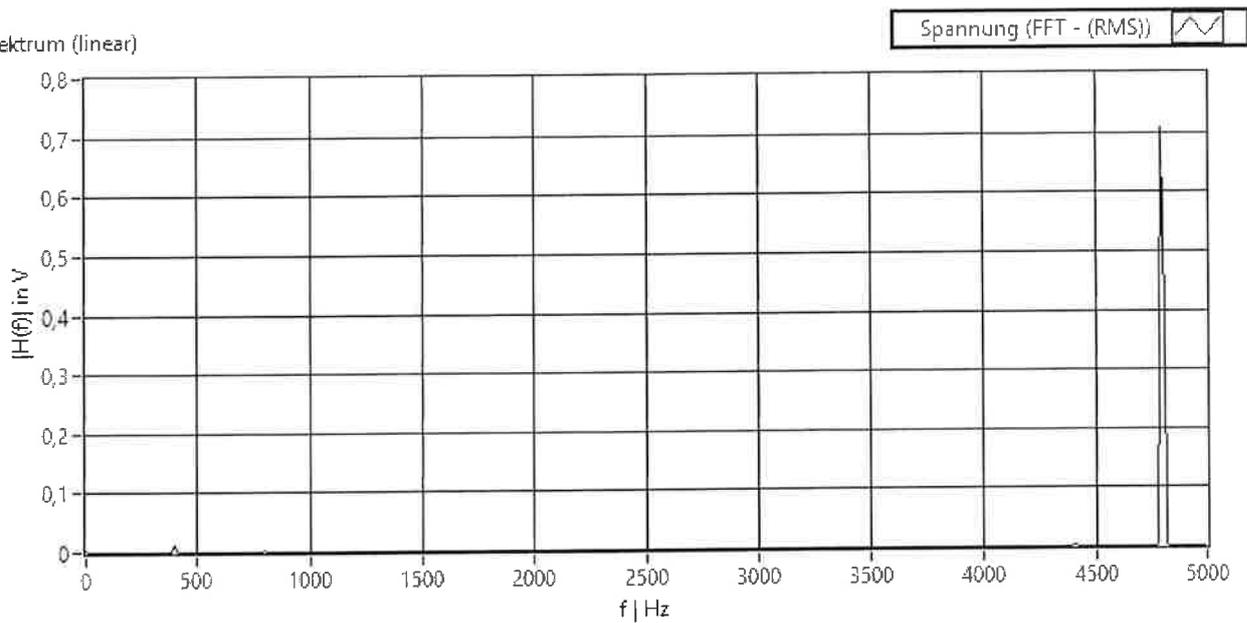


Abbildung 8: Betragsspektrum zu Punkt 3

Zeitverlauf

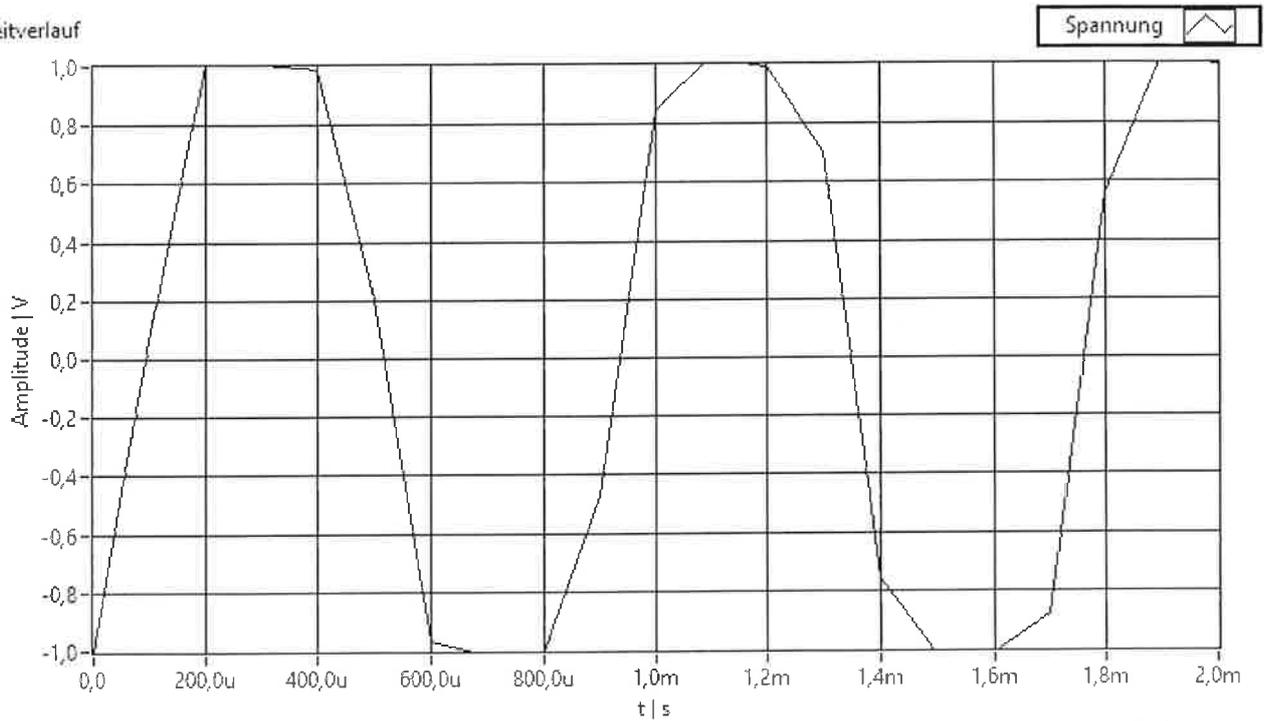


Abbildung 9: Zeitlicher Signalverlauf eines gefilterten Rechtecksignals  $1,2 \text{ kHz}$   
Filter  $f_g = 3 \text{ kHz}$

Spektrum (linear)

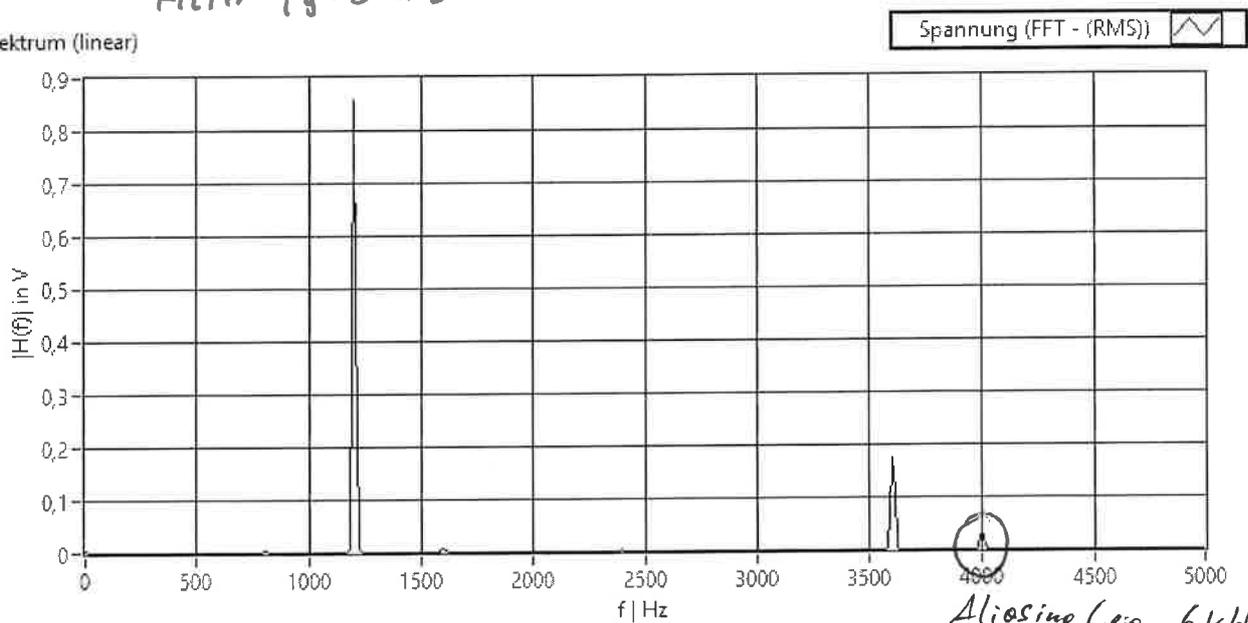


Abbildung 10: Betragsspektrum vom gefilterten Rechtecksignal  
Aliasing (esp.  $6 \text{ kHz}$ ) ✓

### 3.3 Geräteverzeichnis

Tabelle 4: Verwendete Geräte und deren Eigenschaften

Gerät	Beschreibung	Eigenschaften
Anschlussblock	NI BNC 2120	—
Datenerfassungskarte	PCI-MIO-16E-1	—
Funktionsgenerator	digimess FG100	—
Tiefpassfilter	Laborbox	$f_g = 3 \text{ kHz}$ ✓

### 3.4 Diskussion

1)2) Wenn die Signalfrequenz bis zur Abtastfrequenz erhöht wird, ist ersichtlich, dass Aliasing auftritt. Das bedeutet: Die Peaks im Betragsspektrum wandern zwischen 0 und der halben Abtastfrequenz hin und her. wenn  $f_{\text{signal}} > f_{\text{abtast}} / 2$

3) Wird die Signalfrequenz bis knapp unter die halbe Abtastfrequenz erhöht, so lässt sich beobachten, dass eine Verzerrung auftritt. Mit der sinc-Interpolation lässt sich das Signal rekonstruieren. Die Verzerrung tritt durch die lineare Interpolation auf. ✓

↳ Effekte bei Dreieck- und Rechtecksignalen: Da Dreieck- und Rechtecksignale Oberschwingungsanteile besitzen, verletzen

(mehr oder weniger viele) Oberschwingungen das Aliasing-Theorem. ✓  
Abhilfe schafft ein Tiefpassfilter. (jedoch nicht zu 100%)

Siehe Abbildung 10: Die 3. Oberschwingung sollte bei 6 kHz sein, wird aber durch den Aliasingeffekt bei 4 kHz angezeigt. ✓

## 4 Messung von Mittelwert, Gleichrichtwert und Effektivwert

### 4.1 Aufgabenstellung

Erstellen Sie ein Programm zur Analyse eines sinusförmigen Spannungssignals ( $\hat{U} = 5 \text{ V}$ ,  $f = 500 \text{ Hz}$ ) hinsichtlich folgender Größen:

- Spitzenwert
- Arithmetischer Mittelwert
- Gleichrichtwert
- Effektivwert
- Formfaktor
- Scheitelfaktor

Erweitern Sie dazu das in Aufgabe 3 erstellte Programm und tasten Sie das Signal mit einer Frequenz von 10 kHz ab. Verwenden Sie das vorgefertigte VI CUT\_POERIODE.VI um eine ganzzahlige Anzahl von Perioden aus dem Datenvektor zu extrahieren. Vergleichen Sie den berechneten Effektivwert mit der Messung eines TRMS-Multimeters.

### 4.2 Formeln und Berechnungsbeispiele

Spitzenwert:  $\hat{u} = \max(u[n]) \approx 4,99 \text{ V} \checkmark$

Arithmetischer Mittelwert:  $\bar{u} = \frac{1}{N} \sum_{n=0}^{N-1} u[n] = 0,004 \approx \underline{\underline{0 \text{ V}}} \checkmark$

Gleichrichtwert:  $\bar{|u|} = \frac{1}{N} \sum_{n=0}^{N-1} |u[n]| \approx 3,19 \text{ V} \checkmark \checkmark$

Effektivwert:  $u_{\text{eff}} = \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{n=0}^{N-1} u[n]^2} \approx 3,55 \text{ V} \checkmark \checkmark$

Scheitelfaktor:  $C = \frac{\hat{u}}{u_{\text{eff}}} = 1,41 \checkmark$

Formfaktor:  $F = \frac{u_{\text{eff}}}{|\bar{u}|} = 1,11 \checkmark$

### 4.3 Messwerte und Tabellen

Tabelle 5: Ergebnisse Effektivwertbestimmung

gemessen	berechnet	
$U_{\text{TRMS}}$	$U_{\text{LabViv, Eff}}$	$U_{\text{analytisch, Eff}}$
V	V	V
3,543	3,55	3,536



### 4.4 Geräteverzeichnis

Tabelle 6: Verwendete Geräte und deren Eigenschaften

Gerät	Beschreibung	Eigenschaften
Anschlussblock	NI BNC-2120	-
Datenerfassungskarte	PCI-M10-16E-1	-
Funktionsgenerator	digimes FG100	-
Multimeter	FLUKE 79 III	TRMS ✓
Tiefpassfilter	/	/

## 4.5 Anmerkungen und Diskussion

- a) • Wie können die gesuchten Signalgrößen aus den abgetasteten Werten des Spannungssignals ermittelt werden?
- b) • Welche Abweichungen treten bei der numerischen Ermittlung auf?
- c) • Wie können diese Effekte minimiert werden?
- d) • Wie wirkt sich die Signalform auf die Abweichung aus?

a) Siehe 4.2 für Berechnungsformeln: Im Prinzip werden die Werte des Signals (Effektivwert etc.) über numerische Integration bestimmt. ✓

b) Die ~~Form~~ "Integrationszeit" ~~Soll~~ kann u.U. von Vielfachen der Signalfrequenz mehr oder weniger stark abweichen. ✓ Daraus entsteht ein Fehler da ~~das~~ über die ~~ganzen~~ Perioden hinaus integriert wird. ✓ Weiters entsteht durch die Abtastung eine Diskretisierung. Die Folge ist ein (je nach Signal ~~stärker~~ mehr oder weniger starker) Diskretisierungsfehler. ✓

(fehlende Flächen bei der numerischen Integration)

c) Der Effekt bez. der Integrationszeit kann durch einen "Cut-off" ~~immer~~ <sup>cut period - VI</sup> (Begrenzung auf Vielfache der Periodendauer) minimiert werden. ✓ Der Diskretisierungsfehler kann durch eine ~~erhöhte~~ <sup>erhöhte</sup> Samplerate minimiert werden.

d) ~~Die~~ Die Signalform ~~wird~~ <sup>wirkt</sup> sich durch evtl. Oberschwingungen (und in weiterer Folge durch Aliasingeffekte) auf die Korrektheit der numerischen Integration aus. ✓

10

zUC) Außerdem ~~"passt"~~ die ~~verschiedene~~ <sup>(sine)</sup> (wenn möglich bessere) Interpolationen verwenden. ✓

## 5 Signalanalyse mittels AKF

### 5.1 Aufgabenstellung

Die Autokorrelationsfunktion von Sinus-, Dreieck- und Rechtecksignalen soll mit Hilfe eines geeigneten Programmes dargestellt werden. Erzeugen Sie dazu mit Hilfe des Frequenzgenerators die jeweiligen Signale ( $U_{SS} = 2\text{ V}$ ,  $f = 1\text{ kHz}$ ) und lesen Sie sie mit der Datenerfassungskarte ein. Wählen Sie dafür eine geeignete Abtastrate und treffen Sie Vorkehrungen um Aliasing zu vermeiden. Stellen Sie die gesuchten Verläufe graphisch dar.

Variieren Sie nun die Frequenz und den Signaloffset. Wie wirken sich diese Größen auf die Autokorrelationsfunktion aus?

Geben Sie mit Hilfe eines DACs ein Sinussignal aus und überlagern Sie dieses mit Hilfe des Rauschgenerators mit weißem Rauschen. Wählen Sie dabei die Rauschleistung ausreichend hoch, sodass das Gesamtsignal nicht mehr als Sinus erkennbar ist. Stellen Sie das Betragsspektrum sowie die Autokorrelationsfunktion des verrauschten Sinussignales graphisch dar. Bestimmen Sie die Signalleistung, die Rauschleistung sowie den Signal-Rauschabstand.

### 5.2 Diagramme

Abbildung Nr.	Inhalt
12	Autokorrelationsfunktion des Sinussignals
13	Autokorrelationsfunktion des Dreiecksignals
14	Autokorrelationsfunktion des Rechtecksignals
16	Betragsspektrum des verrauschten Sinussignals
15	Autokorrelationsfunktion des verrauschten Sinussignals
11	Demonstration d. Effekts d. endlichen Vektorlängen

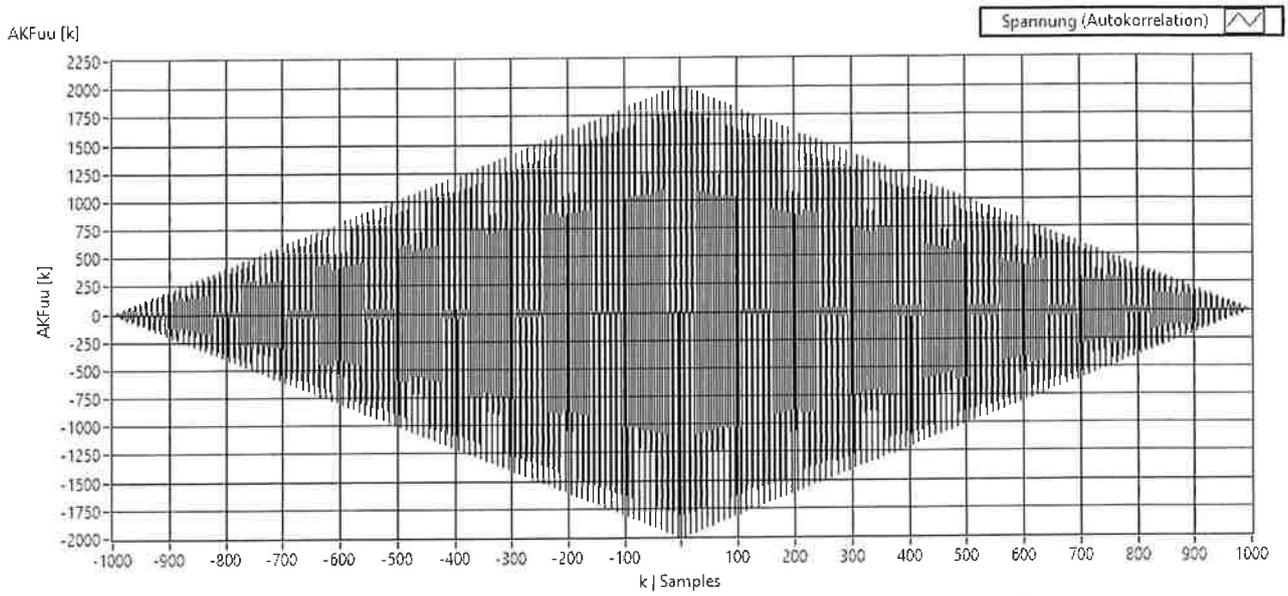


Abbildung 11: Demonstrations des Effekts der endlichen Vektorlänge

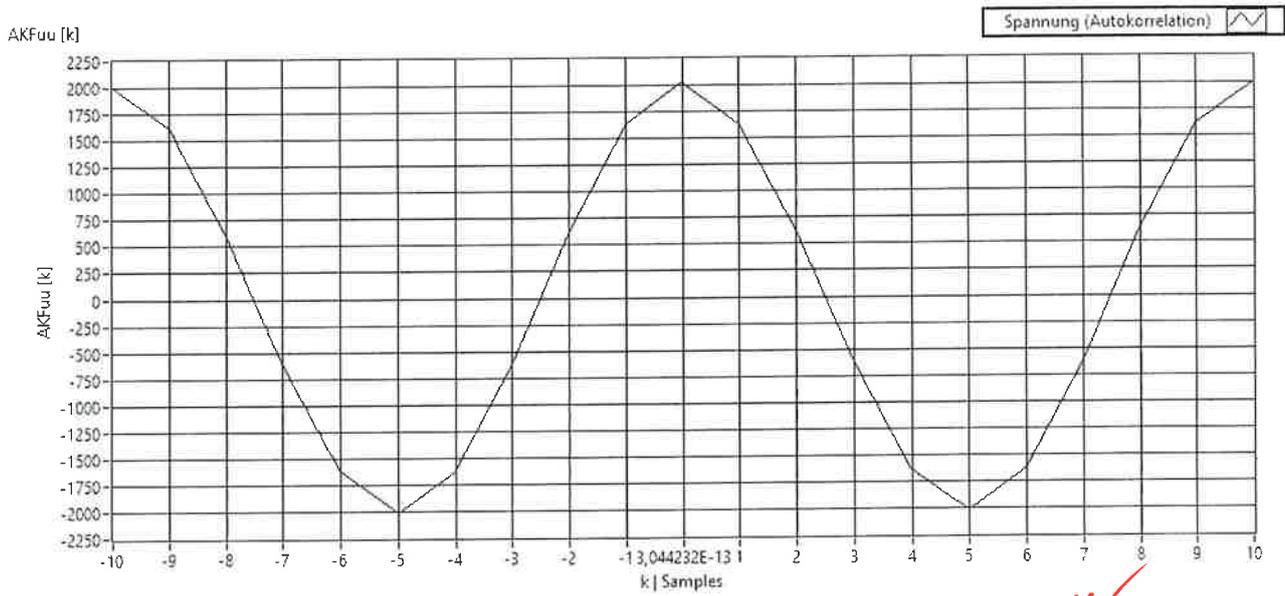


Abbildung 12: Autokorrelationsfunktion des Sinussignals



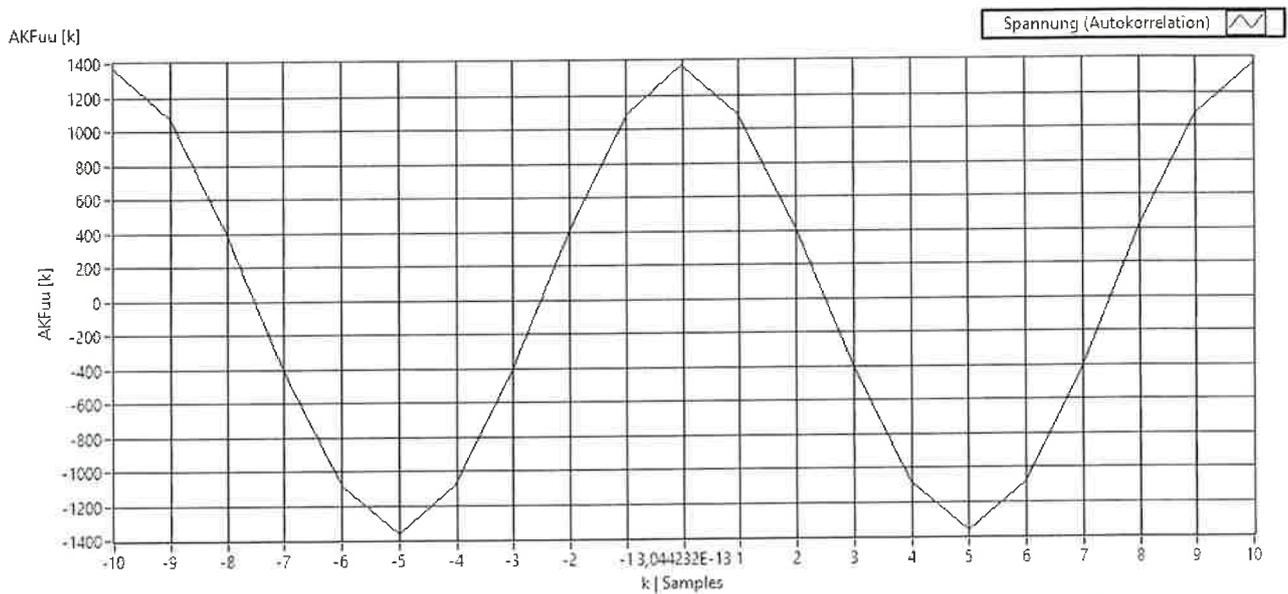


Abbildung 13: Autokorrelationsfunktion des Dreiecksignals ✓

sieht aus wie  $\cos$ , ist jedoch aus Polynom stücken 3. Ordnung zusammengesetzt

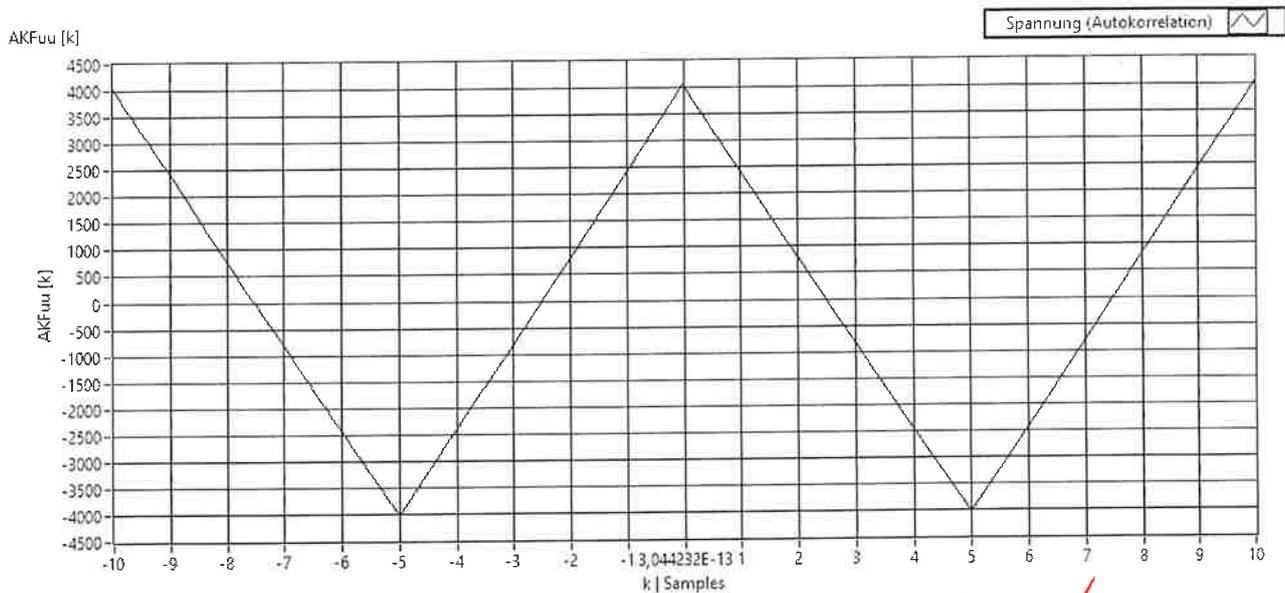


Abbildung 14: Autokorrelationsfunktion des Rechtecksignals ✓

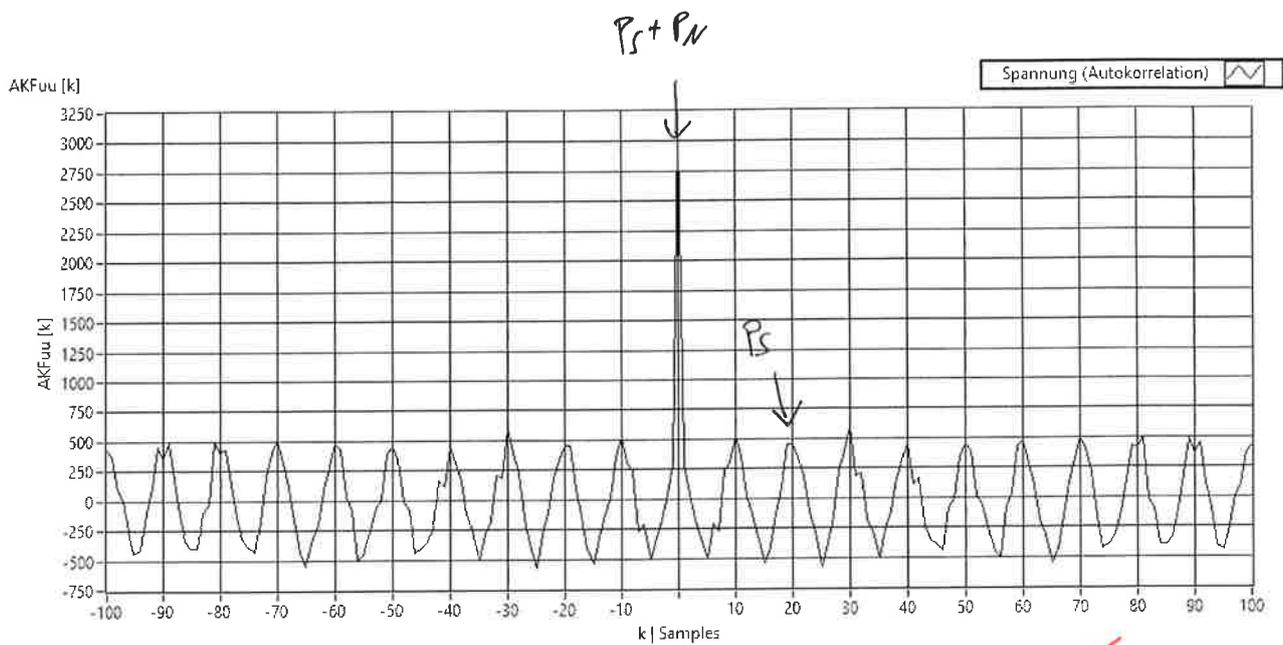


Abbildung 15: Autokorrelation des verrauschten Sinussignals ✓

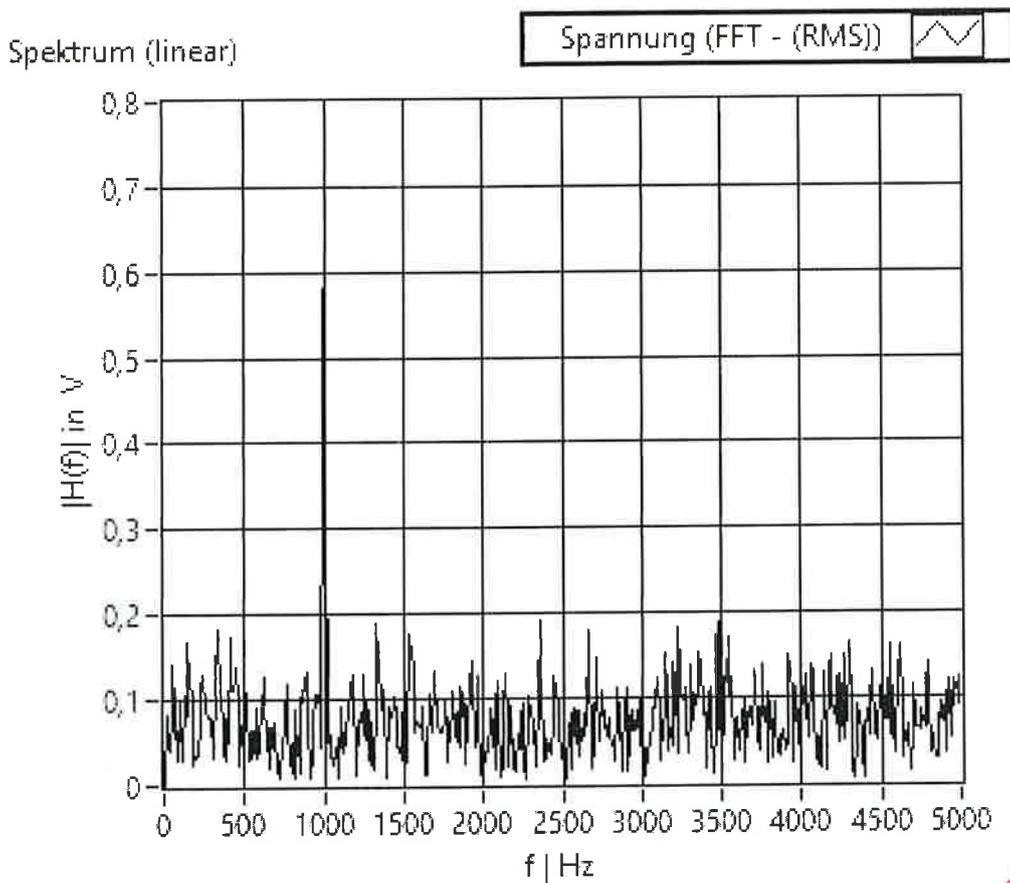


Abbildung 16: Betragsspektrum des verrauschten Sinussignals ✓

### 5.3 Formeln und Berechnungsbeispiele

Signalleistung:  $\phi_{xx}[0] = \lim_{N \rightarrow \infty} \frac{1}{2N+1} \sum_{n=-N}^N x[n]^2 = 0,5 \text{ V}^2$  ✓

Rauschleistung:  $P_N = P_G - P_S = 3 - 0,5 = 2,5 \text{ V}^2$  ✓

SNR<sub>db</sub>:  $10 \log \frac{P_S}{P_N} = 10 \log \left( \frac{1}{5} \right) \approx -6,99 \text{ dB}$  ✓

### 5.4 Messwerte und Tabellen

Tabelle 7: Eingangsspannungswerte, Abtastfrequenz, Anzahl der Samples und Grenzfrequenz des Anti-Aliasing Filters

eingestellt				
$\hat{U}$	f	$f_a$	Anzahl Samples	$f_g$
V	kHz	kHz		kHz
1	1	10	1000	/

Tabelle 8: Signalrauschverhältnis

abgelesen		berechnet	
$P_G$	$P_S$	$P_N$	SNR
V <sup>2</sup>	V <sup>2</sup>	V <sup>2</sup>	dB
3	0,5	2,5	-6,99

## 5.5 Geräteverzeichnis

Tabelle 9: Verwendete Geräte und deren Eigenschaften

Gerät	Beschreibung	Eigenschaften
Anschlussblock	NI BNC-2120	—
Datenerfassungskarte	PCI-MIO-16E-1	—
Funktionsgenerator	digimess FG100	—
Tiefpassfilter		

## 5.6 Anmerkungen und Diskussion

- 1 • Warum spricht man bei der AKF bei der Verschiebung 0 von einer Leistung?
- 2 • Welche Auswirkung hat die Signalfrequenz auf die AKF?
- 3 • Wie kann mit Hilfe der Autokorrelationsfunktion die Signalleistung eines Sinussignals gemessen werden?
- 4 • Wie kann mit Hilfe der Korrelationsanalyse die Wirkleistung zweier Sinussignale bestimmt werden?

1) Durch Einsetzen in die Funktion erkennt man, dass bei  $\phi_{xx}[0]$  die Signalwerte quadriert und aufsummiert werden. Dies entspricht dem <sup>quadratischen</sup> Effektivwert eines Signals, ~~was~~ welche man die Signalleistung nennt. Bei  $R=1\Omega$  u. period. Signalen ist das die Formel der Wirkleistung.

2) Die ~~verwendete~~ Signalfrequenz bestimmt die Frequenz der AKF  $f_{AKF} \propto f_{AKF}$

3) Indem man die AKF des Signals bestimmt und an der Stelle  $k=0$  auswertet. Voraussetzung dafür ist  $R=0$  und ein Strom  $R=1\Omega$ . Unter dieser Voraussetzung ist die Formel der AKF gleich der Leistungsformel ✓

4) Ähnlich wie die AKF, liefert die Kreuzkorrelation bei  $k=0$  die Wirkleistung, da die bei  $k=0$  die Signalwerte des gleichen Zeitpunktes multipliziert und aufsummiert werden. Die Einheit wird daher ~~bei~~ bei der Kreuzkorrelation in  $W$  (und nicht in  $V^2$ ) angegeben. ~~Wichtig~~ ✓