

355 – Messwerterfassung mit LabVIEW

1 Aufgaben

1. Erarbeiten Sie sich die Grundlagen im Umgang mit LabVIEW anhand einer einfachen Aufzeichnung verschiedener Signale.
2. Lesen Sie ein sinusförmiges Eingangssignal mit konstanter Amplitude kontinuierlich ein. Lassen Sie sich den Zeitverlauf sowie das Frequenzspektrum anzeigen. Erhöhen Sie nun die Frequenz und beschreiben Sie die Beobachtung.
3. Erzeugen Sie ein Gemisch aus einem sinusförmigen Signal und weißem Rauschen. Charakterisieren Sie das Signal und das Rauschen. Bewerten Sie die Auswertbarkeit des Signals bei verschiedenen Signal-Rauschen-Verhältnissen.
4. Lesen Sie Strom und Spannung an einem Pt100 mithilfe von LabVIEW aus. Konvertieren Sie den erhaltenen Widerstand in eine Temperatur und lassen Sie sich den Wert graphisch anzeigen.

2 Grundlagen

Stichworte: Sampling-Theorem, Fouriertransformation, Signal-Rauschen-Verhältnis (SNR), weißes Rauschen, rosa Rauschen, strom- und spannungsrichtige Messung

2.1 LabVIEW

LabVIEW ist eine graphische Programmiersprache zur Automatisierung von Messwerterfassungs- und Steuerungsproblemen. Es ist für die Lösung zahlreicher Probleme im Labor geeignet. **Abbildung 1** stellt ein einfaches LabVIEW-Programm dar. Man unterscheidet zwischen dem **Front Panel** (dem Bedienteil für den Benutzer) und dem **Block Diagram**, in dem das eigentliche Programm codiert wird. Im Gegensatz zu anderen Programmiersprachen werden in LabVIEW die einzelnen Programmbeefehle graphisch miteinander verbunden.

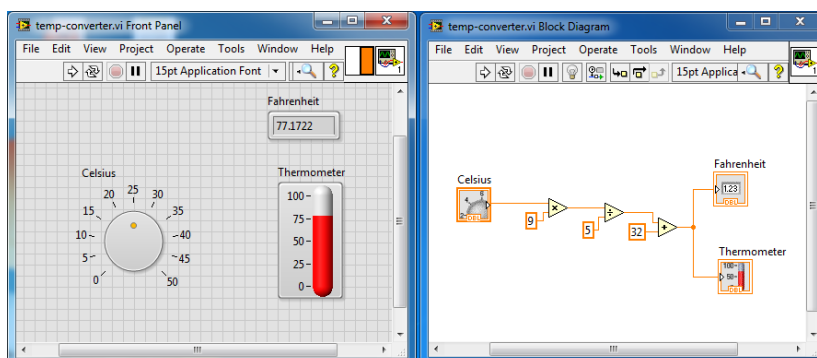


Abbildung 1: Einfaches LabVIEW-Programm zur Umrechnung von °C in °F.

2.2 Messwerterfassung mit dem PC

Vielfach ist es notwendig, analoge Signale mit einem Rechner weiterzuverarbeiten. Ein Analog-Digital-Wandler (ADW) setzt dabei das kontinuierliche Analogsignal in ein diskretes Digitalsignal um. Ein n Bit Wandler kann dabei 2^n verschiedene Zustände (nichtnegative ganze Zahlen von 0 bis $2^n - 1$) darstellen. Bei einer maximalen Eingangsspannung von U_{\max} ergibt sich also eine Spannungsaufösung ΔU von:

$$\Delta U = \frac{U_{\max} - U_{\min}}{2^n - 1} \quad \text{für } U_{\min} = 0 \rightarrow \frac{U_{\max}}{2^n - 1} \quad (1)$$

Um ein Signal nach dem Digitalisieren rekonstruieren zu können, müssen pro Periode mindestens 2 Werte aufgenommen werden. Um also bei einem Signalgemisch mit einer größten Signalfrequenz von f_{\max} keine Information bei der Abtastung zu verlieren, muss mindestens mit einer Abtastfrequenz f_{sample} von:

$$f_{\text{sample}} \geq 2 \cdot f_{\max} \quad (2)$$

aufgezeichnet werden. Man bezeichnet diese Bedingung als **Abtast-** oder **Nyquist-Theorem**. Werden dennoch größere Signalfrequenzen angelegt, so kann man die Frequenz des Signals nicht eindeutig interpretieren (siehe Abb. 2). Es kommt zu einer falschen Deutung der Signalfrequenz, dieser Effekt wird Aliasing genannt.

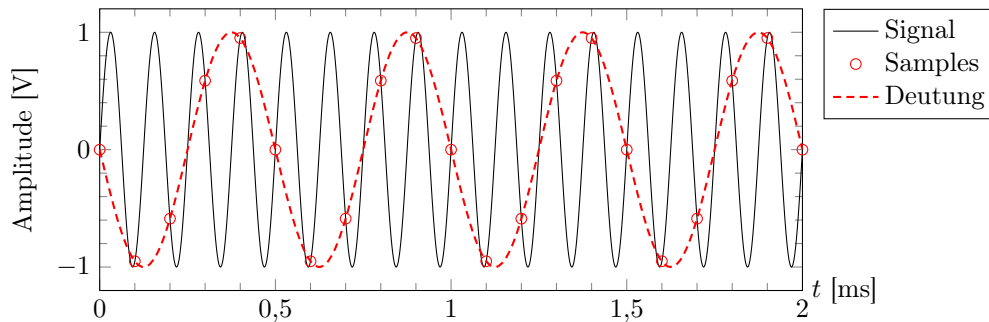


Abbildung 2: Abtastung eines Signals mit zu geringer Abtastfrequenz. Die eingezeichneten Punkte \circ entsprechen den Abtastwerten. Es wird ersichtlich, dass eine falsche Signalfrequenz rekonstruiert wird, wenn das Abtasttheorem (2) verletzt wird.

Die Fouriertransformation gibt einen Zusammenhang zwischen Zeit- und Frequenzbereich an. Mit ihrer Hilfe kann man einem beliebigen Zeitverlauf ein Frequenzspektrum zuordnen. Beide Darstellungen beinhalten dabei die vollständige Information des Signals. In der Elektronik ist es vielfach hilfreich, die Signalinformation im Frequenzraum darzustellen. Zeitverlauf $f(t)$ und Frequenzspektrum $F(\omega)$ hängen dabei durch folgende Transformationspaare zusammen:

$$F(\omega) = \int_{-\infty}^{+\infty} f(t)e^{-i\omega t} dt \quad (3)$$

$$f(t) = \frac{1}{2\pi} \cdot \int_{-\infty}^{+\infty} F(\omega)e^{+i\omega t} d\omega \quad (4)$$

2.3 Rauschen und dessen Charakterisierung

Unter Rauschen versteht man eine statistische Schwankung einer Messgröße. Das Frequenzspektrum eines Rauschsignals ist in der Regel sehr breit.

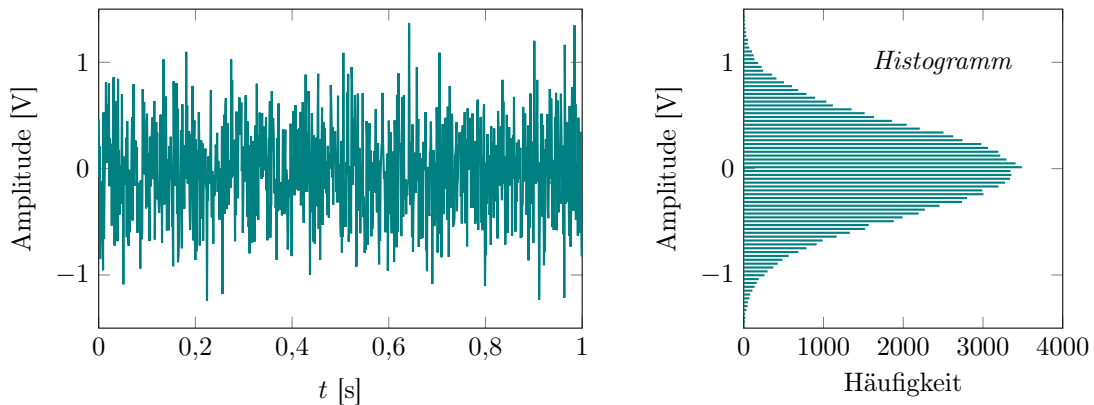


Abbildung 3: Zeitverlauf und Histogramm von Rauschen gespeist aus dem AGILENT 33210A.

Abbildung 3 zeigt den schematischen Zeitverlauf einer Rauschspannung. Die Werte liegen dabei gleichmäßig um einen Mittelwert herum angeordnet:

$$\text{Mittelwert: } \langle U \rangle = \lim_{T \rightarrow \infty} \frac{1}{T} \cdot \int_{t_0}^{t_0+T} U(t) dt \quad (5)$$

Es gibt im zeitlichen Mittel gleich viele positive wie negative Werte, so dass der Mittelwert verschwindet. Dieser Wert kann deshalb *nicht* zur Charakterisierung von Rauschwerten herangezogen werden. Eine mögliche Charakterisierung ergibt sich aus der Varianz:

$$\text{Varianz: } \langle U^2 \rangle = \lim_{T \rightarrow \infty} \frac{1}{T} \cdot \int_{t_0}^{t_0+T} (U(t) - \langle U \rangle)^2 dt \quad (6)$$

Der Integrand ist jetzt stets positiv, so dass das Ergebnis verschieden von Null ist und eine Charakterisierung des Rauschprozesses ermöglicht. Um einen Vergleich von Amplitudenwerten zu ermöglichen, wird vielfach die Standardabweichung herangezogen:

$$\text{Standardabweichung: } \sigma = \sqrt{\langle U^2 \rangle} = \sqrt{\lim_{T \rightarrow \infty} \frac{1}{T} \cdot \int_{t_0}^{t_0+T} (U(t) - \langle U \rangle)^2 dt} \quad (7)$$

Man teilt Rauschprozesse hinsichtlich ihres Frequenzspektrums ein, siehe Abb. 4. Viele Rauschprozesse haben ein konstantes Frequenzspektrum; dieses wird als weißes Rauschen bezeichnet, da alle Frequenzkomponenten gleich stark vertreten sind (\rightarrow konstante Rauschleistungsdichte):

$$S_{\text{weiß}}(f) = \text{const.} \quad (8)$$

Beim sogenannten rosa Rauschen sind hingegen niedrige Frequenzkomponenten stärker vertreten als höhere; vielfach verhält sich die Rauschleistungsdichte wie

$$S_{\text{rosa}}(f) \propto \frac{1}{f^n} \quad (\text{meist mit } n \leq 2) \quad (9)$$

Elektronisches Rauschen ist stets vorhanden und überlagert ein zu messendes Signal. Eine wichtige Größe stellt dabei das Signal-Rausch-Verhältnis (*signal-to-noise-ratio*, SNR) dar. Das SNR ist definiert als das Verhältnis aus **Signalleistung** und **Rauschleistung**:

$$\text{SNR} = \frac{P_{\text{Signal}}}{P_{\text{Rausch}}} \quad (10)$$

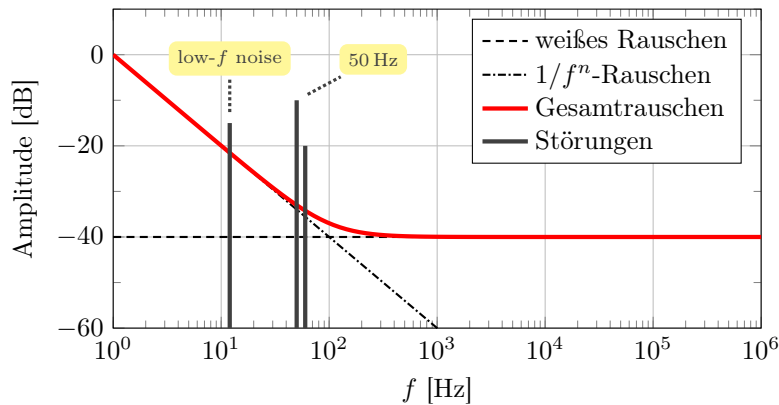


Abbildung 4: Spektraldarstellung von weißem und rosa Rauschen. Schematisch sind einige Störfrequenzen mit eingezeichnet. Die Ordinatenachse ist hier logarithmisch skaliert, da die Einheit dB über den dekadischen Logarithmus definiert ist.

Werden Signal und Rauschen am selben ohmschen Widerstand R abgegriffen, so ergibt sich:

$$\text{SNR} = \frac{U_{\text{Signal}}^2/R}{U_{\text{Rausch}}^2/R} = \frac{U_{\text{Signal}}^2}{U_{\text{Rausch}}^2} \quad (11)$$

Da das SNR über eine zeitliche Mittelung bestimmt wird, lassen sich die U^2 -Terme in Zähler und Nenner als **Varianzen** $\langle U^2 \rangle$ vom Signal sowie vom Rauschen auffassen.

Pt100: Laden Sie sich vorab den [Pt100 Datensatz](#) herunter und nehmen Sie eine lineare Anpassung $R(T) = R_0 + m \cdot T$ der Daten vor, vergleiche Abb. 7. Sie werden im Laufe dieses Versuchs die Parameter R_0 und m benötigen.

3 Versuchsdurchführung

- ☞ Die Durchführung der Programmieraufgaben erfolgt in enger Zusammenarbeit mit den Betreuenden. LabVIEW bietet darüber hinaus eine umfangreiche Online-Hilfe an. Es ist nicht erforderlich, dass Sie sich vor Versuchsbeginn in LabVIEW einarbeiten. Die Aufgaben sollen Ihnen lediglich einen kleinen Einblick in LabVIEW geben.
- ☞ Speichern Sie jede Ausbaustufe Ihres Programms ab, so dass Sie es jederzeit wieder verwenden können.
- ☞ Stellen Sie sich die einzulesenden Signale stets parallel am Oszilloskop dar.

Die Programmierung der Aufgaben 1 bis 3 wird von den Betreuenden vorgeführt. Vollziehen Sie zeitgleich alle Schritte selbst am Rechner nach und folgen Sie dabei den Anweisungen exakt. Die Messaufgaben nach jeder Programmierung müssen Sie selbst durchführen und auswerten.

1. Legen Sie an den Eingang des Messerfassungssystems (Eingang **AI 0**) eine sinusförmige Spannung ($f = 100$ Hz, Amplitude 1 V). Benutzen Sie den Funktionsgenerator Agilent 33210A als Signalquelle. Achten Sie darauf, dass Sie den Ausgang des Generators (Taste **Output**) für die Messung aktivieren.
 - a) Benutzen Sie den Datenerfassungsassistenten zum Einlesen des Signals. Setzen Sie die Abtastrate auf $f_{\text{sample}} = 10$ kHz und nehmen Sie 2500 Samples auf. Lassen Sie sich das eingelesene Signal am Bildschirm anzeigen und speichern Sie die Daten ab.

- b) Erweitern Sie das unter a) erstellte Programm um die Darstellung der Fouriertransformierten des Signals. Speichern Sie die Fouriertransformierte ab. Zeichnen Sie nun Signale ($f = 100$ Hz, Amplitude 1 V) mit unterschiedlichen Kurvenformen (Sinus, Dreieck, Rechteck, Rauschen) auf. Speichern Sie jeweils den Zeitverlauf sowie das Frequenzspektrum für Ihr Protokoll ab. Plotten Sie den Zeitverlauf sowie das Spektrum für jede Signalform. Diskutieren Sie die Unterschiede. Welche Rauschform liegt vor?
2. Entfernen Sie das Sub-VI zur Speicherung der Daten in Ihrem Programm aus Aufgabe 1. Fügen Sie nun um Ihren Programmcode eine WHILE-Schleife (Palette: Programmierung). Schließen Sie als Abbruchbedingung ein Schaltelement an (Rechtsklick auf den Abbruch-Anschluss + Erstelle Bedienelement). Führen Sie nun Ihr Programm aus. Legen Sie ein sinusförmiges Signal mit einer Eingangsspannung von rund 1 V sowie einer Frequenz von 100 Hz an. Erhöhen Sie die Signalfrequenz schrittweise bis zu 20 kHz und beobachten Sie den Zeitverlauf sowie das Frequenzspektrum. Diskutieren Sie die Beobachtungen.
3. Erweitern Sie das Programm aus Aufgabe 1 um die Berechnung des Mittelwerts, der Standardabweichung sowie der Varianz. Ein entsprechendes Sub-VI finden Sie in der Palette Mathematik → Wahrscheinlichkeit im Blockdiagramm.

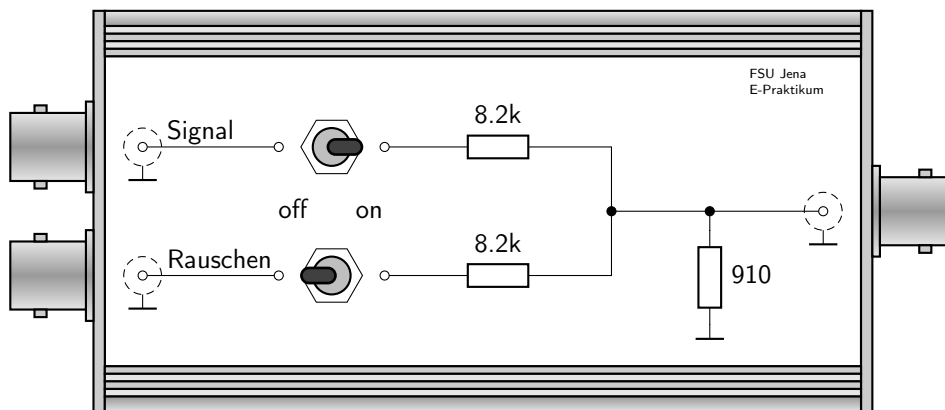


Abbildung 5: Mischerbox zur Addition zweier Signale (hier „Signal“ und „Rauschen“ genannt).

Die folgenden Aufgaben werden nicht vorgeführt, sondern von Ihnen selbst bearbeitet.

- ☞ Mithilfe der Mischerbox (Abb. 5) lassen sich ein Signal sowie Rauschen miteinander mischen. Verwenden Sie für das Signal ($f = 100$ Hz, $U = 1$ V) den Hameg Frequenzgenerator HM8030 und für das Rauschen den Agilent Funktionsgenerator 33210A (Noise: $10 V_{pp}$).
- ☞ Nehmen Sie in den folgenden Aufgabenteilen a), b) und c) **immer** den Mittelwert, die Standardabweichung, die Varianz, den Zeitverlauf sowie das Frequenzspektrum auf.
 - a) Signal An, Rauschen Aus.
 - b) Signal Aus, Rauschen An.
 - c) Signal An + Rauschen An.
 - Variieren Sie in c) die Amplitude des Signals, um folgende 3 Signal-Rauschen-Verhältnisse einzustellen: $SNR_1 = 1$; $SNR_2 = 0,1$; $SNR_3 < 0,1$ so einstellen, dass im Zeitverlauf *kein* Signal mehr zu erkennen ist, aber im Frequenzspektrum noch ein signifikanter Peak bei der Signalfrequenz vorhanden ist. ☞ Messen Sie jeweils durch Abschalten von Signal bzw. Rauschen den Anteil des Rauschens bzw. Signals.
 - Welche Größen sind zur Charakterisierung des Rauschens geeignet, welche nicht?
 - Bewerten Sie jeweils das Signal im Zeitverlauf sowie den Informationsgehalt des Frequenzspektrums. Bis zu welchem SNR kann man das Signal im Zeitbereich bzw. im Frequenzbereich noch erkennen?

4. In dieser Aufgabe soll eine Messgröße (hier: Temperatur) elektronisch an einem Rechner aufgezeichnet und weiterverarbeitet werden. Bauen Sie hierzu die Schaltung nach Abb. 6 auf. Verwenden Sie den Messstab aus Versuch 350. Die Spannung U am Temperatursensor wird direkt mit der Messkarte aufgezeichnet (Eingang **AI 0**). Der Strom I wird als proportionale Spannung am Vorwiderstand abgegriffen (Eingang **AI 1**). Da wir hier Gleichspannungssignale verarbeiten, reicht es, wenn Sie lediglich pro Abtastung einen einzelnen Wert einlesen. Achten Sie darauf, dass die Eingänge des AD-Wandlers BNC-2120 auf **GS** geschaltet sind (kleine Schiebeschalter unter jedem BNC Eingang).

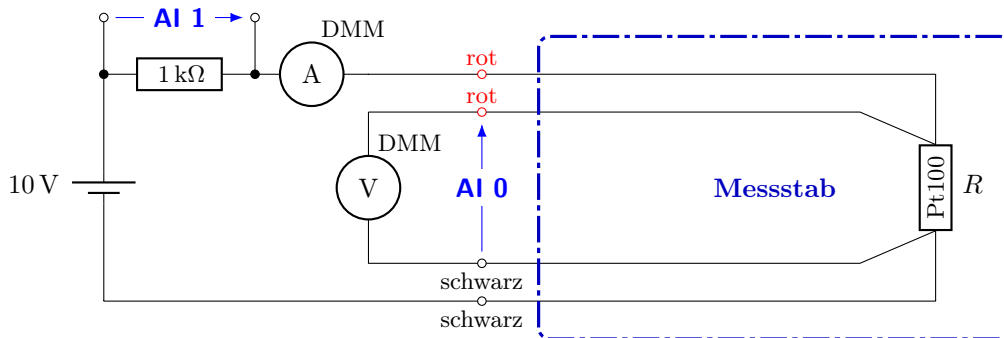


Abbildung 6: Temperaturmessung mithilfe eines Pt100 als Sensor. Die beiden Digitalmultimeter (DMM) dienen der **Überprüfung** der in LabVIEW angezeigten Werte.

- ⚠ **Hinweis:** Führen Sie die Aufgabe Schritt für Schritt durch **und testen Sie die Schaltung mit Digitalmultimetern wie im Versuch 350**. Lesen Sie zuerst die Spannung am Temperatursensor ein und lassen Sie sie als Anzeigeelement darstellen. Sobald der eingelesene Wert stimmt, fügen Sie die Strommessung hinzu. **Ist der aus U und I ermittelte Widerstand des Pt100 sinnvoll?**
- ⚠ Die AD-Wandlerkarte kann eingehende Daten nur nacheinander verarbeiten. Beim Einlesen der beiden Kanäle (**AI 0**, **AI 1**) muss deshalb **eine Reihenfolge im Programm** realisiert werden (z.B. mittels Sequenz).
- 🔗 Berechnen Sie den Widerstand des Temperatursensors nach dem ohmschen Gesetz und zeigen Sie den entsprechenden Wert an. Rechnen Sie den Wert anhand Ihrer **vorbereiteten linearen Anpassung des Pt100 Datensatzes** in eine Temperatur um (linearen Zusammenhang zwischen R und T ausnutzen, siehe Abb. 7) und zeigen Sie die gemessene Temperatur in °C an.
- 🔗 Mögliche Erweiterungen: Minimum/Maximum Anzeige, zeitlicher Verlauf der Temperatur, Variation der Anzeige (Thermometer, Analogmessinstrument, ...)

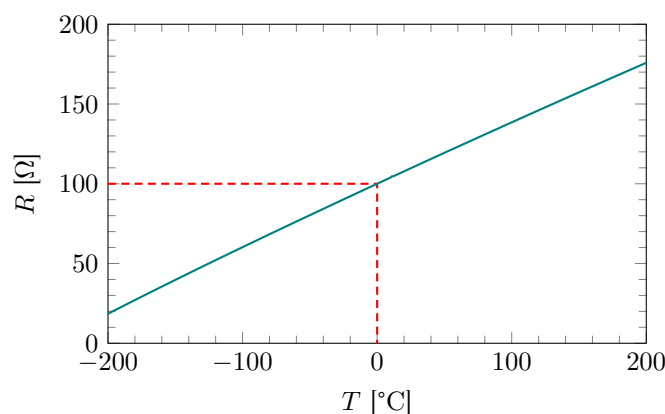


Abbildung 7: Darstellung der **tabellierten $R(T)$ -Werte** eines Pt100-Widerstands.