

Teil A

Anwendungsbeispiele

Sensoren, die in rauen Umgebungen betrieben werden können, sind für Anwendungen in einer Vielzahl von Hochtemperatursystemen wie Turbinenmotoren, Kohlevergasungsanlagen und Materialverarbeitungssystemen gefragt. Diese Systeme sollen Temperaturinformationen (neben anderen Indikatoren) für die Rückkopplungssteuerung und Systemoptimierung liefern, um die Effizienz zu erhöhen und die Umweltverschmutzung zu verringern, sowie den Zustand von Bauteilen überwachen, um die Sicherheit zu verbessern (Zhao, Ran, et al., 2014).

Auch im Bereich der Biologie gibt es zahlreiche Beispiele. Thermosensoren könnten beispielsweise in der Biologie und Medizin eingesetzt werden, um Temperaturgradienten und Temperaturänderungen zu erkennen, die durch Stoffwechselaktivitäten entstehen (Urban, Gerald, et al., 1990).

Weitere Anwendungsgebiete sind: Aerodynamik, Thermodynamik, Wärmeübertragung und atmosphärische Wissenschaften (Dramicanin, Miroslav., 2018).

Methoden (= physikalische Prinzipien)

Die Methoden zur Analyse der Temperatur versuchen, die (indirekte) Energie der Moleküle in Form von Wärme zu messen (es gibt viele Definitionen). Ursprünglich erforschten die Methoden die einfachsten Ausdrücke dieses Phänomens, in der Regel durch physikalische Ausdehnung (wie in Philos Thermometer) in Form von z. B. "Luftthermoskopen" oder sogar Galileis überwachter Erfindung von Alkoholthermometern (Dramicanin, Miroslav., 2018). Heute verfügen wir über weitaus ausgefeiltere Methoden zur Temperaturmessung, und der Einsatz der einzelnen Methoden hängt von den jeweiligen Anforderungen und Zielen ab.

Hochempfindliche und schnelle Temperatur, die aus dünnen Filmen aus amorphem Germanium bestehen, können verwendet werden, um einen hohen Temperaturkoeffizienten des Widerstands von 2%/K bei Raumtemperatur zu erreichen (Urban, Gerald, et al., 1990).

Faseroptische Temperatursensoren werden seit mehr als zwei Jahrzehnten untersucht und sind von besonderem Interesse in Situationen, in denen herkömmliche Techniken nicht eingesetzt werden können. Eine weitere Möglichkeit bei Problemen mit der Querempfindlichkeit ist die Nutzung der Fluoreszenz von Fasern oder Glasmaterialien, die mit Seltenen Erden oder anderen ähnlichen Ionen dotiert sind (Collins, S. F., et al., 1998).

Die Temperatur könnte auch indirekt durch andere physikalische Prinzipien gemessen werden, wenngleich dies etwas theoretischer ist. Dies könnte z. B. in Form der Anwendung des Planckschen Gesetzes (bei gemessener Gesamtstrahlungsleistung) mit einer Integralgleichung geschehen, die analytisch mit Hilfe der inversen Laplace-Transformation und eines sehr einfachen iterativen Verfahrens (Methode der sukzessiven Annäherung) gelöst werden könnte, das in zwei Iterationen konvergiert (Bojarski, N., 1982).

Herausforderungen der Temperaturmessung.

Die Entwicklung von Systemen, die unter hohen Temperaturen arbeiten können, kann sich beispielsweise als sehr schwierig erweisen. So können beispielsweise Sensoren auf Siliziumbasis nicht bei Temperaturen über 350 °C eingesetzt werden, während Siliziumkarbid eine bessere Leistung aufweisen könnte, obwohl es in derselben Größenordnung immer noch etwas eingeschränkt ist (Zhao, Ran, et al., 2014).

Selbst wenn wir uns innerhalb des akzeptierten Temperaturbereichs befinden, können herkömmliche Methoden der Temperaturmessung durch elektromagnetische Interferenzen gestört werden (Collins, S. F., et al., 1998).

Referenzen Teil A

Zhao, Ran, et al. "Temperature sensor made of polymer-derived ceramics for high-temperature applications." *Sensors and Actuators A: Physical* 219 (2014): 58-64.

Bojarski, N. "Inverse black body radiation." *IEEE Transactions on Antennas and Propagation* 30.4 (1982): 778-780.

Urban, Gerald, et al. "High-resolution thin-film temperature sensor arrays for medical applications." *Sensors and Actuators A: Physical* 22.1-3 (1990): 650-654.

Collins, S. F., et al. "Comparison of fluorescence-based temperature sensor schemes: theoretical analysis and experimental validation." *Journal of applied physics* 84.9 (1998): 4649-4654.

Dramicanin, Miroslav. *Luminescence thermometry: methods, materials, and applications*. Woodhead Publishing, 2018.

Teil B

Analog-Digital, Sukzessive Approximation vs Delta Sigma.

Die Analog-Digital-Wandler der Sukzessiven Approximation sind sehr empfehlenswert für Impuls- und Frequenzgangmessungen, die auf dem MLS-Algorithmus basieren, soweit es sich um Schallwellen handelt (MLS oder Maximum Length Sequence ist eine pseudozufällige binäre Folge von 1 und -1) (D. Krol, 2008). Außerdem leidet der Delta-Sigma-ADC leicht unter Kopplungseffekten durch das Substrat. Außerdem lässt sich seine Leistung nicht ohne weiteres durch Simulationen vorhersagen. Es können zwei Richtungen eingeschlagen werden: geringe Leistung und hohe Geschwindigkeit. Die Verringerung der Leistung erhöht das Rauschen und verringert das Signal-Rausch-Verhältnis (W. Sansen, 1998).

In Anbetracht dieser Eigenschaften kann der Einsatz von Sukzessiven Approximation AD-Wandlern (z. B. in Temperaturerfassungssystemen) von dem Betrieb bei niedrigen Spannungen profitieren und darüber hinaus niedrige Energiekosten bieten (Zum Beispiel auf sehr kleinen Geräten). Die Verwendung bei Abtastfrequenzen unter 1 MHz kann jedoch aufgrund des geringen Grenzabstands zwischen den Frequenzen problematisch sein (S. Gambini; J. Rabaey, 2007).

Andererseits werden Delta-Sigma-Wandler auch immer häufiger eingesetzt, vor allem in Anbetracht der zukünftigen Entwicklung des Marktes. So haben beispielsweise die Nachfrage nach größerer Bandbreite und geringerem Stromverbrauch, der Druck durch MOS-

Bauelemente im nm-Maßstab und die Entwicklung von Mismatch-Shaping- und Feedforward-Verstärkertechniken die vorherrschende Implementierung in Richtung Multi-Bit-Delta-Sigma-Modulatoren mit zeitkontinuierlichen Schleifenfiltern verschoben (J. M. de la Rosa et.al., 2015).

Parallele Rauschquellen, einschließlich des thermischen Rauschens, werden addiert, indem sie in parallele äquivalente Widerstände umgewandelt werden und das von den äquivalenten parallelen Widerständen erzeugte Rauschen berechnet wird (B. Gordon, 1978). Daher sollten bei der Auswahl des besten ADC u. a. die Anforderungen an die Rauschfreiheit, die Energieeffizienz, die Kommunikationsgeschwindigkeit und die gewünschte Betriebsfrequenz berücksichtigt werden.

Referenzen Teil B

D. Krol, "On superiority of successive approximation register over Sigma Delta AD converter in standard audio measurements using Maximum Length Sequences," *2008 International Conference on Signals and Electronic Systems*, 2008, pp. 51-54, doi: 10.1109/ICSES.2008.4673354.

W. Sansen, "Mixed analog-digital design challenges," *IEE Colloquium on Systems on a Chip (Ref. No. 1998/439)*, 1998, pp. 1/1-1/6, doi: 10.1049/ic:19980655.

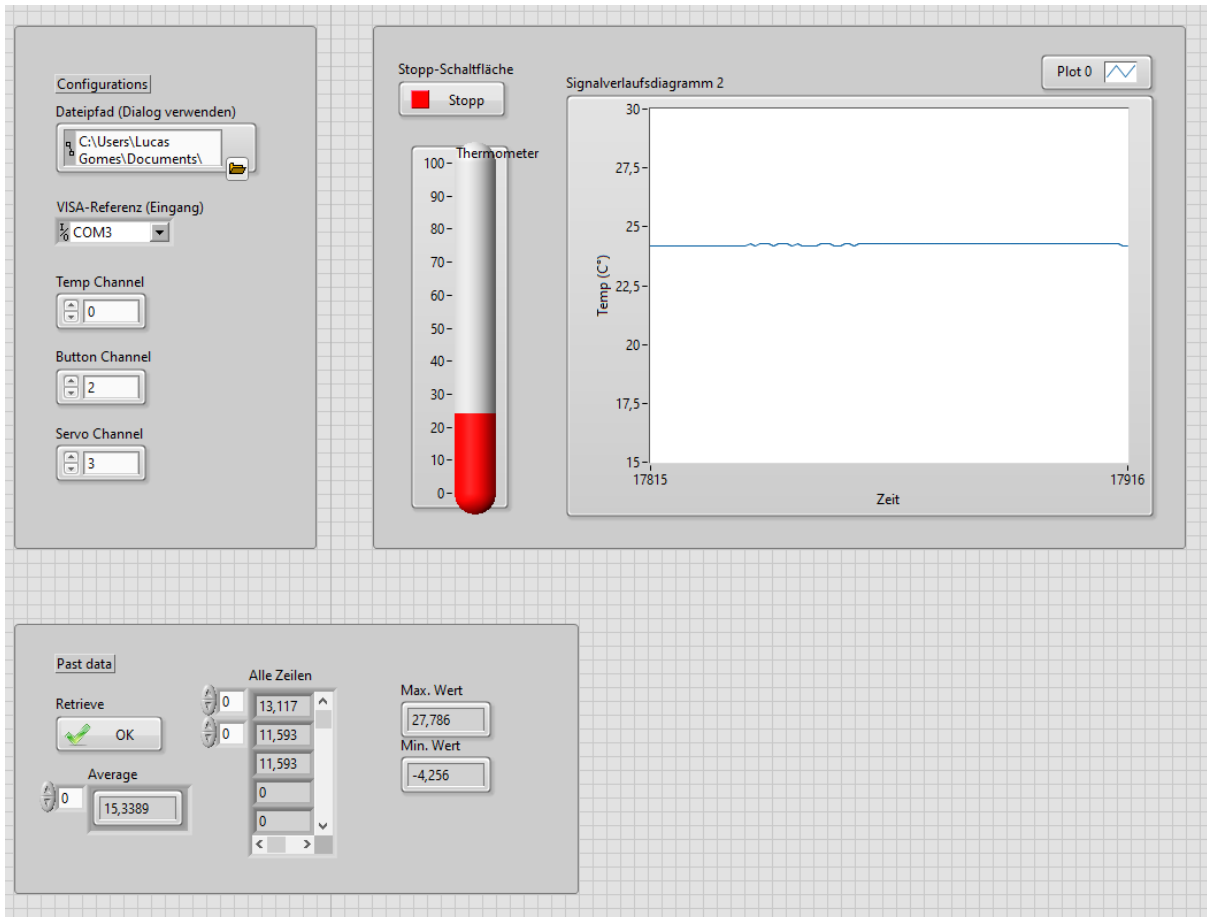
S. Gambini and J. Rabaey, "Low-Power Successive Approximation Converter With 0.5 V Supply in 90 nm CMOS," in *IEEE Journal of Solid-State Circuits*, vol. 42, no. 11, pp. 2348-2356, Nov. 2007, doi: 10.1109/JSSC.2007.906210.

J. M. de la Rosa, R. Schreier, K. Pun and S. Pavan, "Next-Generation Delta-Sigma Converters: Trends and Perspectives," in *IEEE Journal on Emerging and Selected Topics in Circuits and Systems*, vol. 5, no. 4, pp. 484-499, Dec. 2015, doi: 10.1109/JETCAS.2015.2502164.

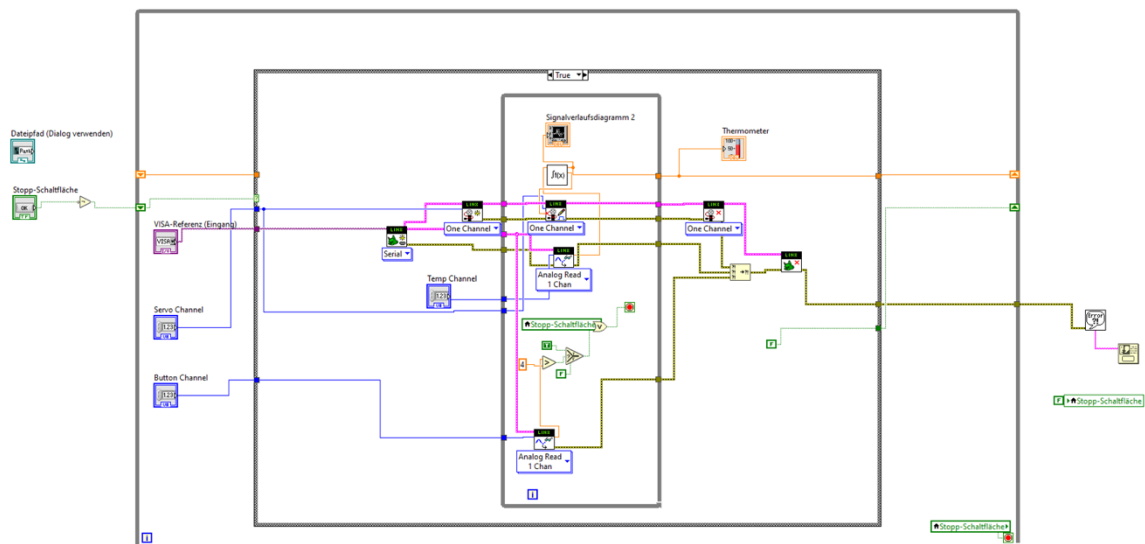
B. Gordon, "Linear electronic analog/digital conversion architectures, their origins, parameters, limitations, and applications," in *IEEE Transactions on Circuits and Systems*, vol. 25, no. 7, pp. 391-418, July 1978, doi: 10.1109/TCS.1978.1084498.

Teil C

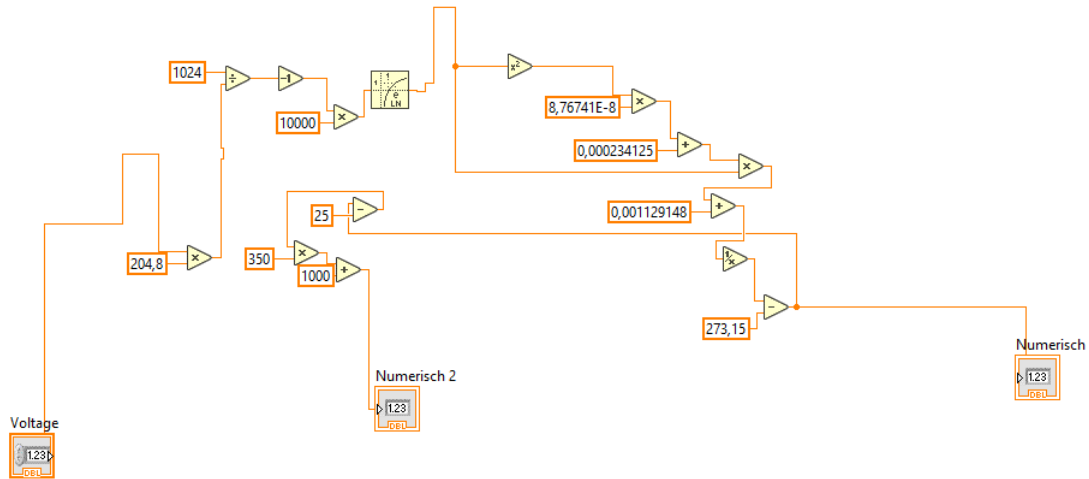
Das Bedienfeld enthält die wichtigsten Einstellungen, die für die Verwendung des Programms erforderlich sind, wie z. B.: Speicherort der historischen Serien, Kommunikationseingang mit dem Gerät und Gerätekommunikationskanäle für Temperatur (analog), Taste (analog) und Motor (digital). Neben den Einstellungen werden die aktuelle Temperatur und ein kurzer Verlauf über die Zeit in Grad Celsius angezeigt. Die Schaltfläche "Stopp" unterbricht die Verarbeitung und schließt die offenen Verbindungen mit dem Gerät. Auf der gleichen Benutzeroberfläche werden am unteren Rand historische Datenwerte angezeigt (falls gewünscht), zusammen mit Informationen zu Höchst-, Mindest- und Durchschnittswerten. Die Schnittstelle ist unten dargestellt. Die Hauptdatei heißt *prova.vi*.



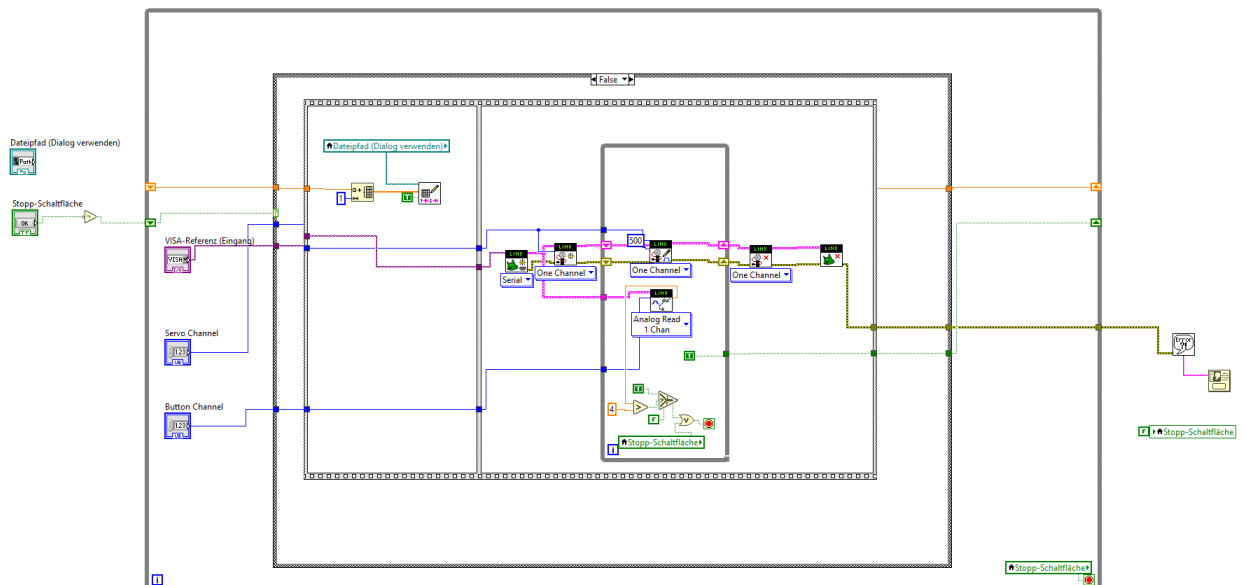
Im Code des Hauptprogramms werden die im Benutzerbedienfeld eingegebenen Informationen gelesen und eine erste Verbindung zum Gerät hergestellt. In der innersten Schleife wird die Temperatur gelesen und an das math.vi-SubVI zur Umrechnung in Grad Celsius und zur Vorverarbeitung für die Weiterleitung an das Positionsmodul gesendet. Wenn die Taste gedrückt wird, wird die Schleife unterbrochen, die Verbindungen werden geschlossen und das Signal wird an die nächste Schleife gesendet, wobei der Zustand der Fallstruktur auf false aktualisiert wird. Die Prozessübersicht finden Sie unten.



Das SubVI *math.vi* wird im Folgenden vorgestellt (dargestellt durch $f(x)$). Die Umrechnung in Celsius erfolgte auf der Grundlage der in den Testdateien verfügbaren Dokumentation. Die Umrechnung für den Servomotor besteht aus einer Verstärkung der marginalen Temperaturänderungen, so dass sich deren Änderungen auf die Motorskala (500:2500) auswirken. Die Darstellung ist unten abgebildet.

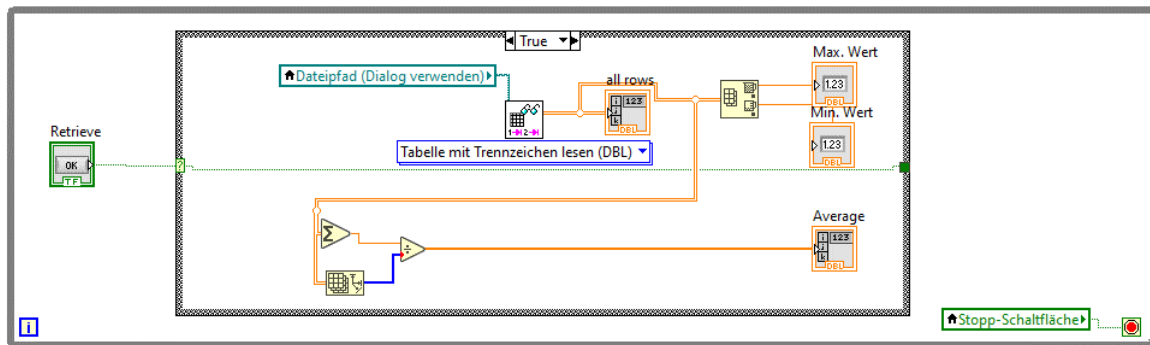


Nach dem Drücken der Taste wird, wie bereits erwähnt, der "case-structure" mit dem Case "falsch" betrieben und reagiert automatisch nicht mehr auf Temperaturänderungen. Dabei wird unter Verwendung einer festen Sequenzstruktur zunächst der Wert der zuletzt erfassten Temperatur an ein Tabellenblatt angehängt. In der zweiten Sequenz wird die Position des Servomotors an die Position 500 gesendet, während der Tastendruck überwacht wird, um die Schleife zu unterbrechen und einen neuen Zyklus zur Überwachung der Temperatur zu starten. Der Zyklus für den "falschen" Fall ist unten dargestellt.

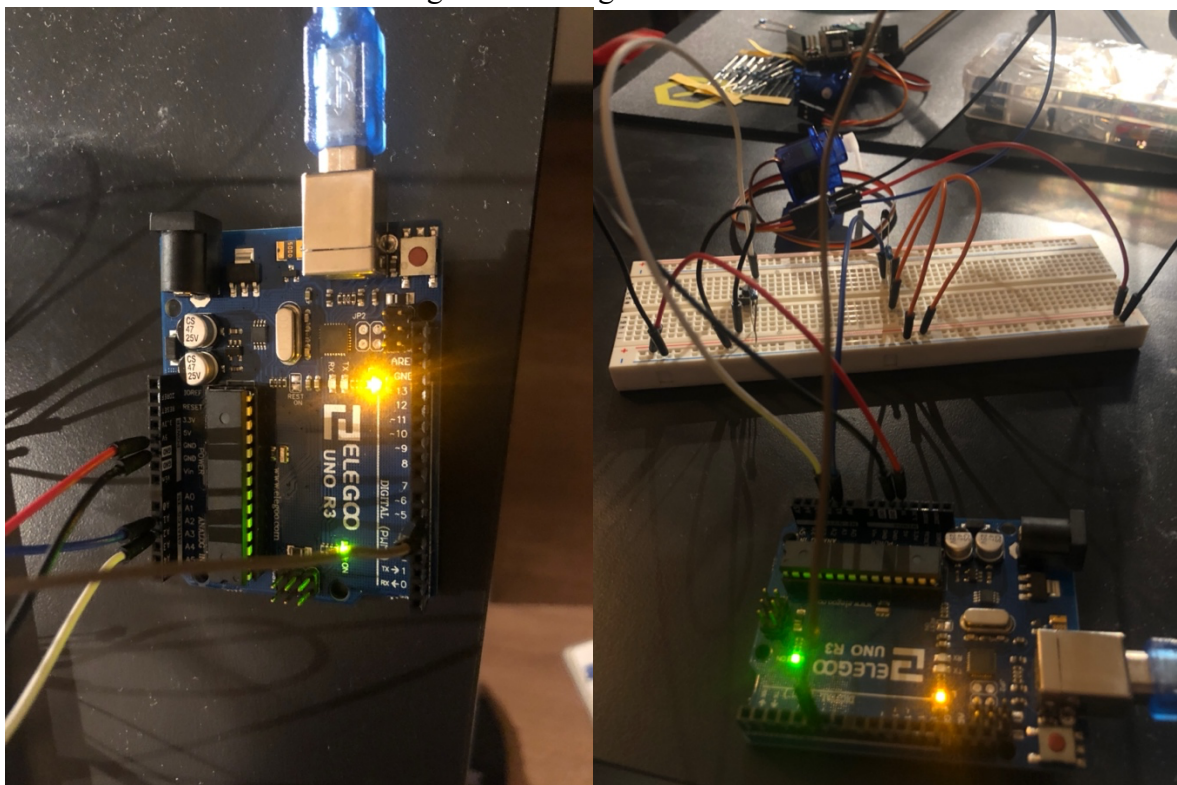


Parallel zu dem oben vorgestellten Code arbeitet schließlich eine weitere Schleife, die die Auslösung durch den Benutzer beobachtet, um die vorherigen Daten zu sammeln und zu verarbeiten. Wie bereits erwähnt, werden die Maximal-, Minimal- und

Durchschnittswertdaten sowie die Rohdaten der letzten Beobachtungen angeordnet. Dieser Schritt wird im Folgenden dargestellt.



Die verwendete Arduino-Schaltung ist unten abgebildet.



LabVIEW-Dateien und ein Video, das die Verwendung des Programms demonstriert, werden zusammen mit diesem Dokument versandt.