



Ⓣ Bedienungsanleitung

Ni myDAQ

Experimentieradapterplatine 1

Best.-Nr. 1396697

CE

© 2016

1. Auflage 2016

Alle Rechte vorbehalten.

Die in diesem Buch veröffentlichten Beiträge, insbesondere alle Aufsätze und Artikel sowie alle Entwürfe, Pläne, Zeichnungen und Illustrationen sind urheberrechtlich geschützt. Ihre auch auszugsweise Vervielfältigung und Verbreitung ist grundsätzlich nur mit vorheriger schriftlicher Zustimmung des Herausgebers gestattet.

Die Informationen im vorliegenden Buch werden ohne Rücksicht auf einen eventuellen Patentschutz veröffentlicht. Die in diesem Buch erwähnten Soft- und Hardwarebezeichnungen können auch dann eingetragene Warenzeichen sein, wenn darauf nicht besonders hingewiesen wird. Sie gehören dem jeweiligen Warenzeicheninhaber und unterliegen gesetzlichen Bestimmungen.

Bei der Zusammenstellung von Texten und Abbildungen wurde mit größter Sorgfalt vorgegangen. Trotzdem können Fehler nicht vollständig ausgeschlossen werden. Verlag, Herausgeber und Autoren können für fehlerhafte Angaben und deren Folgen weder eine juristische Verantwortung noch irgendeine Haftung übernehmen.

Für die Mitteilung eventueller Fehler sind Verlag und Autoren dankbar.

Inhaltsverzeichnis

1.	Einleitung	4
2.	Der NI myDAQ	5
3.	Installation der ELVIS-Software	12
4.	Die Soft-Frontpanel(SFP)-Instrumente	15
4.1	Der ELVIS Instrument Launcher	17
5.	Der Experimentieradapterplatine 1	22
6.	Experimentieradapterplatine 1 und die SFPs	26
6.1	Digital Writer und die LEDs/Summer	26
6.2	Digital Reader und die Taster	30
6.3	Function Generator	33
6.4	Oscilloscope zur Signal- und Spannungsmessung	35
6.5	Bode-Plotter und der RC-Tiefpass	50
7.	LabVIEW	65
7.1	Der DAQ-Assistent	66
8.	Experimentieradapterplatine 1 und der DAQ-Assistent	80
8.1	LED- und Summer-Betrieb	80
8.2	Erfassung von Tastendrücken	85
8.3	Frequenzmesser	87
8.4	Temperaturmessung	93
	Systemdokumentation – Experimentieradapterplatine 1	104

1. Einleitung

Das hochmoderne **myDAQ-Modul** von National Instruments stellt dem Anwender ein komplettes **'Westentaschen-Messlabor'** mit insgesamt acht verschiedenen, leistungsfähigen Mess- und Analysegeräten zur Verfügung: Digital-Multimeter, Oszilloskop, Funktionsgenerator, Bode-Plotter, Spektrumanalysator, Arbiträrgenerator mit Waveform Editor, Digital Reader und Digital Writer. Diese universelle Datenerfassungsplattform kann einfach und unkompliziert überall mit hingenommen werden und ermöglicht somit nicht nur im Labor, sondern auch praxisnah unterwegs im Prüffeld, beim Kunden und zu Hause am eigenen Schreibtisch, die Durchführung und Auswertung unterschiedlich komplexer Mess- und Analyseaufgaben bis hin zum Aufbau einer kleinen Prozesssteuerung, -überwachung oder -regelung.



Weitere große Einsatzgebiete ergeben sich durch die Einbindung des myDAQ-Moduls in die grafische Entwicklungsumgebung **LabVIEW**. Mit Hilfe dieser Software kann der Anwender seine eigenen myDAQ-Programme schreiben und individuell seine ganz speziellen Mess- und Analyseaufgaben mit diesem Modul lösen.

Zum optimalen Einsatz des myDAQ-Moduls in Verbindung mit eigenen Entwicklungen wurde ein Satz von so genannten **Experimentieradapterplatten** und **mini-Systemen** entwickelt, die einfach an das myDAQ angesteckt werden und so einen unkomplizierten Anschluss des myDAQ an die jeweilige Zielhardware ermöglichen.



Der erste dieser Adapter aus der ganzen Serie ist die **Experimentieradapterplatine 1**, der das myDAQ-Modul u.a. um acht LEDs, einen Piezo-Summer, vier Taster, zwei Potentiometer, vier BNC-Buchsen und Doppelstock-Klemmblöcke erweitert.

In diesem kleinen Booklet werden die Verwendungsmöglichkeiten des myDAQs mit der Experimentieradapterplatine 1 vorgestellt, sowohl in Verbindung mit den Soft-Frontpanel(SFP)-Instrumenten des myDAQs als auch im Einsatz unter LabVIEW, in selbstentwickelten LabVIEW-VIs.

Bernd vom Berg
Peter Groppe
Kettwig, Herne - im März 2016

2. Der NI myDAQ

Die Innereien

Beginnen wir unsere kleine Einführung in den myDAQ mit einem kurzen Blick in das Innere dieses Moduls, **Abb.2.1**:

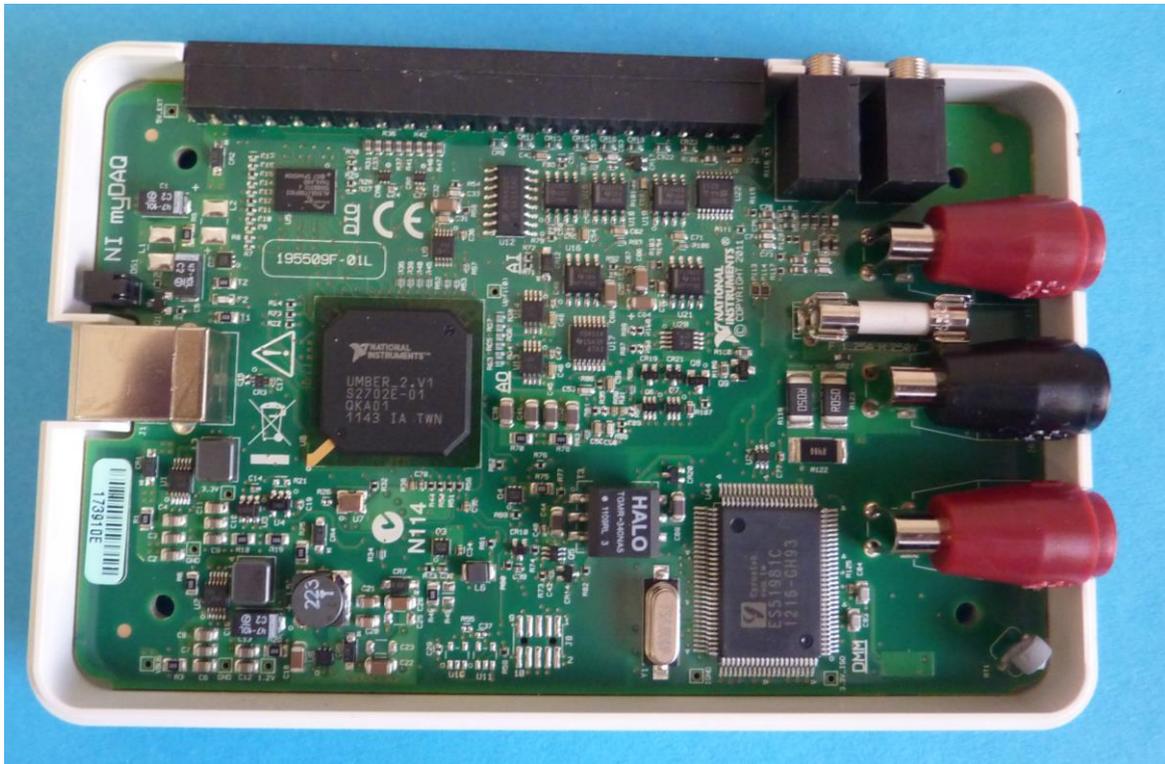


Abb.2.1: Das Innere des myDAQ-Moduls - sehr kompakt und äußerst leistungsfähig

Im Allgemeinen ist ein Aufschrauben des Moduls nicht notwendig, es sei denn, man muss auf Grund einer Fehl- bzw. Falschmessung die Feinsicherung des Digitalmultimeter-Teils auswechseln.

Das Blockschaltbild

Einen sehr guten Überblick über die Funktionen und die Einsatzmöglichkeiten des myDAQs liefert das Blockschaltbild, das praktischerweise direkt auf dem Gehäusedeckel aufgedruckt ist, **Abb.2.2**:

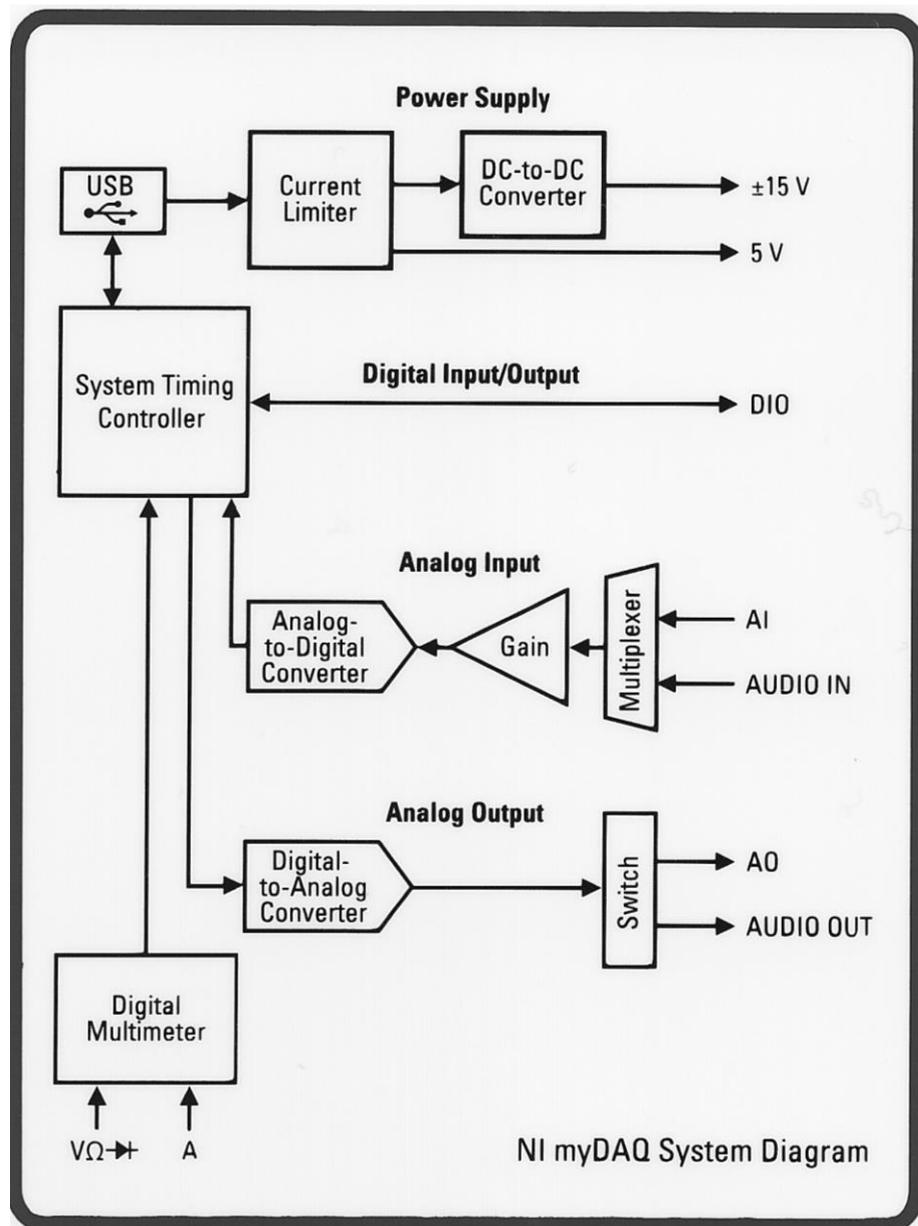


Abb.2.2: Das Blockschaltbild des myDAQs

Die **Kernfunktionen** dieses universellen Messmoduls sind hier sofort erkennbar (von unten nach oben):

- Eine komplette **Digitalmultimeter-Einheit** für Strom-, Spannungs-, Widerstandsmessung und Dioden-Test.
- Zwei universelle **Analog-Ausgänge** (AO) und ein spezieller **Audio-Stereo-Ausgang** (AUDIO OUT).

- Zwei universelle **Analog-Eingänge** (AI) und ein spezieller **Audio-Stereo-Eingang** (AUDIO IN).
Diese Eingänge sind mit einem programmierbaren Vorverstärker (Gain) verbunden, so dass die erfassten Analogsignale optimal aufbereitet (verstärkt) werden können.
- Acht universelle **digitale Ein-/Ausgänge** (DIO), die eine Vielzahl unterschiedlicher Alternativ-Funktionen erfüllen können.
- Ein geregelter **5 V-Spannungsausgang** (vom USB-Anschluss abgeleitet) zur Versorgung von extern an das myDAQ angeschlossenen Zusatzbaugruppen.
- Ein **±15V-Spannungsausgang** (über DC/DC-Wandler erzeugt), der ebenfalls zur Versorgung von extern an das myDAQ angeschlossenen Zusatzbaugruppen dienen kann.
- Eine **USB-Anschlussbaugruppe** zur Ankopplung des myDAQs an einen PC/Laptop.

Die Anschlüsse

Dem Anwender stehen für seine Applikationen am myDAQ im Wesentlichen **zwei Anschlussbereiche** zur Verfügung, **Abb.2.3**:

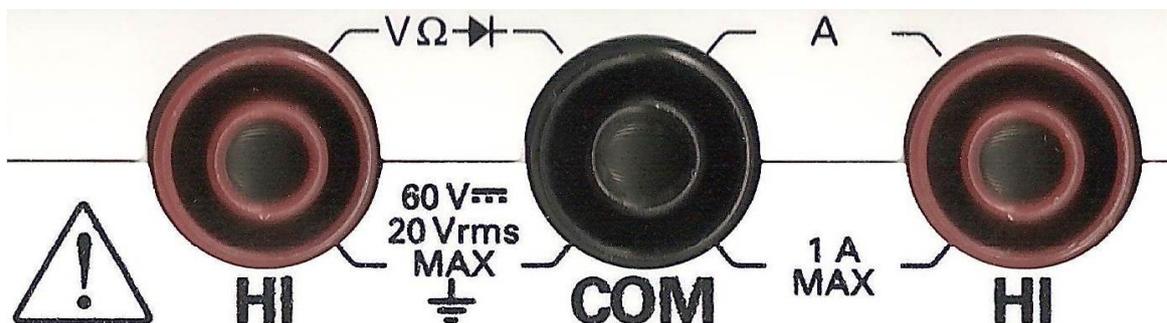


Abb.2.3: Der Anschlussbereich 1: Die Eingänge für das Digitalmultimeter

Hier findet man die gewohnten Eingangsbuchsen eines universellen Digitalmultimeters.

Die **Abb.2.4** zeigt die Reihenleiste zum Anschluss der restlichen Ein- und Ausgänge des myDAQs:

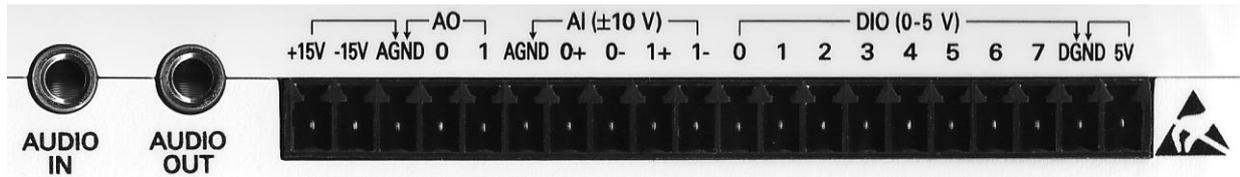


Abb.2.4: Der Anschlussbereich 2: Die restlichen Ein-/Ausgänge des myDAQs

An dieser Leiste können dem myDAQ die Signale nun über Schraubklemmen oder über Lötclenmen entnommen bzw. zugeführt werden.

Über diese Leiste erfolgt die Ankopplung aller Experimentieradapterplatten und miniSysteme.

Weiterhin befinden sich an dieser Gehäusesseite noch die beiden 3,5 mm-Klinkenbuchsen für den Audio-Stereo-Ein- und den Audio-Stereo-Ausgang.

Über einen **dritten Anschlussbereich** wird mittels **USB-Buchse** und **'Blauer OK-LED'** die USB-Verbindung zum übergeordneten Rechner hergestellt, **Abb.2.5:**

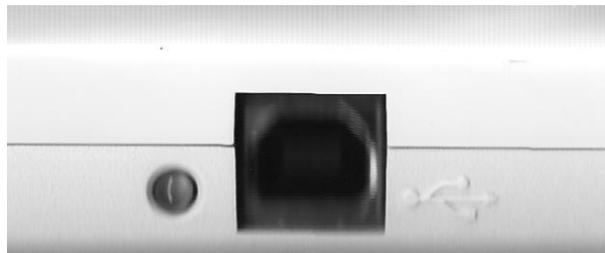


Abb.2.5: Der Anschlussbereich 3: USB-Anschlussbuchse mit blauer 'OK'-LED

Die Kenndaten

Alle wichtigen Kenndaten des myDAQ-Moduls sind natürlich detailliert im zugehörigen Datenblatt beschrieben.

Nachfolgend sollen daher nur übersichtsartig einige wesentliche Kerndaten aufgeführt werden:

Digitalmultimeter

- **Spannungsmessungen**

Gleichspannung: bis 60 V

Wechselspannung: bis 20 V effektiv

- **Strommessungen**

Gleichstrom: bis 1 A

Wechselstrom: bis 1 A effektiv

- **Widerstand** bis 20 M Ω
- **Diodenprüfung** Messung und Auswertung der Diodendurchlassspannung bis 2 V
- **Durchgangsprüfung** mit Summer

Analog-Eingänge

- Kanalanzahl: 2 differentielle Kanäle oder alternativ: ein Stereoeingang (Rechts-/Links-Kanal)
- Auflösung der A/D-Wandlung: 16 Bit
- Maximale Abtastrate: 200 kS/s, kein Antialiasing-Filter
- Eingangsspannungsbereiche:
 - Analogueingang: ± 10 V, ± 2 V, galvanisch gekoppelt
 - Audioeingang: ± 2 V, kapazitiv gekoppelt
- Bandbreite (-3dB-Grenzfrequenz):
 - Analogueingang: DC 400 kHz
 - Audioeingang: 1,5 Hz 400 kHz
- Eingangsimpedanz: > 10 G Ω || 100 pF

Analog-Ausgänge

- Kanalanzahl: Zwei Kanäle gegen Masse oder alternativ: ein Stereoausgang (Rechts/Links-Kanal)
- Auflösung der D/A-Wandlung: 16 Bit
- Maximale Ausgaberate: 200 kHz
- Ausgangsspannungsbereiche:
 - Analogausgang: ± 10 V, ± 2 V, galvanisch gekoppelt
 - Audioausgang: ± 2 V, kapazitiv gekoppelt
- Maximaler Ausgangsstrom: 2 mA
- Ausgangsimpedanz:
 - Analogausgang: 1 Ω
 - Audioausgang: 120 Ω
- Minimale Lastimpedanz: 8 Ω , Audioausgang

Digitale I/Os

- Kanalanzahl: 8 Kanäle, jeder Anschluss kann als Ein- oder Ausgang konfiguriert werden, wobei zusätzlich noch verschiedene Alternativ-Funktionen auswählbar sind.
- Pull-Down-Widerstand: 75 k Ω
- Logikpegel:
 - IN: 5-V-kompatibler LVTTL-Eingang
 - U_{IH} min: 2,0 V
 - U_{IL} max: 0,8 V
 - OUT: 3,3-V-LVTTL-Ausgang
- Maximaler Ausgangsstrom pro Anschluss: 4 mA

Universeller Zähler/Timer

- Anzahl der Zähler/Timer: 1
- Auflösung: 32 Bit
- Maximal Zähl- und Impulsausgabe-Rate: 1 MS/s
- Ein-/Ausgänge: alternative Funktionen der digitalen I/O-Kanäle.

Spannungsversorgungen

Das myDAQ-Modul bietet dem Anwender drei verschiedene Spannungsversorgungen zu Betrieb von extern angeschlossenen Zusatzschaltungen:

+5 V-Versorgung

Zum Beispiel zum Betrieb von Digitalschaltungen:

- Leerlaufspannung, ohne Last: 4,9 V bis 5,2 V
- Mindestspannung unter voller Last: 4,0 V
- Maximaler Ausgangsstrom: 100 mA

+15 V-Versorgung

Zum Beispiel zum Betrieb von Analogschaltungen (Operationsverstärker-Schaltungen):

- Leerlaufspannung, ohne Last: 15,0 V bis 15,3 V
- Mindestspannung unter voller Last: 14,0 V
- Maximaler Ausgangsstrom: 32 mA

-15 V-Versorgung

Zum Beispiel zum Betrieb von Analogschaltungen (Operationsverstärker-Schaltungen):

- Leerlaufspannung, ohne Last: -15,0 V bis -15,3 V
- Mindestspannung unter voller Last: -14,0 V
- Maximaler Ausgangsstrom: 32 mA

Wichtig: Die myDAQ-Spannungsversorgungen

Zwei Punkte sind zu beachten, wenn man die myDAQ-Spannungsversorgungen zur Speisung von externen Zusatzbaugruppen verwenden will:

1) Kombination mit externen Spannungsquellen

„Die Stromversorgungen des NI myDAQ dürfen unter keinen Umständen mit externen Stromquellen kombiniert werden. Bei Verwendung externer Stromquellen sind alle Verbindungen mit den Stromversorgungsanschlüssen des NI myDAQ zu trennen.“

(Zitat aus myDAQ-Handbuch)

2) Die zur Verfügung stehende maximale Gesamtleistung

„Die Gesamtleistung – berechnet aus der Leistung der Stromversorgungen sowie der Analog- und Digitalausgänge – ist typischerweise auf 500 mW begrenzt. Das Minimum beträgt 100 mW. Wie die gesamte Leistungsaufnahme der Komponenten berechnet wird, ist im Abschnitt Bauweise des NI myDAQ beschrieben.“

(Zitat aus myDAQ-Handbuch)

Kommunikation

Busschnittstelle zum PC/Laptop: USB 2.0 Hi-Speed

Kommen wir nun zur Software-Seite des myDAQs.

3. Installation der ELVIS-Software

(Sie brauchen dieses Kapitel nur dann zu durchzuarbeiten, wenn Sie die myDAQ-Software noch nicht auf Ihrem Rechner installiert haben. Ist dieses allerdings schon geschehen, so können Sie problemlos mit Kapitel 4 fortfahren)

Zum Betrieb des myDAQ-Moduls (Stand-Alone-Betrieb und/oder Einsatz unter LabVIEW) müssen zunächst **drei wesentliche Software-Pakete** auf Ihrem Rechner installiert werden:

- NI ELVISmx
- NI-DAQmx
- NI Measurement & Automation Explorer

Die Installation dieser benötigten **ELVISmx-Betriebssoftware für myDAQ-Module** läuft so ab, wie man es von anderen Standard-Windows-Programmen her gewohnt ist.

Anmerkung:

Je nachdem, welche ELVIS- Software-Version Sie mitgeliefert bekommen haben, können die nachfolgenden Bildschirmdarstellungen etwas anders aussehen, der prinzipielle Ablauf der Installation bleibt jedoch gleich.

Legen Sie die beim myDAQ-Modul mitgelieferte DVD in Ihren Rechner ein und warten Sie, bis die Installationsroutine anläuft. Eventuell müssen Sie die zugehörige autorun.exe-Datei 'von Hand starten', **Abb.3.1**.

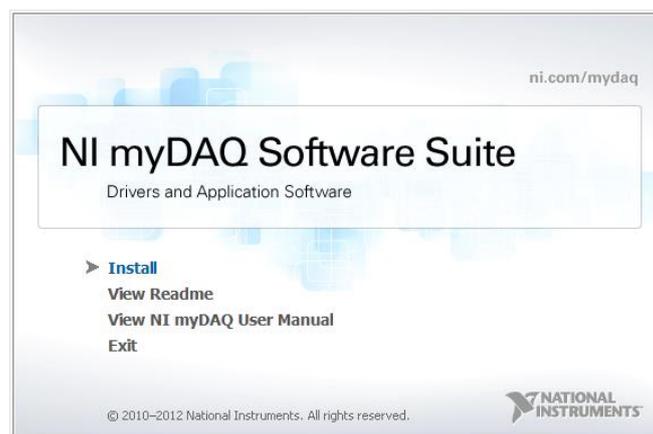


Abb.3.1: Die Auswahl der Installation

Wählen Sie hier den Punkt '**Install**' und die Installationsvorbereitungen beginnen, **Abb.3.2**:

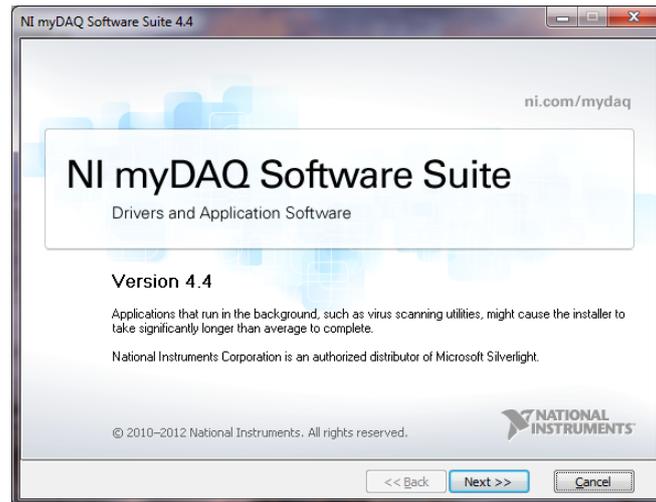


Abb.3.2: Die Installation läuft an

Durch Klicken auf 'Next' gelangen Sie zum nächsten Fenster, in dem Sie auswählen können, welche Software-Pakete Sie von der DVD installieren möchten, **Abb.3.3:**

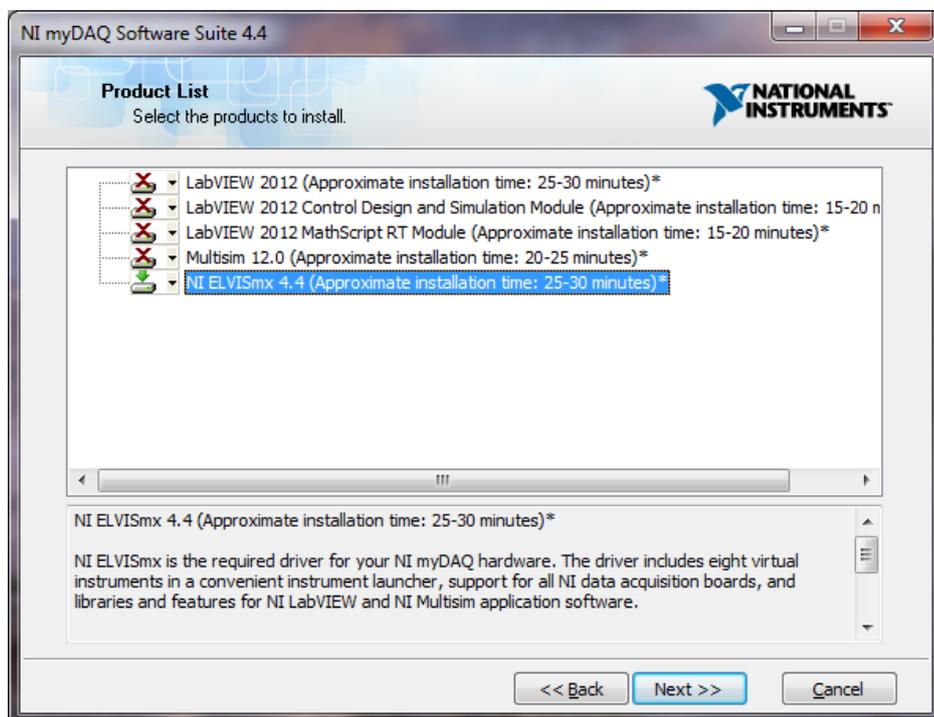


Abb.3.3: Die Auswahl der gewünschten Software-Pakete

In unserem Fall benötigen wir nur das letzte Paket 'NI ELVISmx 4.4' (bzw. die entsprechende neuere Version des Paketes, die sich auf der DVD befindet).

Experimentieradapterplatine 1

Bei Bedarf können Sie auch noch die LabVIEW (Demo)-Version auf Ihrem Rechner mit installieren (das erste Paket 'LabVIEW 2012' oder eine neuere Version).

Bestätigen Sie Ihre Auswahl durch Klicken auf 'Next'

Das folgende Fenster beenden Sie ebenfalls durch Klicken auf 'Next'. Es wird dann, via Internet, nach aktuellen Software-Updates gesucht.

In die folgenden Fenster tragen Sie nun die benötigten Informationen ein und klicken sich (wie bei Windows-Installationen gewohnt) mit 'Next' weiter durch bis zum eigentlichen Startfenster der Installation, **Abb.3.4**:

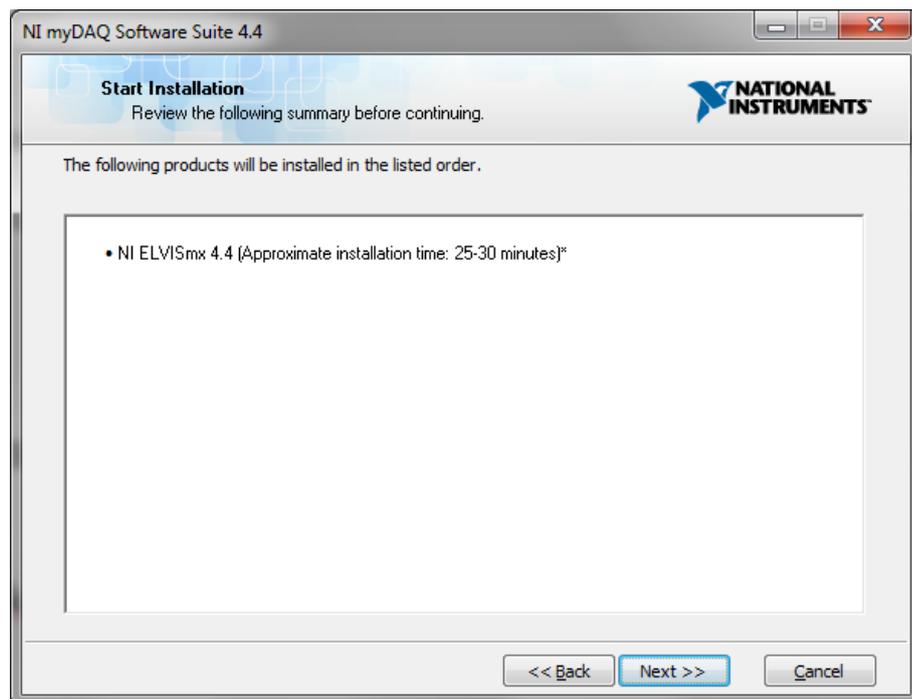


Abb.3.4: Die Installation kann jetzt starten

Nach dem Klicken auf 'Next' werden die zuvor erwähnten drei wesentlichen Software-Pakete auf Ihrem Rechner installiert (wenn Sie zuvor nur die Installation von NI ELVISmx ausgewählt haben):

- NI ELVISmx
- NI-DAQmx
- NI Measurement & Automation Explorer

Nach Abschluss der Installation ist Ihre Softwareumgebung für myDAQ-Module betriebsbereit.

4. Die Soft-Frontpanel(SFP)-Instrumente

Der erste einfache Schritt, ein myDAQ-Modul in der Praxis einzusetzen, ist die direkte und unmittelbare Verwendung der bereits funktionsfähig vorliegenden so genannten **ELVIS Soft-Front-Panel (SFP)-Instrumente**.

In ELVIS integriert sind für das myDAQ-Modul **acht der am häufigsten vorkommenden Mess- und Analysegeräte (die SFP-Instrumente)**, die dazu dienen, die eigene vorliegende angesteckte Schaltung zu analysieren bzw. durchzumessen.

Mit anderen Worten: der Anwender braucht keine acht unterschiedlichen Mess- und Analysegeräte zu kaufen und auf dem Labortisch zu verteilen, denn alles ist in ELVIS integriert und sehr häufig können auch mehrere Geräte parallel und gleichzeitig betrieben werden.

Der über den USB-Anschluss angeschlossene PC/Laptop dient hierbei in erster Linie nur als Anzeige- bzw. Bedieninstrument, **Abb.4.1:**

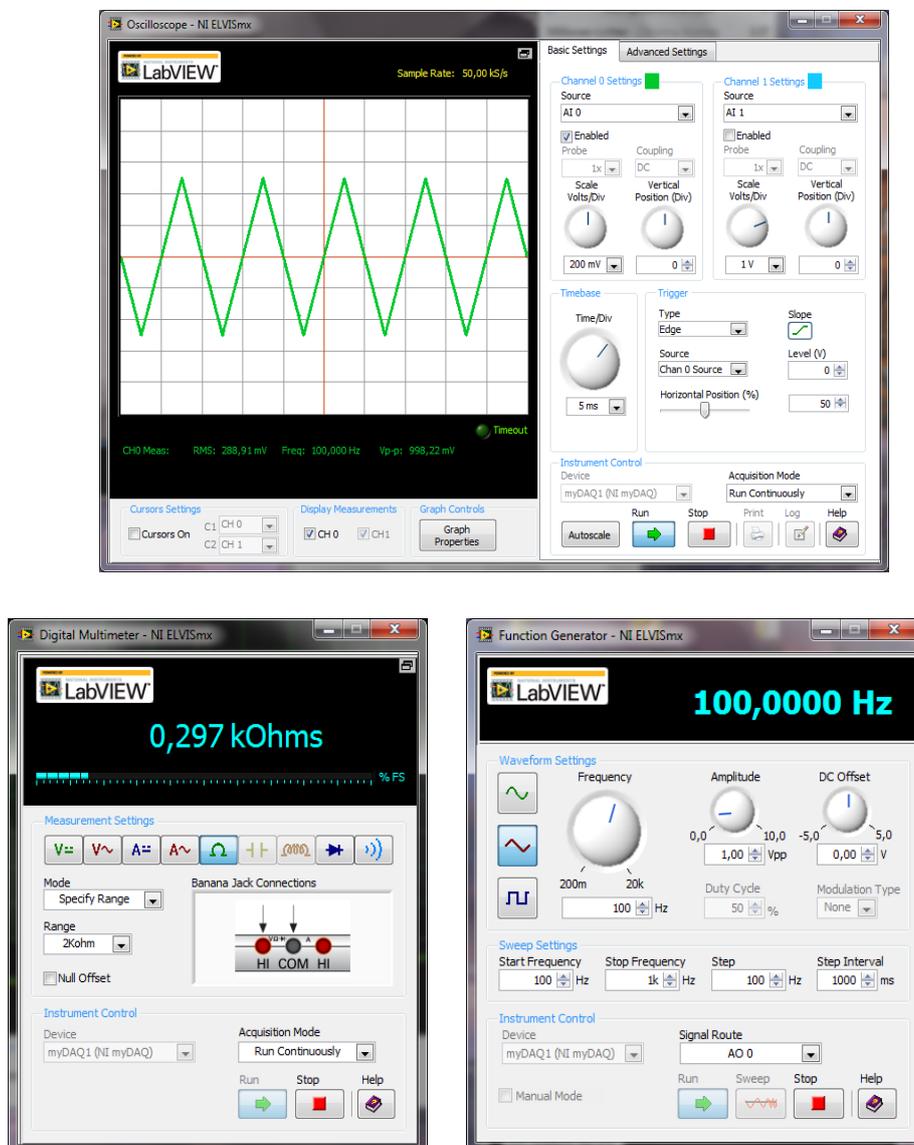


Abb.4.1: Oszilloskop, Digitalmultimeter und Funktionsgenerator gemeinsam auf dem PC/Laptop-Bildschirm

Ganz konkret: auf dem PC-Monitor sind die Frontpanels der jeweiligen Instrumente angeordnet und darüber können dann die Geräte bedient und eingestellt bzw. die Messwerte angezeigt und z.B. auch graphisch dargestellt werden.

Diese SFP-Instrumente sind zwar **komplett in LabVIEW programmiert**, aber davon bekommt der Anwender zunächst einmal nichts mit: er kann die SFP-Instrumente, ohne irgendwelche LabVIEW-Kenntnisse zu besitzen oder ohne irgendetwas in LabVIEW zu programmieren, einfach aufrufen und sofort einsetzen.

Selbstverständlich ist der erfahrene LabVIEW-Anwender darüber hinaus in der Lage, diese Instrumente (über die vorhandenen LabVIEW-Treiber ELVISmx bzw. über die zugehörigen LabVIEW-Express-VIs) in seine eigenen, selbst programmierten LabVIEW-VIs einzusetzen um dann damit komplexe, große LabVIEW-Anwendungen zu erstellen.

Im Endeffekt erhält der myDAQ-Anwender durch diese fertig vorliegenden ELVIS-SFP-Instrumente bereits einen äußerst leistungsfähigen Satz von Geräten für die unterschiedlichsten Mess- und Analyseaufgaben.

Hinzu kommt dann noch, dass von NI selber und von dritter Seite aus, fortlaufend weitere, neue SFP-Instrumente für den Einsatz in Verbindung mit myDAQ entwickelt werden, die oft sogar kostenlos bezogen werden können.

In der nachfolgenden Aufstellung sieht man, welche **acht SFP-Instrumente** dem Anwender beim Einsatz des myDAQs zur Verfügung stehen (in Klammern befinden sich die 'genormten' englischen Bezeichnungsabkürzungen in den myDAQ-Beschreibungen):

- Digital Multimeter (DMM)
- Oscilloscope (Scope)
- Function Generator (FGEN)
- Bode Analyzer (Bode)
- Dynamic Signal Analyzer (DSA ≡ Spektrumanalysator)
- Arbitrary Waveform Generator (ARB)
- Digital Reader (DigIn)
- Digital Writer (DigOut)

Der Vollständigkeit halber (und weil diese SFP-Instrumente in anderer Literatur öfters erwähnt werden) hier noch die restlichen **vier Geräte**, die allerdings nur bei Verwendung der größeren ELVIS-Systeme von National Instruments zur Verfügung stehen:

- Variable Power Supply (VPS)
- Impedance Analyzer (Imped)
- 2-Wire Current-Voltage Analyzer (2-Wire)
- 3-Wire Current-Voltage Analyzer (3-Wire)

4.1 Der ELVIS Instrument Launcher

Aufgerufen werden diese fertigen SFP-Instrumente über den so genannten '(NI ELVISmx) Instrument Launcher', der automatisch startet, wenn ein myDAQ-Modul an den Rechner angeschlossen wird.

Sollte der automatische Start nicht erfolgen, so kann man diesen Launcher auch 'von Hand starten', denn er befindet sich unter (wenn alle LabVIEW- und myDAQ-Softwarepakete Standardgemäß installiert wurden):

C:\Program Files (x86)\National Instruments\NI ELVISmx Instrument Launcher\niiql.exe

Hinweis:

Alle nachfolgenden Ausführungen und Screenshots beziehen sich auf die Version 'NI ELVISmx 4.5'.

Neuere Versionen dieses Software-Paketes haben eventuell eine andere Bedienoberfläche, die Funktion und das Aussehen der einzelnen SFP-Instrumente ist aber gleich.

Über den Instrument Launcher können nun die einzelnen SFP-Instrumente mittels eines Mausklicks aktiviert, d.h. aufgerufen werden.

Daher sieht das **Startbild des Instrument Launchers** so aus, **Abb.4.1.1**:

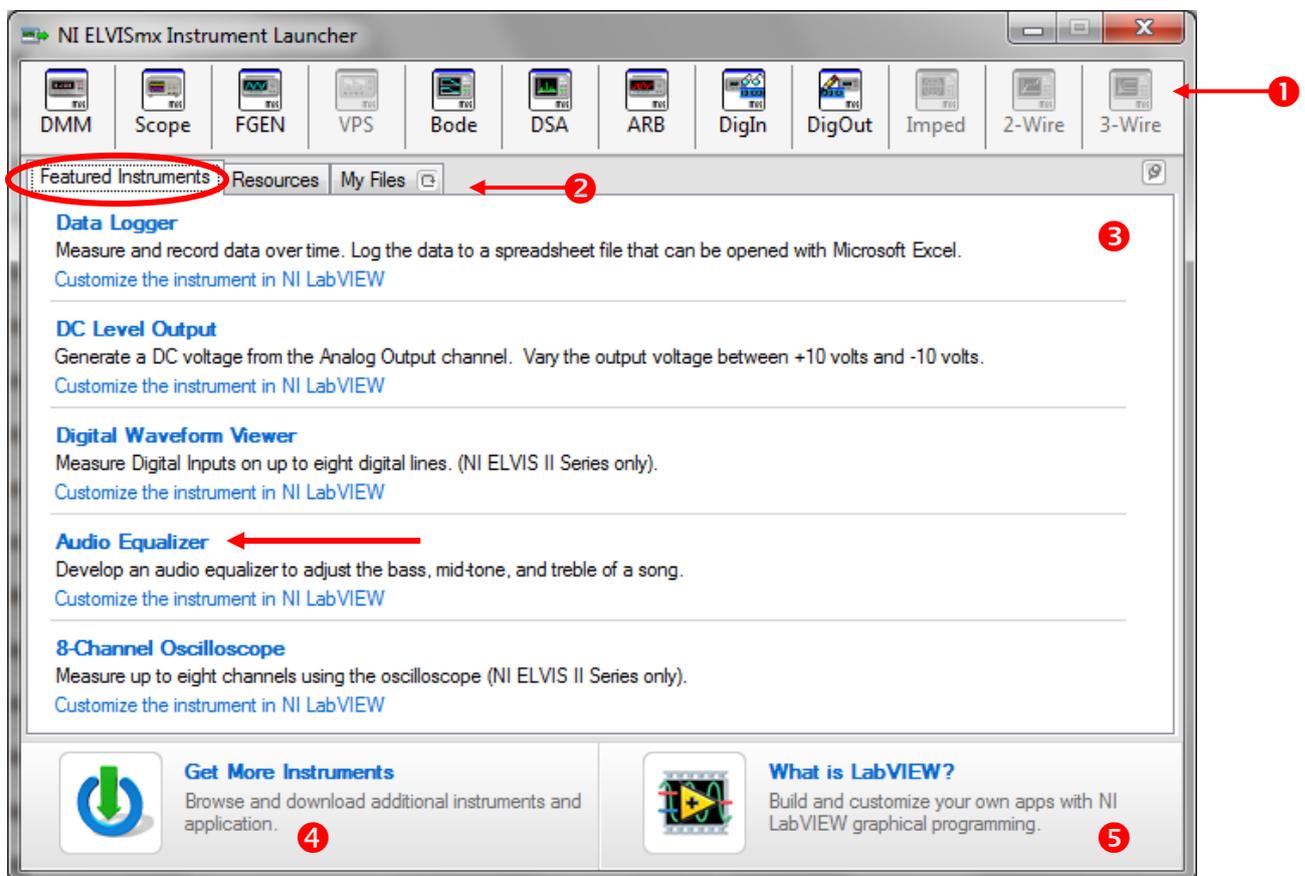


Abb.4.1.1: Das Startbild des Instrument Launchers

Experimentieradapterplatine 1

In der Zeile ❶ befinden sich die 'Anklick-Ikone' für die zwölf SFP-Instrumente, wobei nur die farbigen, nicht ausgegrauten, Ikone für myDAQ-Module aktivierbar sind.

In der Zeile ❷ sind **drei Registerkarten** angeordnet, die weitere wichtige Informationen zu myDAQ-Modulen enthalten.

Wählt man die Registerkarte 'Featured Instruments' (≡ empfohlene Instrumente) aus, so erscheint im Fenster ❸ eine Anzahl weiterer fertiger SFP, die von NI zusätzlich für myDAQ entwickelt wurde. Diese SFP-Geräte können Sie einfach durch Mausklick anwählen und sofort verwenden, z.B. den **Audio-Equalizer** in **Abb.4.1.2**:

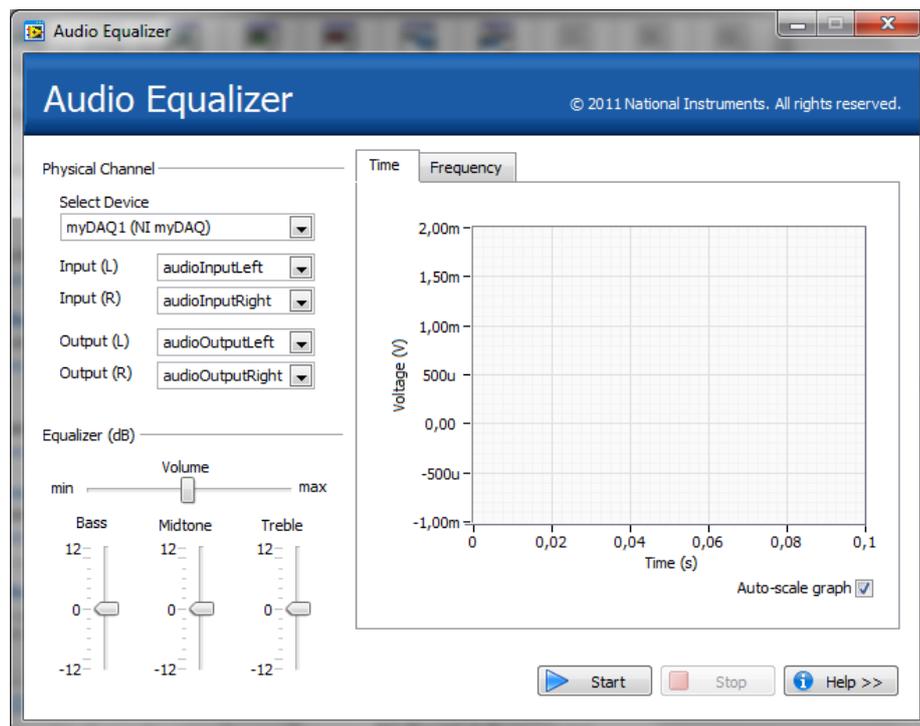


Abb.4.1.2: Ein neues weiteres SFP-Instrument, der Audio Equalizer für myDAQ

In der unteren rechten Ecke eines jeden SFP-Fensters finden Sie den sehr wichtigen 'Help-Knopf', durch den beim Anklicken an der rechten Seite des SFP-Fensters ein (umfangreiches) Hilfe- und Bedienmenü zu diesem SFP-Instrument eingeblendet wird.

Sie müssen bei der Auswahl dieser SFP-Geräte im Fenster ❸ nur darauf achten, dass dort **nicht** der Hinweis 'NI ELVIS II Series only' steht, denn dann können Sie dieses SFP-Instrument nicht in Verbindung mit einem myDAQ-Modul verwenden.

Klicken Sie auf das Icon im Feld ❹ ('Get More Instruments'), so werden Sie via Internet zu einer Seite geleitet, auf der Sie u.a. die (englischsprachige) Community zu ELVIS/myDAQ und weitere SFP-Instrumente von dritter Seite finden, **Abb.4.1.3**:

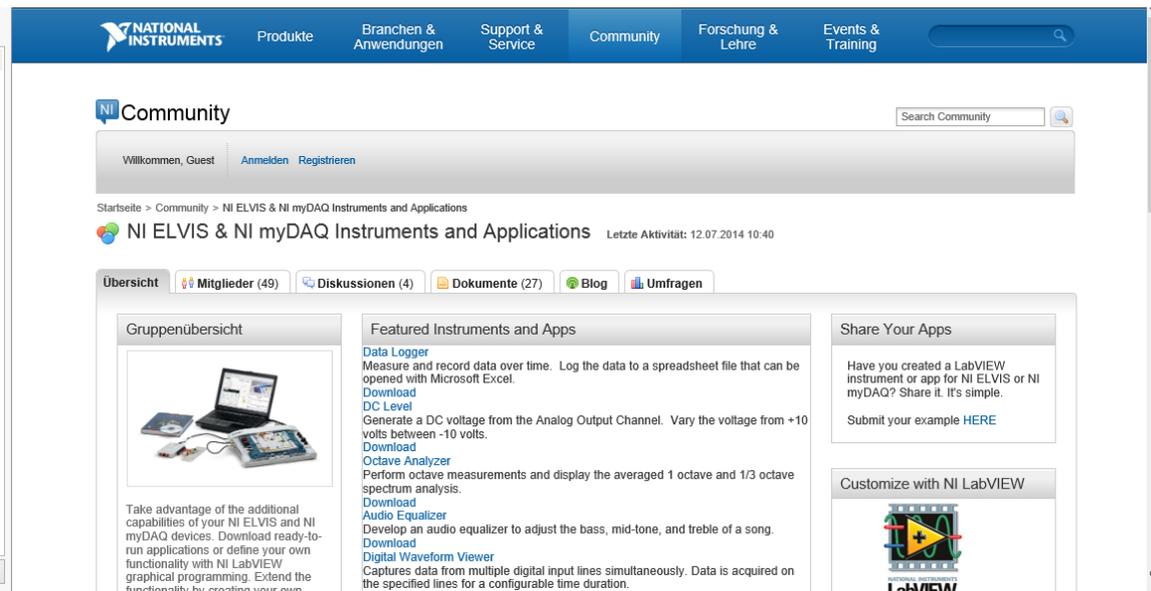


Abb.4.1.3: Noch mehr SFPs für myDAQ-Module

Hier sind bereits eine große Vielzahl von Anwendungen veröffentlicht, mit umfangreichen und detaillierten Hardware-Beschreibungen incl. der zugehörigen LabVIEW-VIs für den direkten Einsatz mit bzw. auf myDAQ-Modulen.

Beim Klick auf das LabVIEW-Ikon in der Box ⑤ ('What is LabVIEW?') gelangen Sie via Internet zu vielfältigen Informationen rund um LabVIEW, **Abb.4.1.4:**

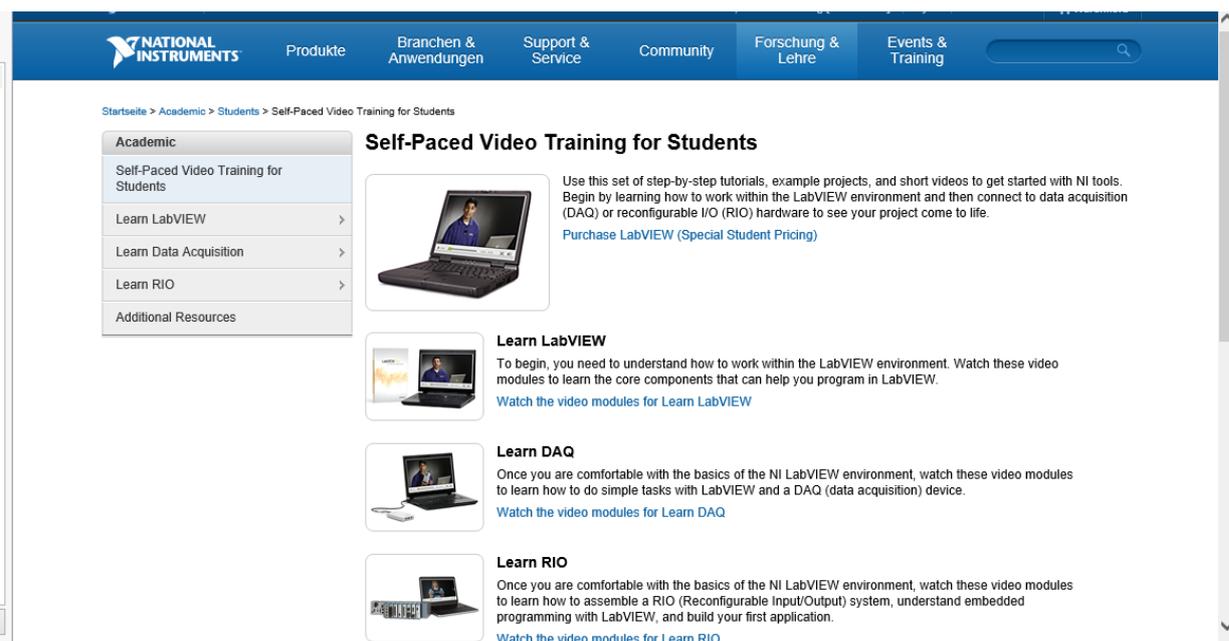


Abb.4.1.4: Direkte Informationen zu LabVIEW

Wählen Sie in der Zeile ② (Abb.4.1.1) die Registerkarte 'Resources' aus, so können Sie über das nun erscheinende Fenster **Datenblätter** zum ELVIS- und zum myDAQ-Modul aufrufen, **Hilfe** zur Konfiguration der Hardware bekommen oder das **Diskussions-Forum** besuchen, **Abb.4.1.5**:

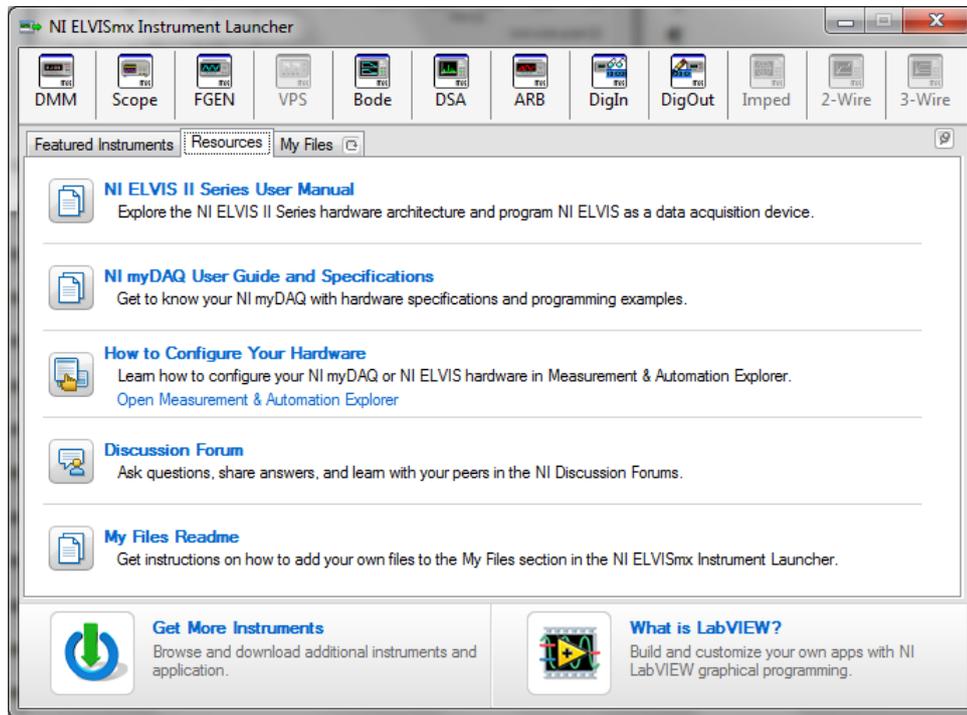


Abb.4.1.5: Die Registerkarte 'Resources': Vielfältige Informationen rund um myDAQ stehen dem Anwender zur Verfügung

Allerdings sind viele Informationen (nur) in englischer Sprache verfügbar und für einige Punkte benötigen Sie eine Internetverbindung.

Über die Registerkarte 'My Files' in der Zeile ② (Abb.4.1.1) sind Sie in der Lage, auf der Festplatte Ihres Rechners eine eigene Verzeichnisstruktur mit allen Ihren myDAQ-Files anzulegen, **Abb.4.1.6**:

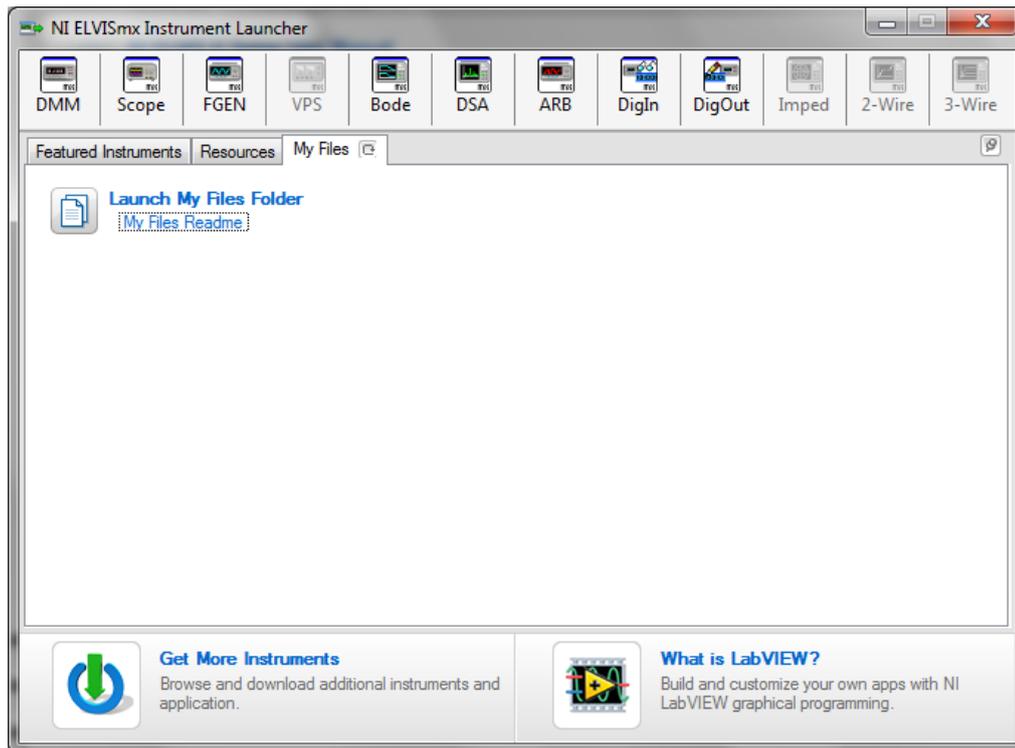


Abb.4.1.6: Die Registerkarte 'My Files': Eine eigene Verzeichnisstruktur sorgt für einen schnellen Zugriff auf alle myDAQ-Dateien

Sie erhalten so (über diese Registerkarte) eine Art 'Schnellzugriff' auf alle Dateien bzw. Datensätze, die direkt mit Ihren myDAQ-Anwendungen zu tun haben.

Es bleibt allerdings Ihnen überlassen, ob Sie diese Ablageart verwenden oder sich Ihre eigene Verzeichnisstruktur auf der Festplatte erzeugen.

Klicken Sie im Fenster aus der Abb.4.1.6 auf '**My Files Readme**', so bekommen Sie weitergehende Informationen zum Arbeiten mit dieser speziellen Verzeichnisstruktur.

Fazit:

Über den (ELVIS) Instrument Launcher werden wir ab jetzt alle unsere SFP-Instrumente auswählen und starten.

Die ersten Anwendungen mit der Experimentieradapterplatine 1 lassen sich bereits sehr einfach mit diesen SFP-Instrumenten ausführen.

5. Die Experimentieradapterplatine 1

Die **Abb.5.1** zeigt diese vielseitige Experimentieradapterplatine 'Experimentieradapterplatine 1' und in der **Abb.5.2** ist der zugehörige Schaltplan zu sehen:

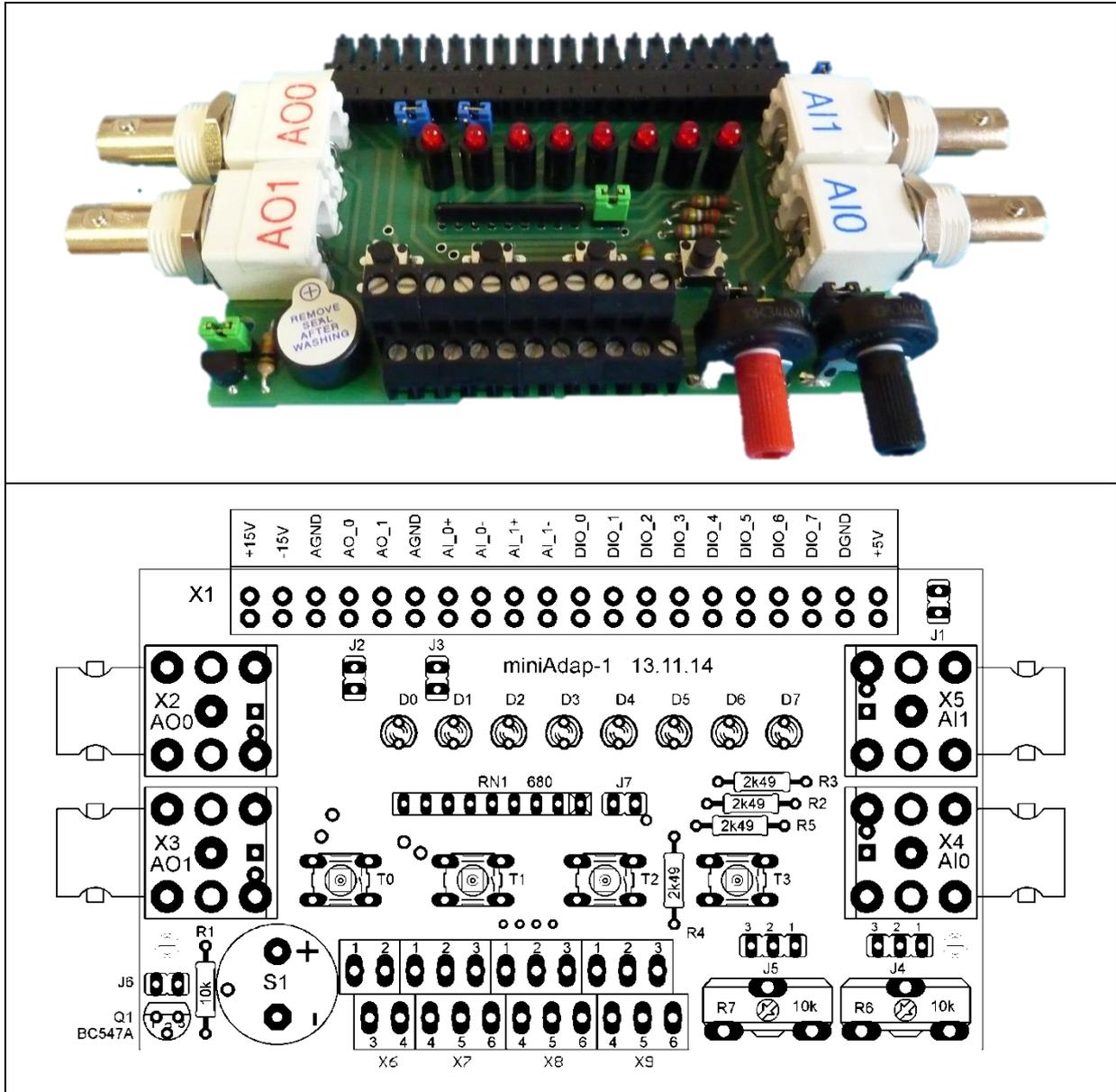


Abb.5.1: Experimentieradapterplatine 1: Potentiometer-LEDs-Taster-Summer-Schraubklemmblock

Doppelstockklemme X6:

1	Analogausgang 1 (AO_1)
2	Analogausgang 0 (AO_0)
3	Analoge Masse (AGND)
4	Analoge Masse (AGND)

Doppelstockklemme X7:

1	Digital Ein-/Ausgang 0 (DIO_0)
2	Digital Ein-/Ausgang 1 (DIO_1)
3	Digital Ein-/Ausgang 3 (DIO_3)
4	+ 15V Versorgungsspannung
5	- 15V Versorgungsspannung
6	Digital Ein-/Ausgang 4 (DIO_4)

Doppelstockklemme X8:

1	Digital Ein-/Ausgang 5 (DIO_0)
2	Digitale Masse (GND)
3	5V Versorgungsspannung (VCC)
4	Digital Ein-/Ausgang 6 (DIO_6)
5	Digital Ein-/Ausgang 7 (DIO_7)
6	Digital Ein-/Ausgang 2 (DIO_2)

Doppelstockklemme X9:

1	Analoge Masse (AGND)
2	Analogeingang 1- (AI_1-)
3	Jumper 5, Pin 1 (J5.1)
4	Analoge Masse (AGND)
5	Jumper 4, Pin 1 (J4.1)
6	Analogeingang 0- (AI_0-)

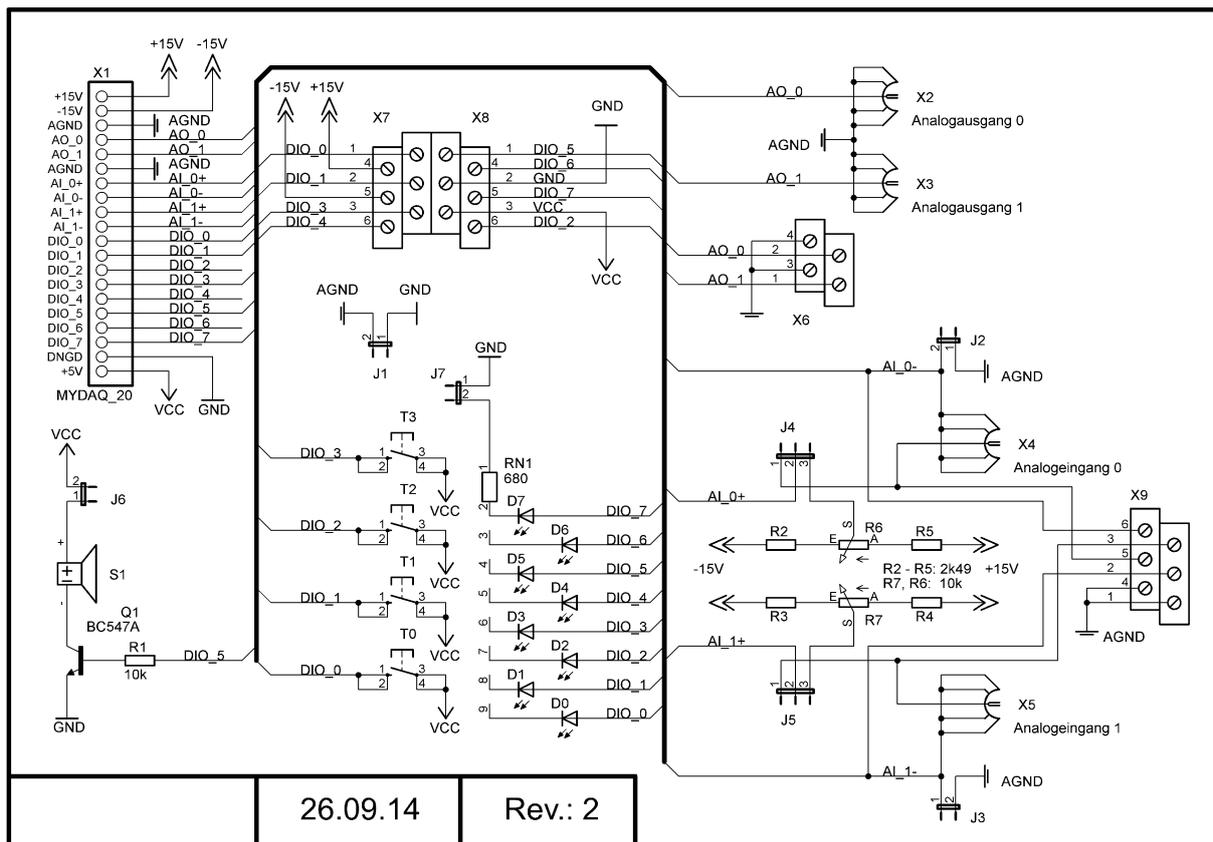


Abb.5.2: Schaltplan der Experimentieradapterplatine 1

Experimentieradapterplatine 1

Auf dieser Adapterplatine befinden sich **folgende Baugruppen**:

Die beiden **Analog-Ausgänge** des myDAQs sind auf BNC-Buchsen geführt (X2, X3).

Die beiden **Analog-Eingänge** des myDAQs sind ebenfalls auf BNC-Buchsen geführt (X4, X5). Alternativ können über die Jumper J4 und J5 **Potentiometer** an die Analog-Eingänge gelegt werden mit denen man dann eine Spannung im Bereich zwischen -10 V bis +10 V einstellen kann. So lassen sich z.B. Sensor-Messsignale simulieren und dann durch das SFP-Instrument bzw. durch das LabVIEW-VI auswerten.

Über zwei weitere Jumper (J2 und J3) kann der AGND-Anschluss entsprechend beschaltet werden und der Jumper J1 verbindet bei Bedarf die analoge und die digitale Masse.

An alle acht digitalen Port-Pins (DIO0 – DIO7) des myDAQs sind **Low-Current-LEDs** (D0 – D7) angeschlossen, die direkt vom myDAQ-Modul angesteuert werden können.

Über den Jumper J7 kann der gemeinsame Masse-Anschluss dieser LEDs von der Masse getrennt werden, so dass über diesen Jumper die LEDs, je nach Bedarf, gemeinsam aktiviert bzw. deaktiviert werden können.

Zusätzlich sind an den Portanschlüssen DIO_0 – DIO_3 noch vier **Taster** (Schließer) angeschlossen, mit denen man binäre Eingangssignale simulieren kann.

Bei Betätigung eines Tasters leuchtet zusätzlich noch die zugehörige LED auf.

An Port-Pin DIO_5 ist, über einen Schalttransistor, noch ein **Summer** angeschlossen, der über Jumper J6 aktivier- bzw. deaktivierbar ist.

So können auch akustische Signale ausgegeben werden.

An den **Schraubklemmenblöcken** X6, X7, X8 und X9 liegen zusätzlich noch alle Anschluss-Pins des myDAQ-Moduls 1:1 an, so dass hier weitere Ergänzungen/Applikationen sehr einfach angeschlossen werden können.

Die **Abb.5.3** zeigt den Bestückungsplan des miniAdapters-1 und weitere Informationen zu dieser Baugruppe finden Sie in der angehangenen **Systemdokumentation**:

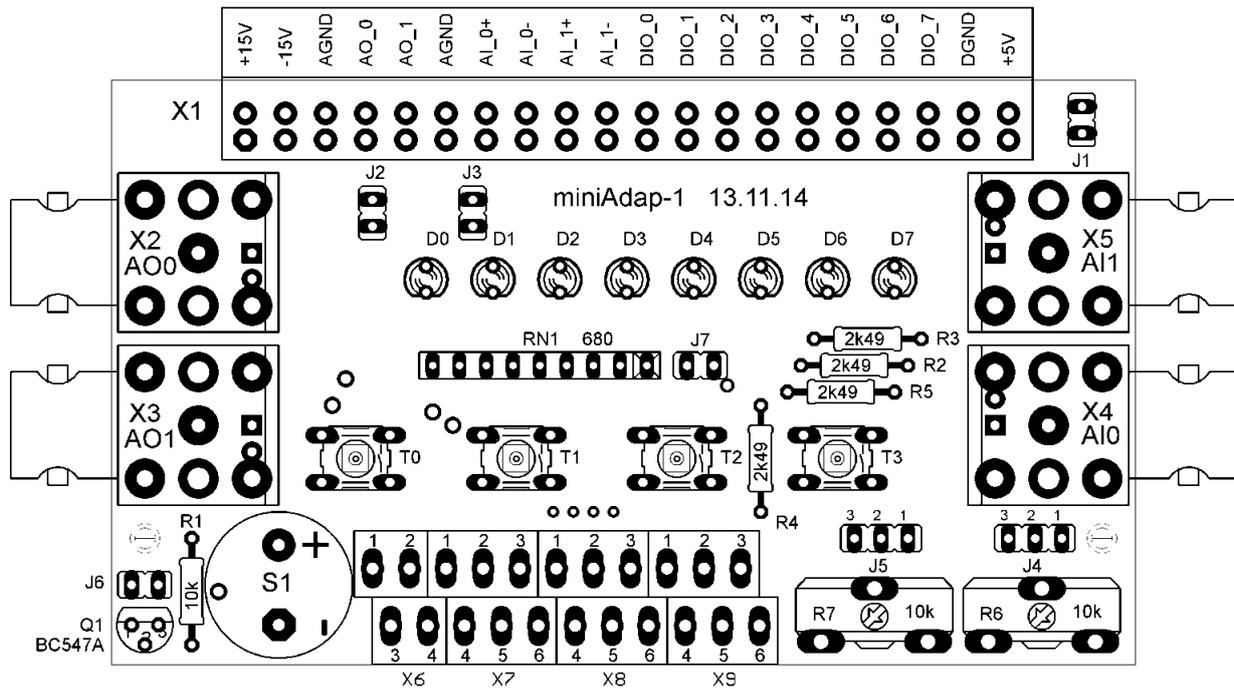


Abb.5.3: Der Bestückungsplan der Experimentieradapterplatine 1

Bereits ohne LabVIEW-Programmierung kann man nun schon mit dieser Experimentieradapterplatine in Verbindung mit den Soft-Frontpanel-Instrumenten, sinnvoll arbeiten.

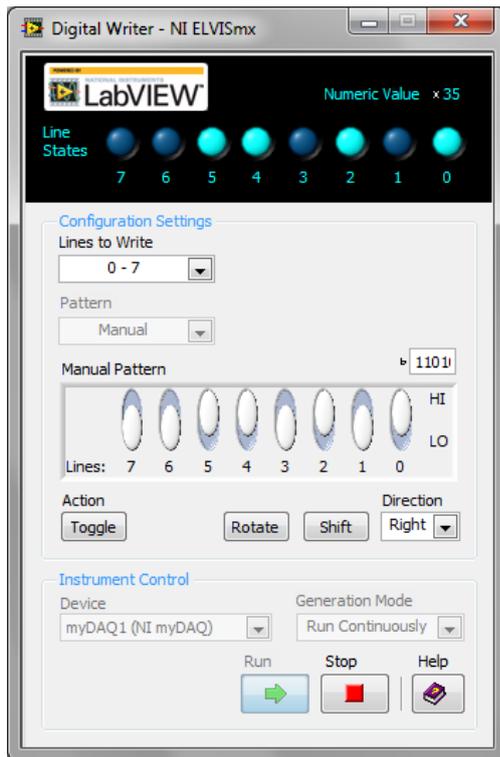
Die größte Leistungsfähigkeit des myDAQs im Zusammenspiel mit der Experimentieradapterplatine 1 ergibt sich allerdings erst dann, wenn man eigene Anwendungen unter LabVIEW entwickelt und realisiert.

Beispiele zu diesen beiden großen Anwendungsbereichen werden wir nun nachfolgend darstellen.

6. Experimentieradapterplatine 1 und die SFPs

In diesem Kapitel werden nachfolgend einige der wichtigsten SFPs beschrieben, die einen **Stand-Alone-Einsatz des myDAQs** mit der Experimentieradapterplatine 1 ermöglichen.

6.1. Digital Writer und die LEDs/Summer



Allgemeines:

Der **myDAQ-Digital Writer (DigOut)** ermöglicht es, binäre (logische) Zustände an den digitalen I/O-Port-Pins des myDAQ-Moduls auszugeben.

Eigenschaften des Digital Writers:

Die myDAQ digitalen Port-Pins sind bei diesem SFP in drei Gruppen fest eingeteilt:

- Port-Pins 0 – 3
- Port-Pins 4 – 7
- Port-Pins 0 – 7

Vom Digital Writer können jetzt immer (nur) die Zustände der Ports-Pins von einer dieser ausgewählten Gruppen geändert werden. Dabei lassen sich die Pins aus der Gruppe einzeln setzen bzw. zurücksetzen.

Beachten:

Wenn eine dieser Gruppen als Ausgangsgruppe festgelegt worden ist, kann diese Gruppe nicht mehr gleichzeitig als Eingangsgruppe für den Digital Reader (s. Kap. 6.2) parametrisiert werden (und umgekehrt).

Wird dieses dennoch versucht, so erscheint eine entsprechende Fehlermeldung, wenn Digital Reader und Digital Writer gleichzeitig betrieben werden sollen.

Für die **erzeugten Ausgangssignalpegel** an den Port-Pins gilt:

Low	≡	log.'0'	≡	0 V
High	≡	log.'1'	≡	+3,3 V
Maximaler Ausgangsstrom pro Pin:				4 mA

Der **Ruhezustand** an den Port-Pins ist Low und wird durch einen internen Pull-Down-Widerstand erreicht.

Die Bedienung des Digital Writers

ist beinahe selbsterklärend und über die LabVIEW-Kontexthilfe Hilfe ('Strg+H') und über den 'Help'-Button unten rechts erhält man weitere Informationen zu dessen Betrieb.

Im **Darstellungsbereich** werden die Zustände an den Port-Pins ('**Line States**') in Form von blauen LEDs dargestellt und darüber sieht man den entsprechenden Binärwert des Portzustandes in hexadezimaler Schreibweise ('**Numeric Value**').

In den beiden unter dem Darstellungsbereich liegenden Fenstern können einige grundlegende Einstellungen vorgenommen werden, **Abb.6.1.1**:

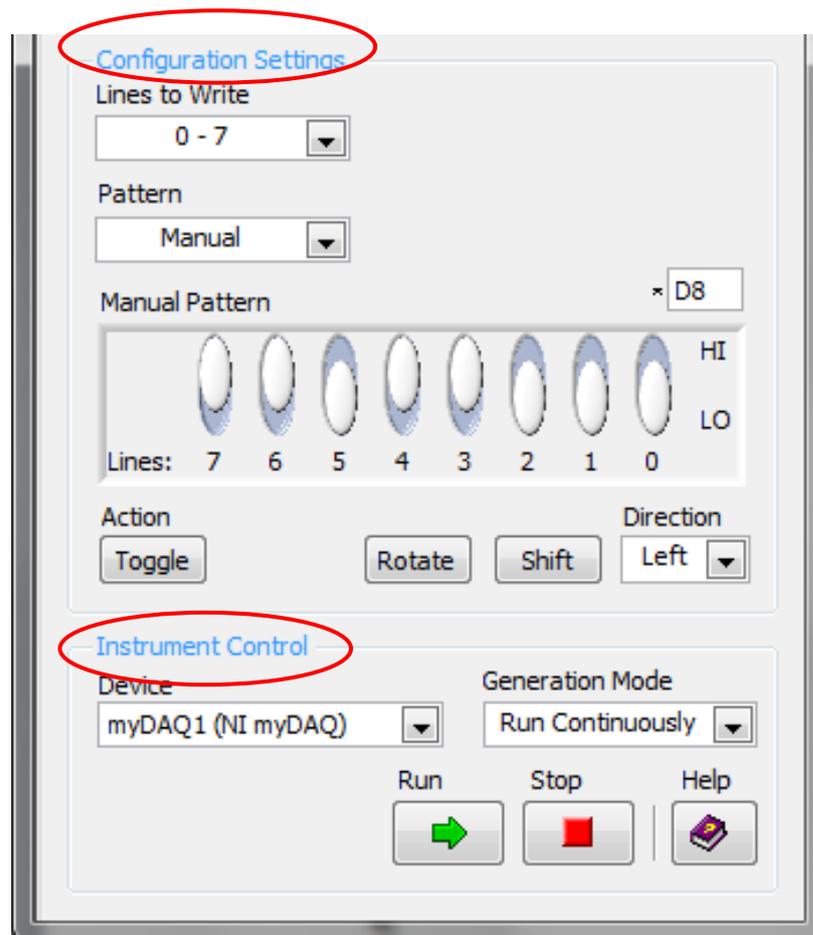


Abb.6.1.1: Die grundlegenden Einstellungen beim Digital Writer

Wichtig sind die '**Configuration Settings**': unter '**Lines to Write**' wird festgelegt, welche Port-Pin-Gruppe (welche Port-Pins) als Ausgang benutzt werden soll.

Im Fenster '**Pattern**' können Testmuster für die Ansteuerung der LEDs, d.h. für die Ansteuerung der Port-Pins, festgelegt bzw. ausgewählt werden (Auswahl nur möglich, wenn der Digital Writer gestoppt ist), **Abb.6.1.2**:

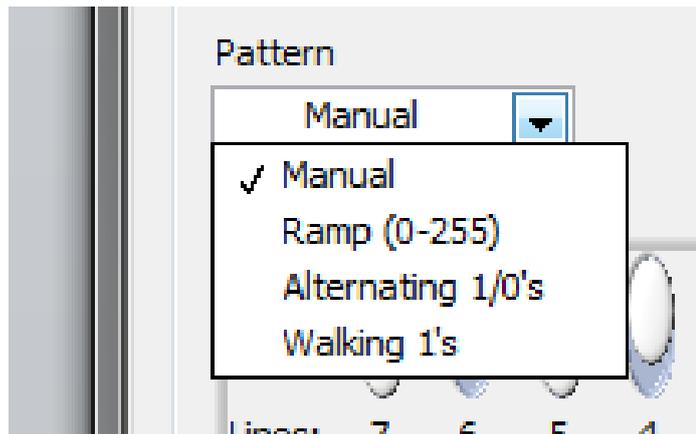


Abb.6.1.2: Die Auswahl von LED -Testmustern

Es bedeuten hierbei:

- **'Manual'**: Bei Auswahl dieser Betriebsart können über die acht Schiebschalter **'Manual Pattern'** die LEDs (Port-Pins) individuell ein- und ausgeschaltet werden. Wenn Sie auf den **'Run'**-Button klicken werden diese Zustände sofort an die Ports/LEDs weitergeleitet: Während des Run-Betriebs sind nun die Zustände über die Schalter beliebig änderbar.
- **'Ramp (0-255)'**: Hierbei wird ein Binärzähler realisiert, der von 0 an hochzählt und dessen Zustände an die Port-Pins ausgegeben werden.
- **'Alternating 1/0's'**: In dieser Betriebsart blinken die LEDs abwechselnd.
- **'Walking 1's'**: Hierbei wird ein log.'1' durch die LED-Reihe geschoben.

In der Betriebsart 'Manual' können Sie noch weitere Einstellungen vornehmen, **Abb.6.1.3:**

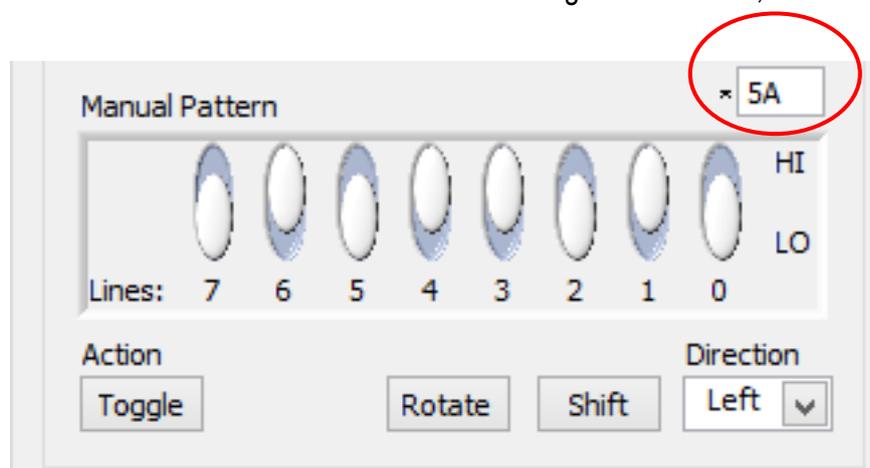


Abb.6.1.3: Weitere Betriebsmöglichkeiten in der Betriebsart 'Manual'

Jetzt sind nämlich folgende Buttons aktiv freigeschaltet:

- **'Toggle'**: Damit kann auf Knopfdruck das gesamte Bitmuster einfach negiert werden.
- **'Rotate'**: Beim Druck auf diesen Button wird das gesamte Bitmuster um eine Stelle nach rechts oder nach links geschoben, wobei die jeweils 'herausfallenden' Bits auf der anderen Seite wieder reingeschoben werden.
- **'Shift'**: Beim Druck auf diesen Button wird das gesamte Bitmuster um eine Stelle nach rechts oder nach links verschoben, wobei die jeweils 'herausfallenden' Bit verloren gehen und auf der anderen Seite '0en' nachgezogen werden.
- **'Direction'**: Über dieses Auswahlfenster kann die Schieberichtung beim 'Rotate'- bzw. 'Shift'-Betrieb festgelegt werden.

Experimentieradapterplatine 1

Stecken Sie jetzt die Experimentieradapterplatine 1 an das myDAQ-Modul an.

Folgende Jumper müssen gesteckt sein:

- **Jumper J7**: hierüber wird die Betriebsspannung an die LEDs gelegt und die LEDs können betrieben werden.
- **Jumper J6**: hierüber kann der Piezo-Summer aktiviert werden:
 - Jumper nicht gesteckt: der Piezo-Summer ist inaktiv
 - Jumper gesteckt: der Piezo-Summer wird über Pin DIO_5 aktiviert (parallel zur LED D5)

Testen Sie nun alle Möglichkeiten des Digital Writers aus!

Interessant ist noch das kleine Fenster rechts oberhalb der Schalterreihe (s. Abb.6.1.3): in allen Betriebsarten wird hier immer der dem Bitmuster entsprechende Zahlenwert angezeigt.

In der Betriebsart 'Manual' kann hier zusätzlich noch vom Anwender ein Zahlenwert eingetragen werden, der dann als entsprechendes Bitmuster an den Port-Pins ausgegeben wird.

Klickt man (in der Betriebsart 'Manual') auf das ganz kleine, unscheinbare Symbol links neben dem Fenster, so öffnet sich ein Pull-Down-Menü, in dem man dann auswählen kann, in welchem Zahlensystem bzw. Zahlenformat der Wert in diesem Fenster dargestellt werden soll, **Abb.6.1.4**:

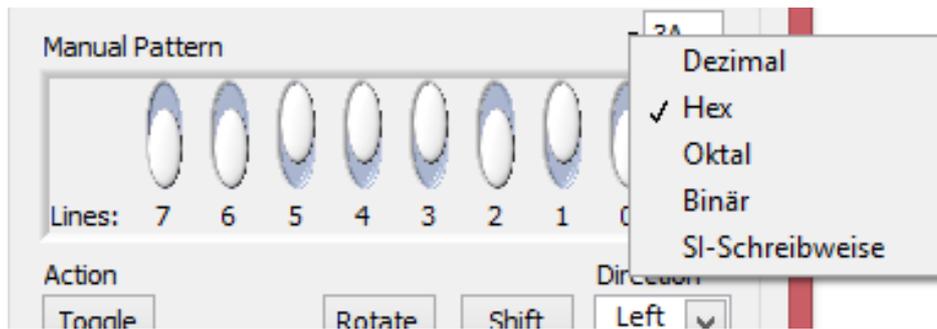


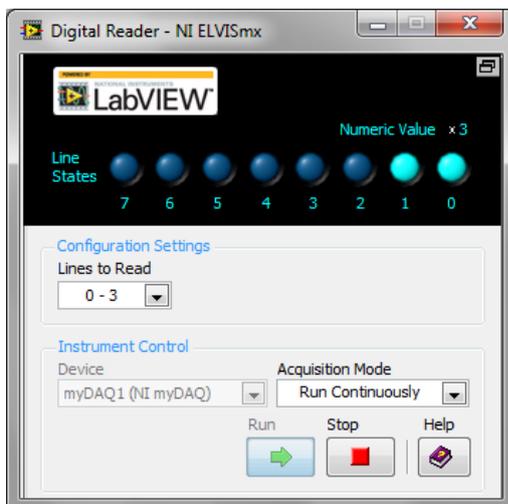
Abb.6.1.4: Vielfältige Anzeigemöglichkeiten in unterschiedlichen Zahlenformaten

Im Fensterbereich 'Instrument Control' (s. Abb.6.1.1) können weitere Einstellungen getätigt werden:

Im 'Device'-Fenster wird die gewünschte DAQ-Einheit festgelegt und beim 'Generation Mode' kann man festlegen, ob die Ausgabe der Portzustände nur einmalig, durch Knopfdruck auf 'Run' erfolgen soll, oder ob ein kontinuierlicher Ausgabebetrieb gewünscht ist.

Die Funktionen der Buttons 'Run', 'Stop' und 'Help' sind sicherlich selbst erklärend.

6.2 Digital Reader und die Taster



Allgemeines:

Der myDAQ-Digital Reader (DigIn) ermöglicht es, die binären (logischen) Zustände an den digitalen I/O-Port-Pins des myDAQ-Moduls einzulesen.

Eigenschaften des Digital Readers:

Die myDAQ digitalen Port-Pins sind in drei Gruppen fest eingeteilt:

- Port-Pins 0 – 3
- Port-Pins 4 – 7
- Port-Pins 0 – 7

Vom Digital Reader können jetzt immer (nur) die Zustände von einer dieser Gruppen insgesamt eingelesen werden. Es können keine Einzelpins direkt angefragt werden.

Beachten:

Wenn eine dieser Gruppen als Eingangsgruppe festgelegt worden ist, kann diese Gruppe nicht mehr gleichzeitig als Ausgangsgruppe für den Digital Writer (s. Kap. 6.1) parametrieren werden (und umgekehrt).

Wird dieses dennoch versucht, so erscheint eine entsprechende Fehlermeldung, wenn Digital Reader und Digital Writer gleichzeitig betrieben werden sollen.

Für die **zulässigen Eingangssignalpegel** an den Port-Pins gilt:

0 V bis + 0,8 V	≡	Low	≡	log. '0'
+2,0 V bis + 5,0 V	≡	High	≡	log. '1'
+0,8 V bis + 2,0 V	≡	verbotener Bereich		

Der **Ruhezustand** an den Port-Pins ist Low und wird durch einen internen Pull-Down-Widerstand erreicht.

Dieser Pegel kann einfach durch Schalten nach High (+2,0 V bis +5,0 V) geändert werden.

Die Bedienung des Digital Readers

Ist beinahe selbsterklärend und über die LabVIEW-Kontexthilfe Hilfe ('Strg+H') und über den 'Help'-Button unten rechts erhält man weitere Informationen zu dessen Betrieb.

Im **Darstellungsbereich** werden die Zustände an den Port-Pins ('**Line States**') in Form von blauen LEDs dargestellt und darüber sieht man den entsprechenden Binärwert des Portzustandes in hexadezimaler Schreibweise ('**Numeric Value**').

Durch Klick auf den '**Toggle-Knopf**' (ganz oben rechts in der Ecke des Darstellungsbereiches) wird die Darstellung des Frontpanels auf die reine LED-Anzeige reduziert ('**Toggle View**'), **Abb.6.2.1**:

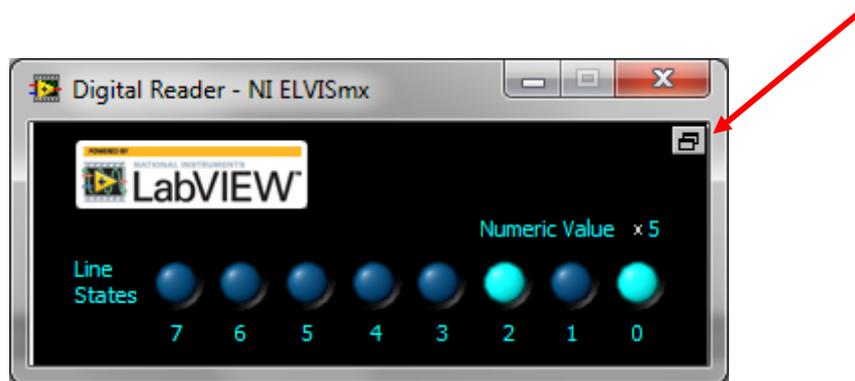


Abb.6.2.1: Die reduzierte Ansicht (Toggle View)

In den beiden unter dem Darstellungsbereich liegenden Fenstern können einige grundlegende Einstellungen gemacht werden, **Abb.6.2.2**:

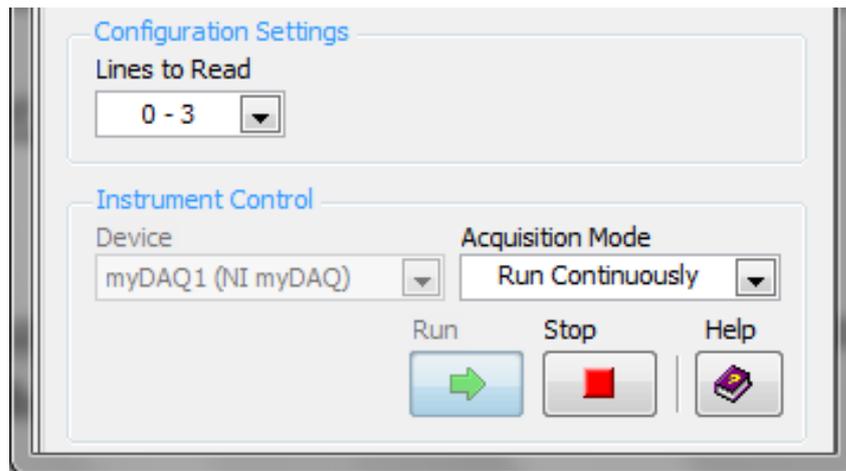


Abb.6.2.2: Die grundlegenden Einstellungen beim Digital Reader

Wichtig sind die '**Configuration Settings**': hier wird festgelegt, welche Port-Pin-Gruppe (welche Port-Pins) als Eingang benutzt werden soll ('**Lines to Read**').

Im '**Device**'-Fenster wird die gewünschte DAQ-Einheit festgelegt und beim '**Acquisition Mode**' kann man festlegen, ob die Erfassung der Portzustände nur einmalig, durch Knopfdruck auf 'Run' erfolgen soll, oder ob ein kontinuierlicher Einlesebetrieb gewünscht ist.

Die Funktionen der Buttons '**Run**', '**Stop**' und '**Help**' sind ja schon bekannt.

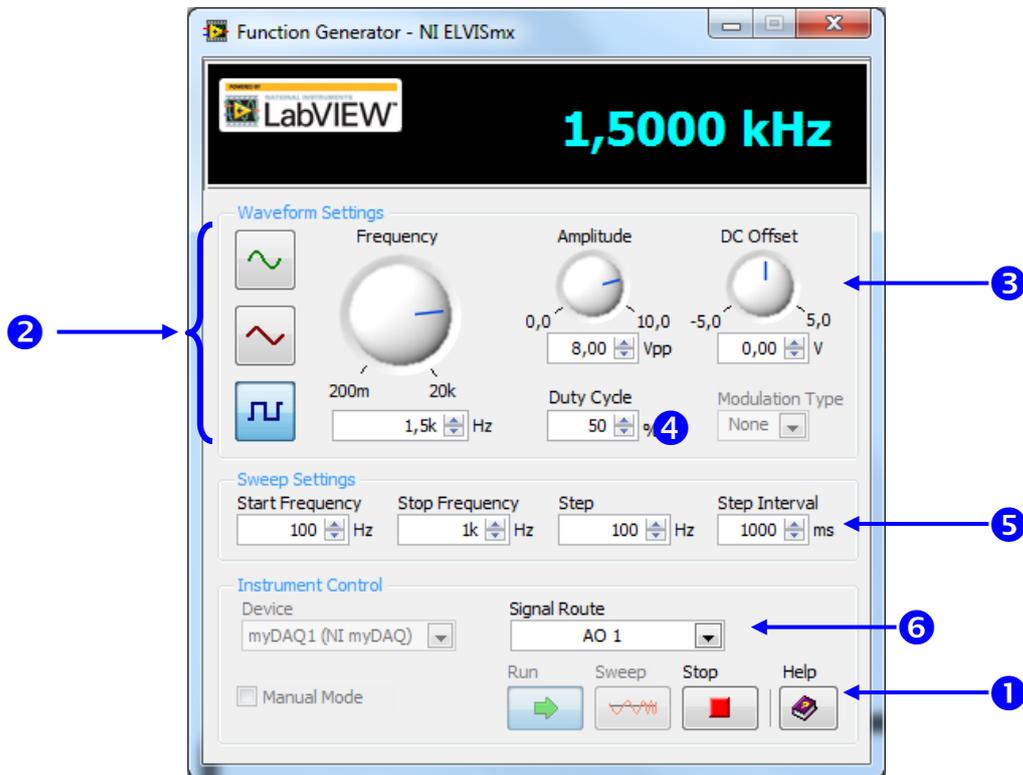
Experimentieradapterplatine 1

Stecken Sie jetzt den Experimentieradapterplatine 1 an das myDAQ-Modul an.

Wählen Sie als Port-Pin-Gruppe ('Lines to Read') '0-3' aus und starten Sie den 'Digital Reader'.

Wenn Sie nun auf eine der vier Tasten drücken, erkennen Sie die Tastenbetätigung sofort im Darstellungsbereich.

6.3 Function Generator



Allgemeines:

Dieses SFP stellt dem Anwender einen kleinen, aber vielseitig einsetzbaren **Funktionsgenerator** zur Verfügung, bei dem die Signalausgabe über einen der beiden Analogausgänge AO_0 oder AO_1 erfolgt.

Diese Signale können bei der Experimentieradapterplatine 1 sehr einfach über die **BNC-Buchsen X2 oder X3** ausgegeben und in eigenen Schaltungen weiter verarbeitet werden. Hier folgt eine kurze Beschreibung des Funktionsgenerators und im nächsten Kapitel werden wir diesen in Zusammenarbeit mit dem myDAQ-Oszilloskop betreiben. Im Kapitel 8.3 werden wir unter LabVIEW einen Frequenzzähler programmieren, der dann seine Eingangssignale z.B. von diesem Funktionsgenerator erhält.

Eigenschaften des Funktionsgenerators:

- **Ausgänge für die erzeugten Signale:** AO_0 oder AO_1
- **Erzeugbare Signalformen:** Sinus, Dreieck, Rechteck
(Zur Erzeugung anderer, ganz beliebiger Signalformen: kann der myDAQ-Arbitrary Waveform Generator verwendet werden)
- **Frequenzbereich:** 0,2 Hz bis 20 kHz

- **Amplitude:** 0 bis 10 V_{pp}
Beachten: Diese Amplitudenangabe bezieht sich hierbei immer auf den Peak-to-Peak-Wert, also auf den Spitze-Spitze-Wert.
Die 'eigentliche Amplitude' ist dann nur halb so groß.

- Hinzufügbare **Gleichspannungsoffset:** -5 V bis +5 V

- **Maximaler Ausgangsstrom je Kanal:** 2 mA

- **Sonderbetriebsarten:**
 - Einstellbares **Frequenz-Wobbeln** ('**Frequency Sweep**')
 - Einstellbares **Tastverhältnis** ('**Duty Cycle**') bei Rechtecksignalen (0% bis 100%)

Hinweis:

In der Bedienungsanleitung zum myDAQ wird auch noch (fälschlicherweise) die Möglichkeit zur Amplituden- und zur Frequenzmodulation des Ausgangssignals erwähnt. Das ist allerdings nur mit dem großen ELVIS-System möglich, nicht aber mit dem myDAQ-Modul.

Bedienung

Die Bedienung des Funktionsgenerators ist weitgehend selbsterklärend und entspricht in der Handhabung der eines herkömmlichen Standard-Funktionsgenerators. Nachfolgend sollen nur einige **kurze Erläuterungen** gegeben werden:

Die Auswahl der gewünschten Signalform geschieht über die entsprechenden Felder bei ❷.

Die Einstellung der Frequenz, der Amplitude und des Gleichspannungsoffsets ('**DC-Offset**') erfolgt entweder über Drehregler oder aber kann direkt als numerischer Zahlenwert eingegeben werden, Zeile ❸.

Gestartet wird die Signalausgabe durch Klick auf das Feld '**Run**' und gestoppt durch Druck auf den '**Stop-Knopf**' (Zeile ❶).

Im Feld ❹ wird das Tastverhältnis (nur) bei Rechtecksignalen festgelegt.

In der Zeile ❺ wird das **Wobbeln (Frequency Sweep)** eingestellt: in dieser Betriebsart wird ein bestimmter Frequenzbereich (von der '**Start Frequency**' bis zur '**Stop Frequency**') automatisch durchlaufen, wobei im Zeitabstand '**Step Interval**' die Ausgabefrequenz des Signals immer um den Wert '**Step**' erhöht wird (≡ Durchwobbeln eines Frequenzbereiches).

Gestartet wird das Wobbeln durch Klicken auf das Feld '**Sweep**' in der Zeile ❶. Der normale Run-Modus muss allerdings zuvor gestoppt werden.

Ist der Endwert des Frequenzbereiches erreicht, so hört das Wobbeln automatisch auf. Durch Druck auf den '**Stop-Knopf**' (Zeile ❶) kann das Wobbeln vorzeitig abgebrochen werden. Die je-

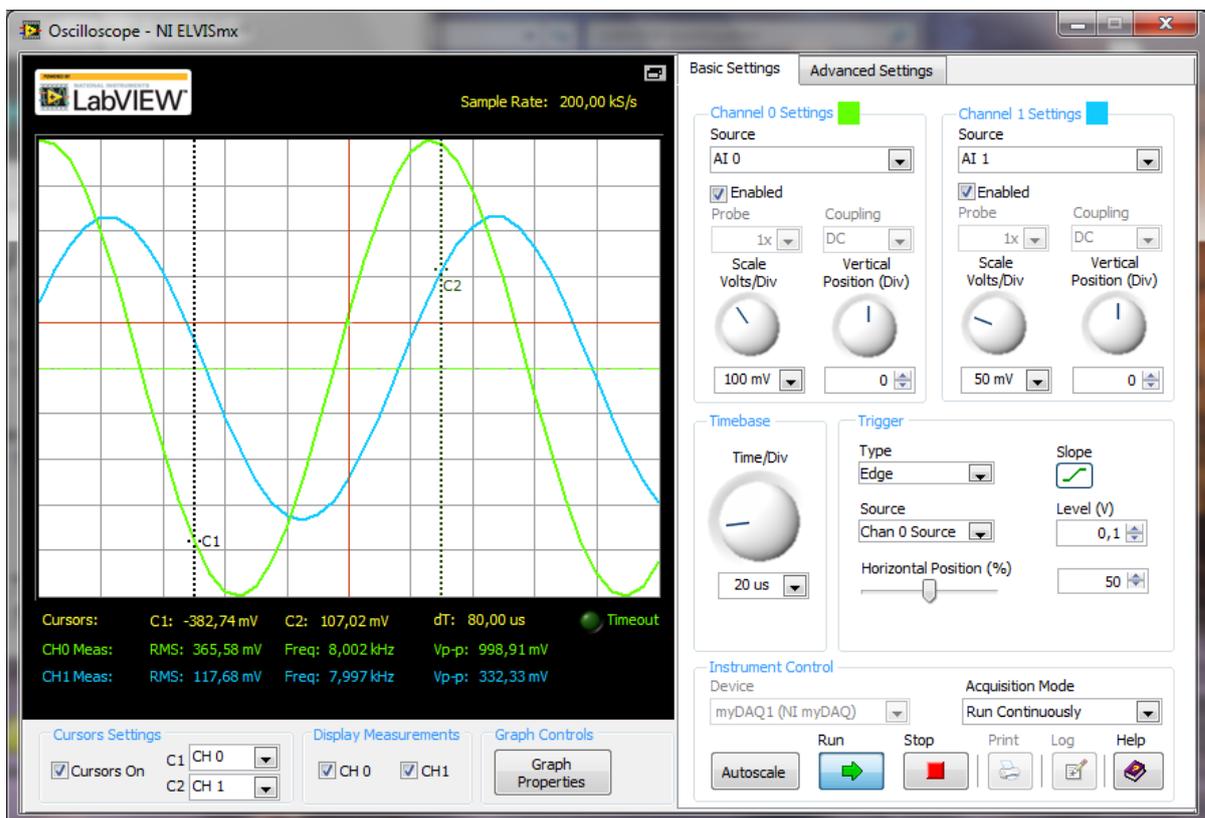
weils ausgegebene Signalfrequenz wird parallel auf dem Display angezeigt und dieser Frequenz-Sweep funktioniert mit jeder der drei Signalformen.

In der Zeile ⑥ wird das gewünschte myDAQ-Modul ('Device') ausgewählt und der Analogausgang für die Ausgabe des Frequenzsignals festgelegt ('Signal Route').

Die noch vorhandenen ausgegrauten Felder sind nur bei ELVIS-Systemen in Betrieb und haben daher bei myDAQ-Modulen keine Funktion.

Der erste praktische Betrieb des Funktionsgenerators lässt sich nun sehr gut im Zusammenspiel mit dem **myDAQ-Oszilloskop** durchführen.

6.4 Oszilloskope zur Signal- und Spannungsmessung



Allgemeines:

Dieses SFP stellt dem Anwender ein leistungsfähiges **2-Kanal-Digital-Oszilloskop** zur Verfügung, mit dessen Funktionen man bereits eine Vielzahl von Messaufgaben im NF-Bereich bis 20 kHz absolvieren kann. Auf dem Frontpanel dieses Oszilloskops findet man die grundsätzlich notwendigen Einstellknöpfe und -regler eines solchen Messgerätes.

Experimentieradapterplatine 1

Die Signaleinspeisung erfolgt über die Analog-Eingänge AI_0 und AI_1 bzw. über AudioInput Left und AudioInput Right.

Eine Autoscale-Funktion und Messungen mit Cursors komplettieren den Funktionsumfang. Beim Einsatz der **Experimentieradapterplatine 1** erfolgt die Einspeisung der Messsignale:

- über die BNC-Buchsen X4 und X5 oder
- über die Anschlüsse der Doppelstockklemme X9 oder
- über die beiden Potentiometer R6 und R7, wenn Spannungssignale im Bereich von -10 V bis +10 V simuliert werden sollen.

Spannungsmessungen über die 'AUDIO IN'-Kanäle können direkt über einen entsprechenden Klinkestecker erfolgen, diese Eingänge stehen auf der Experimentieradapterplatine 1 nicht zur Verfügung.

Experimentieradapterplatine 1

Bevor wir dieses Oszilloskop näher beschreiben, erzeugen wir uns mit dem Funktionsgenerator erst einmal ein passendes Demo-Signal, damit man auf dem Oszilloskopbildschirm auch etwas sieht.

Rufen Sie den Funktionsgenerator auf und stellen Sie folgendes ein, **Abb.6.4.1**:

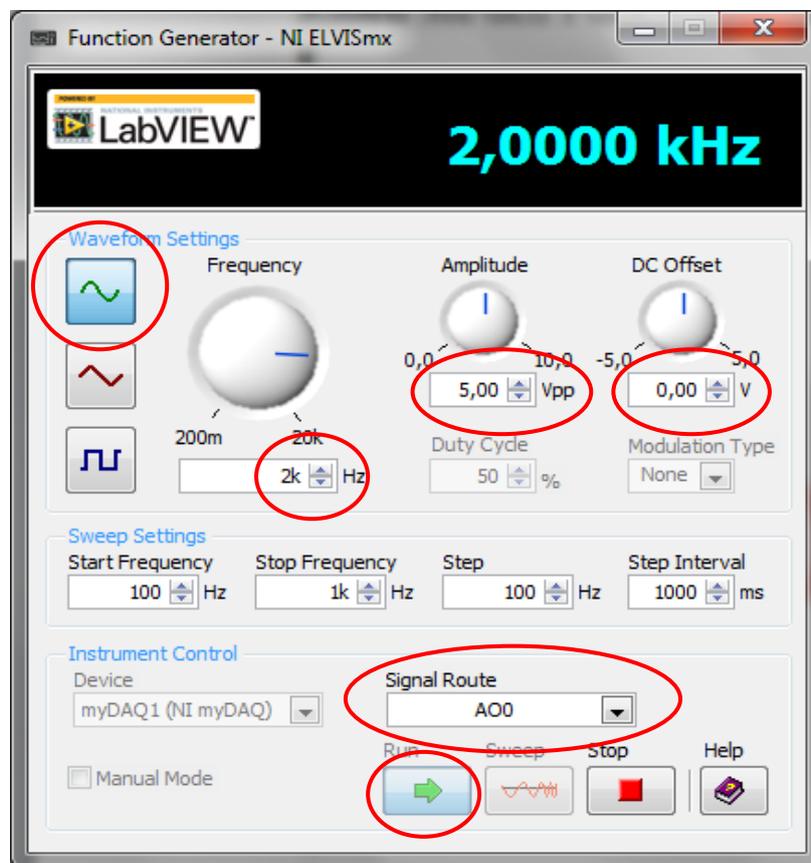


Abb.6.4.1: Die Einstellungen beim Funktionsgenerator

- Signalform: Sinus
- Frequenz: 2 kHz
- Amplitude: 5 Vpp
- DC-Offset: 0 V
- Signalausgabe: über AO_0
- Klicken auf RUN

Verbinden Sie nun auf der Experimentieradapterplatine 1 die BNC-Buchsen X2 (Analogausgang AO_0) und X4 (Analogeingang AI_0+) mit einer ca. 60 cm langen BNC-Messleitung.

Stecken Sie die Jumper J1 (Verbindung von Analog- und Digital-Ground) und J2 (Verbindung von AI_0- nach Analog-Ground).

Den Jumper J4 stecken Sie auf die Position 1-2 (die Signale der BNC-Buchse X4 werden nun bei myDAQ-AI_0+ eingespeist).

Rufen Sie nun das SFP-Instrument 'Oscilloscope' auf.

Starten Sie dieses Messgerät durch klicken auf 'RUN'.

Nach wenigen Augenblicken erscheint das Oszillogramm, **Abb.6.4.2**:

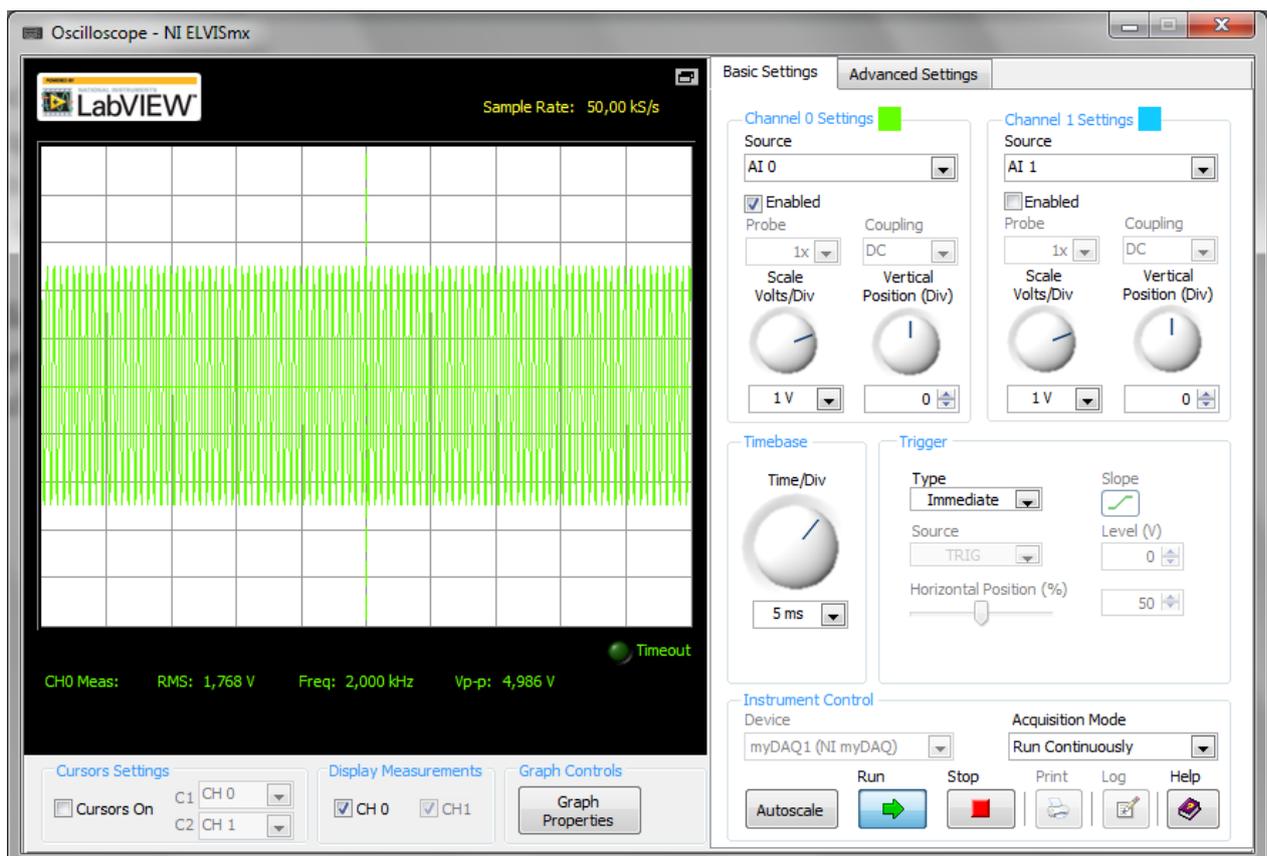


Abb.6.4.2: Das erste Oszillogramm

Hinweis:

Auf Ihrem Computer-Monitor erscheint das Oszillogramm mit schwarzem Hintergrund.

Da diese Darstellung aber drucktechnisch sehr ungünstig ist, haben wir für unsere Bildschirmausdrucke die Hintergrundfarbe auf 'weiß' umgestellt.

Wie man dieses durchführt, erfahren Sie natürlich auch noch in den nachfolgenden Ausführungen.

Nun können wir anhand dieses Signals die grundlegenden Funktionen des myDAQ-Oszilloskops näher beschreiben.

Eigenschaften des Oszilloskops:

- **Messeingänge:** AI_0 und AI_1 oder
AudioInput Left und AudioInput Right
Beachten: Die Kanäle AI und Audio können nicht gleichzeitig verwendet werden, sondern nur paarweise 'entweder bis oder'.
- **Eingangskopplungen:** Für die AI-Kanäle: (galvanische) DC-Kopplung
Für die Audio-Kanäle: (kapazitive) AC-Kopplung
- **Y-Skalierung (Volts/Div):** Für die AI-Kanäle: 10 mV bis 5 V / Div
Messbereich: -10 V ... +10 V
Für die Audio-Kanäle: 10 mV bis 1 V / Div
Messbereich: -2 V bis +2 V
- **X-Skalierung (Zeitbasis, Zeit/Div):** 5 μ s bis 200 ms / Div
Für die AI- und die Audio-Kanäle
- **Abtastrate:** max. 200 kS/s für die AI- und die Audio-Kanäle
- **Triggerung:** ungetriggert oder \pm Flankengetriggert
- **Cursor-Messung:** Beide Kanäle können mit Cursorsn ausgemessen werden
- **Dokumentationsmöglichkeiten:**
 - Ausdruck des kompletten Oszillogramms mit den Cursor-Messwerten.
 - Ausgabe einer Log-Datei mit den reinen Messwerten zur Weiterverarbeitung mit anderen Programmen (z.B. mit Excel).
 - Integrierte Hilfe-Beschreibung zur Bedienung des Oszilloskops.

Bedienung

Die Bedienung des Oszilloskops ist weitgehend selbsterklärend und entspricht in der Handhabung der eines herkömmlichen Standard-Digitaloszilloskops.

Stellen Sie nun einmal vorab ein, **Abb.6.4.3**:

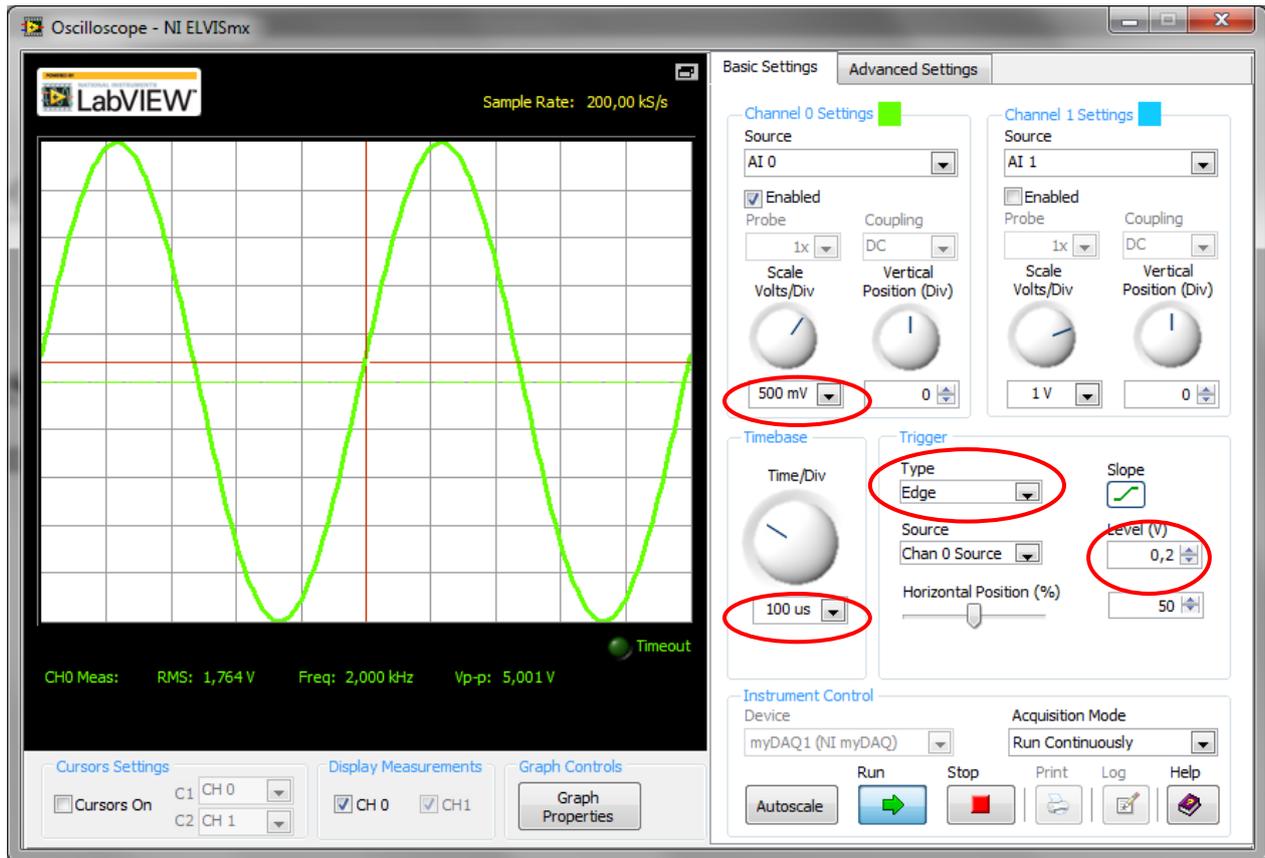


Abb.6.4.3: Die ersten Grundeinstellungen des Oszilloskops (im 2-Kanal-Betrieb)

Im Fenster 'Channel 0 Settings':

- Vertikalablenkung 'Scale': 500 mV

Im Fenster 'Timebase':

- Zeitablenkung 'Time': 100 μ s

Im Fenster 'Trigger':

- Trigger 'Type': Edge
- Trigger 'Level': 0,2 V

Mit diesen Einstellungen erhalten Sie ein stabiles, auswertbares Oszillogramm.

Nachfolgend jetzt einige **kurze Erläuterungen** zu den einzelnen Feldern des Frontpanels:

Der Darstellungs- und Messbereich, Abb.6.4.4:



Abb.6.4.4: Der Darstellungs- und Messbereich (im 2-Kanal-Betrieb)

Rechts oben, oberhalb der Oszillogramme, wird die aktuelle **Sample-Rate** angezeigt, mit der das Oszilloskop gerade arbeitet. Dieser Wert wird vom Oszilloskop automatisch, in Abhängigkeit von der ausgewählten Zeitablenkung, eingestellt und kann maximal 200 kS/s betragen.

In der ganz oberen rechten Ecke befindet sich der '**Toggle-Button**': wird er betätigt, so reduziert sich die Darstellung auf den reinen Oszilloskop-Schirm, die Bedienfelder rechts und unterhalb davon werden ausgeblendet.

Unterhalb der Oszillogramme werden die **Cursor-Messwerte** und drei charakteristische Messwerte der gemessenen Signale aufgeführt: der **Effektivwert ('RMS')**, die **Frequenz ('Freq')** und der **Spitze-Spitze-Wert ('V_{p-p}')**.

Die **grüne LED 'Timeout'**, rechts außen in der Zeile der Cursor-Messwerte, leuchtet auf, wenn keine Signaltriggerung erfolgt ist, wenn also kein Signal anliegt oder wenn die Triggerung falsch eingestellt ist.

Über dem Oszillogramm wird dann angezeigt: '*** Waiting for Trigger ***'.

Unter dem Messwertebereich befindet sich das Steuerfeld für den Cursorbetrieb (**'Cursors Settings'**): hier kann festgelegt werden, ob die Cursor ein- oder ausgeschaltet werden sollen und welchen Kanal der jeweilige Cursor ausmessen soll.

Die Cursor selber werden im Oszillogramm durch eine vertikale Linie dargestellt und mit **C1** (\equiv **Cursor1**) und **C2** (\equiv **Cursor2**) bezeichnet.

Diese 'Messlinien' können mit dem Mauszeiger einfach nach rechts bzw. links verschoben werden und so kann der gewünschte Messpunkt einfach eingestellt werden.

Im Feld **'Display Measurements'** kann man anklicken, welche Kanalmesswerte dargestellt werden sollen.

Sehr wichtig ist der daneben liegende Button **'Graph Properties (Eigenschaften der graphischen Darstellung)'**. Klickt man hierauf, so erscheint ein neues Fenster, in dem man die Eigenschaften der graphischen Darstellung der Signale und der Cursor auf vielfältige Art und Weise festlegen kann, **Abb.6.4.5**:

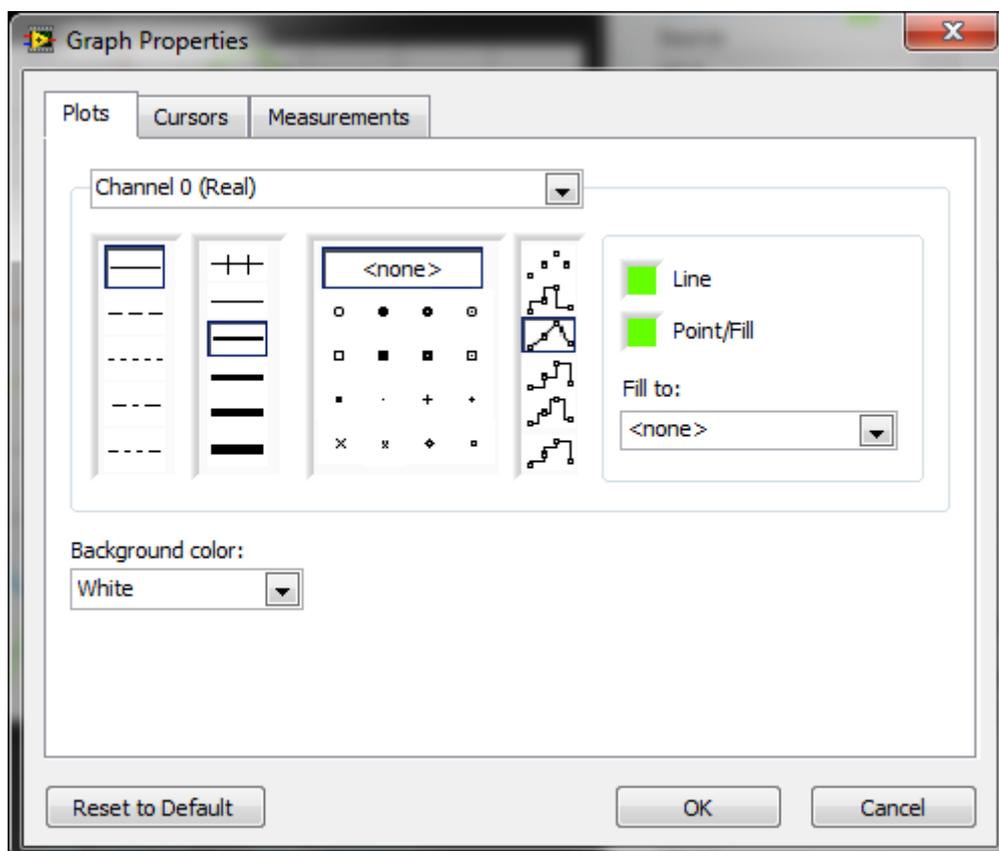


Abb.6.4.5: Die Festlegung der graphischen Eigenschaften für die Signaldarstellung

Auf der Registerkarte '**Plots**' lassen sich die Eigenschaften der Kurvendarstellungen für jede der beiden Kurven festlegen.

Zunächst wählt man im oberen Fenster die gewünschte Kurve bzw. den gewünschten Kanal aus.

In den darunter liegenden sechs weiteren Teilfenstern lassen sich nun folgende Eigenschaften der graphischen Darstellung festlegen:

- Die **Art der Kurvenlinie**: durchgezogen oder auf verschiedene Arten gestrichelt.
- Die **Stärke der Kurvenlinie**.
- Die **Darstellung der Messpunkte**.
- Die **Art der Verbindung der Messpunkte untereinander**: ohne Verbindungslinie, mit Geraden als Verbindungslinien, interpoliert, etc.
- Die **Farbe der Verbindungslinie**.
- Die **Füllfarbe** für den Bereich unterhalb bzw. oberhalb des Kurvenzuges.
- Die **Farbe für den Hintergrund** des Oszillogramms.
Hier sind nur zwei Auswahlmöglichkeiten vorhanden: 'Schwarz' oder 'Weiß'.
Eine schwarze Darstellung ist dann sinnvoll, wenn das Oszillogramm auf dem Monitor-Bildschirm dargestellt werden soll. Diese Wahl ist aber für den Ausdruck von Oszillogrammen äußerst ungünstig. Daher wählen wir für die drucktechnische Darstellung der Bilder immer einen weißen Hintergrund.

Ein Klick auf den Button '**Reset to Default**' stellt die Grundeinstellungen wieder her.

Auf der Registerkarte '**Cursors**' lassen sich die entsprechenden Eigenschaften für die Cursorlinien-Darstellungen festlegen.

Über die Registerkarte '**Measurements**' kann festgelegt werden, welche Messwerte im Bereich unterhalb des Oszillogramms angezeigt werden sollen. 'Spielen' Sie ruhig einmal mit diesen ganzen Einstellungsmöglichkeiten und schauen Sie sich die Ergebnisse an.

Auf der rechten Seite des Frontpanels (s. Abb.6.4.3), ganz oben, findet man zwei Registerkarten-Reiter, wobei jedoch die '**Advanced Settings**' hier nicht einstellbar sind. Die Möglichkeiten auf dieser Registerkarte stehen beim myDAQ nicht zur Verfügung und sind nur bei ELVIS-Systemen vorhanden.

Die '**Basic Settings**' legen nun die Betriebsart des Oszilloskops fest, **Abb.6.4.6**:

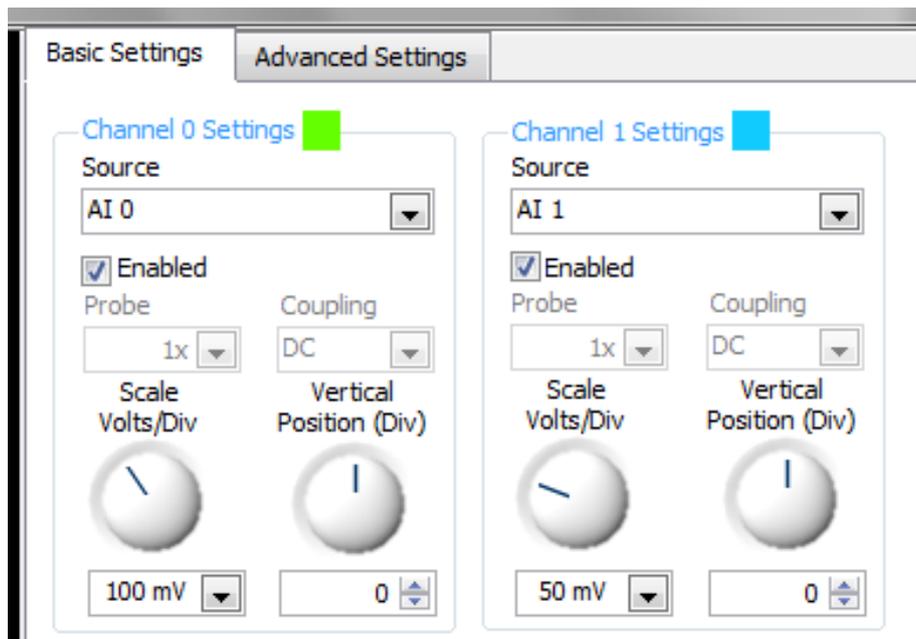


Abb.6.4.6: Die Kanaleinstellungen

Hier wird zunächst festgelegt, welcher Analogeingang auf welchem Kanal dargestellt werden soll ('**Source**').

Dann kann die Darstellung der Kanäle ein- oder ausgeschaltet werden ('**Enabled**'). Die Felder '**Probe**' (Tastkopf-Teilverhältnis, hier immer fest auf '1') und '**Coupling**' (hier immer fest '**DC-Coupling**' bei den AI- Eingängen und '**AC-Coupling**' bei den Audio-Kanälen) können nicht verändert werden (nur bei ELVIS-Systemen möglich).

Unter diesen Feldern befinden sich die typischen Einstellknöpfe für die Vertikalablenkung ('**Scale Volts/Div**') und für die Vertikalverschiebung der jeweiligen Kurve ('**Vertical Position (Div)**'). Unter diesen Reglern sind zusätzlich noch Drop-Down-Auswahlfelder bzw. Eingabefelder angeordnet, mit denen die Ablenkfaktoren und die Verschiebungen auch direkt ausgewählt und eingestellt werden können.

Im darunter liegenden Frontpanel-Bereich können weitere Einstellungen vorgenommen werden, **Abb.6.4.7:**

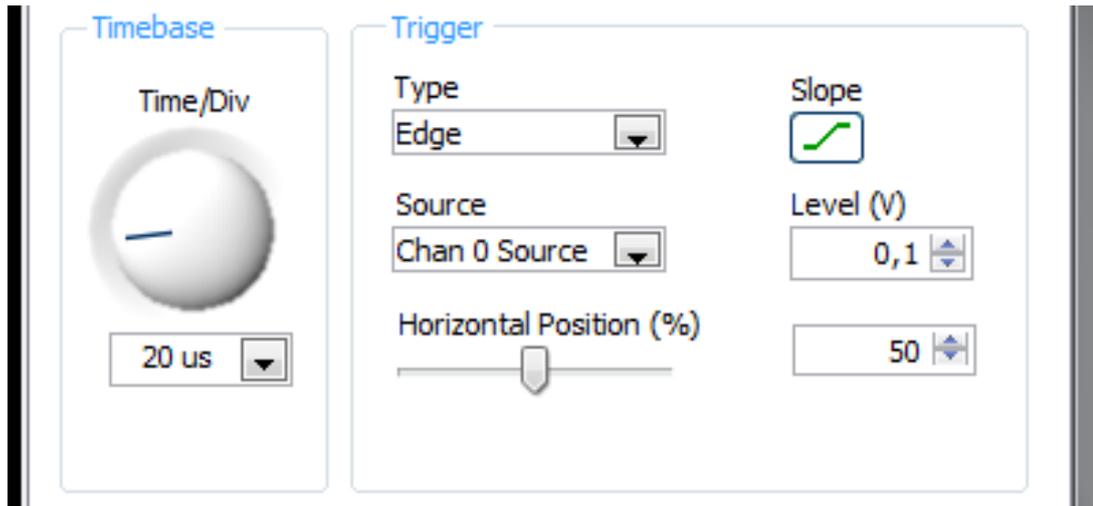


Abb.6.4.7: Die Einstellungen der Zeitbasis und der Triggierung

Bei 'Timebase' wird der gewünschte Zeitablenkungsfaktor eingestellt und im Feld 'Trigger' erfolgen die Festlegungen für die Triggierung:

- Die **Art der Triggierung ('Type')**: keine Triggierung ('Immediate') oder Flankentriggierung ('Edge').
- Die **Triggerflanke ('Slope')**: steigend oder fallend.
- Die **Triggerquelle ('Source')**: Kanal 0 oder Kanal 1.
- Der **Triggerlevel ('Level (V)')**.

Mit dem Schieberegler '**Horizontal Position (%)**', alternativ mit dem Eingabefeld rechts daneben, lässt sich die Darstellung der Kurve nach der Triggierung horizontal verschieben, so dass man in der Lage ist, sich den Kurvenverlauf vor bzw. nach der Triggierung genau anzusehen ('**Pre- bzw. Post-Triggierung**').

Die **Triggereinstellungen** werden im Oszillogramm selber durch **zwei rote Linien** dargestellt:

- Die vertikale rote Linie zeigt den **Triggerzeitpunkt** an.
- Die horizontale rote Linie zeigt die Lage des **Triggerlevels** an.

Im letzten Feld des Frontpanels findet man die zusätzlichen **Einstell- und Kontrollmöglichkeiten** für das Oszilloskop ('**Instrument Control**'), **Abb.6.4.8**:

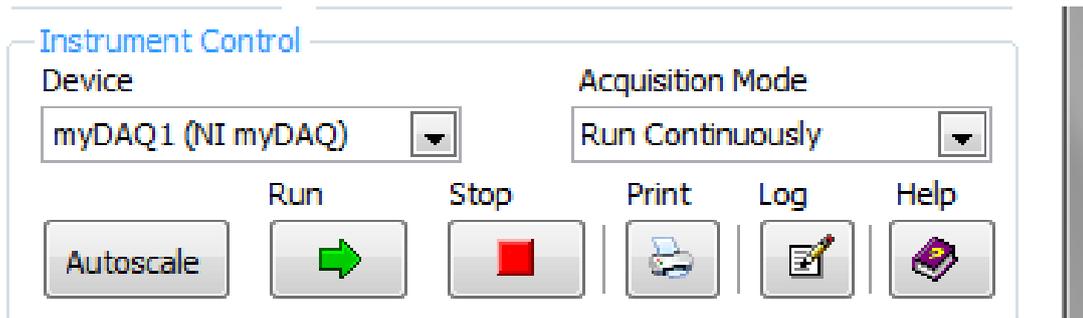


Abb.6.4.8: Die zusätzlichen Kontrollmöglichkeiten für das Oszilloskop

Im Feld **'Device'** kann die gewünschte Datenerfassungseinheit ausgewählt werden: in unserem Fall ist aber nur ein myDAQ-Modul namens **'myDAQ1'** am Rechner angeschlossen, so dass es hier keine weiteren Auswahlmöglichkeiten gibt. Das **'Device-Feld'** kann nur verändert werden, wenn das Oszilloskop steht. Im Fenster **'Acquisition Mode'** lässt sich festlegen, ob das Oszilloskop nur einmalig ein Oszillogramm aufnimmt oder ob das Oszilloskop kontinuierlich durchläuft.

Beim Druck auf den **'Autoscale'**-Button versucht sich das Oszilloskop automatisch selber so einzustellen, dass ein stehendes, gut auswertbares Oszillogramm dargestellt wird.

Beachten:

Diese **'Autoscale'**-Funktion ist für das myDAQ-Modul aber noch nicht ganz ausgereift: bei einem **'richtigen'** Digitalspeicheroszilloskop wird beim Druck auf solch einen Knopf wirklich alles optimal eingestellt, damit ein stehendes Bild erscheint: X- und Y-Ablenkung, Triggerlevel und Triggerflanke. Beim myDAQ-Oszilloskop wird nur die Y-Ablenkung passend eingestellt, die Triggerung gar nicht. In der (ELVIS)Beschreibung zum Oszilloskop wird zwar erwähnt, dass auch die X(Zeit)-Ablenkung entsprechend angepasst wird, das funktioniert beim myDAQ-Modul aber nicht (nur bei ELVIS-Systemen). Im Endeffekt bedeutet dieses, dass man beim myDAQ-Oszilloskop die optimale Einstellung selber **'von Hand'** vernehmen muss (was aber absolut kein Problem ist).

Die Buttons **'Run'** und **'Stop'** erklären sich von selber.

Die Print-Funktion

Unter **'Print'** kann das Oszillogramm ausgedruckt oder in einer Datei abgespeichert werden, **Abb.6.4.9:**

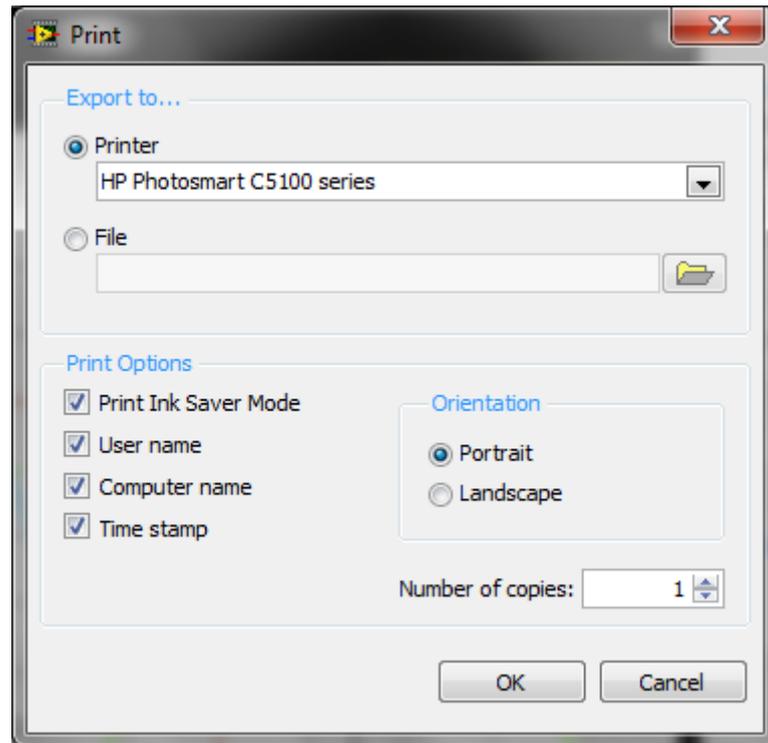


Abb.6.4.9: Die Druckfunktion des Oszilloskops

In den oberen beiden Zeilen (**'Printer'** bzw. **'File'**) kann entweder ein Drucker zum Sofort-Ausdruck oder eine png-Bild-Datei zur Abspeicherung des Oszillogramms ausgewählt werden.

Die **'Print Options'** legen fest, wie der Ausdruck gestaltet werden soll:

- **'Print Ink Saver Mode'**: ist diese Betriebsart angeklickt, so wird ein Ausdruck in schwarz-weiß erzeugt (farbig ist hierbei leider nur das LabVIEW-Logo), s. **Abb.6.4.10**.
- Nicht angeklickt: Das Oszillogramm wird dann farbig mit schwarzem Hintergrund dargestellt bzw. ausgedruckt.
- **'User name'**, **'Computer name'** und **'Time stamp'**: sind diese Optionen angeklickt, so erscheinen die entsprechenden Angaben noch zusätzlich im Kopfbereich des Ausdrucks.

Ein Ausdruck im **'Portrait'**-Format bedeutet hochformatiger, ein Ausdruck im **'Landscape'**-Format bedeutet querformatiger Ausdruck. Die restlichen Felder dieses Fensters sind sicherlich selbsterklärend.

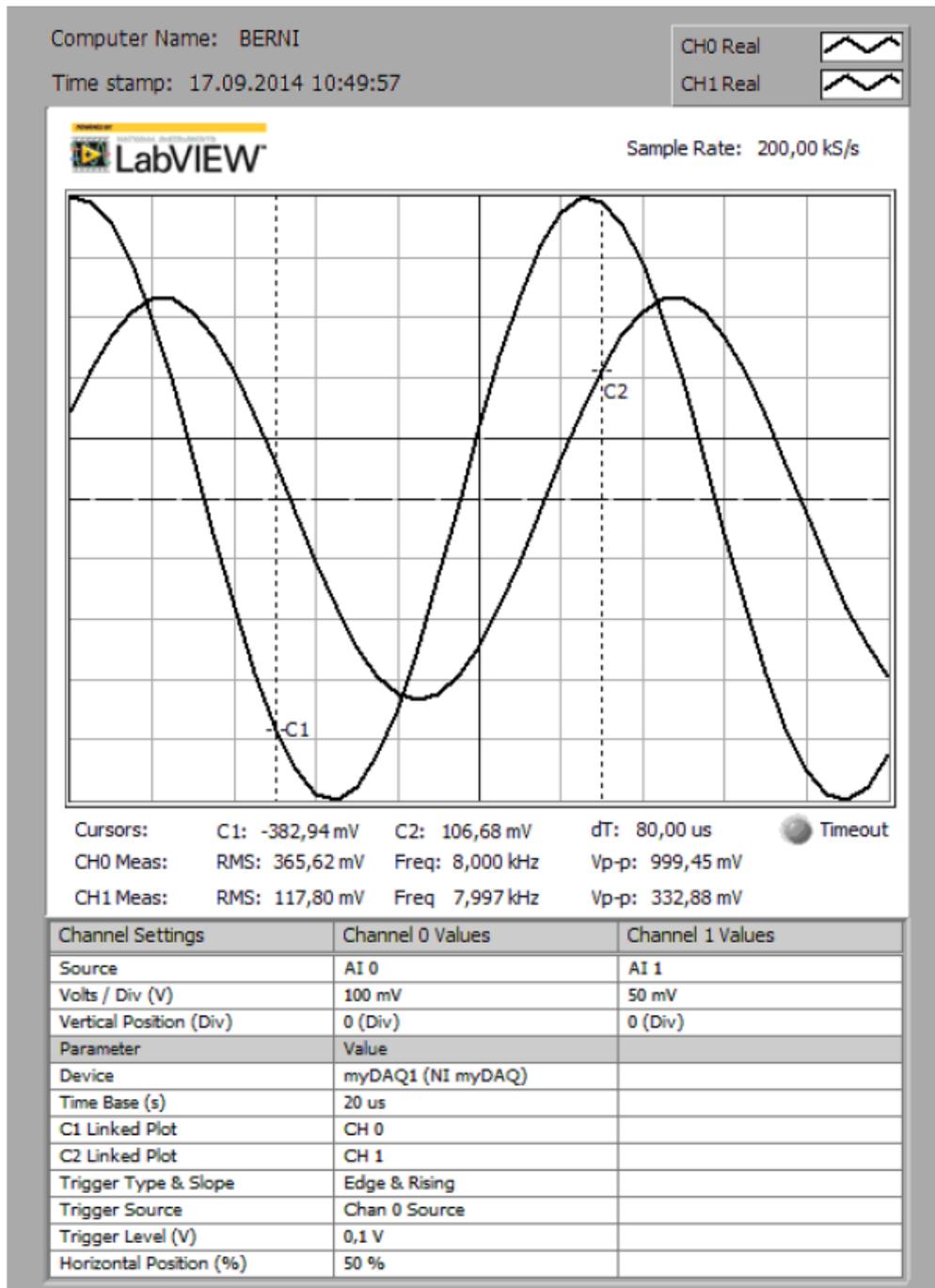


Abb.6.4.10: Ausdruck mit pdf-Drucker erstellt: im Print Ink Saver Mode, ohne User name, mit Computer name und mit Time stamp (im 2-Kanal-Betrieb)

Diese Print-Funktion funktioniert allerdings nur dann, wenn das Oszilloskop steht, d.h. wenn ein Oszillogramm komplett aufgezeichnet worden ist. Während der Aufzeichnung des Oszillogramms ist diese Funktion nicht aktivierbar.

Durch Klicken auf den 'Help'-Button erscheint eine englischsprachige Kurzbeschreibung zum Oszilloskop.

Anwendungen

Die Anwendungs- bzw. Einsatzmöglichkeiten dieses Oszilloskops sind natürlich 'unermesslich' groß und bleiben Ihrer Phantasie überlassen. Ändern Sie daher einmal 'viele Einstellungen' beim Funktionsgenerator und beobachten Sie die Ergebnisse auf dem Oszilloskop.

Zwei-Kanal-Betrieb

Über den Analog-Eingang AI_1 kann ein zweites Signal eingespeist werden, so dass das SFP-Oszilloskop auch als 2-Kanal-Oszilloskop betrieben werden kann.

Messwertsimulation über die beiden Experimentieradapterplatinen 1 - Potentiometer

Auf der Experimentieradapterplatine 1 haben Sie auch die Möglichkeit, zwei analoge Spannungsmesswerte mit Hilfe von zwei Potentiometern zu simulieren, d.h. auf die Analog-Eingänge AI_0 und AI_1 zu geben.

Stoppen (beenden) Sie dazu den Funktionsgenerator und entfernen Sie das BNC-Kabel. Stecken Sie nun die Jumper J4 und J5 jeweils um auf die Stellung '2-3': jetzt sind beide Analogeingänge des myDAQ-Moduls mit den beiden Potentiometern R6 und R7 verbunden und Sie können damit Spannungen im Bereich von ca. -10 V bis +10 V wahlfrei einstellen, **Abb.6.4.11**:

(Sie können natürlich diese Spannungen ganz allgemein zur Simulation in einem LabVIEW-VI verwenden, um z.B. Sensorsignale nachzubilden)

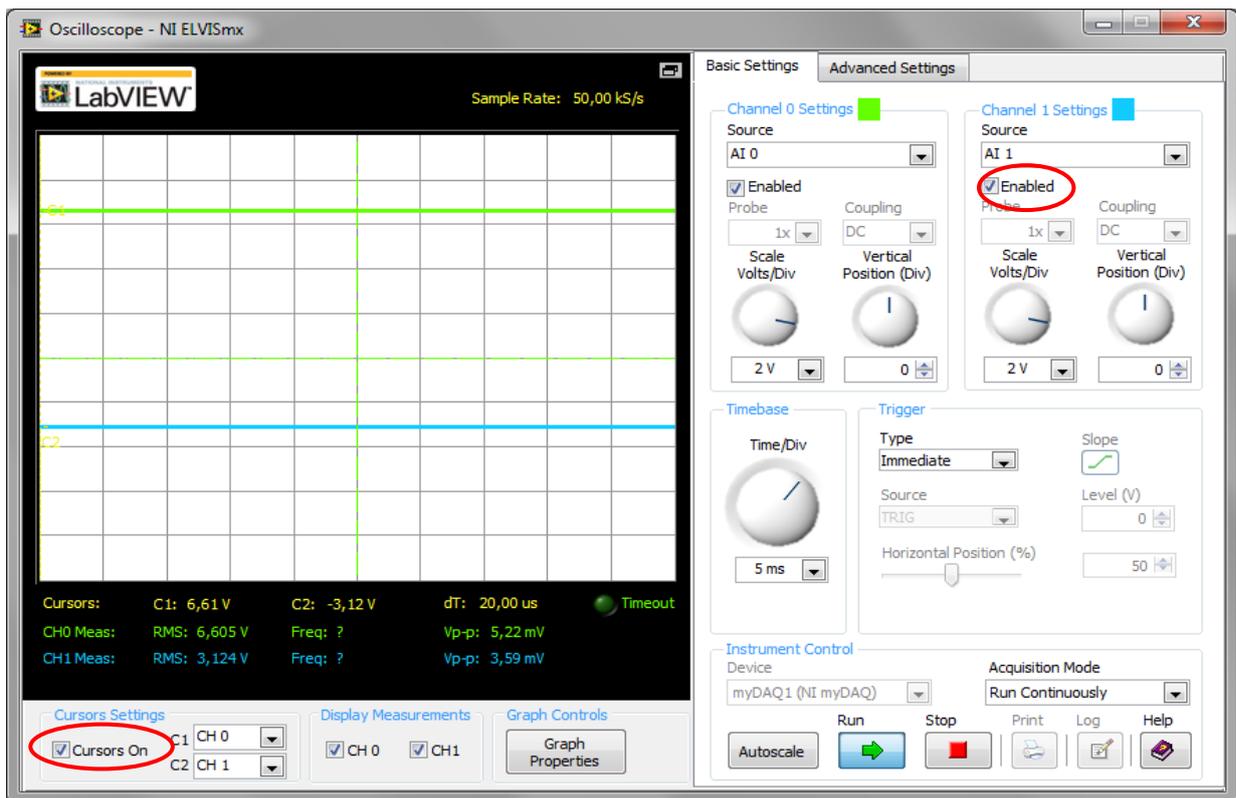
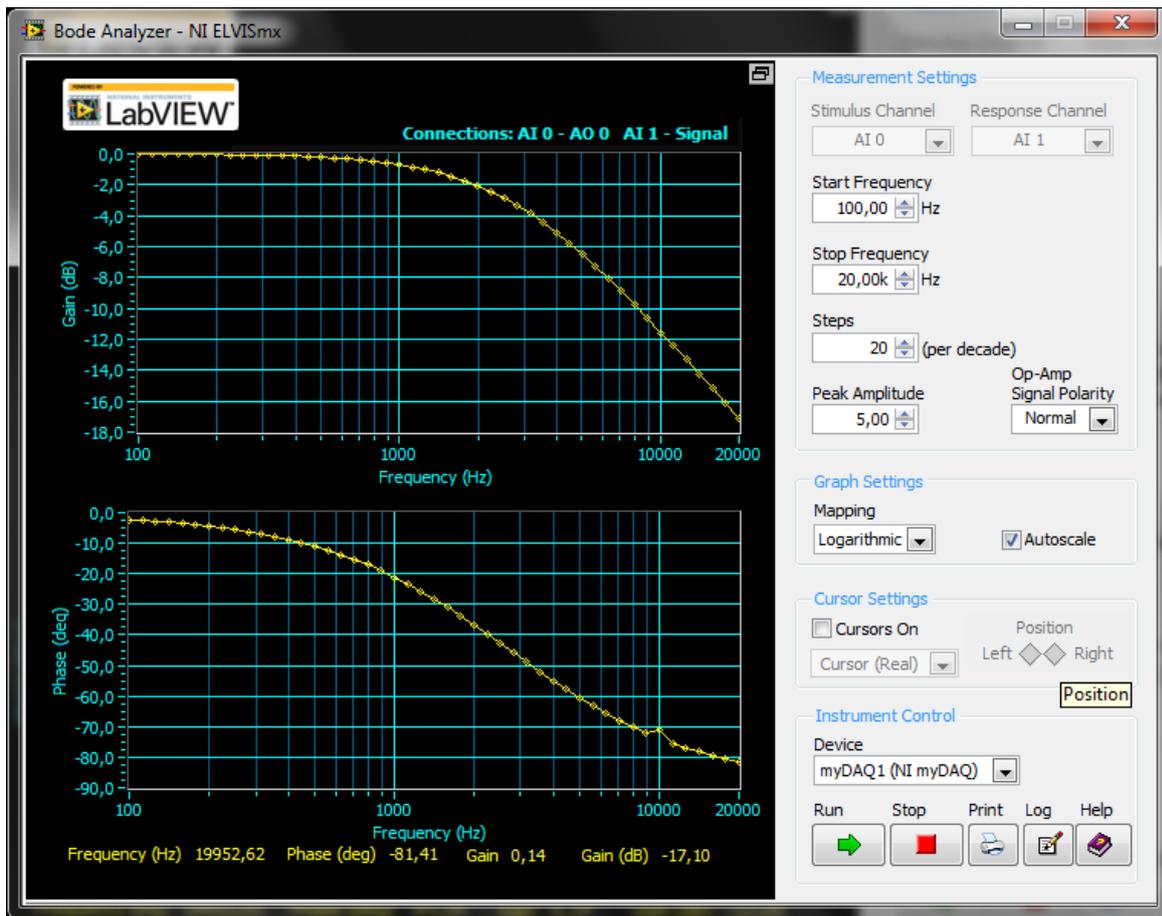


Abb.6.4.11: Die Simulation von Spannungsmesswerten mit Hilfe der Potentiometer auf der Experimentieradapterplatine 1 (im 2-Kanal-Betrieb)

Aktivieren Sie dazu noch den Kanal 1 (Ankreuzen von 'Enabled' im Fenster 'Channel 1 Settings')
Aktivieren Sie die Cursor-Messung durch Ankreuzen von 'Cursors On' im Fenster 'Cursor Settings' unterhalb des Oszillogrammbildschirms. Starten Sie jetzt das Oszilloskop.

Mit den beiden Potentiometern können Sie nun für jeden Kanal eine Spannung einstellen und die gemessenen Spannungswerte sehen Sie unmittelbar im Messwertefeld unterhalb des Oszillogramms.

6.5 Bode-Plotter und der RC-Tiefpass



Das Ausgangsproblem:

Viele elektronische Schaltungen und Systeme (i.a. **Netzwerke**) werden mit (sinusförmigen) Wech-selsignalen betrieben, z.B. Verstärker, Filter, Regelstrecken, Sende- und Empfangsstufen, etc. Daher möchte man natürlich wissen, wie sich solche Netzwerke verhalten, wenn man verschiedene Signale einspeist, d.h. wie sieht das Ausgangssignal aus, wenn man ein bestimmtes Eingangs-signal an das Netzwerk anlegt? Eine Möglichkeit, solch ein **Frequenz-abhängiges System- bzw. Übertragungsverhalten** zu erfassen und zu untersuchen, bietet die Aufnahme des so genannten **Frequenzganges** mit Hilfe des **Bode-Diagramms**, Abb.6.5.1:



Abb.6.5.1: Die Aufnahme des Frequenzganges

Am Eingang der zu untersuchenden Schaltung wird ein **durchstimmbarer Frequenzgenerator** angeschlossen, der ein sinus-förmiges Ausgangssignal erzeugt (\equiv Eingangssignal für die Schaltung):

$$u_{ein}(t) = \hat{u}_{ein} * \sin(\omega * t)$$

mit:

\hat{u}_{ein}	\equiv Eingangsamplitude des Signals, einstellbar
ω	$\equiv 2 * \pi * f$, mit $f \equiv$ Frequenz des Signals, einstellbar
Phasenverschiebung	$\equiv 0^\circ \equiv$ Bezugsschwingung

Dieses Signal wird nun durch die Schaltung 'verarbeitet' und erscheint am Ausgang der Schaltung in der Form:

$$u_{aus}(t) = \hat{u}_{aus} * \sin(\omega * t + \varphi)$$

mit:

\hat{u}_{aus}	\equiv Ausgangsamplitude des Signals
ω	$\equiv 2 * \pi * f$, mit $f \equiv$ Frequenz des Ausgangssignals \equiv Frequenz des Eingangssignals
φ	\equiv Phasenverschiebung des Ausgangssignals gegenüber dem Eingangssignal

Für weitergehende Untersuchungen an solch einem Netzwerk hält man die Amplitude des Eingangssignals konstant und variiert die Frequenz des Eingangssignals über den jeweils interessierenden Frequenzbereich.

Das dabei entstehende Ausgangssignal wird erfasst und ausgewertet. Mit anderen Worten: es wird die Veränderung der Amplitude des Eingangssignals durch die Schaltung (Abschwächung oder Verstärkung) und die dabei entstehende Phasenverschiebung zwischen dem Ein- und dem Ausgangssignal (positiv oder negativ) erfasst und dargestellt. Die Frequenz des Ausgangssignals ist dabei identisch mit der Frequenz des Eingangssignals.

Um nun **das Übertragungsverhalten der Schaltung** zu beschreiben, erfolgt die Auswertung des Ausgangssignals durch zwei unterschiedliche Diagramme:

Der Amplitudengang

Merke: Der Amplitudengang

Die graphische Darstellung des Verhältnisses der beiden Amplitudenwerte zueinander ($\hat{U}_{\text{aus}}/\hat{U}_{\text{ein}}$), aufgetragen über die eingespeiste Frequenz, nennt man **Amplitudengang** (Amplitudenverhältnis als Funktion der Frequenz).

Hierbei kann das Amplitudenverhältnis linear oder in Dezibel (dB) aufgetragen werden.

Die -3 dB-Grenzfrequenz

Zur weitergehenden Charakterisierung des Übertragungsverhaltens eines Netzwerkes wird sehr oft die so genannte '**Übertragungsbandbreite**' angegeben. Das ist der Frequenzbereich von der Frequenz 0 Hz (Gleichspannung) bis zur oberen (**-3dB Grenzfrequenz**):

Merke: Die (-3dB) Grenzfrequenz

Die (-3dB) **Grenzfrequenz f_g** ist diejenige Eingangsfrequenz, bei der das zugehörige Signal am Ausgang des Netzwerkes amplitudenmäßig um -3dB im Vergleich zum Maximalwert abgesunken ist. Oder anders formuliert: speist man am Eingang des Netzwerkes ein Signal mit der Grenzfrequenz f_g und 100% Amplitude ein, so erscheint am Ausgang dieses Signal mit einer Amplitude von (nur noch) 70,7% (\equiv lineares Amplitudenverhältnis von 0,707 \equiv Amplitudenverhältnis in dB: -3 dB).

Diese Grenzfrequenz legt die '**Bandbreite des Systems**' fest von **0 bis f_g** . Innerhalb dieses Bereichs kann die Übertragung von Frequenzen noch als akzeptabel angesehen werden.

Beispiel:

Betrachtet man einen Tiefpass (ein Tiefpassfilter) so hat diese Schaltung die Eigenschaft, dass bestimmte Frequenzen des eingespeisten Signals gut durchgelassen werden (Durchlassbereich) und andere Frequenzen mehr oder weniger stark unterdrückt (gedämpft) werden (Sperrbereich). So kann man aus einem Eingangssignal die jeweils gewünschten Frequenzanteile unbeeinflusst durchlassen (z.B. Musiksignale) und unerwünschte Frequenzanteile (z.B. Störungen) unterdrücken. Die Grenze zwischen Durchlass- und Sperrbereich wird durch die so genannte (-3dB) Grenzfrequenz f_g festgelegt und damit gilt:

'Die Grenzfrequenz stellt eine nicht sehr scharfe, aber dennoch klar definierte obere Grenze dar, ab der der Tiefpass praktisch Frequenzen (aus)sperrt'.

Ein Signal, das genau mit der Grenzfrequenz schwingt, wird durch den Tiefpass bereits um 30% in der Amplitude reduziert, d.h. dieses Signal hat am Ausgang des Tiefpasses nur noch eine Amplitu-

de von 70% des Eingangssignals. Diese Amplitudenabsenkung entspricht einem Reduktionsfaktor von $1/\sqrt{2}$ ($=0,707 \approx 70\%$) oder eben -3dB. Frequenzen unterhalb der Grenzfrequenz werden umso besser durchgelassen je niedriger sie sind, Frequenzen oberhalb der Grenzfrequenz werden umso stärker abgeschwächt, je höher sie sind.

Den Frequenzbereich von 0 Hz (\equiv Gleichspannung) bis zur Grenzfrequenz f_g bezeichnet man daher sinnvollerweise als 'Bandbreite' des Tiefpassfilters. Frequenzen innerhalb der Bandbreite werden vom Tiefpass (recht) gut durchgelassen, Frequenzen außerhalb der Bandbreite werden (stark) unterdrückt.

Baut man solch einen Tiefpass z.B. mit einem Widerstand R und einem Kondensator C auf, so wird die Grenzfrequenz lediglich durch die Wahl der Bauteilwerte für R und C bestimmt bzw. festgelegt. So kann der Anwender Tiefpässe mit nahezu beliebigen Durchlass-, Sperrbereichen und Grenzfrequenzen aufbauen.

Mathematisch lässt sich die Gleichung zur Berechnung der Grenzfrequenz mit Hilfe der komplexen Wechselstromrechnung aus den Bauteilwerten des Tiefpasses herleiten. Wir werden nachfolgend jedoch eine etwas einfachere Betrachtungsweise anwenden:

Bei der Grenzfrequenz f_g eines Tiefpassfilter sind die Wechselstromwiderstände des ohmschen Widerstandes (R) und des Kondensators ($1/\omega \cdot C$) gleich groß und das bedeutet:

$$R = \frac{1}{\omega \cdot C} \quad \text{und mit} \quad \omega = 2 \cdot \pi \cdot f_g$$

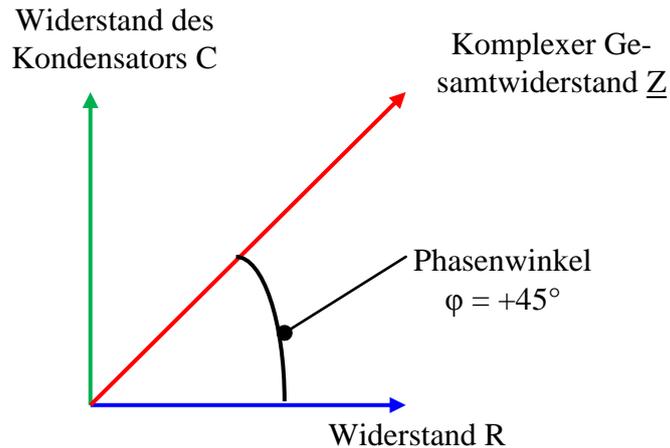
erhält man:

$$R = \frac{1}{2 \cdot \pi \cdot f_g \cdot C}$$

Das ergibt aufgelöst zur Grenzfrequenz f_g :

$$f_g = \frac{1}{2 \cdot \pi \cdot R \cdot C}$$

Stellt man als nächstes die Wechselstromwiderstände von R und C in der komplexen Zahlenebene durch entsprechende Zeiger dar, so erhält man folgende Zeichnung (gleich große Widerstände bedeuten ja gleich lange Zeiger):



Hierbei ist \underline{Z} der komplexe Gesamtwiderstand, der sich aus der Parallelschaltung von R und C ergibt.

Weiterhin erkennt man hier sehr schön, dass sich beim Vorliegen der Grenzfrequenz ein Phasenwinkel von $\varphi = +45^\circ$ einstellt.

In den nachfolgenden Ausführungen werden wir solch einen Tiefpass aus R und C aufbauen und den Durchlassbereich, den Sperrbereich und die Grenzfrequenz theoretisch berechnen und dann messtechnisch praktisch mit dem myDAQ-Modul ausmessen und graphisch darstellen.

Der Phasengang

Das zweite wichtige Diagramm zur Beschreibung des Übertragungsverhaltens eines Netzwerkes ist der so genannte '**Phasengang**':

Merke: Der Phasengang

Der Phasengang ist die graphische Darstellung der **Phasenverschiebung** zwischen der entstehenden Ausgangsspannung und der eingespeisten Eingangsspannung in Abhängigkeit von der Frequenz der eingespeisten Spannung. (Phasenverschiebung als Funktion der Frequenz).

Diese Phasenverschiebung kann:

- positiv sein: die Ausgangsspannung eilt der Eingangsspannung voraus
oder
- negativ sein: die Ausgangsspannung eilt der Eingangsspannung nach.

Der Phasenverschiebungswinkel wird dabei i.a. in Winkelgrad angegeben.

Mit dem Phasengang lässt sich nun auch **alternativ eine Definition der Grenzfrequenz** angeben: bei der (-3dB)Grenzfrequenz beträgt die Phasenverschiebung des Ausgangssignals entweder $+45^\circ$ oder -45° gegenüber dem Eingangssignal.

Das Bode-Diagramm

Diese beiden Diagramme – der Amplitudengang und der Phasengang – bilden nun zusammen das so genannte ‘**Bode-Diagramm**’ mit dem man sehr anschaulich und sehr umfassend das **frequenzabhängige Übertragungsverhalten** eines (komplexen) Netzwerkes darstellen kann.

Die Erstellung (Erfassung) eines Bode-Diagramms

erfolgt nun weitgehendst automatisch durch die **Verwendung eines Bode-Diagramm-Plotters** (Bode-Analysator, Netzwerkanalysator): hierbei sind in einem einzigen Messgerät der durchstimmbare Frequenzgenerator und das Zwei-Kanal-Oszilloskop vereint. Damit laufen alle notwendigen Schritte zur Erstellung der beiden Diagramme automatisch ab: der Anwender gibt lediglich den interessierenden Frequenzbereich und die Schrittweite der Frequenzänderungen vor.

Danach übernimmt das Messgerät die Ansteuerung des Frequenzgenerators, misst automatisch die Ein- und Ausgangssignale, berechnet das Amplitudenverhältnis und die Phasenverschiebung und stellt alles ‘schön’ graphisch dar, so dass der Anwender direkt sein fertiges Bode-Diagramm auf dem Bildschirm und/oder als Ausdruck auf dem Drucker erhält.

Solch ein Bode-Plotter ist als SFP-Instrument für das myDAQ-Modul vorhanden und soll jetzt einmal beispielhaft zur Untersuchung eines klassischen RC-Tiefpasses vorgestellt werden.

Eigenschaften des Bode-Plotters

Dieses SFP stellt dem Anwender einen kleinen, aber vielseitig einsetzbaren **Bode-Plotter für den Frequenzbereich von 1 Hz – 20 kHz** zur Verfügung:

- **Frequenzbereich:** 1 Hz – 20 kHz
Zur Erzeugung der Frequenz wird der interne Funktionsgenerator aus Kapitel 6.3 benutzt.
Frequenzausgang: fest über AO_0
Signalform: Sinus
Schrittweite: Anzahl der Schritte pro Dekade, einstellbar
- **Amplitude:** einstellbar 0 – 5 V_s
- **Messeingänge:** Es werden die Analogeingänge AI_0 und AI_1 zur Messung von Ein- und Ausgangsspannung benutzt.
- **Besonderheiten:** Autoscale-Funktion für die Y-Achse.
Ausmessungen mit Cursorfunktion.
Ausdruck des Bode-Diagramms bzw. Abspeicherung der Messwerte in einer Datei zur späteren, weiteren Auswertung, möglich.

Hierbei gilt:

- Gespeist wird die zu untersuchende Schaltung an ihrem Eingang durch den durchstimmbaren Frequenzgenerator, dessen Ausgangssignal am Anschluss **AO_0** des myDAQs abgegriffen wird. In der Terminologie des Bode-Plotters nennt man dieses Signal auch **'Stimulus'**.
- Gleichzeitig wird dieses Stimulussignal in den Analogeingang **AI_0+** eingespeist. Damit liegt dann im Bode-Plotter das Signal $u_{\text{ein}}(t)$ vor.
- Das Ausgangssignal $u_{\text{aus}}(t)$ der Schaltung (auch **'Response'** genannt) wird über den Analogeingang **AI_1+** in den Bode-Plotter eingespeist.
- Ergebnis: Ein- und Ausgangssignal der Schaltung liegen im Bode-Plotter vor und dieser berechnet und zeichnet daraus nun das Bode-Diagramm, also die beiden Teildiagramme Amplitudengang und Phasengang. Dabei wird der Frequenzgenerator automatisch vom Bode-Plotter durchgestimmt und kontinuierlich die zugehörigen Messwerte aufgenommen.
- Wichtig ist noch die korrekte Verdrahtung der analogen Masse **AGND** mit den beiden Analogeingängen **AI_0-** und **AI_1-**.

Und nun ein Anwendungsbeispiel.

Experimentieradapterplatine 1-Anwendung – Das Bode-Diagramm eines RC-Tiefpasses:

Als klassisches Beispiel aus der Nachrichtentechnik soll einmal das Bode-Diagramm eines **passiven RC-Tiefpassfilters** aufgenommen werden, **Abb.6.5.3**:

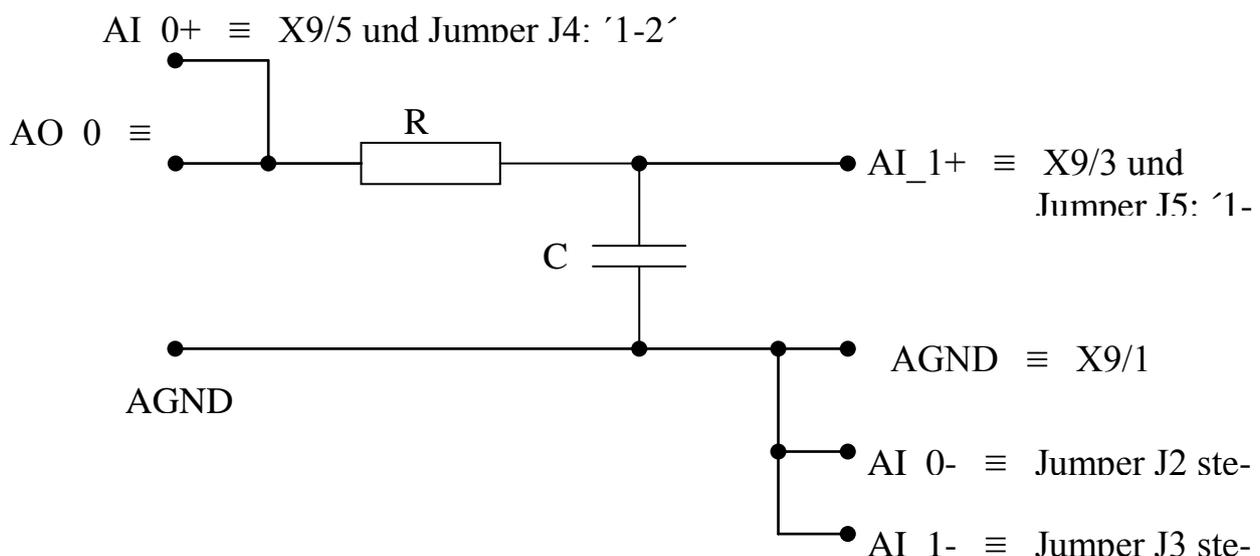


Abb.6.5.3: Das passive RC-Tiefpassfilter

Experimentieradapterplatine 1

In dieser Abbildung sind schon die entsprechenden Anschlüsse und die zu steckenden Jumper am myDAQ angegeben, so dass diese Schaltung ganz einfach 'fliegend' an der **Doppelstockklemme** der **Experimentieradapterplatine 1** 'zusammengeschraubt' werden kann, **Abb.6.5.4**:

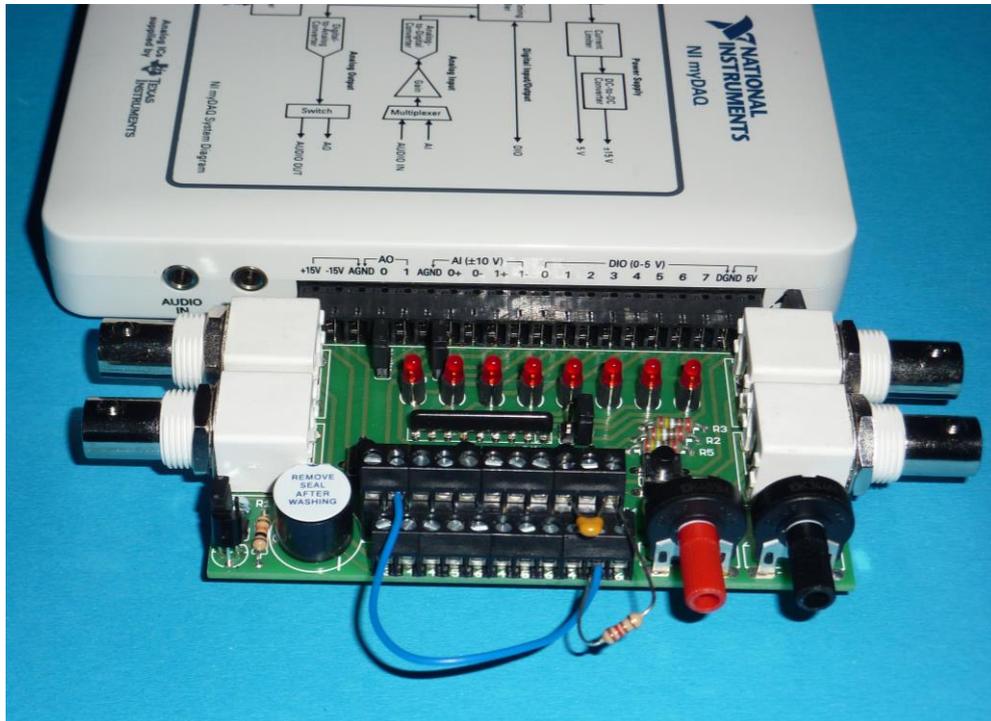


Abb.6.5.4: Die fliegende Verdrahtung des Tiefpasses am myDAQ-Stecker

Da man sich mit den Messfrequenzen noch im NF-Bereich (1 Hz – 20 kHz) bewegt, sind bei solch einem Test-Aufbau eigentlich keine Probleme mit Störungen und Verfälschungen zu befürchten.

Die wichtige '(3-dB)Grenzfrequenz f_g ' eines solchen Filters berechnet sich aus:

$$f_g = \frac{1}{2 * \pi * R * C} \quad (1)$$

Oder, wenn die Bauteilwerte gesucht sind:

$$R = \frac{1}{2 * \pi * f_g * C} \quad (2)$$

bzw.

$$C = \frac{1}{2 * \pi * f_g * R} \quad (3)$$

Als Bauteilwerte wählen wir hier:

$$R = 120 \, \Omega \quad \text{und} \quad C = 100 \, \text{nF.}$$

Damit ergibt sich dann rechnerisch eine Grenzfrequenz von $f_g = 13,26 \, \text{kHz}$.

‘Schrauben’ Sie nun diese Schaltung an der Doppelstockklemme ‘zusammen’ und **starten Sie das SFP-Instrument ‘Bode’ mit Hilfe des ELVIS Instrument Launchers.**

Wählen Sie nun folgende Einstellungen:

- ‘Stop Frequency’: 20 kHz
- ‘Steps’: 20

Klicken Sie danach einfach auf den **grünen Run-Button** in der unteren Button-Leiste und schon wird das erste Bode-Diagramm mit den eingestellten Standardwerten des Bode-Plotters gezeichnet, **Abb.6.5.5:**

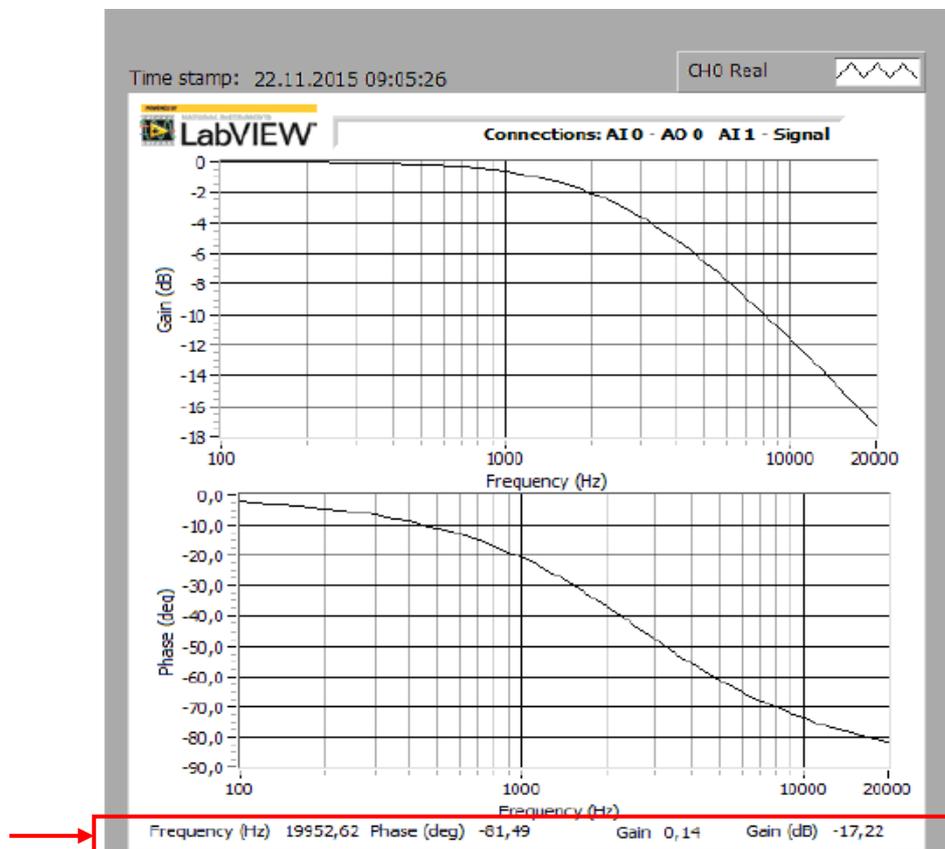


Abb.6.5.5: Das erste Bode-Diagramm des Tiefpassfilters

Hinweise:

- 1) Der schwarze Hintergrund der beiden Bode-Diagramme auf dem Monitor ist drucktechnisch nur sehr schwer zu handhaben und viele Informationen innerhalb der Diagramme gehen beim Buchdruck durch diesen schwarzen Hintergrund verloren. Und leider kann man bei diesem SFP-Instrument die Hintergrundfarbe der Diagramme nicht ändern. Wir stellen daher die Screen-Plots etwas anders dar, als Sie diese auf dem Bildschirm sehen: wir verwenden dazu die Print-Funktion des Bode-Plotters, um diese Diagramme mit weißem Hintergrund zu erzeugen (allerdings ist hier nur ein Schwarz/Weiß-Druck möglich, nur das LabVIEW-Logo erscheint farbig).
- 2) Im oberen Diagramm wird nun der Amplitudengang in dB und im unteren Diagramm der Phasengang in Grad des Filters dargestellt.
- 3) In der untersten Zeile des Bode-Diagramms (rotes Kästchen in der Abb.6.5.5) werden die aktuellen Messwerte an der Cursor-Position dargestellt (der Cursor steht jetzt ganz rechts außen beim letzten Messpunkt). Die Messwerte an diesem Messpunkt sind somit:

Frequenz (Frequency (Hz)):	19952,62 Hz,
Phasenverschiebung in Grad (Phase (deg)):	-81,49°,
Amplitudenverhältnis (linear, Gain):	0,14,
Amplitudenverhältnis in dB (Gain (dB)):	-17,22 dB.

Die Bedienung des Bode-Plotters

Anhand dieses Filterbeispiels werden wir nun nachfolgend die Bedienung des Bode-Plotters näher erläutern, indem wir die einzelnen Teile des Frontpanels besprechen, **Abb.6.5.6**:

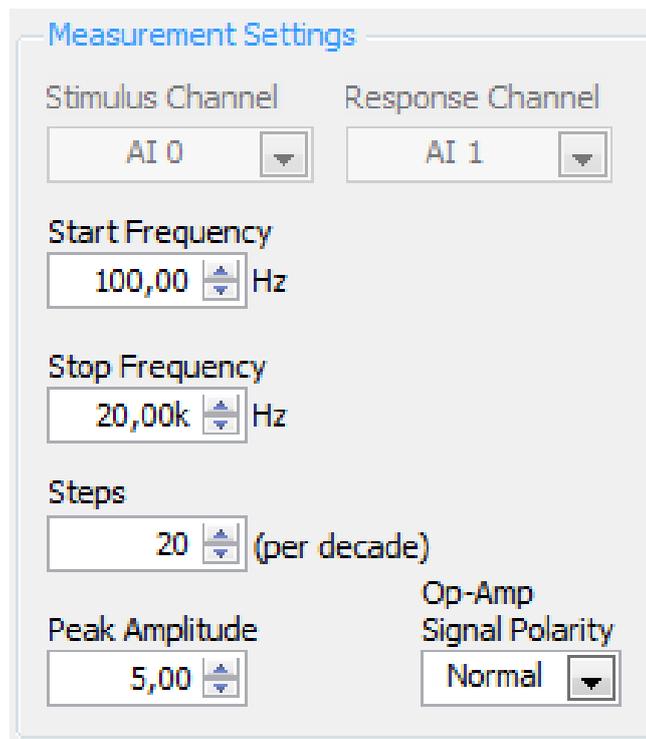


Abb.6.5.6: Die Einstellung der Messparameter

In der ersten Zeile erkennt man, dass die Festlegungen der Mess-Kanäle für das Stimulus- und für das Response-Signal bei Verwendung des myDAQ-Moduls unveränderbar fest vorgegeben sind:

- **Stimulus** (Eingangssignal) immer fest über AI_0
- **Response** (Ausgangssignal) immer fest über AI_1.

Mit '**Start Frequency**' und '**Stop Frequency**' wird der zu untersuchende (durchzuscannde) Frequenzbereich festgelegt. Wir haben gewählt 100 Hz und 20 kHz (20 kHz ist der Maximalwert, mit dem der interne Frequenzgenerator arbeiten kann).

Mit '**Steps (per decade)**' wird festgelegt, wie viele Frequenzschritte der Frequenzgenerator pro Dekade durchführen soll. Wir haben einen Wert von '20' Steps pro Dekade eingestellt.

Bei '**Peak Amplitude**' lässt sich die Amplitude des Frequenzgenerator-Signals (also die Amplitude des Eingangssignals für die zu untersuchende Schaltung) einstellen und zwar im Bereich von 0 bis $5 V_p$ ($\equiv 0$ bis $10 V_{pp}$).

Diese Einstellbarkeit wurde gewählt damit man bei aktiven Schaltungen (also Schaltungen mit Verstärkereigenschaften) den Eingang solcher Schaltungen nicht durch zu große Pegel übersteuert bzw. damit der Ausgang solcher Schaltungen nicht in die Sättigung fährt. Werden dagegen passive Schaltungen untersucht (so wie z.B. unser Tiefpassfilter), so kann mit einer möglichst großen Amplitude gearbeitet werden, damit man ein aussagekräftiges Bode-Diagramm erhält. Ein ausreichender Wert für passive Filter liegt bei $2 V_p$.

Mit '**Op-Amp Signal Polarity**' kann das Eingangssignal für die Schaltung (\equiv Stimulus-Signal des Bode-Plotters) im Bode-Plotter selber um 180° in der Phase gedreht werden. Dadurch kann man eine Invertierung des Ausgangssignals kompensieren, wenn man Schaltungen untersucht, die einen invertierenden Verstärker beinhalten: man will in diesem Fall nur die Phasenverschiebung messen, die durch die eigentliche Schaltung hervorgerufen wird und nicht auch noch die 180° -Verschiebung, die durch den invertierenden Verstärker erzeugt wird. Die eigentliche Ausmessung des Bode-Diagramms wird dadurch aber nicht beeinflusst. Wir behalten hier die Einstellung 'Normal' bei.

Schauen Sie sich das Bode-Diagramm nun genauer an, **Abb.6.5.7**:

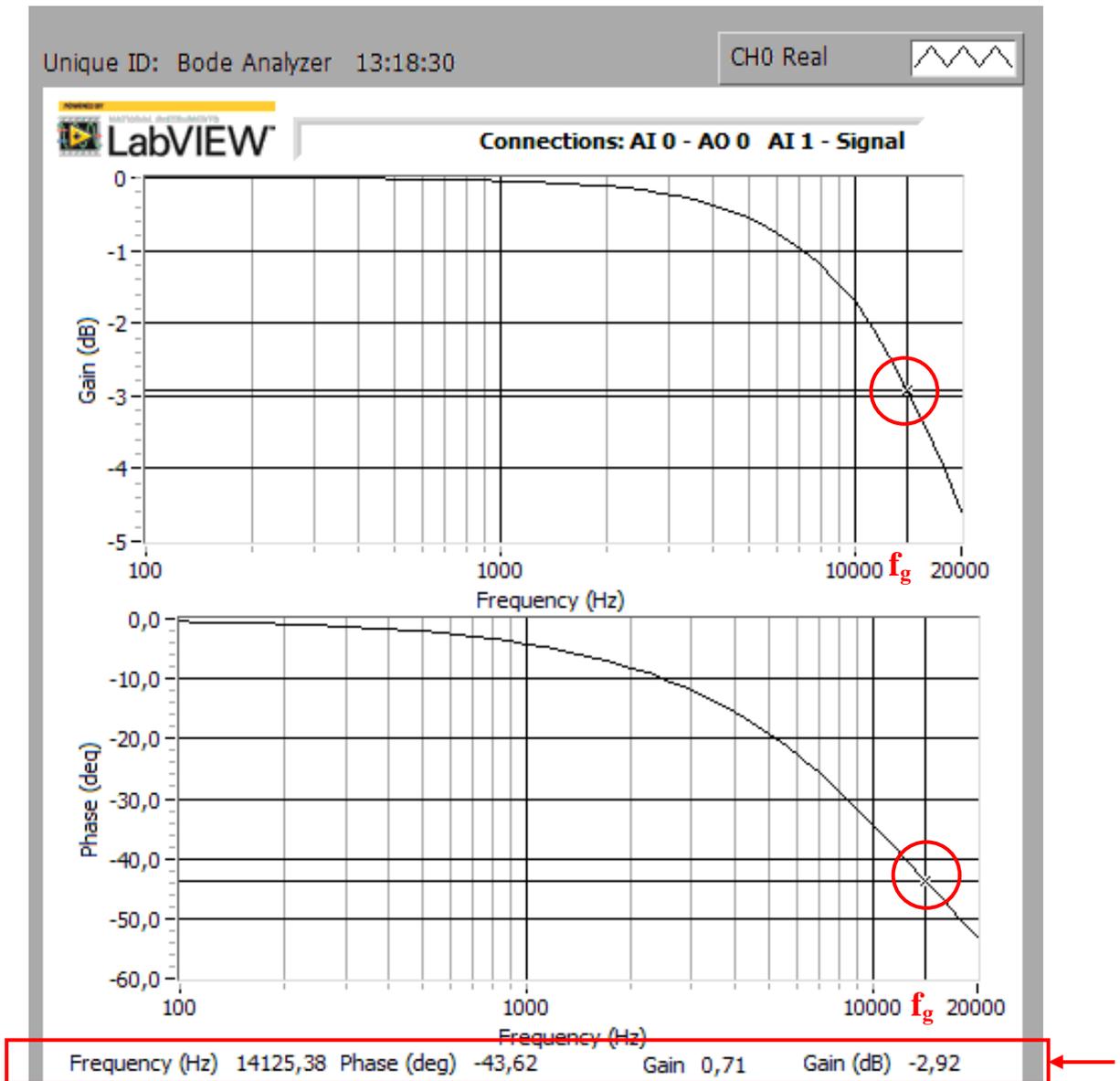


Abb.6.5.7: Das Bode-Diagramm des Tiefpassfilters, aufgenommen über den gesamten möglichen Frequenzbereich von 0 - 20 kHz

Man kann jetzt sehr schön die **-3-dB-Grenzfrequenz** ermitteln:

Mit dem Cursor (s. nachfolgend) wurde ein Messpunkt angefahren, bei dem das Amplitudenverhältnis bei ca. -3 dB bzw. die Phasenverschiebung bei ca. -45° liegt. In diesem Messpunkt ermittelt man dann (Messwerte in der untersten Zeile des Diagramms Abb.6.5.7):

- -3dB-Grenzfrequenz: 14.125 Hz
- Phasenverschiebung: -43,62°
- Amplitudenverhältnis (linear) 0,71
- Amplitudenverhältnis (in dB): -2,92 dB

Man erreicht den -3dB-Punkt so natürlich nicht 100%ig exakt, da der Cursor ja immer nur von Messwert zu Messwert springen kann.

Man erkennt allerdings auch, dass die berechnete Grenzfrequenz nicht mit der gemessenen Grenzfrequenz übereinstimmt:

Berechnet (Soll):	13,26 kHz	Gemessen (Ist):	14,13 kHz
-------------------	-----------	-----------------	-----------

und daraus ergibt sich eine Abweichung (relativer Fehler) von +6,6 %.

Das liegt aber unter anderem daran, dass die eingesetzten Bauteile R und C natürlich Toleranzen haben:

R: $\pm 1\%$	C: $\pm 20\%$
--------------	---------------

die sich hier bemerkbar machen.

Alles in allem lässt sich aber feststellen, dass das Bode-Diagramm sehr gut ermittelt und dargestellt wird und dass die Theorie ebenfalls sehr gut mit der Praxis übereinstimmt.

Die **Abb.6.5.8** zeigt einen weiteren Teil des Frontpanels:



Abb.6.5.8: Einstellmöglichkeiten für die Achsen der Diagramme

Unter 'Mapping' kann festgelegt werden, wie die Y-Achse beim Amplitudengang skaliert wird: linear oder in dB. Wählt man 'Autoscale' aus, so werden beide Diagramme in Bezug auf die Y-Achse immer so skaliert, dass die Diagramme die maximale Auflösung in Y-Richtung haben, der Diagramm-Bereich also optimal ausgenutzt wird.

Ist Autoscale dagegen nicht angewählt, so wird auf der Y-Achse immer der maximal mögliche Bereich aufgetragen:

das Amplitudenverhältnis: 0 bis +1,8 bzw. -30 dB bis +5 dB und die Phasenverschiebung: -360° bis +360°.

Schalten Sie einmal Autoscale aus und wieder ein und Sie werden diesen Effekt beobachten und verstehen.

Die **Abb.6.5.9** zeigt den Bereich der **Cursor-Steuerung**:

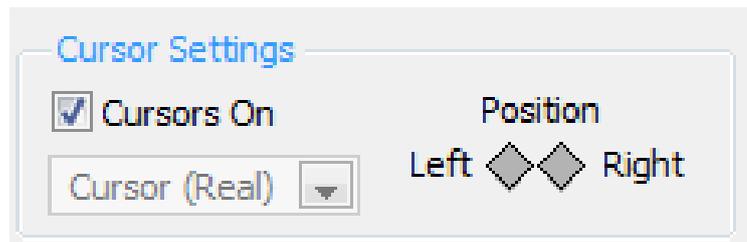


Abb.6.5.9: Die Cursor-Steuerung

Wenn der Cursor aktiviert ist ('**Cursors On**' ist angehakt), so können Sie die beiden Cursor-Linien (rote horizontale und rote vertikale Linie) entweder mit der Maus in den Diagrammen horizontal oder vertikal verschieben oder Sie benutzen dazu die Positionssteuertasten '**Left**' bzw. '**Right**'. Der Cursor springt dann von Messpunkt zu Messpunkt und in der untersten Zeile des Bode-Diagramms werden die zugehörigen Messwerte an der Cursor-Stelle angezeigt. Mit diesen Tasten kann man dann z.B. den Messpunkt genau aus- bzw. anwählen, der der Grenzfrequenz (-3dB bzw. $\pm 45^\circ$) am ehesten entspricht. Das Feld '**Cursor (Real)**' hat bei myDAQ-Modulen keine Bedeutung.

Das letzte Bedienfeld des Frontpanels zeigt die **Abb.6.5.10**:

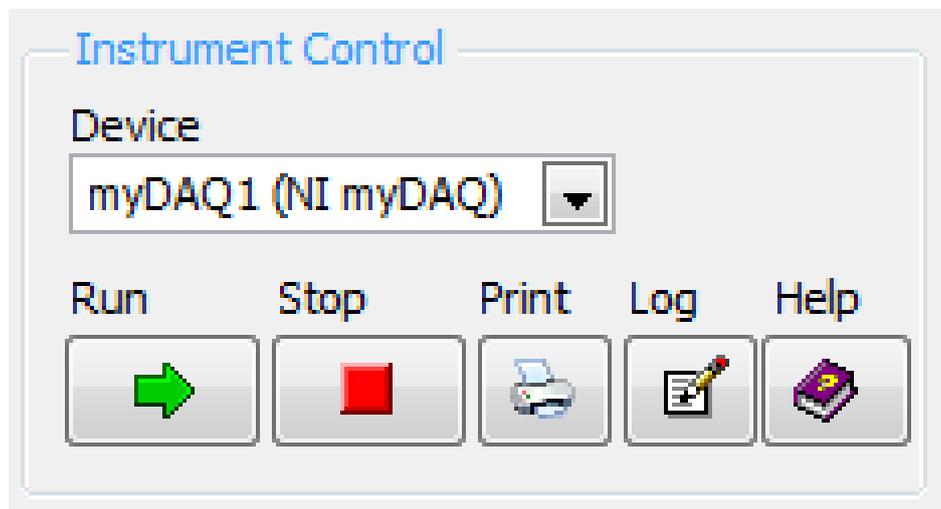


Abb.6.5.10: Die Bode-Plotter-Kontroll-Funktionen

Unter '**Device**' kann das gewünschte myDAQ-Modul ausgewählt werden und die Buttons '**Run**' und '**Stop**' sind sicherlich selbsterklärend.

7. LabVIEW

Bisher haben Sie schon einen Teil der Leistungsfähigkeit des myDAQ-Moduls kennengelernt, indem Sie die bereits fertig erstellten SFP-Instrumente in Verbindung mit unserer Experimentieradapterplatine 1 eingesetzt haben (\equiv **Stand-Alone-Betrieb des myDAQs**). Eine eigene Programmierarbeit, egal in welcher Sprache, war dazu bisher allerdings nicht notwendig.

Seine weitaus **größten Fähigkeiten und Einsatzmöglichkeiten** entwickelt das myDAQ mit der Experimentieradapterplatine 1 aber erst dann, wenn es entsprechend optimal programmiert in exakt zugeschnittenen Applikationen eingesetzt wird. Mit anderen Worten: erst der individuelle Betrieb unter einer 'passenden' Anwendungssoftware zeigt, was 'eigentlich im myDAQ steckt!'

Um solch eine große Flexibilität zu erreichen, stehen dem Anwender in Verbindung mit der graphischen Programmierumgebung **LabVIEW** verschiedene Möglichkeiten zur Verfügung, von denen wir jetzt eine näher betrachten und einsetzen werden:

Die Verwendung des LabVIEW-DAQ-Assistenten, um die myDAQ-Komponenten in Verbindung mit der Experimentieradapterplatine 1 optimal anzusteuern.

Wichtiger Hinweis: Das Arbeiten mit LabVIEW

Die Ausführungen in den nun folgenden Kapiteln setzen grundlegende Kenntnisse in die Funktionsweise und in die Möglichkeiten von LabVIEW voraus.

Arbeiten Sie also bei Bedarf zuerst die dortigen Kapitel gezielt durch und kommen Sie dann zurück zu den nächsten Projekten mit dem myDAQ-Modul.

Haben Sie schon LabVIEW-Erfahrungen gesammelt, so können Sie ab jetzt Ihr myDAQ-Modul sehr flexibel und leistungsfähig einsetzen.

Hinweis:

Wir werden uns nachfolgend auf die **LabVIEW-Version 2013** abstützen.

Alle von uns entwickelten LabVIEW-VIs sind aber auch unter den nachfolgenden LabVIEW-Versionen problemlos ablauffähig.

7.1 Der DAQ-Assistent

Dieser LabVIEW-Assistent ist letztendlich ein kleines Hilfsprogramm, das den Anwender dialoggesteuert über mehrere Konfigurationsfenster nach seinen **‘Applikationswünschen mit den my-DAQ-Komponenten’** fragt und wenn alle Antworten vorliegen, erstellt dieser Assistent selbstständig ein neues Express-VI, indem alle notwendigen DAQmx-Treiber schon richtig konfiguriert zusammengestellt und verbunden worden sind.

Der Anwender braucht dann nur die Ein- und Ausgänge dieses neuen Express-VIs seinen Anforderungen nach zu verbinden und fertig ist dieser Teil der Applikation.

Eine genaue Kenntnis der Funktionsweise und der Parametrierung der einzelnen DAQmx-Treiber-Funktionen ist hierbei nicht notwendig, das erledigt alles der DAQ-Assistent.

Zum Einsatz des DAQ-Assistenten

- schließen Sie das myDAQ-Modul an Ihren Rechner an und überprüfen Sie, ob dieses Modul ordnungsgemäß funktioniert, ob sich z.B. der ELVIS Instrument Launcher öffnet.
- Schließen Sie dann den ELVIS Instrument Launcher und starten Sie LabVIEW.
- Öffnen Sie unter LabVIEW ein neues VI und schalten Sie um auf das Blockdiagramm.

Fügen Sie nun den DAQ-Assistenten auf dem Blockdiagramm ein.

Sie finden ihn unter:

BD\Mess-I/O\DAQmx – Datenerfassung\DAQ-Assistent

Kurze Erläuterung der verwendeten Syntax:

BD ≡ Rechtsklick mit der Maus auf eine freie Stelle des Blockdiagramms. Es erscheinen die **Funktionspaletten**.

bzw.

FP ≡ Rechtsklick mit der Maus auf eine freie Stelle des Frontpanels. Es erscheinen die **Elementpaletten**.

Mess-I/O\DAQmx – Datenerfassung ≡ das sind die jeweils aus- bzw. anzuwählenden Unterpalletten.

DAQ-Assistent ≡ das ist die auszuwählende Funktion bzw. das auszuwählende Frontpanel-Element.

Platzieren Sie nun den DAQ-Assistenten auf dem Blockdiagramm.

Sofort beginnt die erste Grundinitialisierung des DAQ-Assistenten, **Abb.7.1.1:**

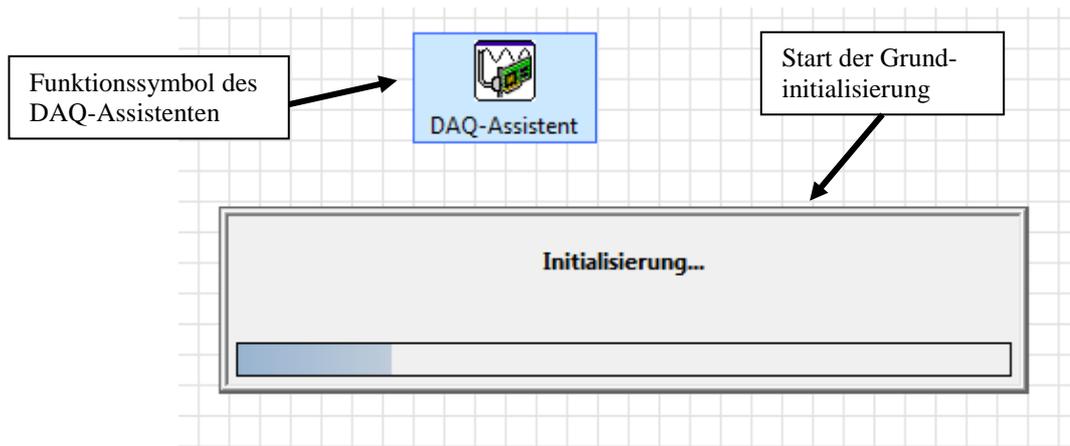
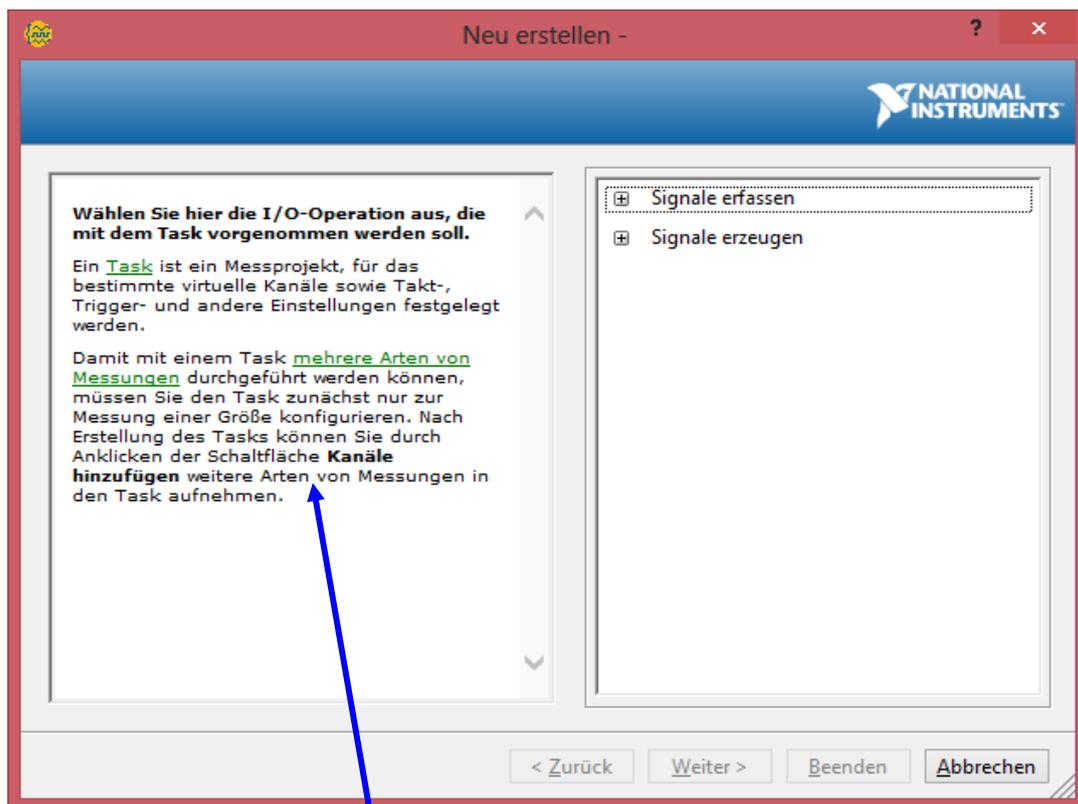


Abb.7.1.1: Der erste Aufruf des DAQ-Assistenten

Und danach startet der **interaktive Einstellungsprozess** zur Generierung des Express-VIs, **Abb.7.1.2:**



Erklärungen zu den jeweiligen Inhalten bzw. zu den Auswahl-/Einstellmöglichkeiten im rechten Fenster.
Durch Klicken auf die **grün hinterlegten Stich-**

Abb.7.1.2: Der Start des interaktiven Einstellungsprozesses

Wir machen den weiteren Ablauf am **Beispiel einer myDAQ-Spannungsmessung** klar:
Erweitern Sie daher den Punkt **'Signale erfassen'** im rechten Fenster durch Klicken auf das '+'-Kästchen, **Abb.7.1.3**:

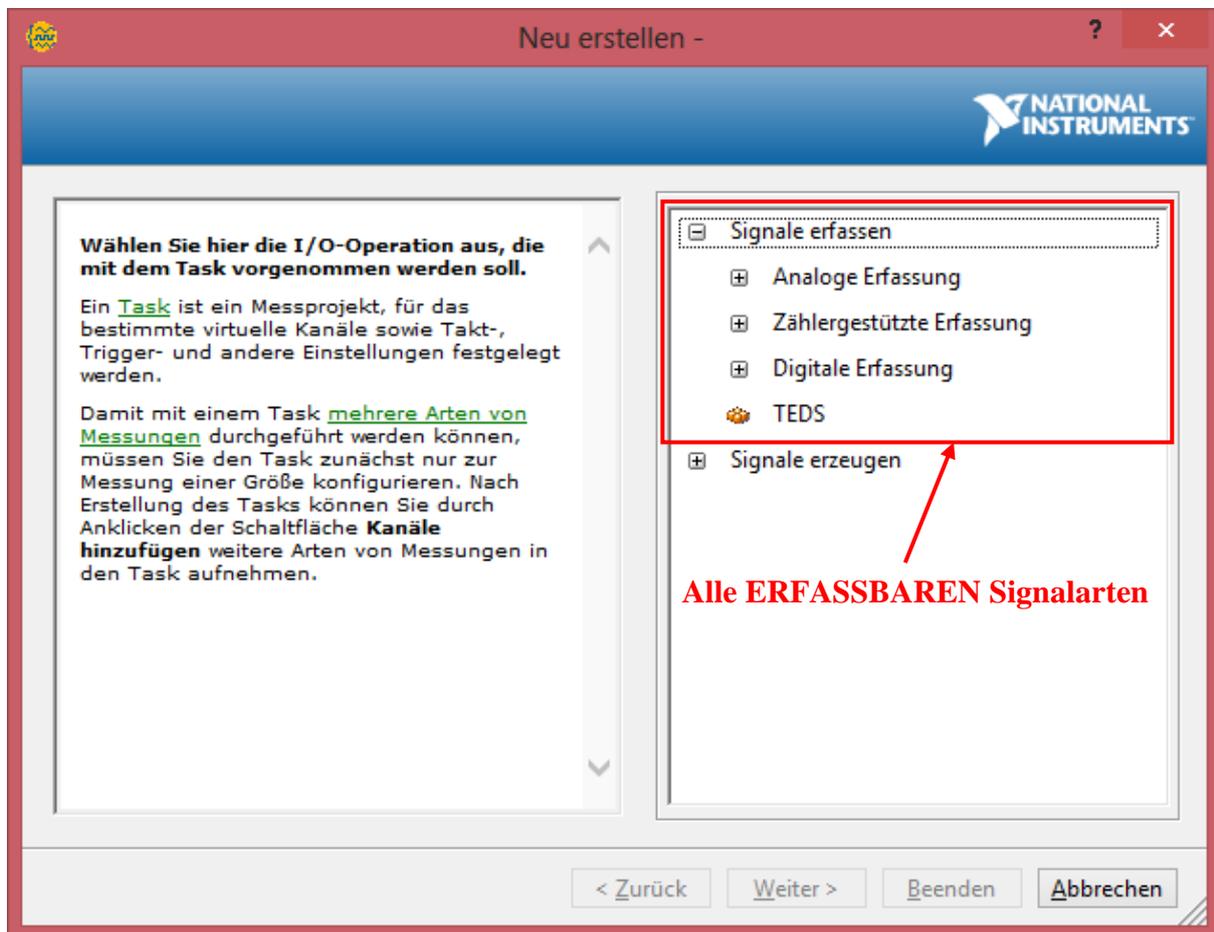


Abb.7.1.3: Die Signalerfassung - ganz allgemein

Es werden nun grundsätzlich erst einmal ganz allgemein alle in einem DAQ-System erfassbaren Signalarten (Signalgruppen) angezeigt.

Für die Spannungsmessung wählen wir die **'Analoge Erfassung'** aus, **Abb.7.1.4**:

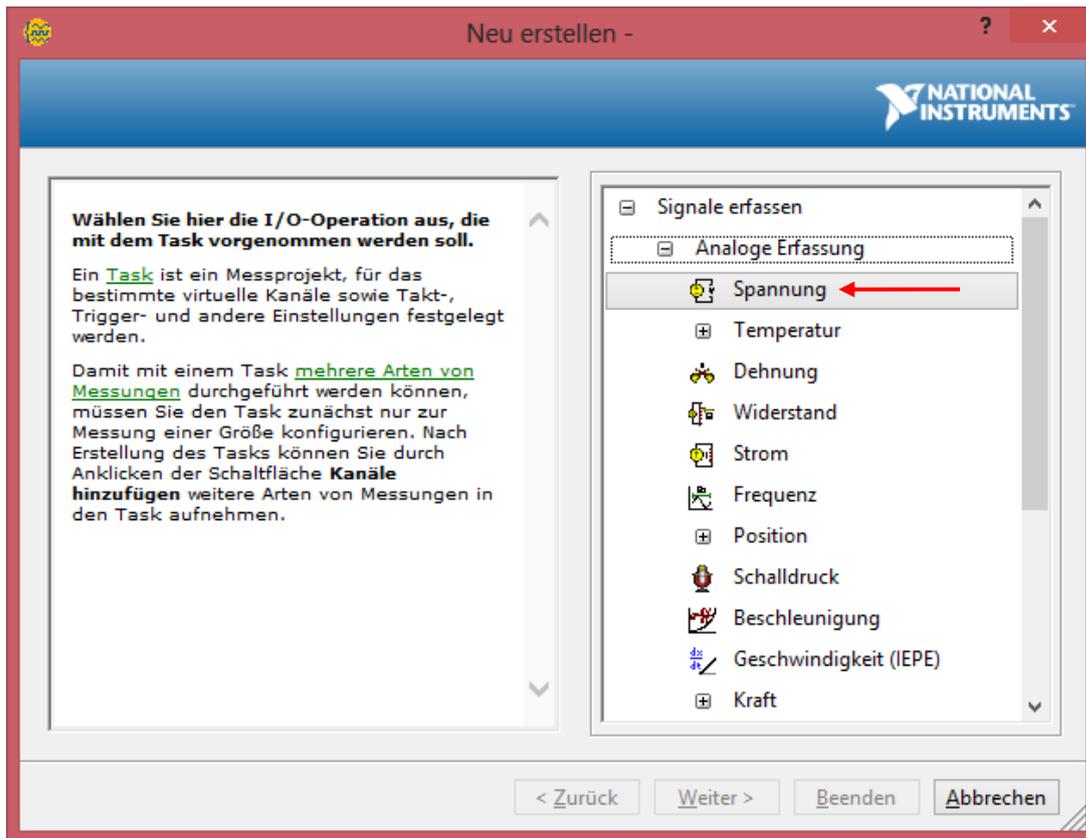


Abb.7.1.4: Die 'weite Welt' der erfassbaren analogen Eingangssignale

Im nun erscheinenden Menü wird eine große Vielfalt von erfassbaren analogen Größen aufgelistet, wobei es zu einigen Punkten sogar noch Untermenüs mit weiteren Eintragungen gibt (Temperatur, Position, Kraft, ...).

Wir wählen gemäß unserem Mess-Wunsch die analoge Größe **'Spannung'** aus und nun zeigt sich **'schlagartig' die große Leistungsfähigkeit des DAQ-Assistenten, Abb.7.1.5:**

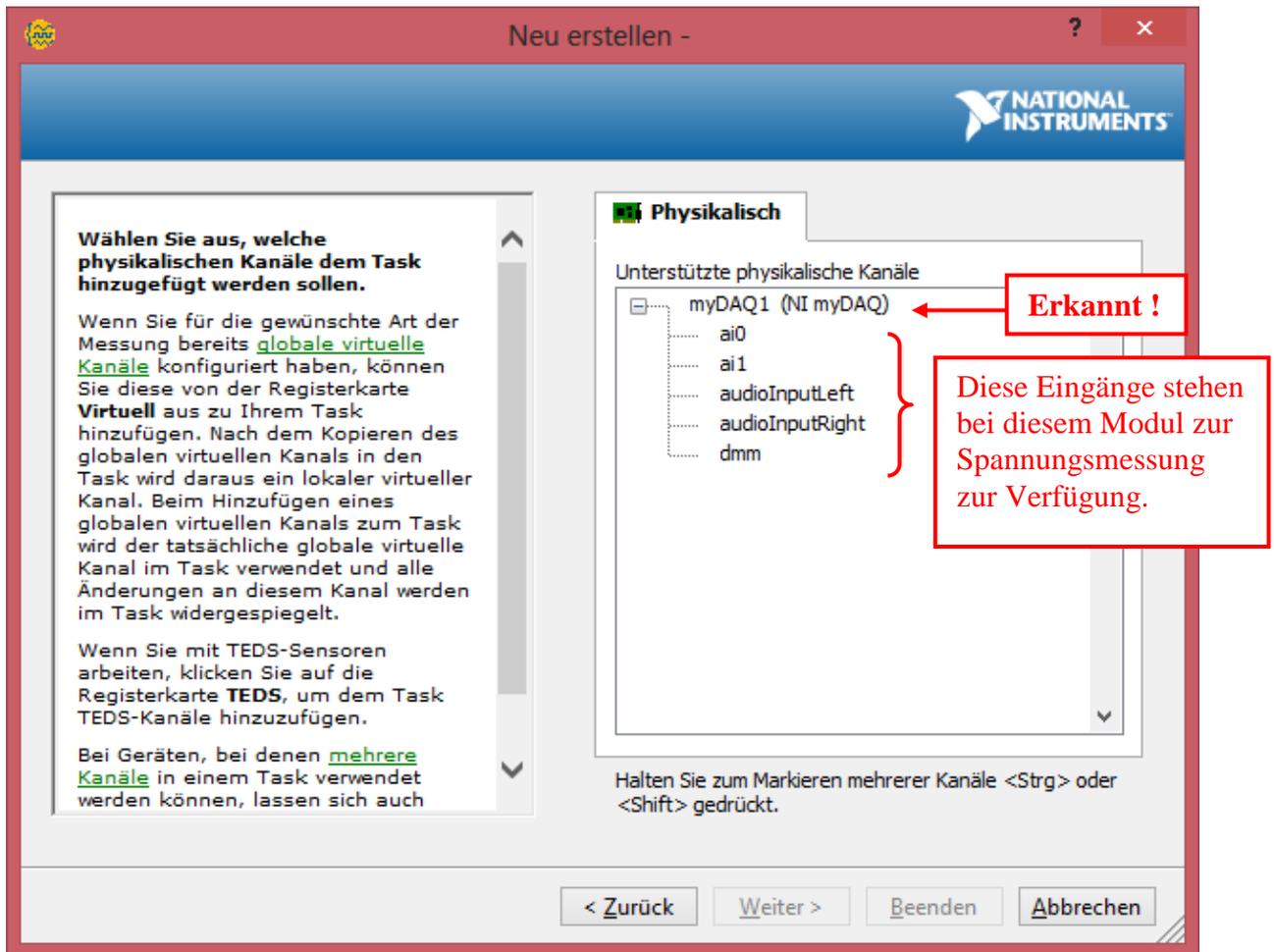


Abb.7.1.5: Der DAQ-Assistent erkennt sie alle!

Der DAQ-Assistent erkennt sofort alle angeschlossenen DAQ-Module von NI mit allen Ihren Eingängen, die zur Spannungsmessung geeignet sind und bietet diese dem Anwender nun zur individuellen Auswahl an!

In unserem Beispiel bedeutet das:

Der DAQ-Assistent hat ein myDAQ-Modul erkannt und diesem zunächst den Namen 'myDAQ1' gegeben.

Diese Bezeichnung kann man natürlich später individuell den Bedürfnissen der Anwendung anpassen. Weiterhin 'weiß' der DAQ-Assistent nun, dass ein myDAQ-Modul insgesamt fünf Eingänge (physikalische Kanäle) zur analogen Spannungsmessung besitzt und bietet diese dem Anwender daher zur Auswahl an.

Wir müssen nun einen Anschluss (physikalischer Kanal) zur Spannungsmessung auswählen: wir nehmen den Kanal 'ai0' (≡ Analog-IN-Kanal 0) und klicken auf '**Beenden**' (Das ist zwar ein komischer Name zur Bestätigung der Auswahl, aber so ist nun einmal an einigen Stellen die deutsche

Übersetzung der Knopf-Beschriftungen von NI gewählt worden. In den nachfolgenden neueren Versionen des DAQ-Assistenten heißt diese Schaltfläche dann auch wesentlich passender **‘Fertigstellen’**. Wir werden nachfolgend beide Bezeichnungen verwenden).

Und nun erscheint **das Hauptfenster des DAQ-Assistenten**, in dem alle wesentlichen Eingaben und Festlegungen zur Durchführung der Spannungsmessung gemacht werden (also alle Eingaben und Festlegungen zur **Erzeugung des virtuellen Kanals** mit dem Eingang ‘ai0’, der hinterher in LabVIEW benutzt werden kann).

Zunächst ist hier die Registerkarte **‘Konfiguration’** geöffnet, **Abb.7.1.6:**

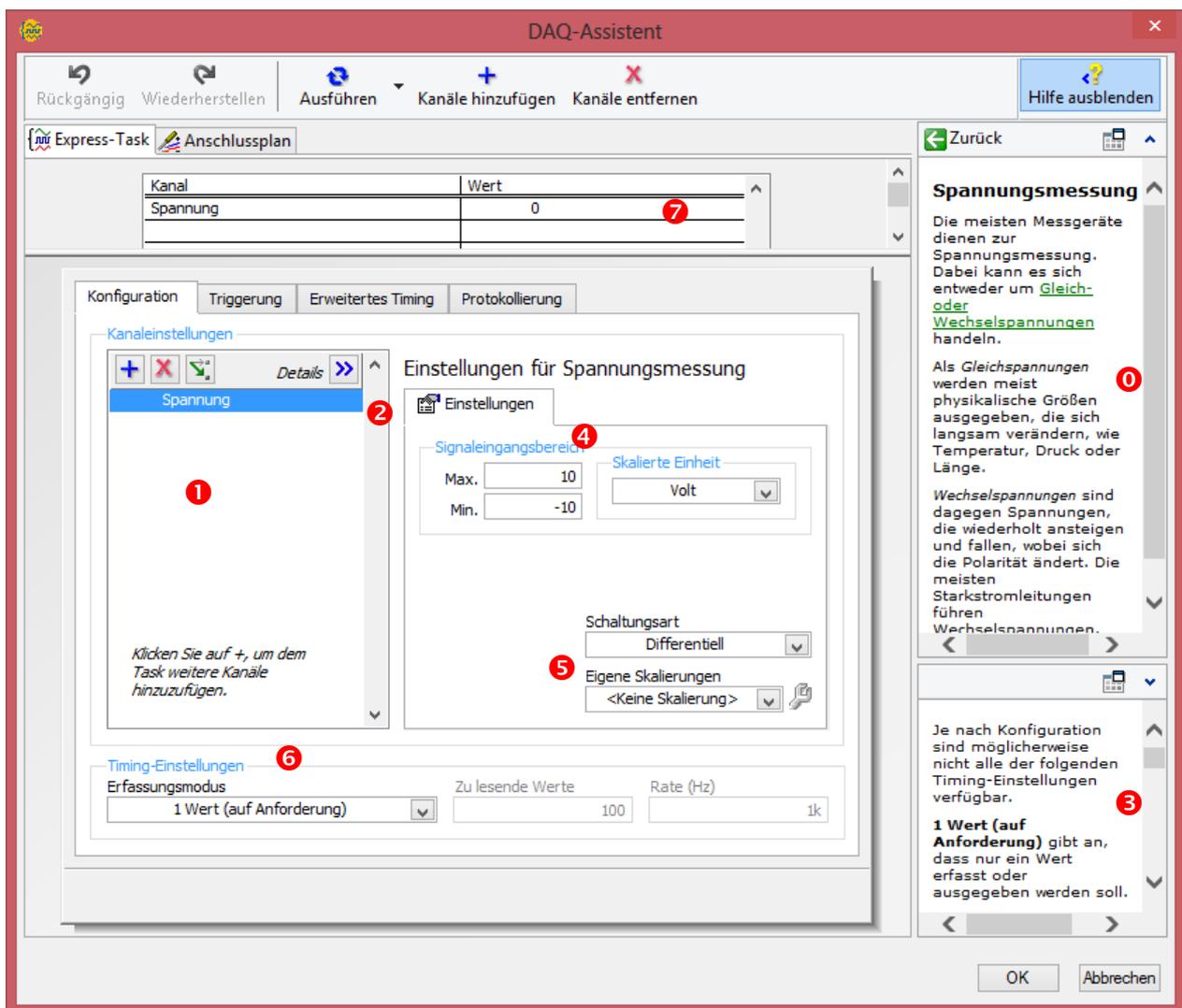


Abb.7.1.6: Das Hauptfenster des DAQ-Assistenten

②

In diesem Fenster finden Sie ganz allgemeine Zusatzinformationen zu der von Ihnen ausgewählten bzw. festgelegten Messung.

Hier also: zur analogen Spannungsmessung.

①

In diesem Fenster sind die (physikalischen) Kanäle aufgeführt, die zur Messung eingerichtet wurden.

In unserem Fall: ein Kanal zur Spannungsmessung.

Fahren Sie mit dem Mauszeiger in dieses Feld, so erhalten Sie im Fenster ③ zusätzliche Informationen zu den dortigen Eintragungen.

Wichtig: Die Messungen mit dem DAQ-Assistenten

Mit dem DAQ-Assistenten können Sie nicht nur eine einzige Messung konfigurieren, sondern ´mit einem Mal´ mehrere Messungen über unterschiedliche Kanäle einrichten.

Dazu dienen die drei Schaltflächen in der linken oberen Ecke des Fensters ①, **Abb.7.1.7**.

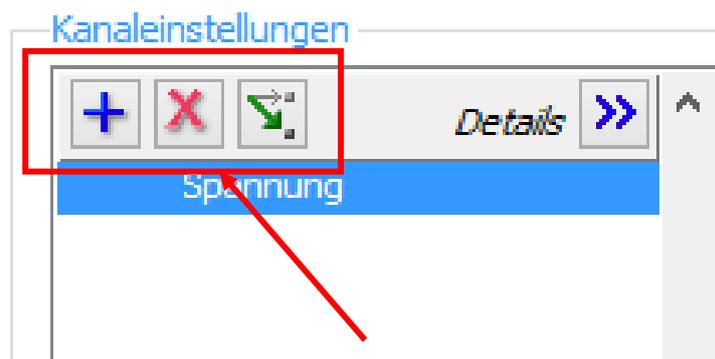


Abb.7.1.7: Hinzufügen/Entfernen von weiteren Messkanälen

Hier können jetzt:

- Neue virtuelle Mess-Kanäle hinzugefügt werden.
- Virtuelle Mess-Kanäle entfernt werden.
- Die Zuordnung zwischen physikalischem Kanal und virtuellem Kanal geändert werden, d.h. so kann man z.B. die Spannungsmessung ganz einfach über einen anderen Eingangskanal (Anschluss-Pin) durchführen lassen.

Beachten Sie auch die entsprechenden Hilfetexte, die im Fenster ③ erscheinen, wenn Sie mit der Maus über die jeweiligen Schaltflächen der Abb.7.1.7 fahren.

Die Messwerte der verschiedenen Kanäle werden jetzt im Express-VI erfasst, zusammengebündelt und gemeinsam am Datenausgangsanschluss ausgegeben (s. später). Dort können sie dann wieder in die einzelnen Werte aufgeschlüsselt und weiter verarbeitet werden.

Allerdings sind hierbei einige **wichtige Randbedingungen** zu beachten:

Aufgrund der Hardware-Struktur der jeweiligen DAQ-Karten können nicht immer alle Erfassungskanäle beliebig in einer Task (≡ Messaufgabe) 'gemischt' werden. So können beim myDAQ-Modul die Analog-Eingänge 'ai0' und 'ai1' nicht gleichzeitig mit den Analog-Eingängen 'audioInputLeft' und 'audioInputRight' verwendet werden, da der interne A/D-Wandler des myDAQs nur zwei Eingänge hat, die jeweils entweder auf die 'ai'-Eingänge oder auf die 'audio'-Eingänge geschaltet werden. Somit ist eine gleichzeitige Verwendung der 'ai'- und der 'audio'-Eingänge in einer Task, also in einem Express-VI, nicht möglich.

Auch eine Aufteilung in zwei getrennte Tasks – eine 'ai'-Task und eine 'audio'-Task - funktioniert nicht, da die beiden 'ai'- und 'audio'-Kanäle immer paarweise gemeinsam auf die A/D-Wandler-Eingänge geschaltet werden.

Solche Konfigurationskonflikte ergeben hier aber keine größeren Probleme, denn in diesen Fällen meldet sich der DAQ-Assistent mit ausführlichen Fehlermeldungen und Sie können die entsprechenden Einstellungen einfach korrigieren.



Wenn Sie jetzt auf den Doppelpfeil rechts neben 'Details' klicken, erhalten Sie weitere Informationen zum verwendeten Kanal bzw. zu den verwendeten Kanälen, **Abb.7.1.8**:

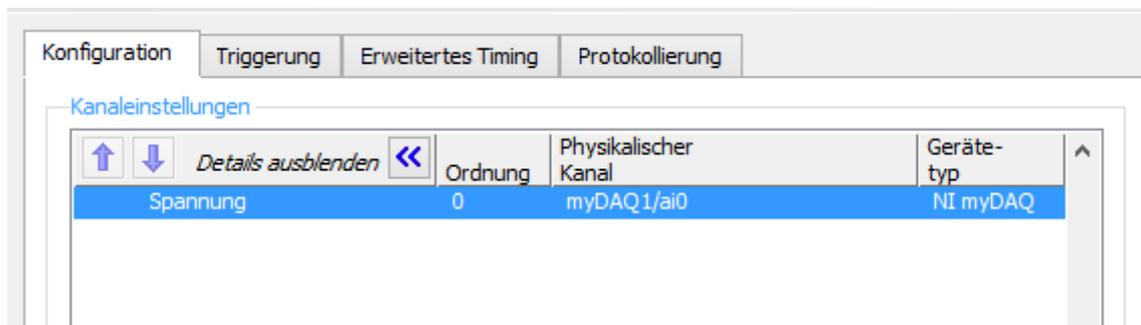


Abb.7.1.8: Weitere Informationen zum eingerichteten Spannungsmess-Kanal

Sie erkennen hier:

Es wird die Spannung am Kanal 'ai0' an einem **myDAQ-Modul** mit der Bezeichnung 'myDAQ1' gemessen

Blenden Sie nun die Details wieder aus.

④

In diesem Feld können Sie die Einstellungen für die Spannungsmessung durchführen: minimale und maximale Messspannung und die Einheit dazu.

Tragen Sie hier einmal ein: Messbereich von -10 bis 10 V und Einheit 'V' (eine andere Einheit lässt sich hier auch nicht auswählen).

Und beachten Sie: immer wenn Sie mit der Maus über ein Eingabe- bzw. Festlegungsfeld fahren, erscheinen im Fenster ⑤ zusätzliche Erläuterungen dazu.

⑤

Hier legen Sie die Art der Spannungsmessung fest, wobei beim myDAQ-Modul nur '**Differentiell**' möglich ist.

Im Fenster '**Eigene Skalierungen**' machen wir keine weiteren Eintragungen.

⑥

In den drei Feldern zu den '**Timing-Einstellungen**' wird festgelegt, wie viele Messwerte und wie schnell diese erfasst werden:

- '**Erfassungsmodus**': Mit dieser Einstellung wird festgelegt, ob die Messaufgabe nach einer endlichen Anzahl von Messungen erledigt ist, ob kontinuierlich (durch-) gemessen werden soll, oder ob bei jedem Aufruf des Task (bei jedem Aufruf des erzeugten Express-VIs) immer nur ein Wert gemessen werden soll.

Im letzten Fall haben die Festlegungen bei 'Zu lesende Werte' und bei 'Rate (Hz)' natürlich keine Wirkung und diese Felder sind daher ausgegraut.

Stellen Sie hier '**Endliche Anzahl**' ein.

- '**Rate (Hz)**': hier gibt man an, wie schnell das Messsignal abgetastet werden soll, also die Abtastrate in Abtastungen pro Sekunde.

Das Maximum beim myDAQ beträgt 200 kHz, also 200.000 Abtastungen pro Sekunde.

Stellen Sie hier einen Wert von **4** ein (\equiv 4 Abtastungen pro Sekunde).

- '**Zu lesende Werte**': hier wird angegeben, wie viele Messwerte insgesamt bei jedem Start dieser Messaufgabe (Task) erfasst werden sollen.

Tragen Sie hier einen Wert von **20** ein.

Diese beiden zuletzt getätigten Einstellungen bedeuten nun: wenn der Task (das Express-VI) gestartet wird, werden insgesamt 20 Messwerte mit einer Abtastfrequenz von 4 Messwerten pro Sekunde erfasst. Die gesamte Messung dauert insgesamt also 5 Sekunden.

Damit sollten Ihre Einstellungen so aussehen, wie in **Abb.7.1.9** dargestellt:

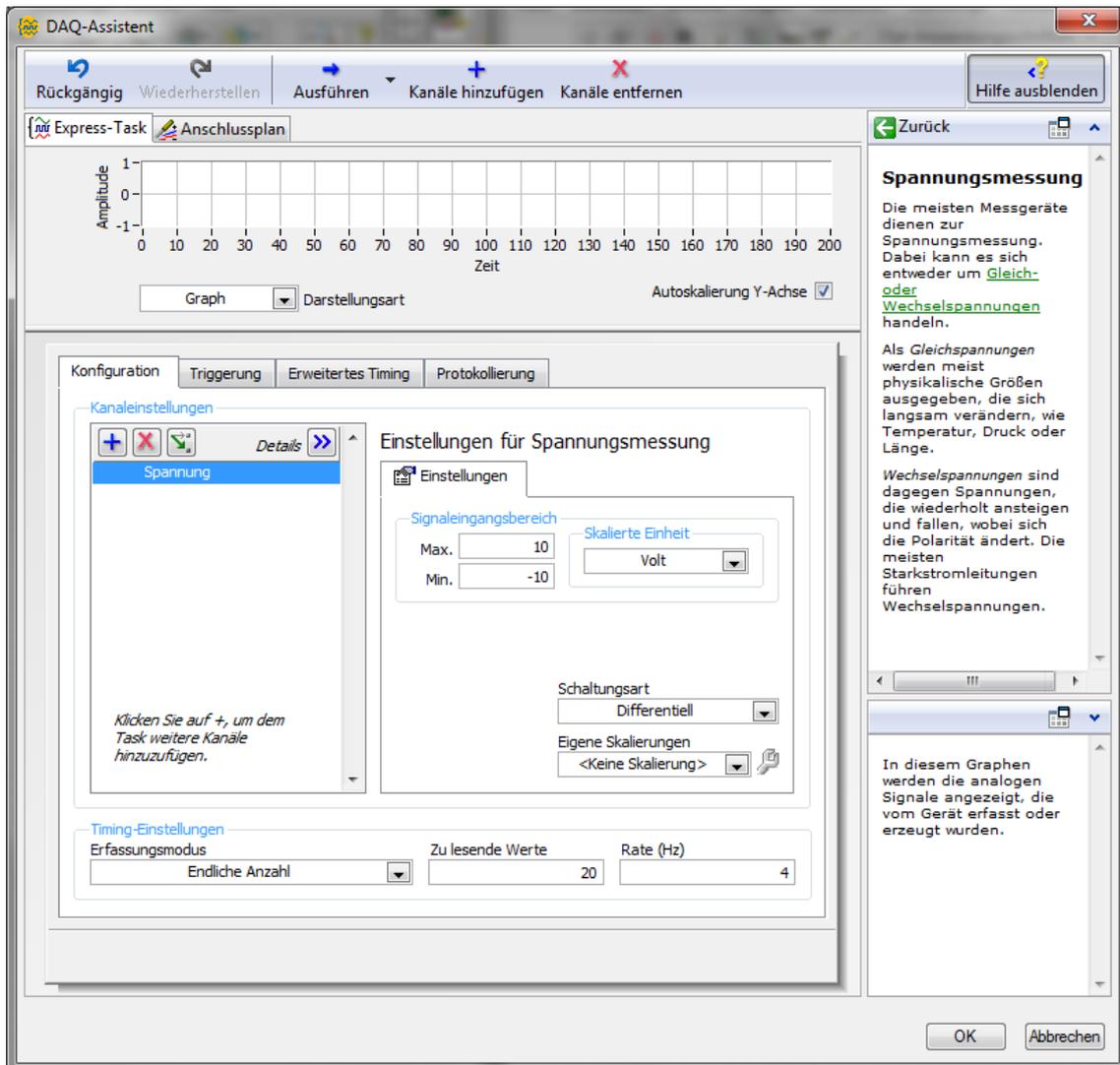


Abb.7.1.9: Die ersten Grundeinstellungen im DAQ-Assistenten

7

In diesem Fenster findet man eine weitere, sehr interessante Eigenschaft des DAQ-Assistenten: hier können Sie ihre Einstellungen testen, schon reale Messwerte mit dem myDAQ-Modul erfassen und auf einfache Art und Weise darstellen.

Experimentieradapterplatine 1 - Anwendungen

Stecken Sie nun die Experimentieradapterplatine 1 an das myDAQ-Modul und setzen Sie, sofern noch nicht geschehen, folgende Jumper:

- Jumper J2 gesteckt
- Jumper J4 auf Stellung '2-3'

Experimentieradapterplatine 1

Dadurch haben Sie das Potentiometer R6 auf den myDAQ-Eingangskanal AI_0 geschaltet und können nun damit Spannungen im Bereich von -10 V bis +10 V einstellen (simulieren), die dann erfasst, aufgezeichnet und dargestellt werden.

Klicken Sie jetzt auf den Button **'Ausführen'** und drehen Sie fortlaufend das Potentiometer R6 auf der Experimentieradapterplatine 1 rauf und runter.

Das Messprojekt (Task) wird nun einmal ausgeführt, d.h. in unserem Fall: 20 Messwerte mit einer Abtastrate von 4 Hz werden erfasst (es wird also erst 5 Sekunden lang gemessen) und die Ergebnisse anschließend graphisch dargestellt, **Abb.7.1.10** (um diese größere Darstellung zu erhalten, müssen Sie einfach das obere Fenster nach unten hin aufziehen und als **Darstellungsart 'Graph'** wählen):

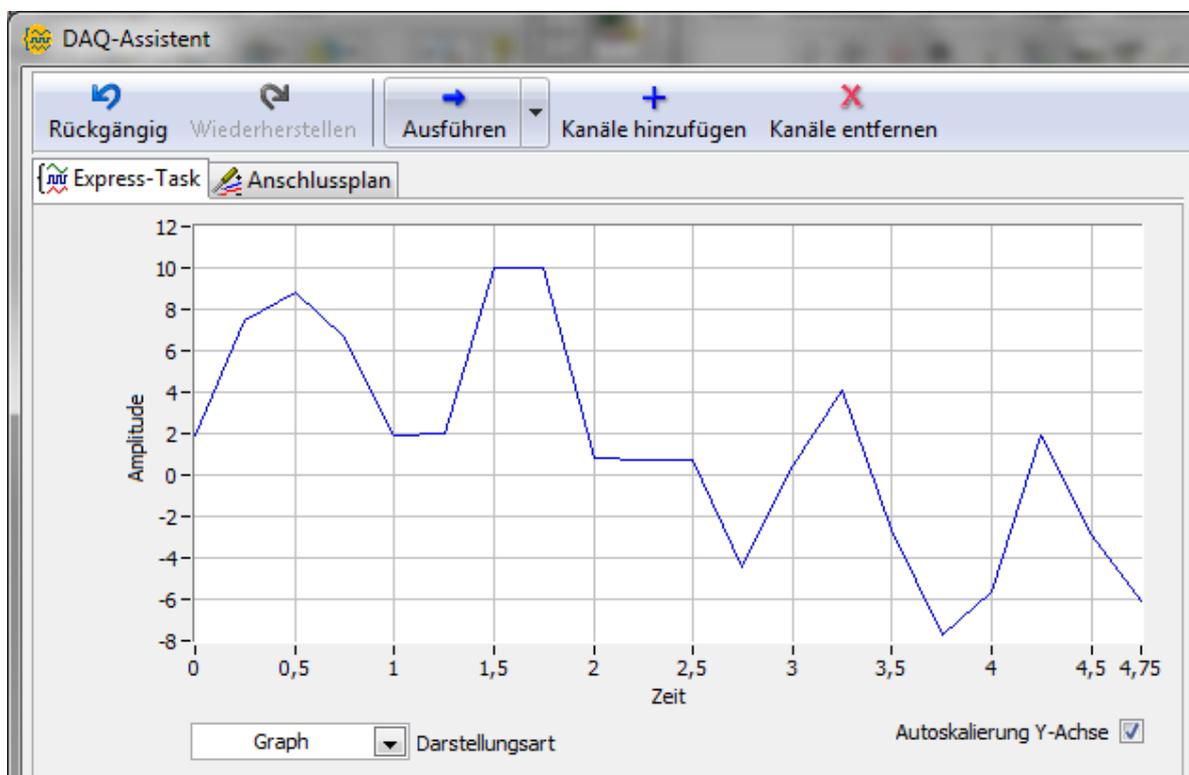


Abb.7.1.10: Eine erste Testmessung wird durchgeführt

Bei jedem Klick auf 'Ausführen' werden 5 Sekunden lang die 20 Messwerte erfasst und dann graphisch dargestellt.

Wenn Sie mit dem DAQ-Assistenten mehrere Kanäle konfiguriert haben, so werden bei dieser graphischen Darstellung auch mehrere Kurven, in unterschiedlichen Farben, angezeigt.

Übung:

Konfigurieren Sie zusätzlich einen zweiten Kanal zur Spannungsmessung über den Eingang 'ai1' des myDAQ-Moduls.

Stellen Sie den **Erfassungsmodus** für beide Kanäle auf '**1 Wert (auf Anforderung)**' ein und die **Darstellungsart auf 'Diagramm'**.

Stecken Sie auf der Experimentieradapterplatine den Jumper J3 und den Jumper J5 auf die Stellung '2-3'. Damit legen Sie das Potentiometer R7 auf den Analogeingang AI_1 und können somit dort eine Spannung zwischen -10 V bis +10 V einstellen.

Starten Sie danach den Task durch Klicken auf '**Ausführen**'.

Sie sehen nun 'wunderbar' den **kontinuierlichen** graphischen Verlauf der an beiden Kanälen anliegenden Spannungen

Die anderen Buttons und Registerkarten in diesem DAQ-Fenster sind für unser Projekt zunächst nicht weiter von Interesse und daher können Sie jetzt auf 'OK' klicken.

Aus den von Ihnen gemachten Eingaben bzw. Einstellungen erzeugt der DAQ-Assistent nun 'blitzschnell' im Hintergrund das benötigte **Express-VI, Abb.7.1.11:**

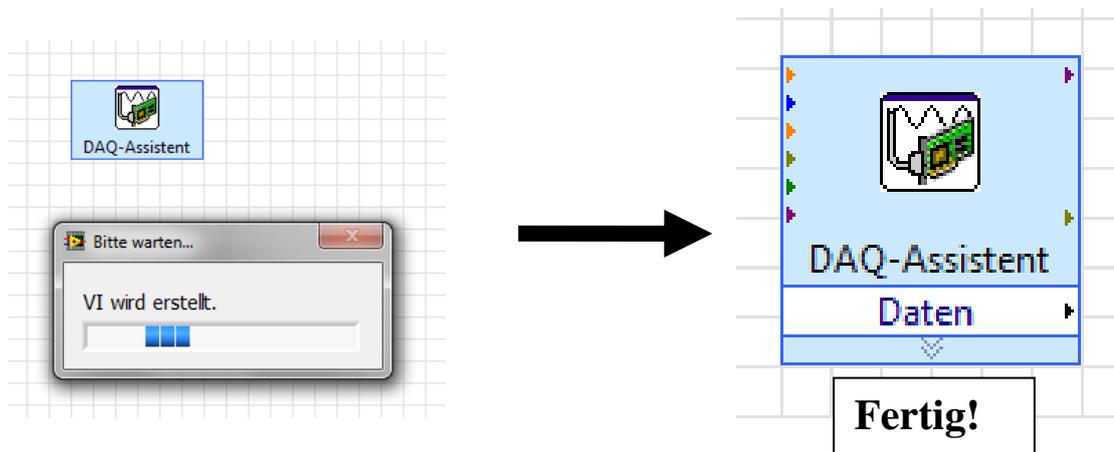


Abb.7.1.11: Das Express-VI entsteht

Am Ausgang '**Daten**' des Express-VIs können nun die beiden gemessenen Spannungen abgegriffen und weiter verarbeitet werden (dazu kommen wir gleich).

Zuvor können Sie dem Express-VI aber noch einen passenden Namen geben, der die Aufgabe dieses VIs besser beschreibt:

Klicken Sie dazu mit der Maus zweimal auf das Textfeld '**DAQ-Assistent**': der Text wird schwarz hinterlegt und Sie können ihn ändern, z.B. in '**Spannungsmessungen**', **Abb.7.1.12:**



Abb.7.1.12: Passende Namen verbessern das Verständnis im Blockdiagramm

Zum Abschluss schließen wir jetzt noch ein 'Signalverlaufdiagramm' (namens 'Spannungsverläufe') und zwei 'numerisches Anzeigeelemente' zur Anzeige der einzelnen Spannungswerte an den Datenausgang des Express-VIs an, **Abb.7.1.13:**

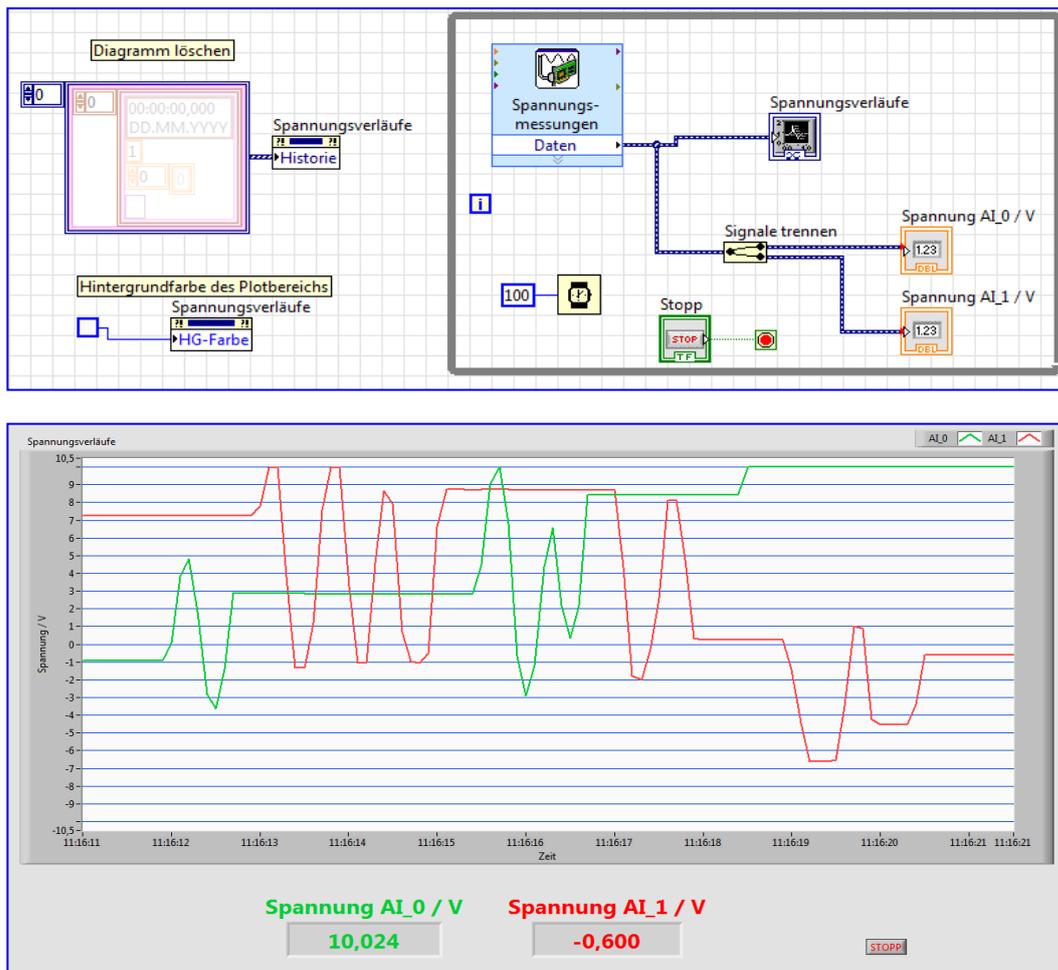


Abb.7.1.13: Die Visualisierung der gemessenen Spannungswerte ('2-Kanal-Spg.vi')

Somit können wir nun die erfassten Spannungswerte zahlenmäßig und in Form eines Kurvenverlaufs sichtbar machen.

Schalten Sie daher um auf das Frontpanel und gestalten Sie dieses nach Ihren Vorstellungen, z.B. wie in Abb.7.1.13.

Speichern Sie jetzt das VI ab, z.B. unter dem Namen '**2-Kanal-Spg.vi**'.

Nun können Sie das VI auf dem Frontpanel starten, indem Sie auf den Button '**Ausführen**' klicken.

Über die **Experimentieradapterplatine 1** und über die zugehörigen Potentiometer R6 und R7 an den Eingängen 'ai_0' und 'ai_1' können Sie die Spannung nun einfach von Hand rauf und runter regeln: es werden nun kontinuierlich die Spannungsverläufe erfasst und diese dann dargestellt, wobei die Zahlenwertanzeige immer den letzten Messwert anzeigt.

Hinweis:

Sie können jetzt natürlich über die BNC-Buchsen X4 und X5 oder über die Schraubklemmanschlüsse X9/5 und X9/3 'reale Messspannungen' anschließen und erhalten so einen kleinen 2-Kanal-Kurvenschreiber.

Nach diesen ausführlichen Beschreibungen zum DAQ-Assistenten und der Durchführung erster einfacher Messungen kommen wir nun zu einigen grundlegenden Anwendungen mit der **Experimentieradapterplatine 1** und mit dem DAQ-Assistenten.

8. Experimentieradapterplatine 1 und der DAQ-Assistent

In diesem Kapitel sollen Sie mit dem DAQ-Assistenten selber eigene Anwendungen unter LabVIEW erstellen und austesten.

8.1 LED- und Summer-Betrieb

LED-Einzelsteuerung

Beginnen wir mit der Einzelsteuerung der LEDs, **Abb.8.1.1:**



Abb.8.1.1: Die Einzelsteuerung von LEDs ('LED-Einzel.vi')

Konfiguration des DAQ-Assistenten

Nach der Positionierung des DAQ-Assistenten auf dem Blockdiagramm konfigurieren Sie:

- Signale erzeugen
- Digitale Ausgabe
- Ausgabe über Leitung
- Auswahl aller 'port0/lines' des myDAQs
- Klicken auf 'Beenden' bzw. 'Fertigstellen'.

Das Ergebnis zeigt die **Abb.8.1.2:**

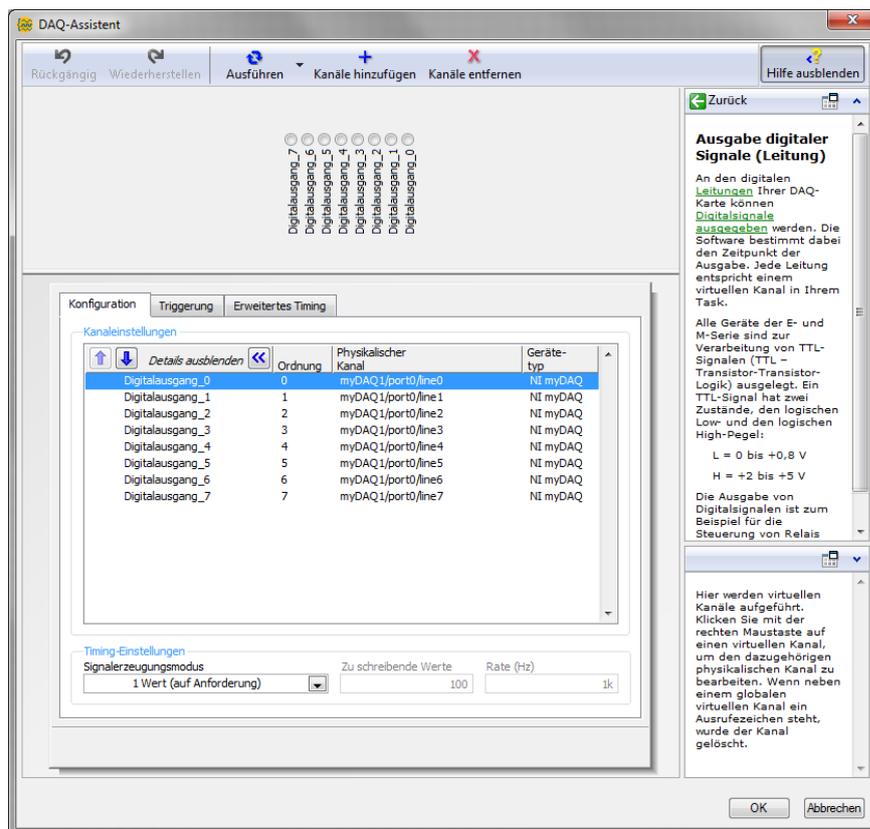


Abb.8.1.2: Die Konfiguration der digitalen Port-Lines als Einzelausgänge

Klicken Sie nun auf 'OK' und das konfigurierte Express-VI wird in das Blockdiagramm eingefügt.

Die Ansteuerung der Einzel-LEDs erfolgt nun so, dass am Eingang dieses Express-VIs ein boolesches 1D-Bedienelement-Array mit acht Elementen angeschlossen wird, wobei jedes Element einem Port-Pin, also einer LED, zugeordnet ist.

Durch Anklicken dieser Bedienfelder können nun die LEDs wahlfrei ein- und wieder ausgeschaltet werden.

Sollen in der späteren Anwendung nur eine, zwei, drei, usw. LEDs angesteuert werden, so wählt man zuvor beim DAQ-Assistenten weniger Port-Lines aus und schließt ein 1D-Array mit geringerer Elementanzahl an.

Ansteuerung des gesamten digitalen Ports: LED-Blinker

Als Nächstes soll ein periodisches LED-Blinklicht realisiert werden, **Abb.8.1.3:**



Abb.8.1.3: Frontpanel und Blockdiagramm des LED-Blinkers ('Blink-1.vi')

Konfiguration des DAQ-Assistenten

Nach der Positionierung des DAQ-Assistenten auf dem Blockdiagramm konfigurieren Sie:

- Signale erzeugen
- Digitale Ausgabe
- Ausgabe über Port
- Auswahl von 'port0' des myDAQs
- Klicken auf 'Beenden' bzw. 'Fertigstellen'.

Das Ergebnis zeigt die **Abb.8.1.4:**

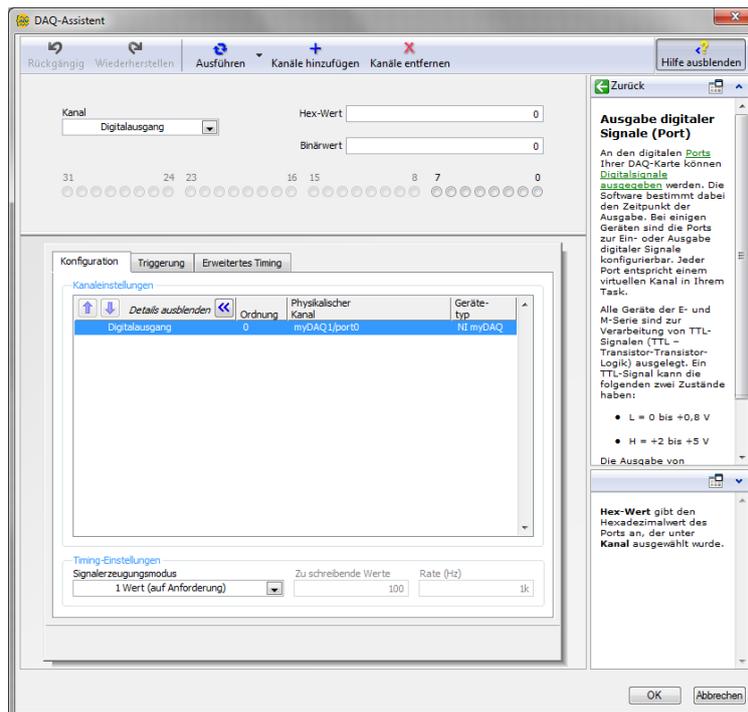


Abb.8.1.4: Die Konfiguration des digitalen Ports komplett als Ausgang

Klicken Sie nun auf 'OK' und das konfigurierte Express-VI wird in das Blockdiagramm eingefügt.

Die restlichen Ergänzungen auf dem Blockdiagramm sind nun schnell erklärt:

Bei ❶ wird das LED-Blinken dadurch erzeugt, dass zeitgesteuert abwechselnd die Hex-Zahlen 55h und AAh ausgegeben werden.

Diese Hex-Zahlen entsprechen im Binär-Code den folgenden Bit-Mustern:

55h	≡	0101 0101
AAh	≡	1010 1010

Wenn man also diese beiden Bitkombinationen abwechselnd an die acht LEDs ausgibt, so werden die LEDs abwechselnd ein- und wieder ausgeschaltet.

Dass dies extrem schnell erfolgt (im μs -Bereich) muss man zwischen den Wechseln eine Wartezeit einfügen ('Geschwindigkeit in ms'), damit das 'träge' menschliche Auge auch das Blinken erkennen kann.

Bei ❷ wird das gewünschte 8-stellige Bitmuster zur Ansteuerung der LEDs in das Express-VI eingespeist und hierbei ergibt sich ein kleines Problem: die Eingangsdaten müssen dort als 1D-Array mit einem Element angelegt werden.

Es kann hier also nicht direkt eine HEX-Zahl eingespeist werden, sondern diese Hex-Zahl muss vielmehr zuvor in ein 1D-Array umgeformt werden.

Zur Ansteuerung der LED-Anzeigeelemente auf dem Frontpanel muss die darzustellende Zahl bei ❸ weiterhin in ein boole'sches Array mit acht Elementen gewandelt werden, wobei jedes einzelne Array-Element die Ein/Aus-Information für die jeweilige LED enthält.

Der Rest dieses VIs bedarf sicherlich keiner weiteren Erläuterungen.

Starten und testen Sie nun dieses VI.

Hinweis:

Durch Stecken des Jumpers J6 auf der miniAdap-1-Karte kann der Summer mit einbezogen werden.

8.2 Erfassung von Tastendrücken

Nachfolgend werden wir uns mit der Erfassung von binären Signalen durch den DAQ-Assistenten beschäftigen, **Abb.8.2.1**:

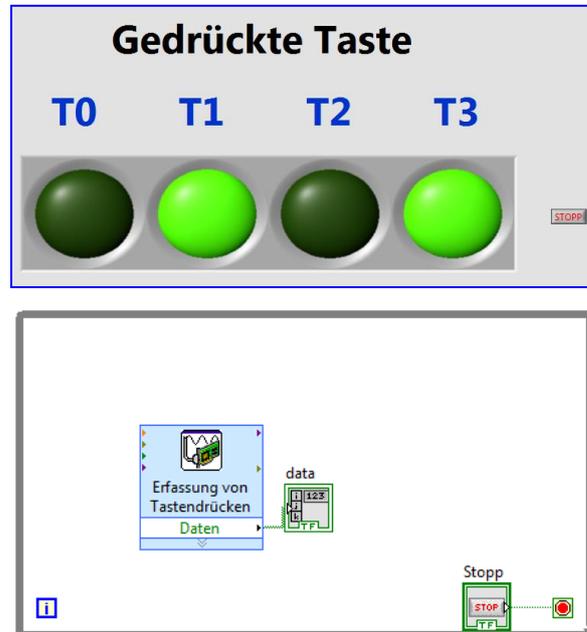


Abb.8.2.1: Die Erfassung von Tastendrücken ('Taste-1.vi')

Mit diesem VI werden die Betätigungen der vier Tasten auf der Experimentieradapterplatine 1 erfasst und dargestellt.

Konfiguration des DAQ-Assistenten

Nach der Positionierung des DAQ-Assistenten auf dem Blockdiagramm konfigurieren Sie:

- Signale erfassen
- Digitale Erfassung
- Erfassung über Leitung
- Auswahl der 'port0/lines': 0, 1, 2, 3
- Klicken auf 'Beenden' bzw. 'Fertigstellen'.

Das Ergebnis zeigt die **Abb.8.2.2**:

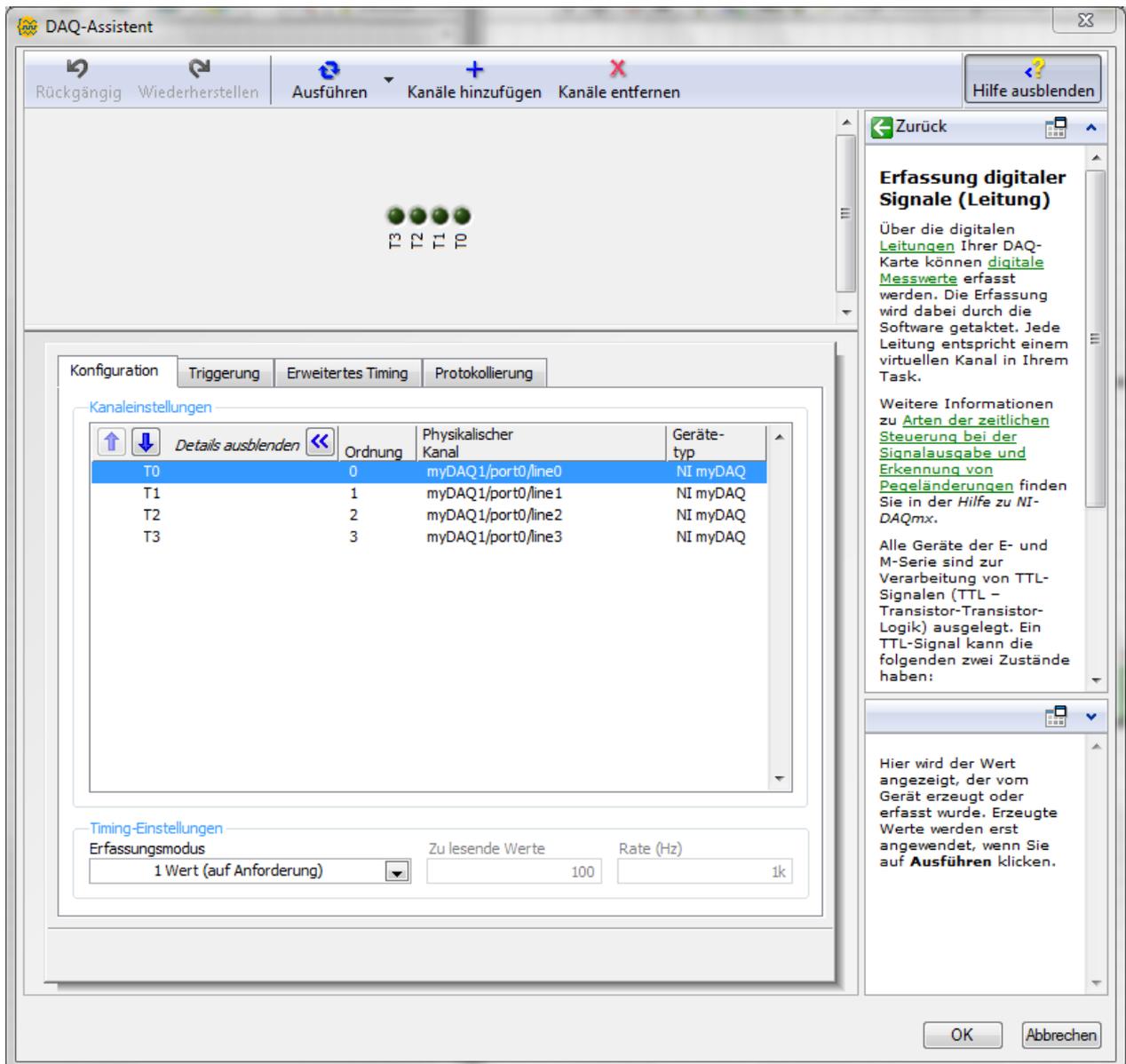


Abb.8.2.2: Die Konfiguration der digitalen Port-Lines als Einzeleingänge

Klicken Sie nun auf 'OK' und das konfigurierte Express-VI wird in das Blockdiagramm eingefügt.

Am Ausgang des so konfigurierten Express-VIs steht nun ein 1D-Array aus vier boole'schen Elementen zur Verfügung.

Schließt man dort einfach ein Anzeigeelement an, so erzeugt LabVIEW dort (auf dem Frontpanel) ein boole'sches Arrays mit vier Einzel-LEDs, die den jeweiligen Tastenzustand anzeigen.

8.3 Frequenzmesser

Ein Messgerät, das im Umfang der ELVIS-SFP-Instrumente sicherlich noch fehlt, ist ein **Frequenzmesser**.

Solch ein Messgerät ist aber unter LabVIEW mit dem DAQ-Assistenten sehr einfach selbst zu programmieren.

Wichtig: Die Pegel bei der Frequenzmessung

Bei der Frequenzmessung mit dem myDAQ wird das zu messende Signal am digitalen I/O-Port-Pin DIO 1 eingespeist und das bedeutet, dass man sehr genau auf die Pegel dieses Signals achten muss, um den Eingang nicht zu zerstören !

Die digitalen Port-Pins des myDAQs sind im Eingangsbetrieb für LVTTTL-Pegel ausgelegt, also für 0 V und +3,3 V, wobei auch noch TTL-Pegel, also 0 V und +5 V, toleriert werden, d.h. damit arbeitet das myDAQ auch noch problemlos.

Größere oder kleinere bzw. negative Spannungspegel zerstören das myDAQ!

Wenn Sie also z.B. den eingebauten myDAQ-Funktionsgenerator (s. Kapitel 6.3) als Signalquelle für die auszumessende Frequenz benutzen wollen, so müssen Sie folgende Werte einstellen, um keine Probleme zu bekommen:

- Signalform: Rechteck
- Amplitude: 4 V_{pp}
- DC Offset: +2 V

Damit erhalten Sie ein 'ungefährliches' Ausgangssignal mit den Werten 0 V / +4 V.

Kontrollieren Sie auf jeden Fall das Ausgangssignal mit dem (eingebauten) Oszilloskop (s. Kapitel 6.4) bevor Sie nachfolgend den digitalen Eingang verdrahten.

Öffnen Sie dazu ein neues VI namens '**Freq-Mess-1.vi**'.

Platzieren Sie dann den DAQ-Assistenten auf dem Blockdiagramm und wählen Sie, **Abb.8.3.1**:

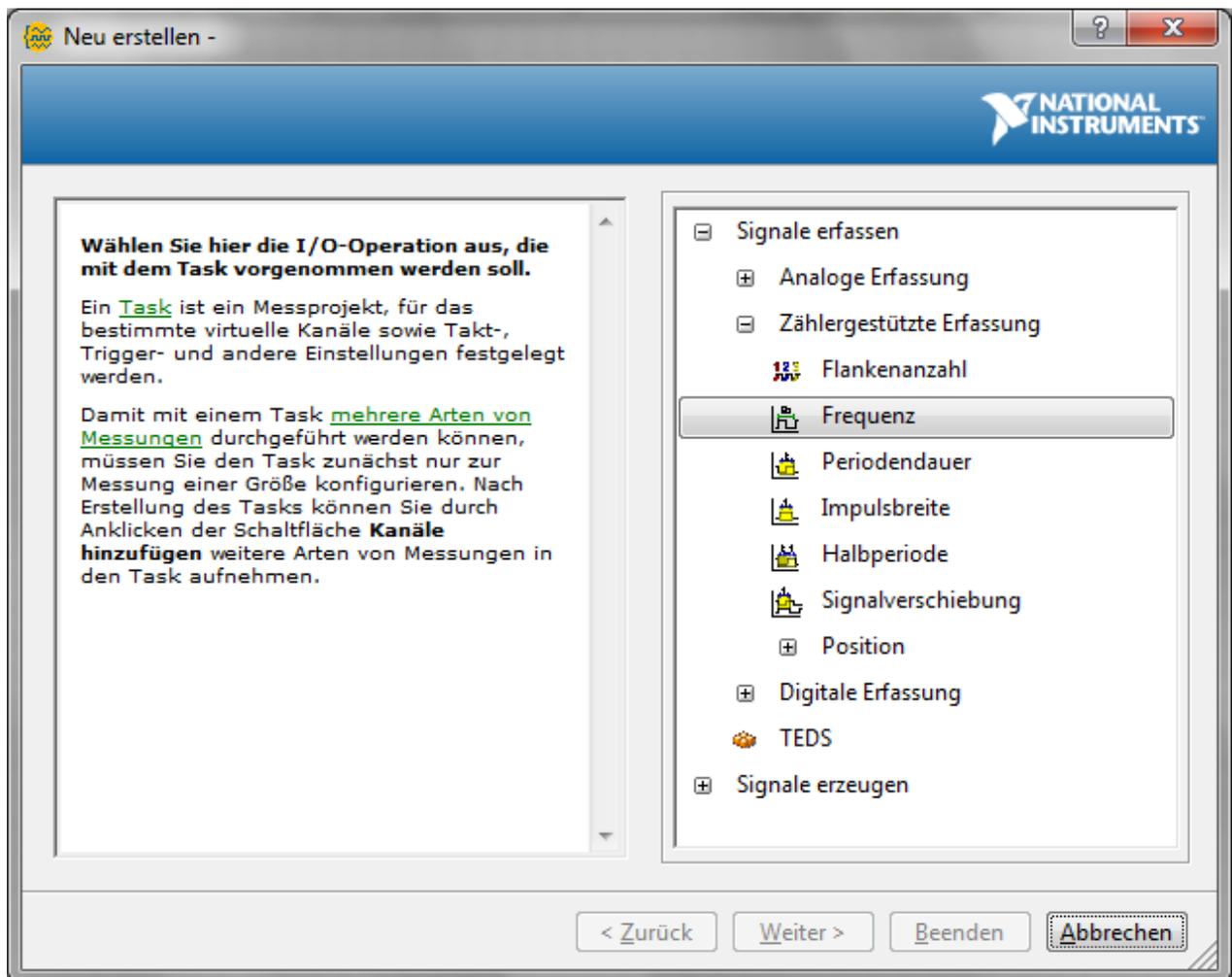


Abb.8.3.1: Die Konfiguration des DAQ-Assistenten zur Frequenzmessung

Konfiguration des DAQ-Assistenten

- Signale erfassen
- Zählergestützte Erfassung
- Frequenz

In danach folgendem Fenster wählen Sie 'myDAQ1\ctr0' und bestätigen Ihre Festlegungen durch Klicken auf 'Beenden' bzw. 'Fertigstellen'.

Nun öffnet sich das eigentliche **Konfigurationsfenster** für die Messung von Frequenzen mit dem myDAQ, **Abb.8.3.2:**

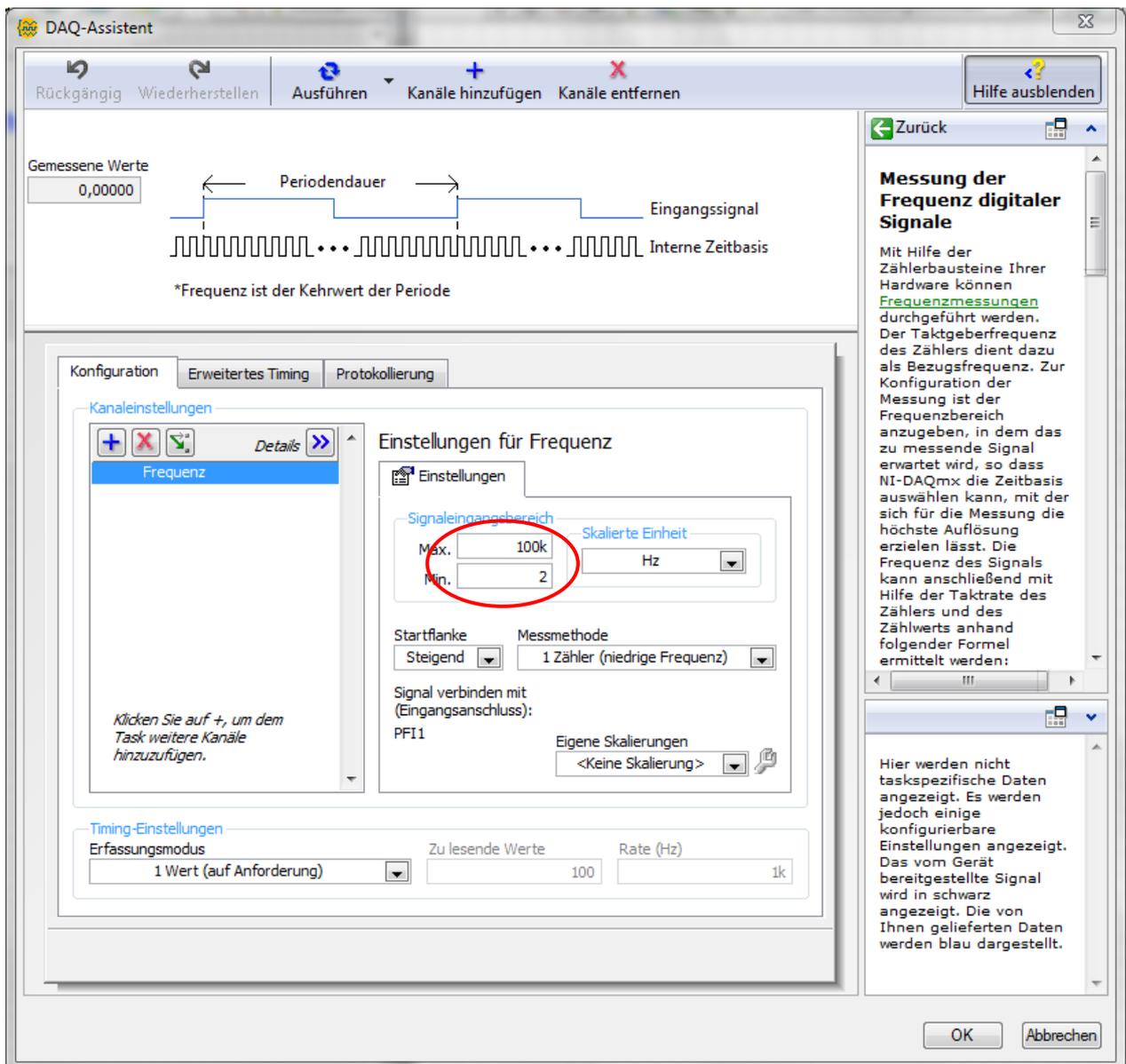


Abb.8.3.2: Das Konfigurationsfenster zur Messung von Frequenzen

Hier müssen Sie lediglich die maximale Messfrequenz festlegen, z.B. 100 kHz. Danach klicken Sie auf 'OK' und fertig ist der Frequenzzähler!

Auf dem Blockdiagramm schließen Sie am Datenausgang des Express-VIs einfach ein numerisches Anzeigeelement an und gestalten das Frontpanel nach Ihren Vorstellungen, **Abb.8.3.3:**

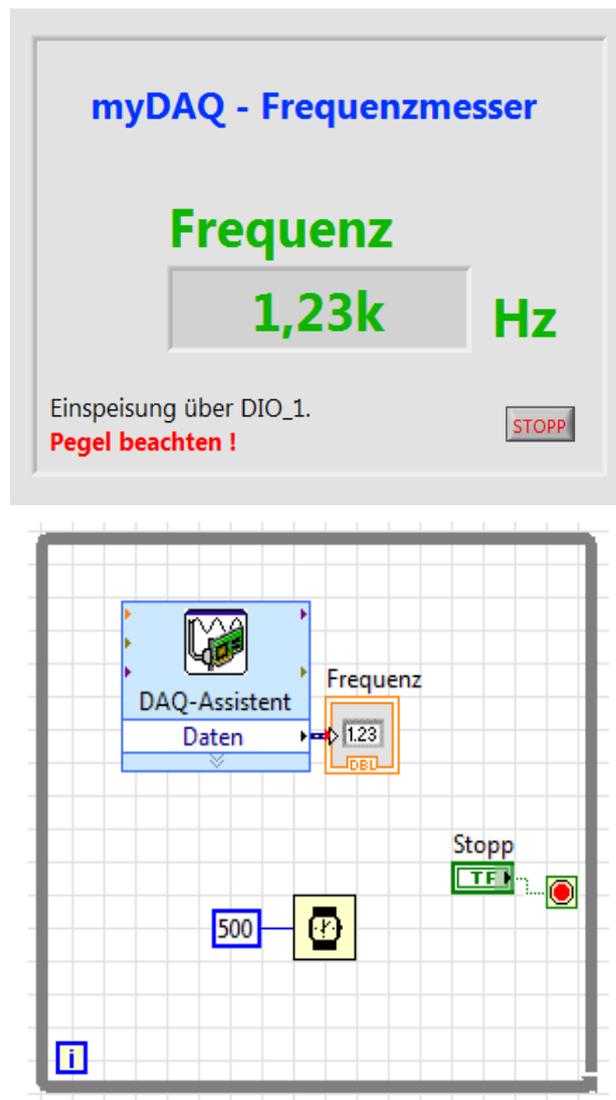


Abb.8.8.3: Frontpanel und Blockdiagramm des Frequenzmessers ('Freq-Mess-1.vi')

Dieses Frequenzzähler-VI kann man nun sehr gut mit dem **myDAQ-Funktionsgenerator** und dem **myDAQ-Oszilloskop** austesten.

Erstellen Sie dazu an den Schraubklemmen unserer Experimentieradapterplatine 1, mit einer kleinen isolierten Drahtbrücke, folgende Verbindung und stecken Sie folgende Jumper:

- Ausgang AO_0 ---> Eingang AI_0+
d.h. X6/2 ----> X9/5
- Jumper J4 auf Stellung 1-2: damit: X9/5 <---> AI_0+
- Jumper J2 stecken: damit: AGND <---> AI_0-
- Jumper J1 stecken: damit: AGND <---> DGND

Rufen Sie nun den myDAQ-Funktionsgenerator auf und stellen Sie ein, **Abb.8.8.4:**

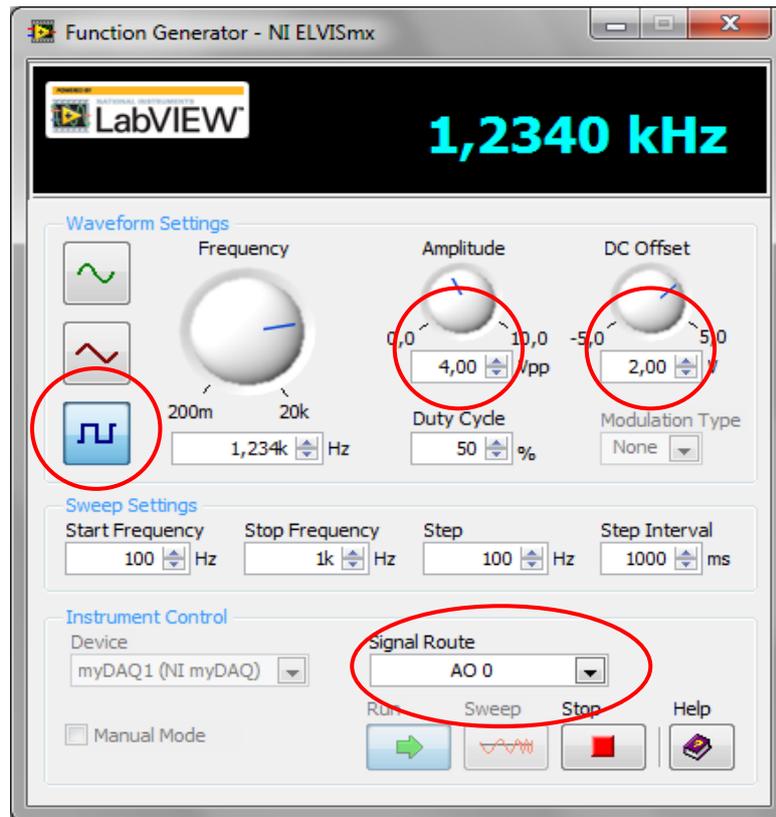


Abb.8.8.4: Die Einstellungen des myDAQ-Funktionsgenerators

- Signalform: Rechteck
- Amplitude: 4,00 V_{pp}
- DC Offset: +2 V
- Signalausgang: AO_0

Damit erhalten Sie am Ausgang AO_0 ein Rechtecksignal mit den Pegeln 0 V / +4 V, das somit 'unschädlich' ist für den Digitaleingang DIO_1.

Kontrollieren Sie auf jeden Fall Ihre Einstellungen mit dem myDAQ-Oszilloskop (Messkanal AI_0), **Abb.8.8.5:**

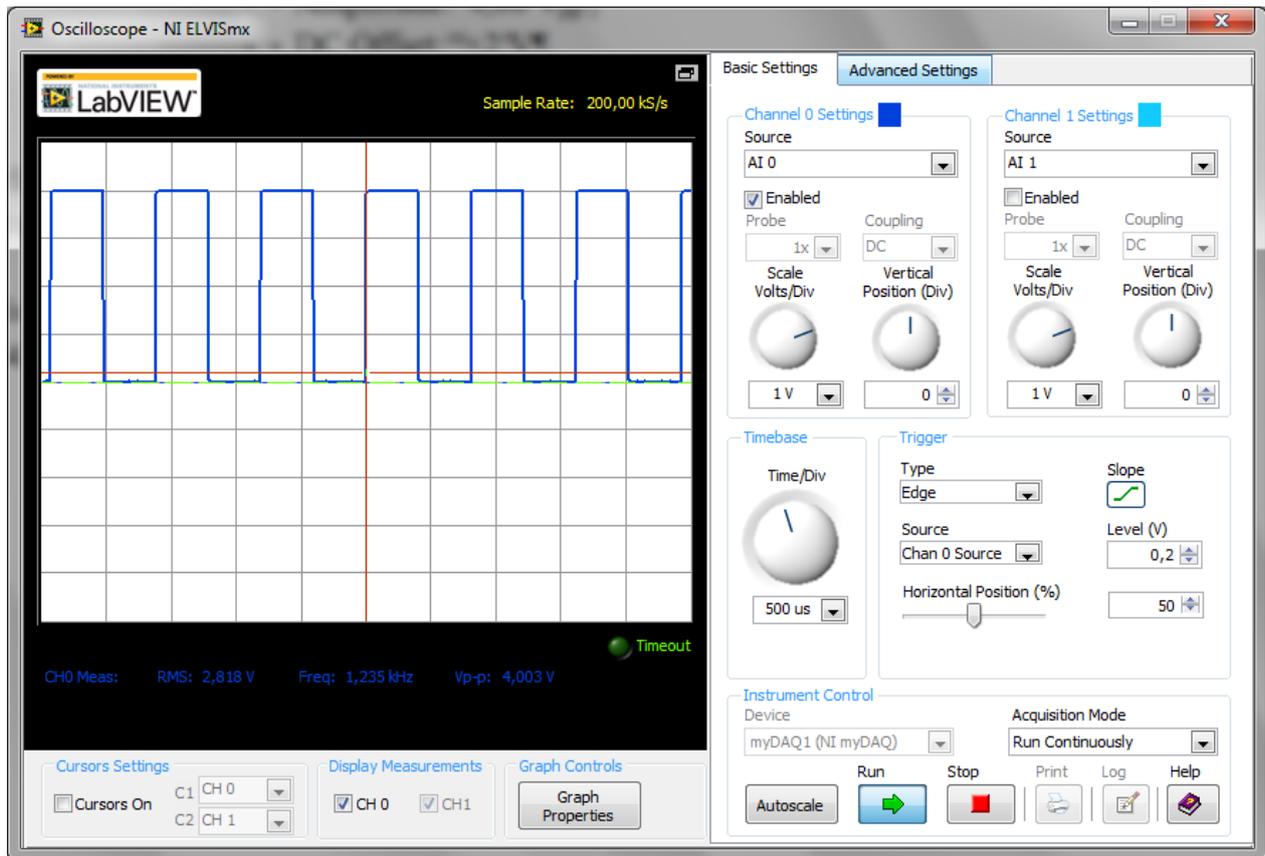


Abb.8.8.5: Die Kontrolle der Funktionsgenerator-Einstellungen mit dem myDAQ-Oszilloskop

Erst wenn die Signalpegel in Ordnung sind, verbinden Sie den Analogausgang AO_0 mit dem Digital-Port-Pin DIO_1 (X6/2 <---> X7/2) und starten das VI.

Wenn Sie nun die Frequenzeinstellung am Funktionsgenerator variieren, können Sie sowohl am Oszilloskop als auch am Frequenzmesser die ausgesendete Frequenz messen, d.h. ablesen.

Wichtig: Der Betrieb der LED D1

Die LED D1 ist direkt mit dem Digitalport-Pin DIO_1 verbunden und das bedeutet, dass diese LED im Takt der Eingangsfrequenz blinkt (das können Sie leicht feststellen, wenn Sie z.B. eine Frequenz von 1 Hz einstellen).

Allerdings belastet diese LED natürlich auch das Eingangssignal, da ja der LED-Treiberstrom (ca. 2-3 mA) daraus 'gezogen' wird.

Man sollte also im Zweifelsfall, zur Sicherheit, die LED durch Ziehen des Jumpers J7 abklemmen, damit der Frequenzgang (einer beliebigen Quelle) nicht überlastet wird und das Signal u.U. zusammenbricht.

Abschließend sehen Sie in **Abb.8.8.6** alle drei Messgeräte auf einen Blick:

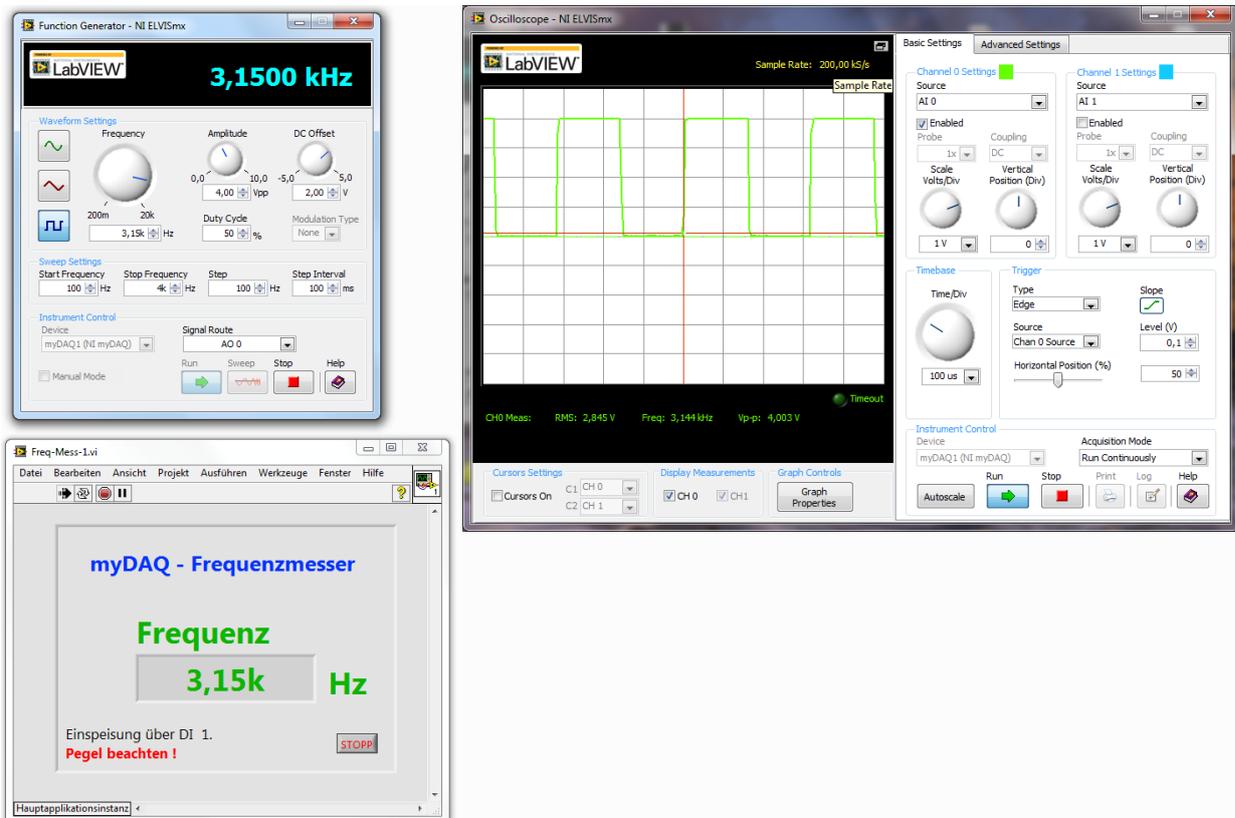


Abb.8.8.6: Drei myDAQ-Geräte im gemeinsamen Einsatz

8.4 Temperaturmessung

Nun soll abschließend einmal mit dem myDAQ und der Experimentieradapterplatine 1 ein **elektronisches Thermometer** realisiert werden.

Die Grundlage dazu bildet ein temperaturabhängiger Widerstand, ein **KTY81-110** der Firma NXP. Dieses Bauteil ist ein **Silizium-Halbleiter-Temperatursensor (PTC-Verhalten)**, der seinen Gesamtwiderstandswert in Abhängigkeit von der Umgebungstemperatur ändert.

Mit anderen Worten: die Temperaturmessung wird hier zunächst auf die Messung eines ohmschen Widerstandes zurückgeführt und danach erfolgt die Umrechnung in die absolute Temperatur.

Bevor wir starten zuerst aber die unerlässlichen Grundlagen:

Kennlinienverlauf

Aus dem Datenblatt des KTY81-110er lässt sich der Widerstandswert (tabellarisch) in Abhängigkeit von der jeweiligen äußeren Umgebungstemperatur ermitteln. Trägt man diese Temperaturwerte in Abhängigkeit vom gemessenen Widerstand R_x graphisch auf, so erkennt man, dass dieser Verlauf (leider) mehr oder weniger stark nichtlinear ist. Diese leichte 'Krümmung' im KTY81-110er-Verlauf hat nun zur Folge, dass man aus dem gemessenen Widerstand nicht so einfach, z.B. über eine lineare Gleichung, die zu Grunde liegende Temperatur ermitteln kann.

Will man genaue Messungen/Berechnungen durchführen, muss man mit linearen Interpolationen arbeiten.

Das hört sich zunächst sehr stark mathematisch an, aber auch hier bietet LabVIEW natürlich bereits fertige Funktionen, die dieses einfach für den Anwender erledigen.

Somit muss unser zu entwickelndes Thermometer-VI **grundsätzlich zwei Aufgaben erfüllen:**

- Bestimmung des Widerstandes des KTY81-110ers und
- Berechnung der Temperatur durch Interpolation des gemessenen Widerstandswertes.

Eigenerwärmung

Die Messung eines Widerstandes erfolgt ja so, dass durch den Widerstand ein Strom fließt, dieser Strom und der dabei entstehende Spannungsabfall am Widerstand gemessen und daraus der Widerstand bestimmt wird.

Das Problem, das hierbei entsteht ist allerdings, dass jeder Stromfluss durch einen Widerstand diesen Widerstand zusätzlich erwärmt. Diese so genannte '**Eigenerwärmung**' durch den Messstrom möchte man allerdings bei der Messung der externen (Raum)Temperatur nicht mit messen.

Oder anders herum formuliert: der Messstrom durch den KTY81 darf eine bestimmte Größe nicht überschreiten, damit es nicht zu einer unzulässigen Temperaturerhöhung im Messwiderstand selber kommt.

Ein 'scharfer' Blick ins **Datenblatt des KTY81ers** zeigt, welche maximalen Ströme bei der Messung welcher externen Temperaturen noch zulässig sind, **Abb.8.4.1:**

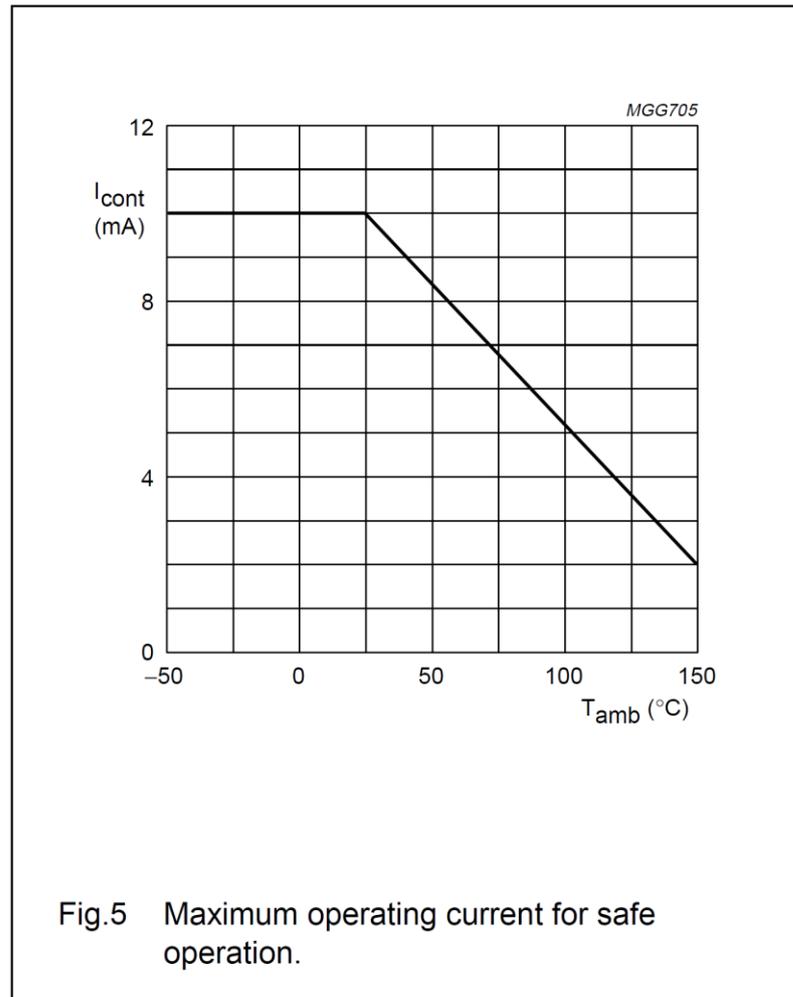


Abb.8.4.1: Die maximalen Messströme (I_{cont}) für den KTY81 in Abhängigkeit von der zu messenden Umgebungstemperatur (T_{amb})

(Aus: Philips Semiconductors – Datenblatt KTY81-1 series)

So erkennt man z.B., dass bei Messung im Bereich von 0°C bis +50°C der maximale Messstrom 8 mA nicht übersteigen sollte.

Weiter gehende Betrachtungen zeigen auch noch, dass der Messfehler in gewissen Bereichen ebenfalls von der Höhe des Messstromes abhängig ist, so dass man folgende Empfehlung für das Arbeiten mit dem KTY81er geben kann:

Merke: Der maximale Messstrom für den KTY81

Um einen Betrieb mit möglichst geringer Eigenerwärmung und möglichst geringem Fehler zu gewährleisten, sollte der **maximale Messstrom** für den KTY81 im Bereich von **1 mA bis 3 mA** liegen. Diese Festlegung ist allerdings als 'fließend' anzusehen.

Experimentieradapterplatine 1

Daher findet man bei **praktischen Realisierungen** im Temperaturbereich von 0°C bis +50°C (oder sogar für tiefere bzw. höhere Temperaturen) sehr oft die Kombination:

KTY81er in Reihe mit einem Widerstand von 1 kΩ bzw. 2,7 kΩ bei einer anliegenden Gesamtspannung von +5 V für diesen Spannungsteiler.

Geht man beim **KTY81-110** von einem mittleren Widerstandswert von 1.000 Ω bei 25°C aus, so ergibt sich daraus:

- Reihenwiderstand von 1 kΩ $I_{\text{mess}} = 2,5 \text{ mA}$
- Reihenwiderstand von 2,7 kΩ $I_{\text{mess}} = 1,35 \text{ mA}$

Fremderwärmung

Unter Fremderwärmung versteht man nun die Erwärmung des Messwiderstandes durch die äußere Temperatur, also die **Erwärmung durch die Umgebungstemperatur** ≡ Situation bei der 'klassischen' Temperaturmessung.

Und das soll ja in dieser Applikation durchgeführt werden.

Ein sehr wichtiger Punkt darf jetzt aber nicht außer Acht gelassen werden:

Die maximale Belastung des Analogausgangs

Beim Arbeiten mit dem myDAQ-Modul müssen Sie unbedingt beachten, dass jeder der beiden Analogausgänge nur mit **maximal 2 mA** belastet werden darf.

Größere Ströme führen zwar nicht sofort zur Zerstörung des Analogausganges, aber die eingestellte Ausgangs(wunsch)spannung bricht (erheblich) zusammen!

Somit sollten Sie immer für den gesamten Messbereich den maximalen Messstrom für alle Widerstandswerte, die der KTY8er annehmen kann, ausrechnen.

Die Beschaltung der Experimentieradapterplatine 1

zeigt die **Abb.8.4.2**:

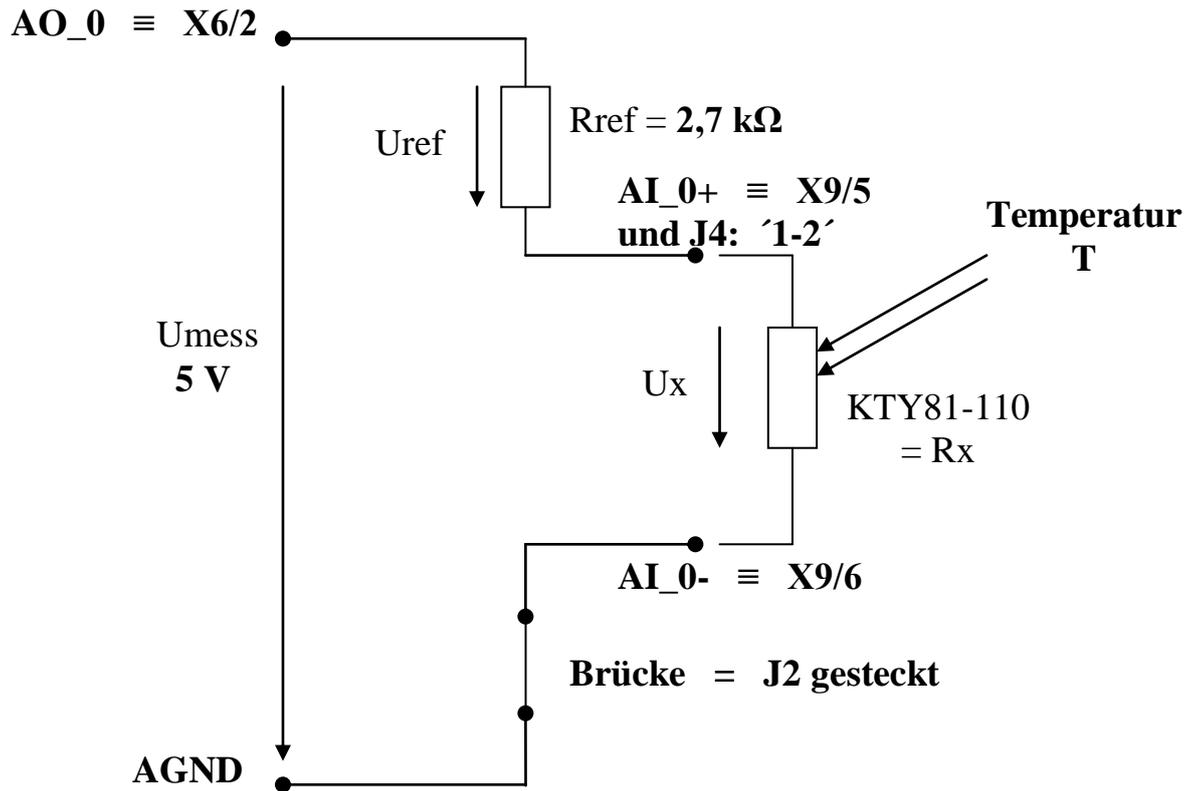


Abb.8.4.2: Die Beschaltung der Experimentieradapterplatine 1

R_{ref} hat hier einen Wert von $2,7 \text{ k}\Omega$ damit wir bei einer festen (unverstellbaren) Messspannung U_{mess} von $+5 \text{ V}$ den Analogausgang des myDAQs nicht überlasten.

Abb.8.4.3 zeigt die Verdrahtung der Experimentieradapterplatine 1:

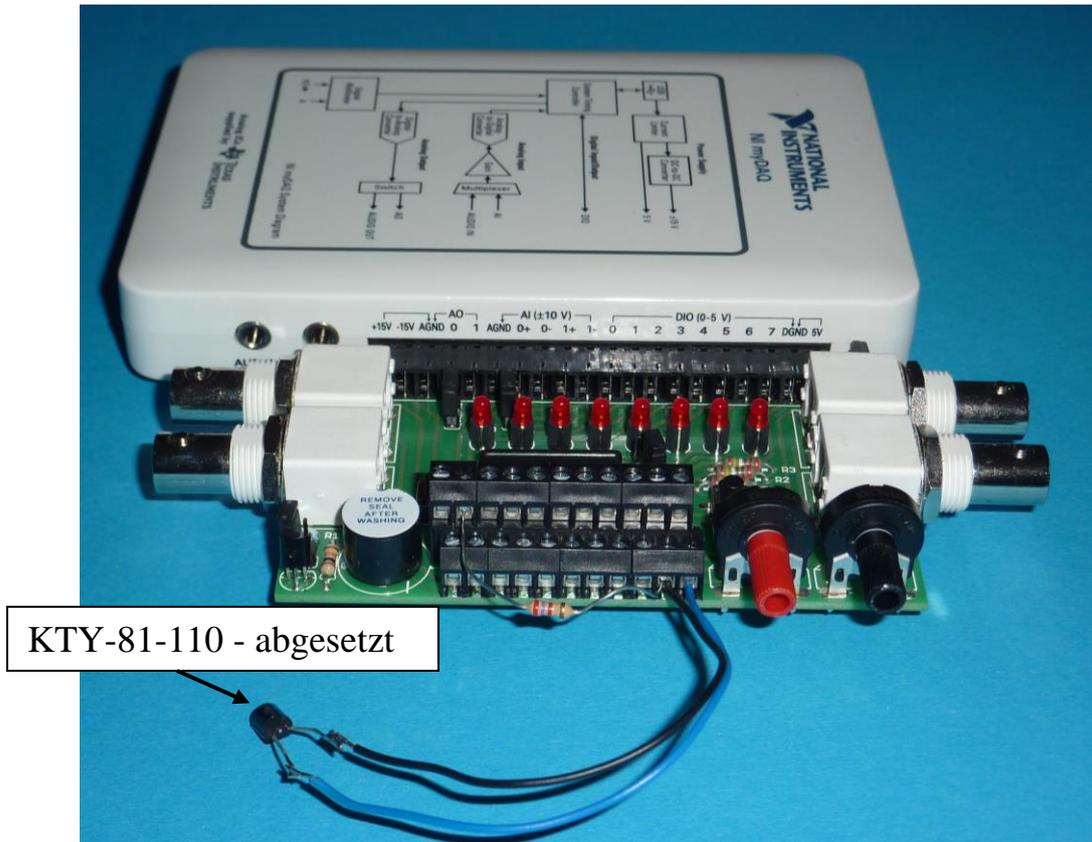


Abb.8.4.3: Die Verdrahtung der Experimentieradapterplatine 1 mit abgesetztem KTY81er

Rechnerisch erhält man nun als Bestimmungsgleichung für den aktuellen KTY81-110er-Widerstandswert ($\equiv R_x$):

$$R_x = U_x * \frac{2,7 \text{ k}\Omega}{5 \text{ V} - U_x}$$

Den eigentlichen Messbereich für U_x kann man hier nun etwas genauer einstellen, denn es gilt ja zunächst gem. der Spannungsteiler-Regel:

$$U_x = U_{\text{mess}} * \frac{R_x}{R_x + R_{\text{ref}}}$$

Hier also:

$$U_x = 5 V * \frac{R_x}{R_x + 2,7 k\Omega}$$

Der minimal mögliche Wert 'Rx,min' des KTY81-110ers bei einer Temperatur von -55°C ist nun 475 Ω.

Damit ergibt sich für

$$U_{x,min} = 0,748 V$$

Der maximal mögliche Wert 'Rx,max' des KTY81-110ers bei einer Temperatur von +150°C ist nun 2277 Ω.

Damit ergibt sich für

$$U_{x,max} = 2,2875 V$$

Im Express-VI zur Messung von Ux kann daher ein Messbereich von 0 V bis 2,5 V eingestellt werden, um die Spannung Ux mit größtmöglicher Auflösung zu messen.

Das Blockdiagramm des VIs

Nach diesem kleinen theoretischen Ausflug kann das Blockdiagramm des Thermometers entwickelt werden, **Abb.8.4.4:**

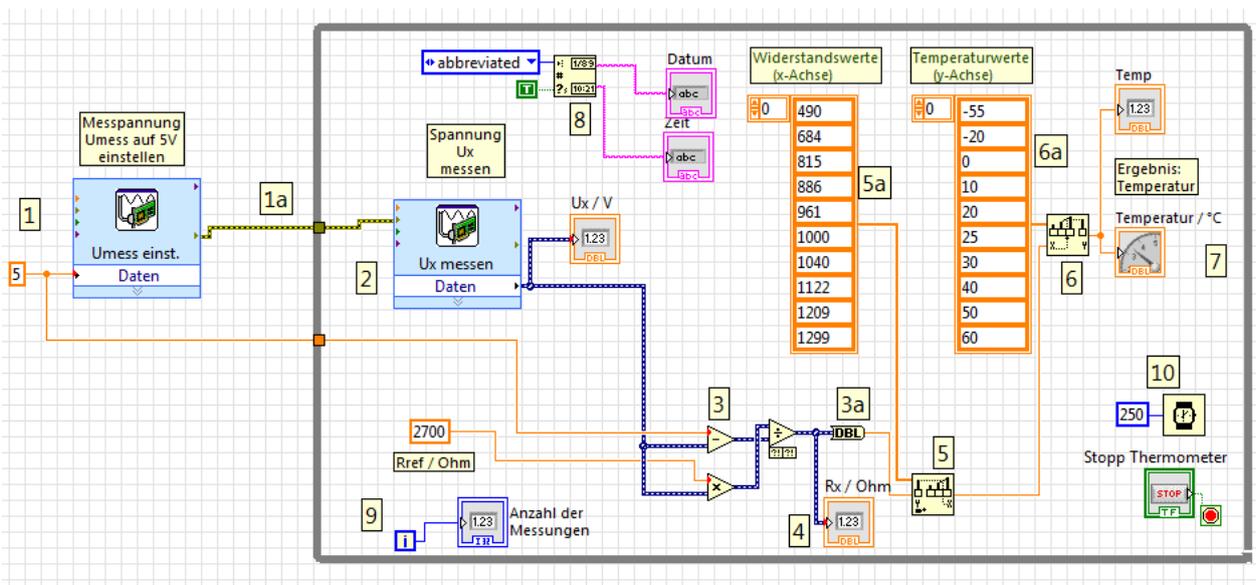


Abb.8.4.4: Das Blockdiagramm des Thermometers ('Thermometer - 1.vi')

Experimentieradapterplatine 1

Bei ❶ wird die benötigte Messspannung von +5 V eingestellt.
Dazu ist dieses Express-VI (DAQ-Assistent) wie folgt zu konfigurieren:

- Spannungsausgang: ao0
- Signalausgangsbereich: +0 V bis +5 V
- Schaltungsart: RSE
- Signalerzeugungsmodus: 1 Wert (auf Anfrage), d.h. Umess wird einmal zu Beginn der Messungen eingestellt und das ist ja ausreichend.

Die eigentlich benötigte Messspannung wird danach außerhalb des Express-VIs über eine Konstante mit dem Wert '5' eingestellt und zusätzlich in die While-Schleife zu den Berechnungsstufen reingeführt.

Über die Verbindung ❶a wird der korrekte Datenfluss sichergestellt, d.h. zuerst wird die Messspannung eingestellt, dann können die Messungen beginnen.

Innerhalb der While-Schleife wird bei ❷ die Spannung U_x am KTY81-110er gemessen.
Dieses Express-VI (DAQ-Assistent) ist somit wie folgt parametrisiert:

- Spannungsmessung über: ai0
- Signaleingangsbereich: +0 V bis +2,5 V
- Schaltungsart: Differentiell
- Erfassungsmodus: 1 Wert (auf Anforderung)

Die so erfasste Spannung U_x wird bei ❸ in den Widerstandswert des KTY81-110ers umgerechnet und bei ❹ als Zwischenwert angezeigt.

Bei ❸a erfolgt nun die Separation des eigentlichen Widerstandswertes aus dem dynamischen Datensatz:

Das Express-VI ❷ gibt als Ausgangsdaten nicht einfach nur die reine Messspannung U_x sondern einen kompletten Datensatz aus, in dem noch weitere Werte, wie z.B. Zeit- und Datumsinformationen über den Zeitpunkt der Messung enthalten sind.
(Dynamische Daten werden im LabVIEW-Blockdiagramm durch eine blau/weiß-geringelte Leitung gekennzeichnet)

Dementsprechend werden bei allen folgenden Berechnungen auch dynamische Daten weiter verarbeitet. Insbesondere liegt am Ausgang der Divisionsfunktion solch ein zusammengesetzter Datensatz vor, indem der gewünschte Wert von R_x enthalten ist, aber auch noch die anderen Daten.

Diese Zusatzdaten sind für uns hier nicht relevant, wir benötigen für die weiteren Berechnungen lediglich den reinen Widerstandswert R_x .

Diesen erhält man, indem man einfach eine entsprechende Konvertierungsfunktion verwendet, die an ihrem Ausgang den Wert Rx separat zur Verfügung stellt.

Man findet diese Funktion unter:

BD\Programmierung\Numerisch\Konvertierung\DBL – Nach Fließkommawert

In den 5er- und 6er-Funktionsblöcken erfolgt nun die lineare Interpolation:

Die Funktion 5 findet man unter:

BD\Programmierung\Array\Schwellwert (1D-Array)

Mit dieser Funktion wird zunächst festgestellt, in welchem Intervall der Widerstandswert Rx liegt.

Dazu muss man bei 5a (und später bei 6a) entsprechende Stützwerte aus dem Datenblatt des KTY81-110er angeben.

Mit anderen Worten:

In den beiden 1-dimensionalen Arrays 5a und 6a werden Widerstands-/Temperatur-Wertepaare (die (typischen) TYP-Werte) aus dem Datenblatt eingetragen, z.B.:

490 Ω bei -55°C

684 Ω bei -20°C

815 Ω bei 0°C

usw.

Je mehr Wertepaare man hier einträgt, desto genauer wird die Interpolation.

Wir haben uns hier einmal auf 10 Wertepaare beschränkt, Erweiterungen können Sie selber sehr einfach durchführen.

Nachdem durch 5 nun der interpolierte Rx-Wert bestimmt worden ist, wird dieser bei 6 eingespeist.

Man findet diese Funktion unter:

BD\Programmierung\Array\1D-Array interpolieren

Hiermit wird nun die Interpolation des gesuchten y-Wertes, also der **gesuchten Temperatur**, durchgeführt.

Der so gefundene Temperaturwert steht am Ausgang von 6 zur Verfügung und wird bei 7 auf zwei verschiedene Arten angezeigt.

Durch den Block bei 8 erhält man noch zusätzlich eine Uhrzeit und Datumsanzeige. Man findet diese Funktion unter:

BD\Programmierung\Timing\Datum-/Zeit-String lesen

Bei ① wird ganz einfach die Anzahl der bisher durchgeführten Messungen gezählt und ② sorgt für eine Zeitverzögerung von 250 ms zwischen den einzelnen Messungen.

Das Frontpanel des VIs

Nachdem man nun so das funktionsfähige Blockdiagramm erstellt hat, schaltet man um auf das Frontpanel und gestaltet dieses nach seinen Wünschen und Vorstellungen.

Eine Möglichkeit der Realisierung könnte so aussehen, **Abb.8.4.5**:

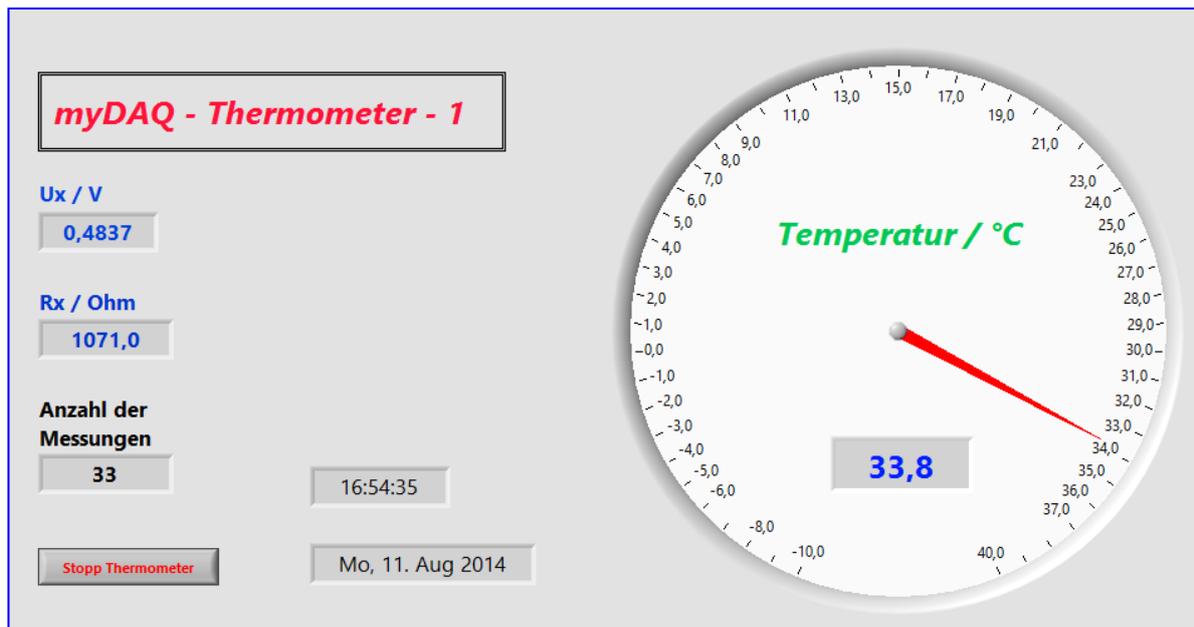


Abb.8.4.5: Der Frontpanel des Thermometers ('Thermometer – 1.vi')

Jetzt können Sie das VI starten und Ihre Messungen durchführen.

Natürlich sollten Sie die Ergebnisse mit einem Referenzmessgerät vergleichen und bewerten.

Anregungen für eigene Weiterentwicklungen:

Dieses letzte VI bietet Ihnen nun jede Menge an Möglichkeiten für eigene Weiterentwicklungen, bis hin zu einem sehr professionellen Temperaturmessgerät mit myDAQ und der Experimentieradapterplatine 1, wobei man natürlich jederzeit den Temperatursensor gegen einen anderen Sensor austauschen und so eine Vielzahl anderer physikalischer Größen messen und darstellen kann.

Hier einige sinnvolle Anregungen:

- Integration eines Signalverlaufgraphs zur graphischen Darstellung des Temperaturverlaufs.
- Überwachung von Min/Max-Grenzwerten und Ansteuerung von LEDs und Summer beim Unter- bzw. Überschreiten dieser Werte.

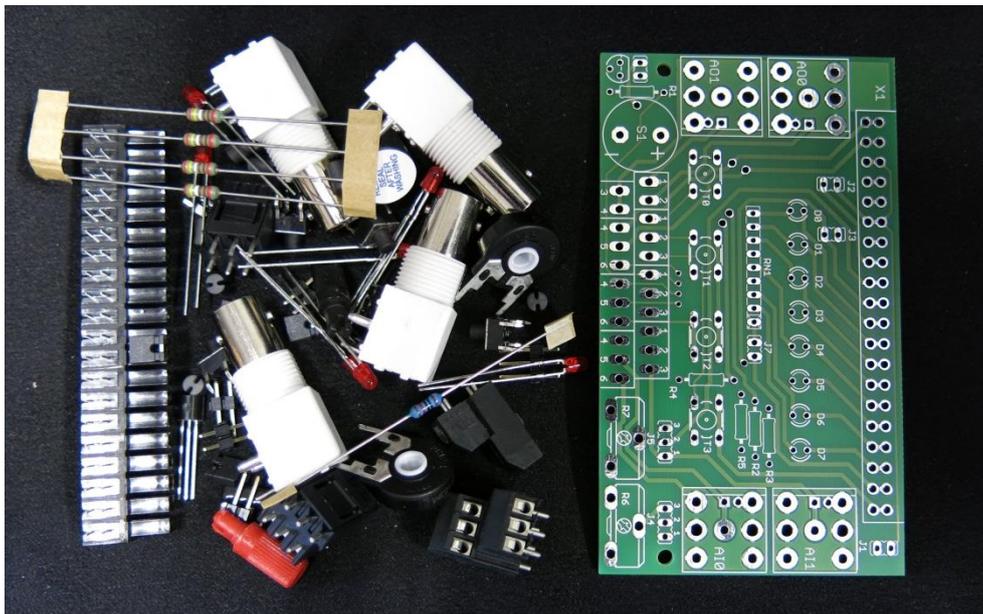
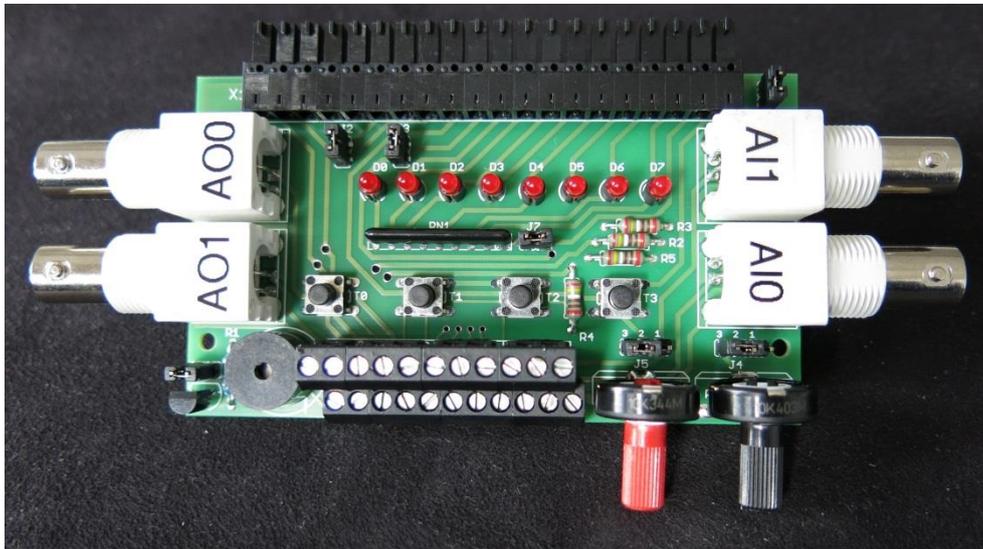
- Realisierung eines Fensterdiskriminators, um verschiedene Temperaturbereiche zu überwachen.
- Abspeichern der Messdaten mit Datum und Uhrzeit in einer csv-Datei zur späteren Auswertung, z.B. unter Excel.
- Aufbau eines 2-kanaligen Temperaturmessgerätes durch Verwendung eines zweiten KTY-Elementes am Analogeingang AI_1, z.B. zur Messung von Innen- und Außentemperatur.
- Verbindung des Temperaturmessgerätes mit dem Internet und somit weltweite Kontrolle der Temperatur.
- Ansteuerung von Aktoren (Heizung/Kühlung), um so letztendlich eine Temperaturregelung aufzubauen.
- usw., usw.

Die offizielle myDAQ – Seite von National Instruments:

<http://www.ni.com/mydaq/d/>

Experimentieradapterplatine 1

Zusteckkarte zum NI myDAQ-Modul



Systemdokumentation

V2.0 / 07.10.2015

Wichtiger Hinweis:

Alle unsere Module und Platinen, sind Module und Platinen ohne eigenständige Funktion und sie sind selbständig nicht betreibbar.

Sie sind als Zulieferteile für den Einbau in Lehr- bzw. Ausbildungsgeräte bzw. für eine entsprechende Weiterverarbeitung durch auf dem Gebiet der elektromagnetischen Verträglichkeit kundige Betriebe oder Personen im Ausbildungsbereich hergestellt und bestimmt (§6, Abs. 1, Abs. 9, EMVG).

Nach dem Einbau in ein Gerät oder bei Änderungen/Erweiterungen an diesen Modulen/Platinen muss die Konformität nach dem EMVG festgestellt und bescheinigt werden. Erst danach dürfen solche Geräte in Verkehr gebracht werden.

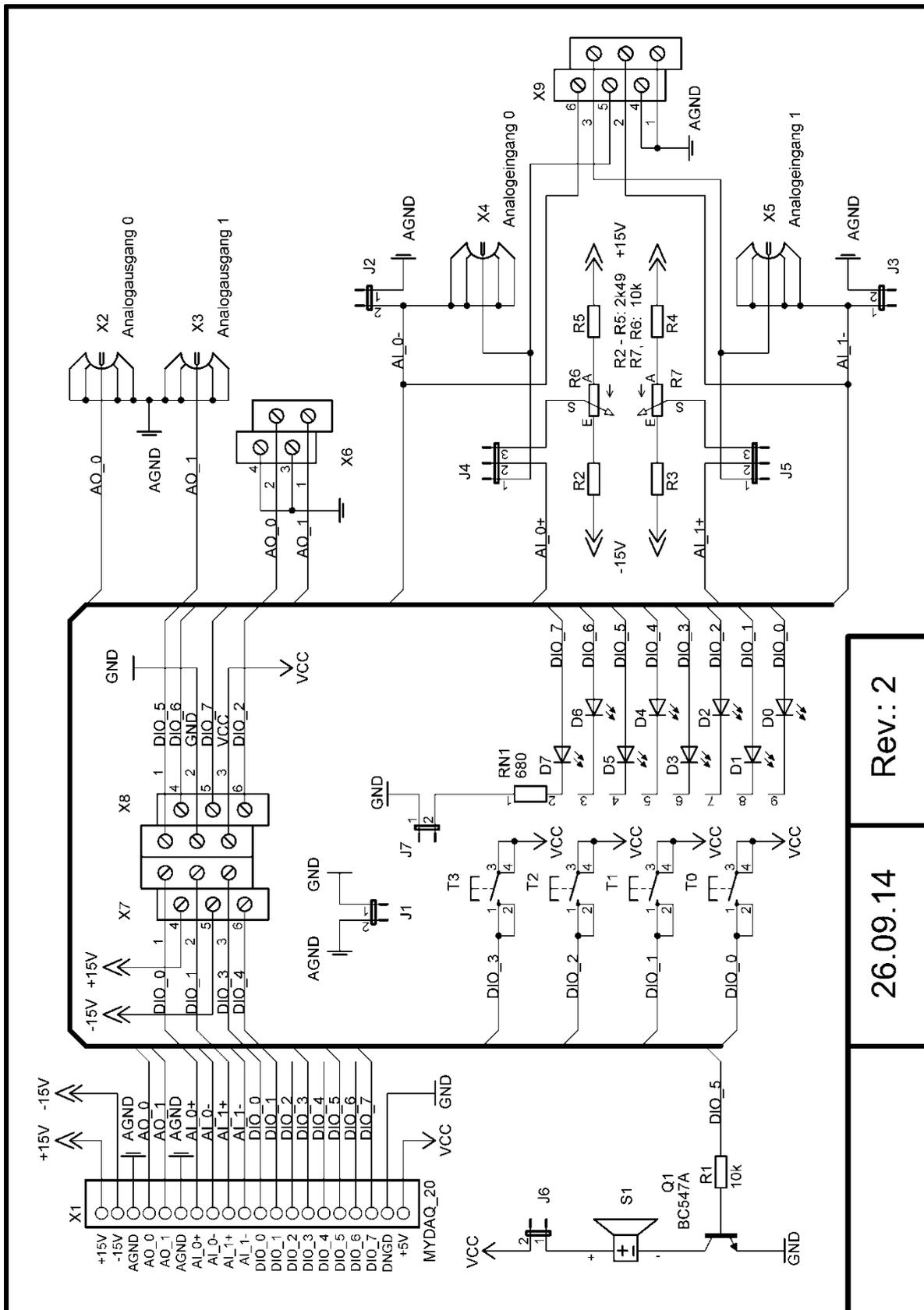
Unsere Angebote richten sich daher ausschließlich an Privatpersonen bzw. Ausbildungsstätten bzw. Hersteller von Ausbildungsgeräten zum Zwecke der persönlichen und/oder beruflichen und/oder schulischen Ausbildung.

Unsere Module und Platinen dienen nur allgemeinen Ausbildungszwecken auf dem Gebiet der Mikrocontroller-bzw. Rechner-Technik und dürfen NICHT in industriellen oder gewerblichen Anlagen zu Steuer-, Regel-, Messwerterfassungsaufgaben oder ähnlichem eingesetzt werden!

Bei der Zusammenstellung von Texten, Abbildungen und Schaltungen wurde mit größter Sorgfalt vorgegangen. Trotzdem können Fehler nicht vollständig ausgeschlossen werden. Die Autoren können für fehlerhafte Angaben und deren Folgen weder eine juristische Verantwortung noch irgendeine Haftung übernehmen.

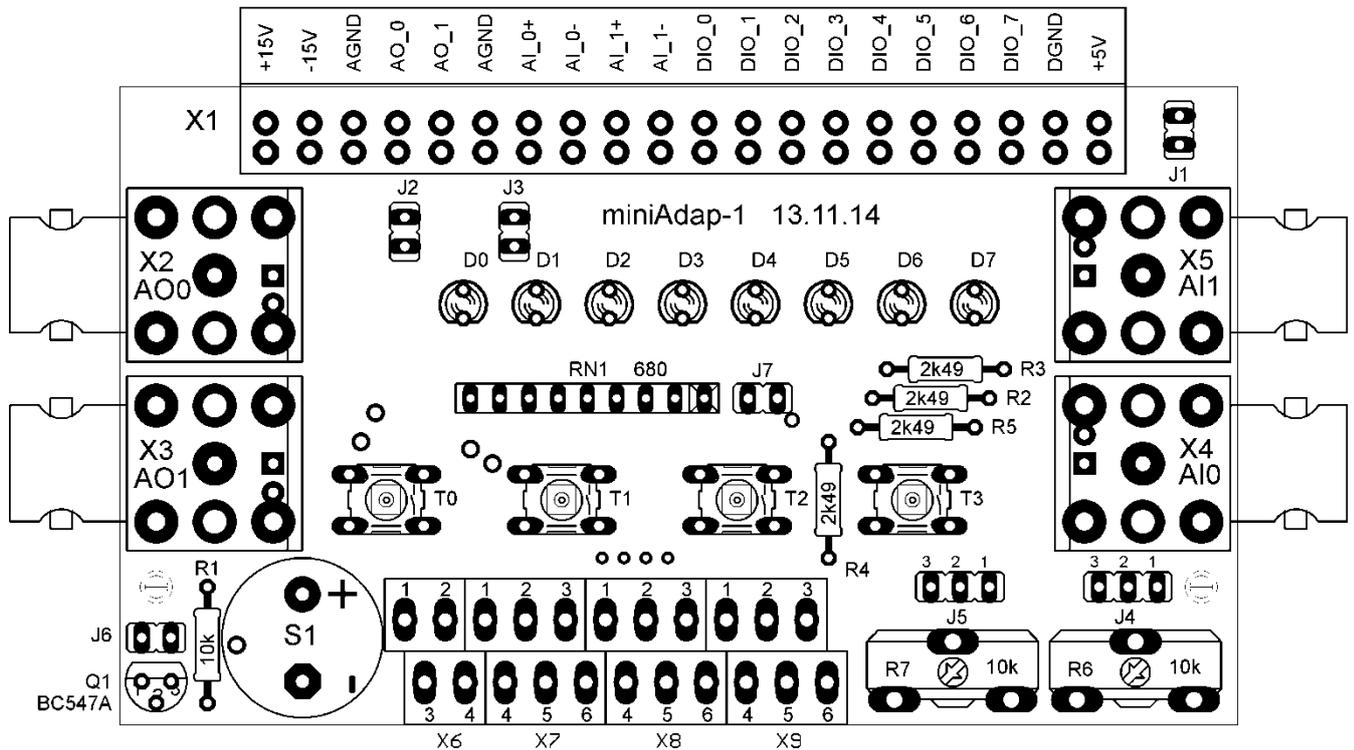
Für die Mitteilung eventueller Fehler sind die Autoren dankbar.

Schaltplan der Experimentieradapterplatine 1



26.09.14 Rev.: 2

Bestückungsplan der Experimentieradapterplatine 1



Bauteilliste Experimentieradapterplatine 1				
Bauteil:	Bezeichnung:	Wert:	Bauform:	Anzahl:
Metallschichtwiderstand	R2 - R5	2,49 kOhm, 1%, 1/4 Watt	0207	4
Kohleschichtwiderstand	R1	10 kOhm, 5%, 1/4 Watt	0207	1
Widerstandsnetzwerk	RN1	680 Ohm, 8-fach, Sternschaltung	SIL 9-8	1
Potentiometer	R6, R7	10 kOhm, stehend für Steckachse	PT 15 NH	2
Steckachse für Potentiometer	für R6, R7	Achsenlänge ca. 13mm		2
Leuchtdiode	D0 - D7	3mm, Low Current, 2mA, rot	RM 2,54	8
Abstandshalter für LEDs	für D0 - D7	3mm		8
Kurzhubtaster	T0 - T3	6mm * 6mm, Höhe 7 mm	6mm*6mm	4
Summer	S1	TDB 05	RM 7,62	1
Transistor	Q1	BC547	TO 92	1
Stiftleisten	J1 - J3, J6, J7	2-polig	RM 2,54	5
Stiftleisten	J4, J5	3-polig	RM 2,54	2
Codierbrücke	für J1 - J7	JUMPER 2,54 SW	RM 2,54	7
Doppelstockklemme	X6	AKL 267-04, 4-polig		1
Doppelstockklemme	X7 - X9	AKL 267-06, 6-polig		3
BNC Printbuchse	X2 - X5	50 Ohm	UG 1094W	4
Abstandsbolzen	Typ: ABM 2550 5, 5mm lang mit Innengewinde			2
Zylinderkopfschrauben	Für Abstandsbolzen, M2,5*8mm			2
myDAQ Anschlussleiste		20-polig, für NI myDAQ		1

Klemmbelegung der Experimentieradapterplatine 1

BNC Printbuchse X2:

X2-Innen	Analogausgang 0 (AO_0)
X2-Außen	Analoge Masse (AGND)

BNC Printbuchse X3:

X3-Innen	Analogausgang 1 (AO_1)
X3-Außen	Analoge Masse (AGND)

BNC Printbuchse X4:

X4-Innen	Jumper 4, Pin 1 (J4.1)
X4-Außen	Analogeingang 0- (AI_0-)

BNC Printbuchse X5:

X5-Innen	Jumper 5, Pin 1 (J5.1)
X5-Außen	Analogeingang 1- (AI_0-)

Doppelstockklemme X6:

1	Analogausgang 1 (AO_1)
2	Analogausgang 0 (AO_0)
3	Analoge Masse (AGND)
4	Analoge Masse (AGND)

Doppelstockklemme X7:

1	Digital Ein-/Ausgang 0 (DIO_0)
2	Digital Ein-/Ausgang 1 (DIO_1)
3	Digital Ein-/Ausgang 3 (DIO_3)
4	+ 15V Versorgungsspannung
5	- 15V Versorgungsspannung
6	Digital Ein-/Ausgang 4 (DIO_4)

Doppelstockklemme X8:

1	Digital Ein-/Ausgang 5 (DIO_0)
2	Digitale Masse (GND)
3	5V Versorgungsspannung (VCC)
4	Digital Ein-/Ausgang 6 (DIO_6)
5	Digital Ein-/Ausgang 7 (DIO_7)
6	Digital Ein-/Ausgang 2 (DIO_2)

Doppelstockklemme X9:

1	Analoge Masse (AGND)
2	Analogeingang 1- (AI_1-)
3	Jumper 5, Pin 1 (J5.1)
4	Analoge Masse (AGND)
5	Jumper 4, Pin 1 (J4.1)
6	Analogeingang 0- (AI_0-)

Jumperbelegungen und -funktionen der Experimentieradapterplatine 1:

Jumper J1:

Verbindung bzw. Trennung der digitalen und der analogen Masse!

Jumperbelegung J1:

1	2
GND (digitale Masse)	AGND (analoge Masse)

Codierbrücke gesteckt:

Analoge und digitale Masse sind verbunden!

Codierbrücke fehlt:

Analoge und digitale Masse sind getrennt!

Jumper J2:

Wahl der Art der Spannungsmessung für den Analogeingangskanal 0 (AI_0- und AI_0+)!

Jumperbelegung J2:

1	2
AGND (analoge Masse)	Analogeingang AI_0-

Codierbrücke gesteckt:

Massebezogene Spannungsmessung! Der Analogeingang AI_0- und die analoge Masse (AGND) sind verbunden! Die zu messende Spannung wird am Analogeingang AI_0+ angeschlossen.

Codierbrücke fehlt:

Differenzielle Spannungsmessung! Die negativere Spannung muss am Analogeingang AI_0-, die positivere am Analogeingang AI_0+ angeschlossen werden.

Jumper J3:

Wahl der Art der Spannungsmessung für den Analogeingangskanal 1 (AI_1- und AI_1+)!

Jumperbelegung J3:

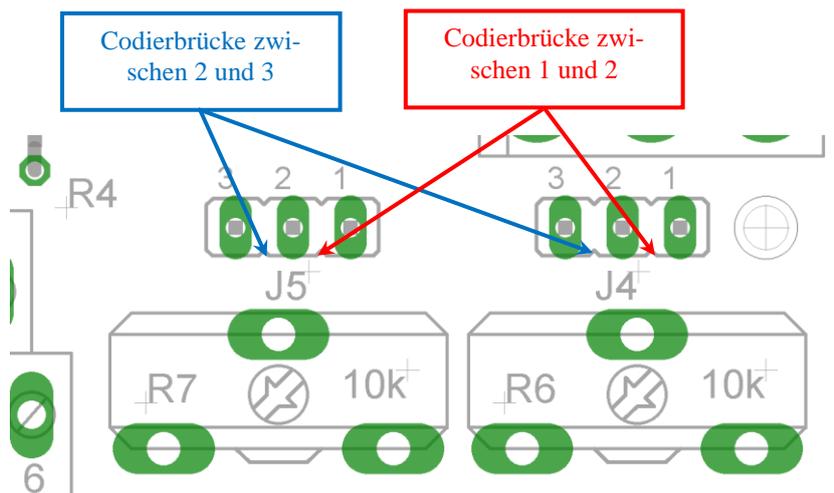
1	2
Analogeingang AI_1-	AGND (analoge Masse)

Codierbrücke gesteckt:

Massebezogene Spannungsmessung! Der Analogeingang AI_1- und die analoge Masse (AGND) sind verbunden! Die zu messende Spannung wird am Analogeingang AI_1+ angeschlossen.

Codierbrücke fehlt:

Differenzielle Spannungsmessung! Die negativere Spannung muss am Analogeingang AI_1-, die positivere am Analogeingang AI_1+ angeschlossen werden.



Experimentieradapterplatine 1

Jumper J4:

Wahl des Eingangssignals der Spannungsmessung für den Analogeingangskanal 0!

Jumperbelegung J4:

1	2	3
BNC Buchse X4 / Doppelstock- klemme X9.5	Analogeingang AI_0+	Schleifer des Po- tentiometers R6

Codierbrücke
zwischen 1-2 gesteckt:

Dem Analogeingang 0 (Anschluss AI_0+) wird die zu messende Spannung über die BNC Printbuchse X4 oder über die Doppelstockklemme X9.5 zugeführt.

Codierbrücke
zwischen 2-3 gesteckt:

Die zu messende Spannung wird dem Analogeingang 0 (Anschluss AI_0+) über dem Schleifer des Potentiometers R6 zugeführt. Die Spannung lässt sich im Bereich zwischen -10V bis +10V einstellen.

Jumper J5:

Wahl des Eingangssignals der Spannungsmessung für den Analogeingangskanal 1!

Jumperbelegung J5:

1	2	3
BNC Buchse X5 / Doppelstock- klemme X9.3	Analogeingang AI_1+	Schleifer des Po- tentiometers R7

Codierbrücke zwischen 1-2 gesteckt:

Dem Analogeingang 1 (Anschluss AI_1+) wird die zu messende Spannung über die BNC Printbuchse X5 oder über die Doppelstockklemme X9.3 zugeführt.

Codierbrücke zwischen 2-3 gesteckt:

Die zu messende Spannung wird dem Analogeingang 1 (Anschluss AI_1+) über dem Schleifer des Potentiometers R7 zugeführt. Die Spannung lässt sich im Bereich zwischen -10V bis +10V einstellen.

Jumper J6:

Betrieb des Summers S1 am DIO_5 Anschluss!

Jumperbelegung J6:

1	2
+5V Spannungsversorgung (VCC)	Summer S1

Codierbrücke gesteckt:

Der Summer S1 (angeschlossen an DIO_5) ist aktiv. Ein High-Signal an DIO_5 schaltet den Summer ein, ein Low-Signal schaltet ihn aus!

Codierbrücke fehlt:

Der Summer S1 (angeschlossen an DIO_5) ist deaktiviert!

Jumper J7:

Betrieb der Leuchtdioden D0 – D7 an den DIO_0 – DIO_7 Anschlüssen!

Jumperbelegung J7:

1	2
GND (digitale Masse)	Widerstandsnetzwerk RN1

Codierbrücke gesteckt:

Die Leuchtdioden D0 – D7 (angeschlossen an DIO_0 – DIO_7) sind aktiv. Ein High-Signal am jeweiligen DIO_X Ausgang schaltet die entsprechende Leuchtdiode DX ein, ein Low-Signal schaltet sie aus!

Codierbrücke fehlt:

Die Leuchtdioden D0 – D7 (angeschlossen an DIO_0 – DIO_7) sind deaktiviert!

© Dies ist eine Publikation der Conrad Electronic SE, Klaus-Conrad-Str. 1, D-92240 Hirschau (www.conrad.com).

Alle Rechte einschließlich Übersetzung vorbehalten. Reproduktionen jeder Art, z. B. Fotokopie, Mikroverfilmung, oder die Erfassung in elektronischen Datenverarbeitungsanlagen, bedürfen der schriftlichen Genehmigung des Herausgebers. Nachdruck, auch auszugsweise, verboten. Die Publikation entspricht dem technischen Stand bei Drucklegung.

Copyright 2016 by Conrad Electronic SE.