

# Digitale Messwerterfassung für den Physikunterricht

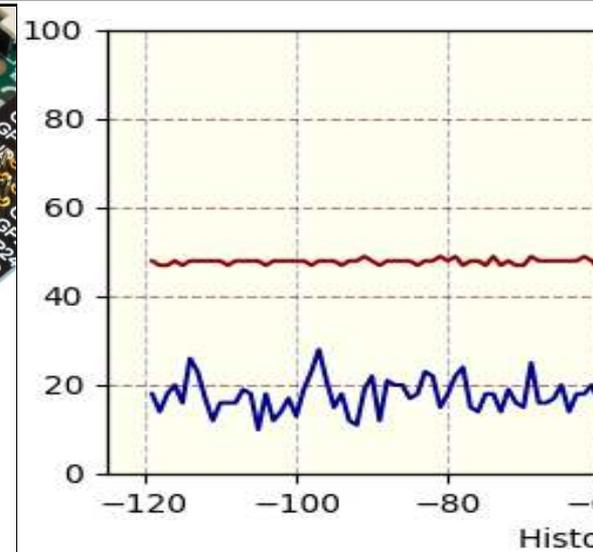
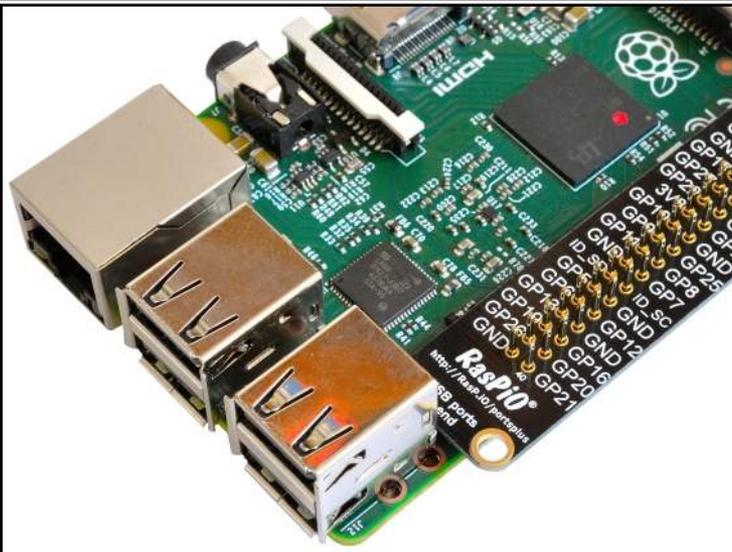
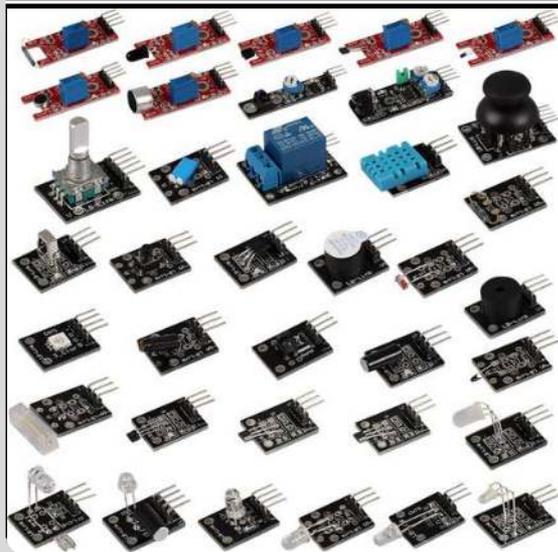
## mit dem Raspberry Pi

Moritz Aupperle, Günter Quast

DPG Aachen Sitzung DD 21.2

Fakultät für Physik  
Institut für Experimentelle Teilchenphysik

27. März 2019



# Digitalisierung der Messtechnik

## Digitale Technologien prägen zunehmend unseren Alltag

- Sensoren zur Messwerterfassung in praktisch allen Alltagsgeräten



- Zusammenführung und Analyse der Daten
  - zur Geräte- und Systemdiagnose
  - zur Anwenderinformation
  - als Grundlage für Steuer- und Regelungsaufgaben
  - **!!!** zur Analyse des Nutzerverhaltens und Werbung



- Messverfahren in Technik und Wissenschaft heute ausnahmslos digital



- Das „Internet der Dinge“ und „Industrie 4.0“ stellen besondere Herausforderungen an die digitale Kompetenz von Schulabgängern



KMK vom 8.12.2016



Bildung in der digitalen Welt  
Strategie der  
Kultusministerkonferenz



[https://www.kmk.org/fileadmin/Dateien/pdf/PresseUndAktuelles/2018/Digitalstrategie\\_2017\\_mit\\_Weiterbildung.pdf](https://www.kmk.org/fileadmin/Dateien/pdf/PresseUndAktuelles/2018/Digitalstrategie_2017_mit_Weiterbildung.pdf)

**Physik hat Potenzial zu fachspezifische Beiträgen**

# Digitale Messtechnik in Schülerhände !

## Digitale Messtechnik gibt es seit langem im Physikunterricht

- wegen des hohen Preises fast ausschließlich in Demonstrationsexperimenten
- relativ leicht aufzubauen, Softwareunterstützung für fast jede Messaufgabe
- wird von Schülern nicht all „alltagsnah“ empfunden

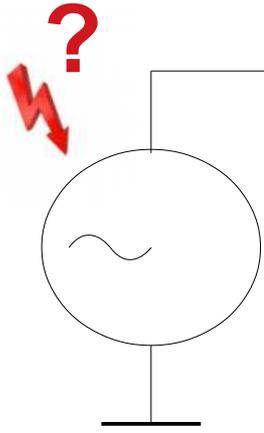


## Die Alternative:

analoge und digitale Sensoren  
und Einplatinencomputer  
zur Datenerfassung und Auswertung

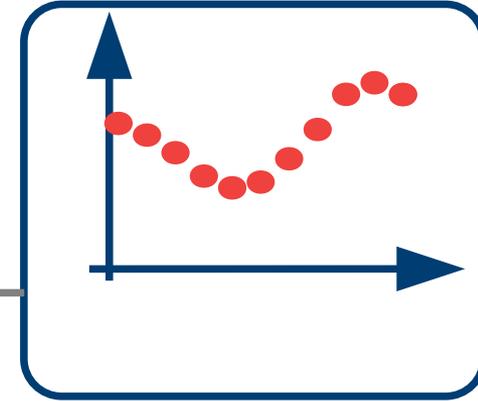
- kostengünstig, alltagsnah
- in Demonstrationsexperimenten aufwändig





Sensor

- physikalische  
Größe am  
Eingang



Visualisierung/  
Auswertung

- physikalische  
Interpretation

Häufig gibt es eine  
zwischen dem Phänomen und

„Black Box“

dem Messergebnis !

# Der Digitale Messprozess – vom Phänomen zur Erkenntnis



## Sensor

## DA-Wandlung

## digitaler Datenstrom

## Prozessor

## Visualisierung/ Auswertung

- **physikalische Größe am Eingang**

- Grundprinzip
- einfache Realisierungen

- Binärkodierung
- Übertragungsprotokoll(e), Datenbus
- Fragen des Signaltransports auf der physikalischen Ebene

- Steuerung der Datenaufnahme
- digitale Filterung und Datenverarbeitung
- Visualisierung und Auswertung
- Formatierung und Speicherung

- **physikalische Interpretation**

**Der digitale Messprozess verknüpft das untersuchte physikalische Phänomen mit der Interpretation des Messergebnisses**

# Sensoren

Handel bietet eine Vielzahl  
an Sensoren zum Preis  
von 1 bis ca. 10 €,  
häufig als Sensor-Set:

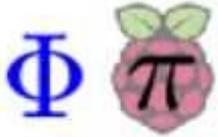
Temperatur, Magnetfeld,  
Druck, Licht, Infrarot,  
Schall, Ultraschall,  
Vibration, Lage, Abstand, ...

sowie diverse  
Analog-Digital-Wandler

und Komponenten  
zur Steuerung und Regelung:

Digital-Analog-Wandler,  
Relais, Motorsteuerung, ...





## Standardisierter Messkoffer

zur Einführung von Schülern in die grundlegenden Konzepte der Digitaltechnik und des digitalen Messens

## Standardisierte Software-Umgebung für typische Messaufgaben:

- einheitliche Schnittstelle für eine Vielzahl von Sensoren, erweiterbar
- graphische Anzeigen (Voltmeter, Oszilloskop, xy-Anzeige, zeitlicher Verlauf von Messgrößen)
- Datenaufzeichnung (im CSV-Format)
- Kalibration von (nicht-linearen) Sensoren
- Anwendung von Formeln auf Messwerte

```
sensor = <DeviceClass>()
sensor.init()
sensor.acquireData(data)
. . .
sensor.closeDevice()
```



```
import numpy as np, time
from phypidaq.ADS1115Config import *

device = ADS1115Config()
device.init() # Initialisierung

dt = 1. # Ausleseintervall in s
T0 = time.time() # Start-Zeit
dat = np.array([0.])

print(' beginne Auslese, <ctrl-C> = stop')

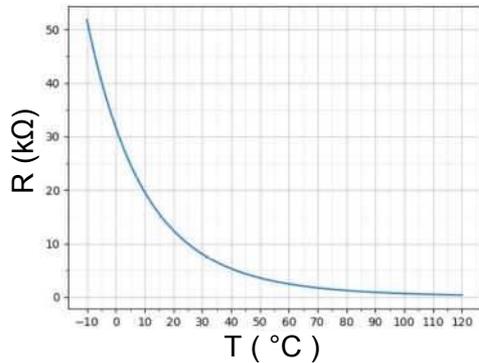
while True:
    device.acquireData(dat)
    dT = time.time() - T0
    print('%.2g, %.4g' %(dT, dat) )
    time.sleep(dt)
```

[Code in python](#)

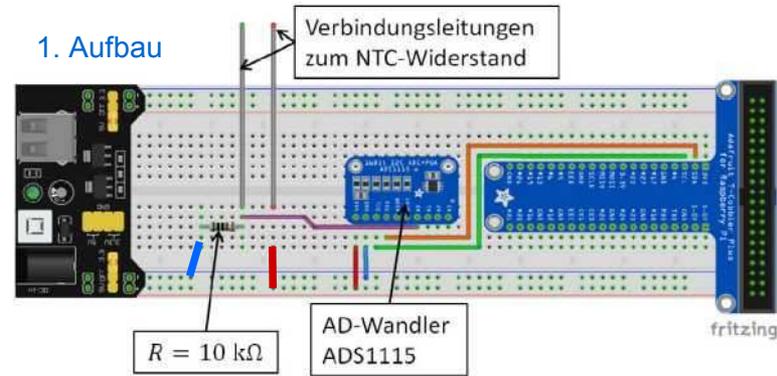
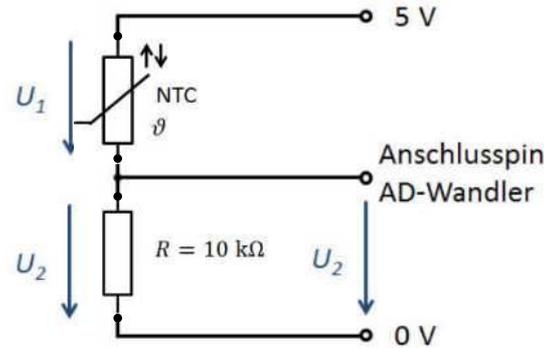
# Beispiel: Thermometer

geführte Aufgabenstellung: **Bau eines Thermometers** mit nichtlinearem Sensor (NTC-Widerstand)

nicht-lineare Sensorkennlinie  $R(T)$



Schaltplan



## 2. Umrechnung ADC-Ausgabe in Spannung

Stufe	⇒	digitalisierte Spannung in V
0	⇒	0
32767	⇒	6,114
1	⇒	
518	⇒	
16383	⇒	

## 3. Kalibrationstabelle

	1.	2.	3.	4.
Temperatur $T$ in $^{\circ}C$				
Spannung $U$ in V				

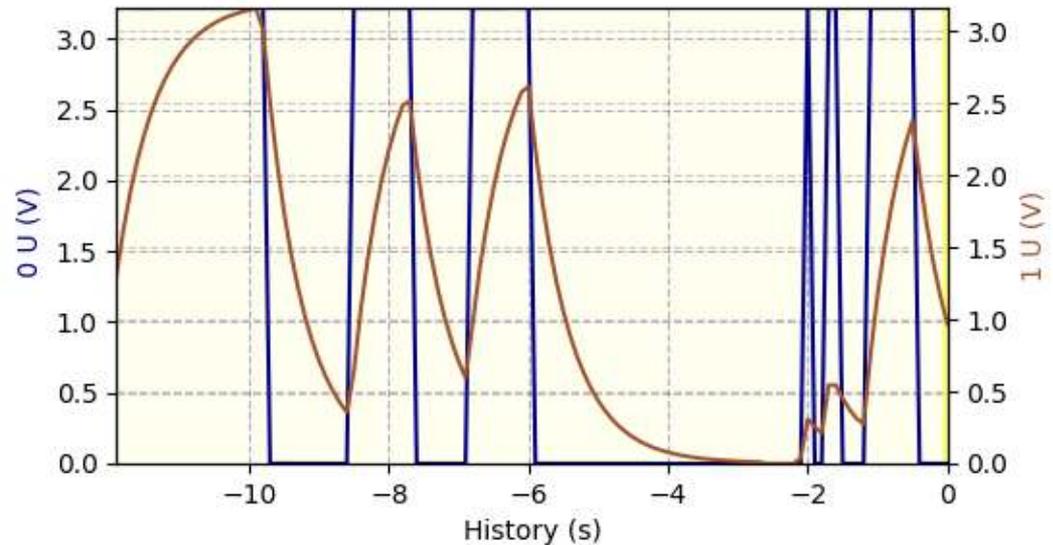
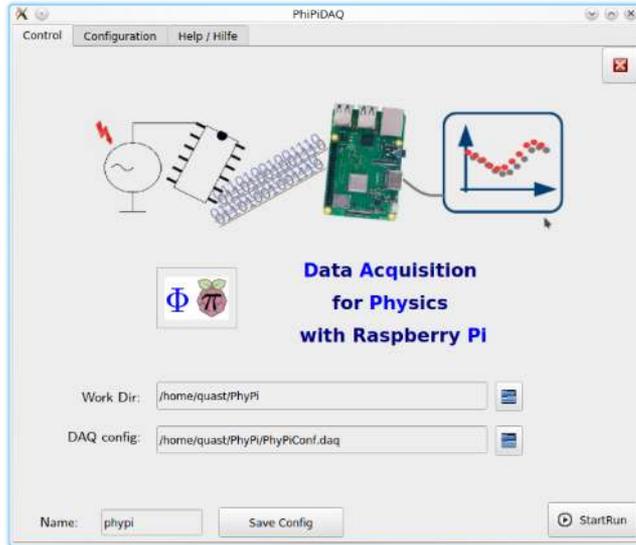
## 4. Integration von AD-Wandlung und Kalibration in Software

```
while True: # Dauerschleife.
    adwert = adwandler.read_adc(0,2/3) * aufloesung # Wert Ad-wandler.
    temperatur = kalibfunkt(adwert) # wir berechnen aus der digitalisierten
    Spannung des AD-wandlers die Temperatur.
    temperatur = round(float(temperatur),1) # wir runden den Temperaturwert
    # auf eine Nachkommastelle.
    print("Temperatur:") # Wir geben den Text "Temperatur" aus.
    print(temperatur) # wir geben den Wert der Temperatur aus.
    print("°C") # Wir geben die Einheit °C aus.
```

- Sensor mit reproduzierbarem (nicht notwendig linearem) Zusammenhang zwischen Effekt und Messwert als Voraussetzung
- Durch Austausch des Sensors leicht in anderem physikalischen Kontext einsetzbar: Messung von Abstand, Kraft, Lichtstrom, elektr. Feldstärke, Magnetfeld, ...
- Beispiel erklärt allgemein den Weg vom Sensor-Wert zur physikalischen Größe und gibt so einen Einblick in die **Black Box**; liefert Erklärungsmodell verschiedene Arten von digitalen Messprozessen

Mit Schülern der 11. und 12. Klasse in Zweiergruppen im Umfeld eines Schülerlabors in ca. 4h durchgeführt

# PhyPiDAQ: grafische Oberfläche



## Wachsende Anzahl an vorbereiteten Konfigurationen:

- Temperaturmessung mit analogen (NTC) und digitalen Sensoren
- digitale Sensoren zur Messung von Strom, Spannung, Beschleunigung, Druck, ...
- Frequenzmessungen auf GPIO-Pins
- Analog-Digitalwandler ADS1115 (4Kanal, 16 bit) und MCP3208 (8Kanal, 12 bit)
- USB-Oszilloskop als Datenlogger und zur Registrierung von Einzelsignalen
- Kraftmessung mit Wägezelle und Dehnungsmessstreifen
- Abstandssensor (Lichtlaufzeit 0 – 4000 mm)

**Schülerprojekte:** Charakterisierung von GPIO-Pins, Hell-Dunkel-Schaltung, Lade- u. Entladekurven eines Kondensators, Kalibration eines Temperatursensors

Software unter openSource-Lizenz verfügbar:  
s. <https://github.com/GuenterQuast/PhyPiDAQ>

# Aufnahme analoger Signale

Präzise Messung von unipolaren Signalen

schnell Signale  $>10\text{ns}$

## Analog-Digital-Wandler



Betriebsspannung 2,0 V – 5,5 V  
4 Kanäle oder 2 Kanäle differentiell  
16 Bit Auflösung, programmierbarer  
Vorverstärker x1 – x16 (1 mV – 5 V)  
interne Spannungsreferenz  
I<sup>2</sup>C – Bus  
bis 860 Hz Ausleserate

## USB-Oszilloskop

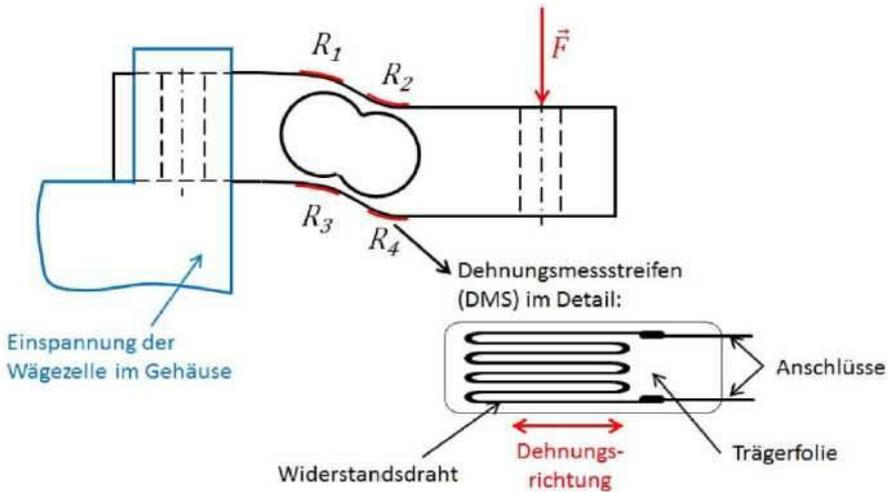


z.B. PicoScope 2204A (ab 95,-€)  
- 2 Kanäle, 10 MHz Bandbreite,  
100 MS/s, 50 mV – 20 V,  
8 Bit Auflösung

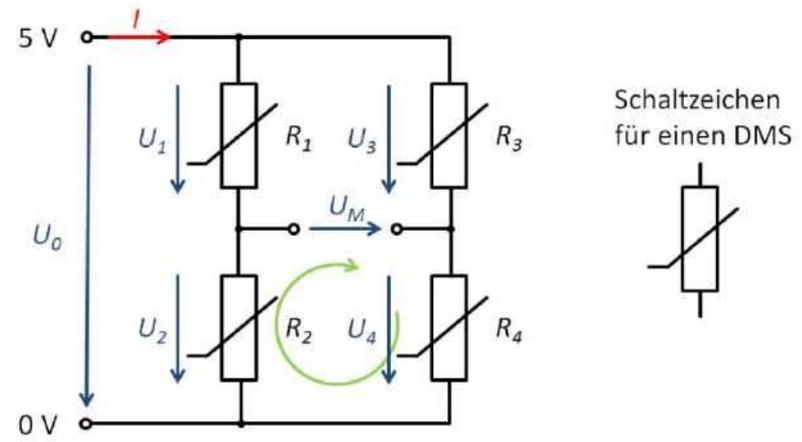
PicoScope 2204B (ab 299,- €)  
- 2 Kanäle, 50 MHz Bandbreite,  
500 MS/s, 20 mV – 20 V  
8 Bit Auflösung

# Aufbau eines Kraftsensors

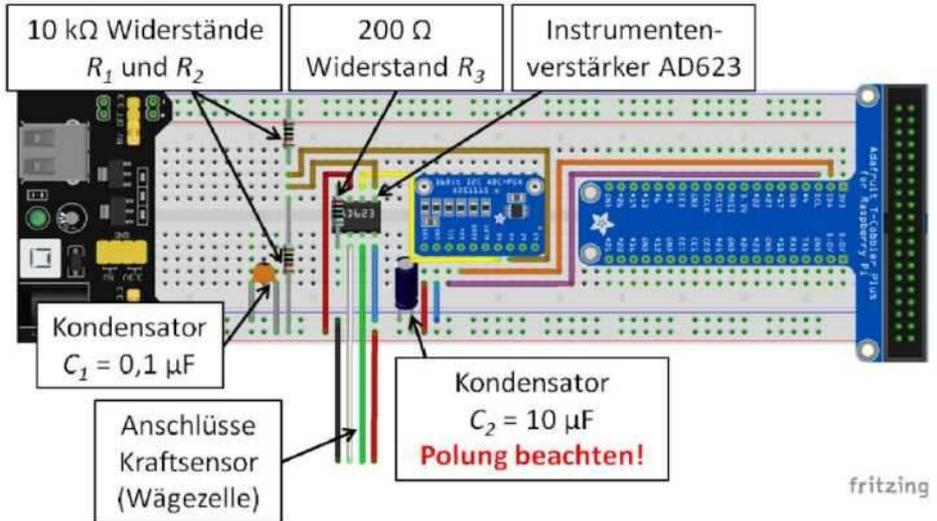
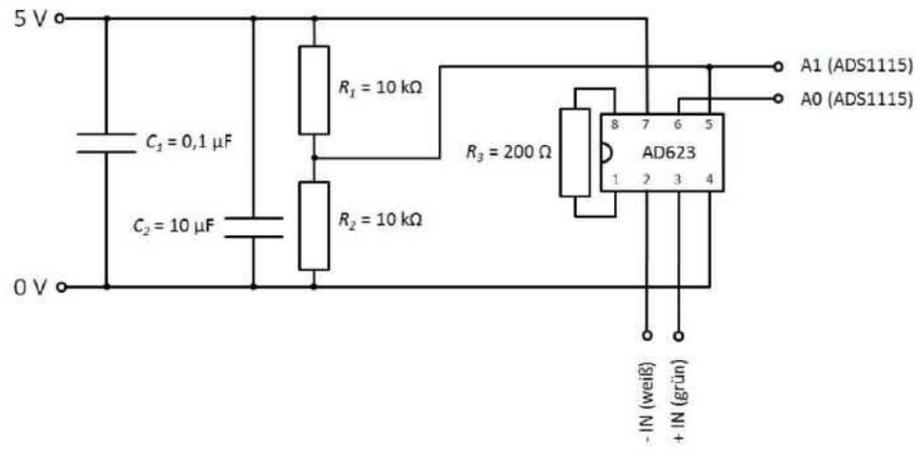
## Wägezelle mit Dehnungsmessstreifen



## Schaltung der Dehnungsmessstreifen

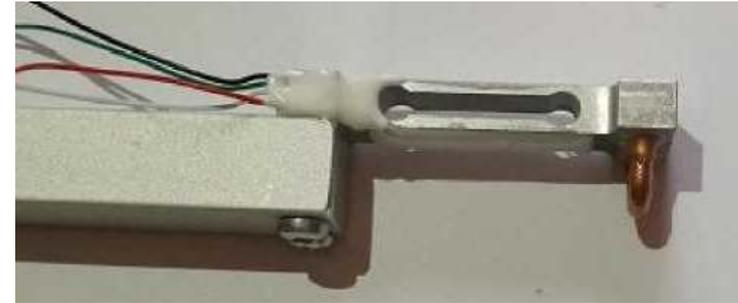


## Aufbau mit Instrumentenverstärker

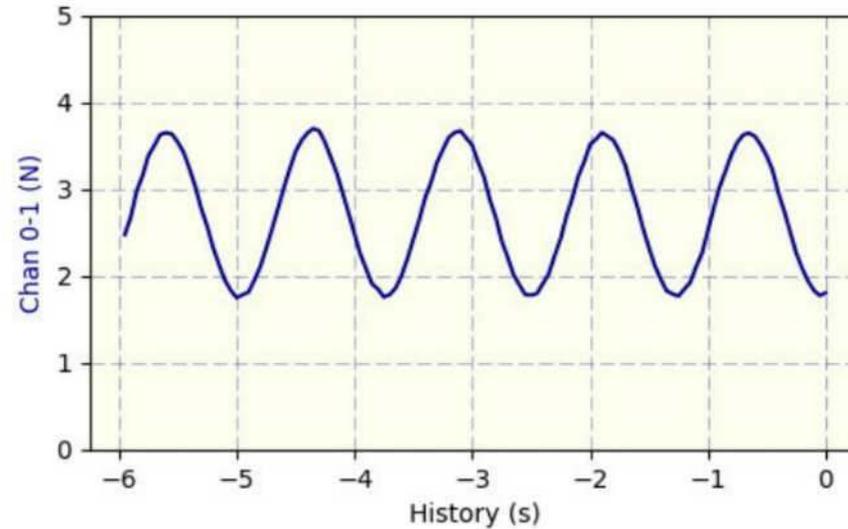


# Aufbau des Kraftsensors (2)

Der Selbst-Bau Kraftsensor (Kosten ca. 15,- €)



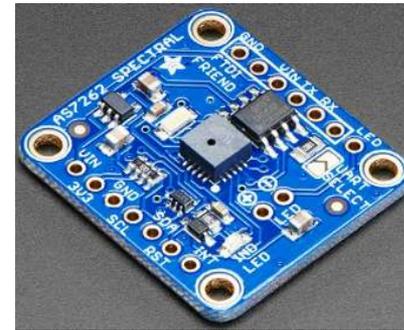
Federpendel am Kraftsensor (Auslese mit PhyPiDAQ)



# (Eine Auswahl an) Präzisionssensoren

VL53L1X

Abstandssensor  
Prinzip Lichtlaufzeit

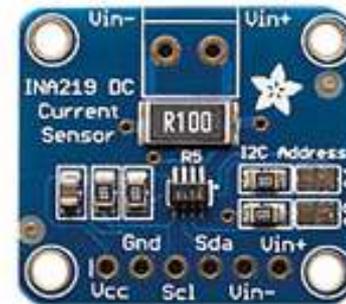


AS7262

Spektralsensor mit 6  
Kanälen je 40 nm breit

GDK101

Gamma-Detektor  
10 PiN-Dioden,  
1cm<sup>2</sup> Fläche



INA219

Strom- & Spannungs-  
Sensor, 3.2 A, 26 V

MMA7451

Beschleunigungs-  
Sensor



SM-24

“Geophon“,  
Erdbeben- und  
Erschütterungs-  
Sensor

bieten viele preiswerte Messmöglichkeiten im Physikunterricht

# Die Zukunft von PhyPiDAQ

Der Einsatz von „Alltagssensoren“ (wie in Geräten oder dem Handy verwendet) führt zu einer starken Kostenreduktion für Messtechnik

→ **vom Demonstrationsexperiment zum Schülerversuch**

Die gleiche Messtechnik wie in Schülerprojekten auch verstärkt im Unterricht nutzen

- wo möglich, „moderne“ Sensoren transparent einsetzen
- vermehrt Experimente durch Schüler ausführen lassen

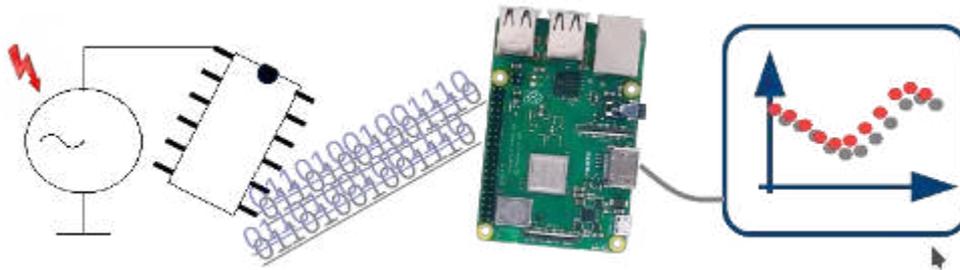
## Die nächsten Schritte:

- Unterstützung für weitere Sensoren
- Erprobung des Einsatzes für klassische Experimente im Physikunterricht u. Bau entsprechender „Boxen“ zum leichteren praktischen Einsatz
- Erweiterung der Software durch neues Projekt am KIT  
„Studierende entwickeln Open-Source-Lehrsoftware“
- **Feedback aus der Praxis einholen**

bitte um rege Diskussion !

# Links

- Masterarbeit von Moritz Aupperle:  
Konzeption und Gestaltung eines digitalen Messwertefassungssystem für den Physikunterricht  
<http://ekp-invenio.physik.uni-karlsruhe.de/record/49063>
- Digitales Messen im Physikunterricht mit Raspberry Pi  
<https://github.com/GuenterQuast/PhyPiDAQ>



## Weitere Projekte der Gruppe:

- Auslese von PicoScope USB-Oszilloskopen  
<https://github.com/GuenterQuast/picoDAQ>
- Auslese von Detektoren für Kosmische Strahlung  
<https://github.com/GuenterQuast/picoCosmo>
- Netzwerk Teilchenwelt  
<http://www.teilchenwelt.de>



## Beitragsanmeldung zur Konferenz Aachen 2019

**Digitale Messwerterfassung für den Physikunterricht mit dem Raspberry Pi** — ●MORITZ AUPPERLE und GÜNTER QUAST  
— Karlsruher Institut für Technologie

Beschrieben wir ein Konzept für ein neues digitales Messwerterfassungssystem für den Einsatz in Schülerlaboren, für Schülerversuche oder auch für Demonstrationsexperimente im Unterricht. Wegen der hohen Kosten blieb digitale Messtechnik bisher meist in Lehrerhand, doch die kostengünstige Realisierung mit preiswerten, kommerziellen Sensoren und einem Einplatinen-Computer (Raspberry Pi) erlaubt heute die Bereitstellung im Klassensatz. Schüler können damit durch eigenes Tun ein Grundverständnis digitaler Messwerterfassung erlangen, das heute in vielen Studiengängen und Berufsfeldern zunehmend gefragt ist.

Im Vortrag werden die Möglichkeiten vorgestellt, die sich im Physikunterricht eröffnen: PhyPiDAQ ist ein transparentes, erweiterbares und modifizierbares digitales Messwerterfassungssystem, bei dem verschiedene Sensoren über eine einheitliche Software-Schnittstelle angesprochen werden. Die registrierten Daten werden über standardisierte Ausgabemodule visualisiert und für die spätere Auswertung aufgezeichnet. Das Material ist als Messkoffer für Schüler ausgelegt, kann aber auch in Demonstrationsexperimenten durch Lehrpersonen eingesetzt werden. Um Schüler auf das Arbeiten mit PhyPiDAQ vorzubereiten und die zugrunde liegenden Prinzipien transparent zu machen, wurde ein Einführungskurs gestaltet, an dessen Ende ein digitaler Kraftsensor aufgebaut und kalibriert wird.

**Part:** DD  
**Type:** Vortrag;Talk  
**Topic:** Praktika und neue Praktikumsversuche  
**Email:** Guenter.Quast@kit.edu