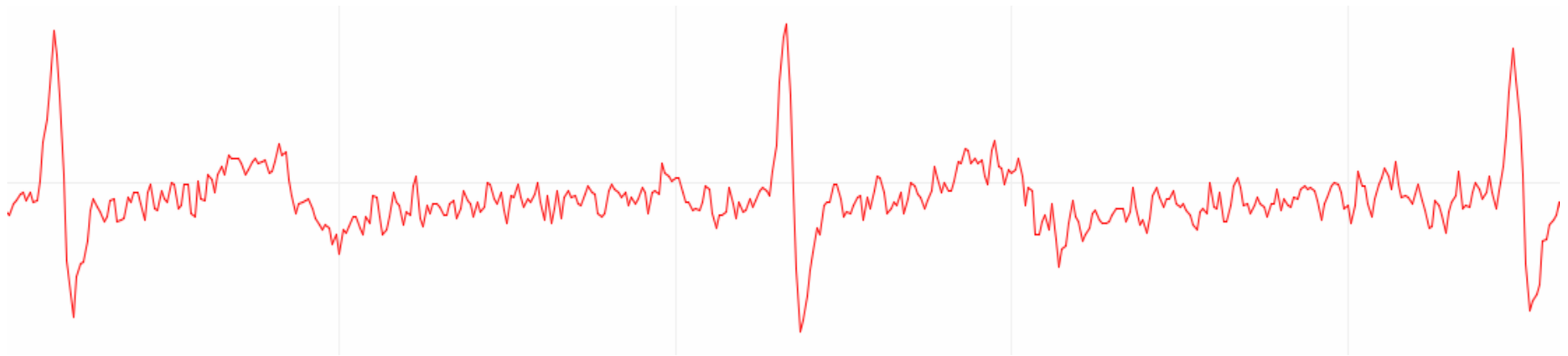


EKG mit Arduino

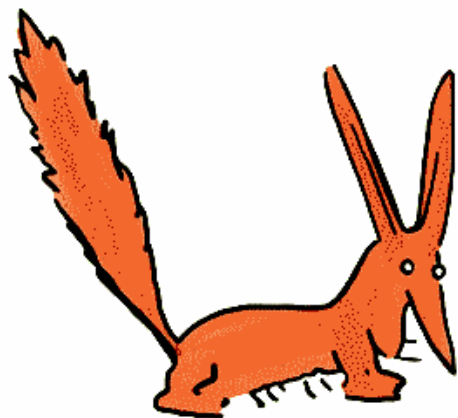
Teil I: Grundlagen und Hardware



Im Rahmen diesen Workshops können
Sie Ihr eigenes EKG erstellen.

Man sieht nur mit
dem Herzen gut. Das
Wesentliche ist für die
Augen unsichtbar.

Antoine de Saint-Exupéry aus »Der kleine Prinz«



www.derkleineprinz-online.de

In diesem Workshop geht es um Herzensangelegenheiten ...

Beide Tiere haben ein Herz, aber



Kanarienvogel 800 bis 1000 Herzschläge pro Minute
Goldfisch 20 bis 60 Herzschläge pro Minute

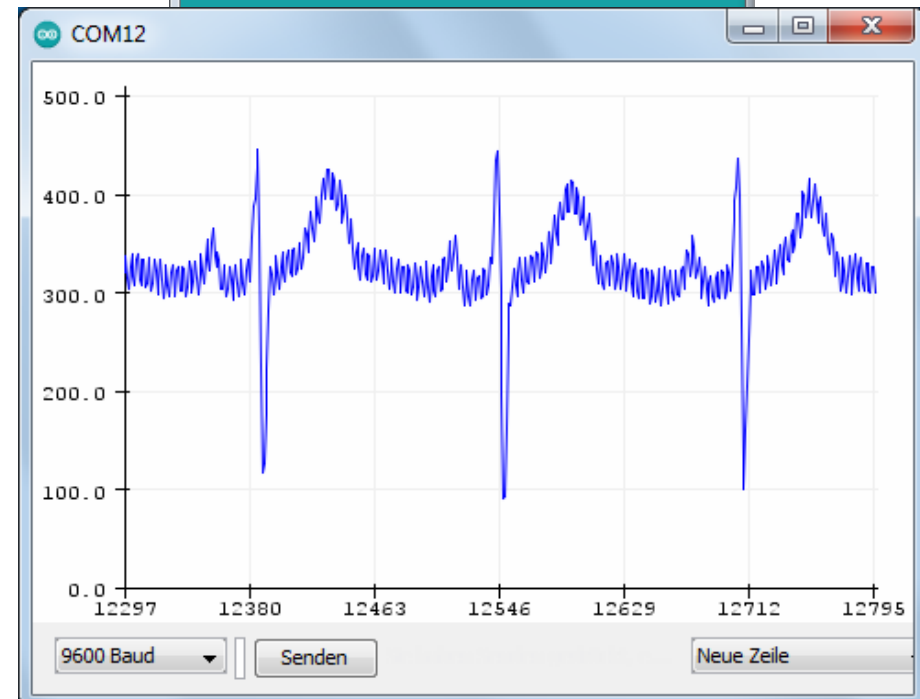
Warnung

- Dies ist ein Unterrichtsprojekt, das ausschließlich zu Bildungszwecken dient.
- Es handelt sich nicht um ein Medizinprodukt; es wurde nicht nach IEC 60601 zertifiziert und darf nicht zur Diagnose oder Behandlung verwendet werden.
- Betreiben Sie das Gerät stets ausschließlich mit Batterien und schließen Sie es niemals an einen netzbetriebenen PC an, während Elektroden an Ihrem Körper angebracht sind.
- Personen, die einen Herzschrittmacher oder einen implantierten Defibrillator tragen, dürfen nicht als Probanden an diesem Projekt teilnehmen.

Mit minimalem Aufwand möglich



```
ekg_0 | Arduino 1.8.19
Datei Bearbeiten Sketch Werkzeuge Hilfe
[Icons]
ekg_0
1 void setup() {
2   Serial.begin(9600);
3 }
4
5 void loop() {
6   Serial.println(analogRead(A0));
7 }
```



Wann ist die Erstellung eines EKG sinnvoll?

Offensichtlich liefert ein EKG mehr Daten als ein Fieberthermometer

Gute und allgemein-verständliche Antworten findet man z.B. auf den Internetseiten der Krankenkassen.



Vorbereitungen 1

Wenn Sie Ihr eigenes EKG-Diagramm in Echtzeit sehen wollen, bringen Sie bitte ein entsprechendes Endgerät (Tablet, Smartphone oder Laptop) mit.

Es ist empfehlenswert, für diesen Tag Kleidung zu wählen, die das problemlose Anlegen der Elektroden ermöglicht.

Für nicht-medizinische Zwecke ist die genaue Position der Elektroden nicht entscheidend

Vorbereitungen 2

Wenn Sie weitere Vorbereitungen treffen wollen, so können Sie vorab diese Datei herunterladen und auf Ihr Endgerät, das Sie zum Workshop mitbringen, kopieren:

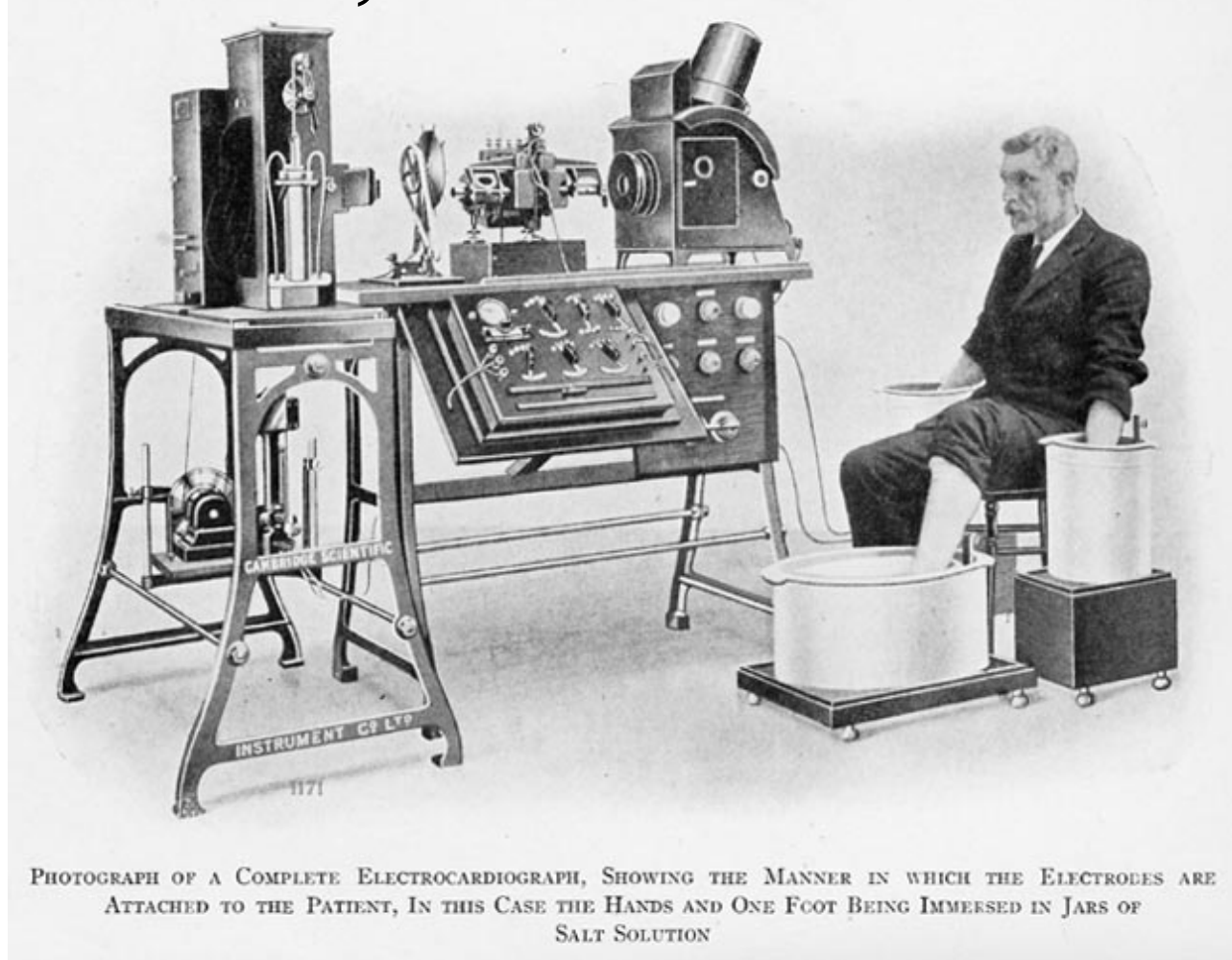
<https://arsviven.de/ekg-koch.html>

Sie können deren Funktion testen, indem Sie über die Tastatur (auch Bluetooth geht) wahlweise Buchstaben, etwa im Rhythmus Ihrer Herzfrequenz, bzw. Zahlen (gefolgt von der Eingabetaste) eingeben.
(mit der virtuellen des Tablets geht es leider nicht)

Wozu dient dieser Workshop

- Beobachten der regelmäßigen Vorgänge in der Herzmuskulatur anhand elektrischer Signale.
- Wahrnehmen des erforderlichen Aufwandes, um die winzigen elektrischen Signale zu erfassen und darzustellen.
- Nicht enthalten: medizinische Interpretation, Diagnose und Therapie.
- Smartwatches mit EKG-Funktion sind nicht Gegenstand dieses Workshops.

Erste EKGs, Willem Einthoven 1903



Damals noch keine Probleme mit Störungen durch die 50-Hz-Netzfrequenz

Bildquelle: <https://static.wixstatic.com>

EKG in der Schule, erlaubt?

Hier die Antwort der KI:

Ja, man darf im Unterricht ein EKG aufnehmen, sofern dies zu rein schulischen Zwecken (z. B. im Biologie- oder Physikunterricht) geschieht und bestimmte Sicherheits- sowie **Datenschutzregeln** streng eingehalten werden. Da ein EKG hochsensible Gesundheitsdaten erfasst, ist eine medizinische **Diagnose** im Klassenzimmer jedoch strikt **verboten**.

Folgende Voraussetzungen müssen erfüllt sein:

- Technische Sicherheit
- Freiwilligkeit und Datenschutz
- Keine medizinische Auswertung

EKG in der Schule, womit?



Statt der Eimer mit Salzwasser nimmt man heute andere Elektroden



Angebote einiger Lehrmittelfirmen

Angebote auf dem Arduino-Markt

Verstärker
(Olimex)



Verteilerkabel für
selbstklebende
Einmal-Elektroden

Extremitäten-
Elektroden mit
Gummizug



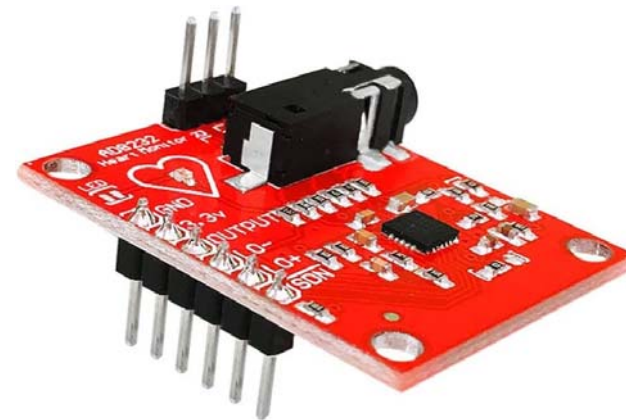
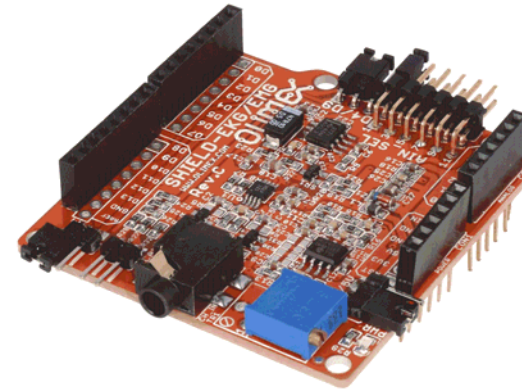
Achtung: es gibt Berichte über Shield-Clones mit blauen Boards, die nicht funktionieren. Konnte bestätigt werden!

Low-cost-Elektrode geht auch



Um was für Spannungen geht es hier?

Spannungen von Körperzellen	100 Millivolt
Auf der Hautoberfläche messbar	1 - 3 Millivolt
Zur Verarbeitung und Auswertung benötigt	5000 Millivolt



Typische Verstärker-Module für Arduino, ca. 10-20 €
Zur Beachtung: die Belegungen der 3,5mm-Buchsen der beiden Module stimmen nicht miteinander überein.

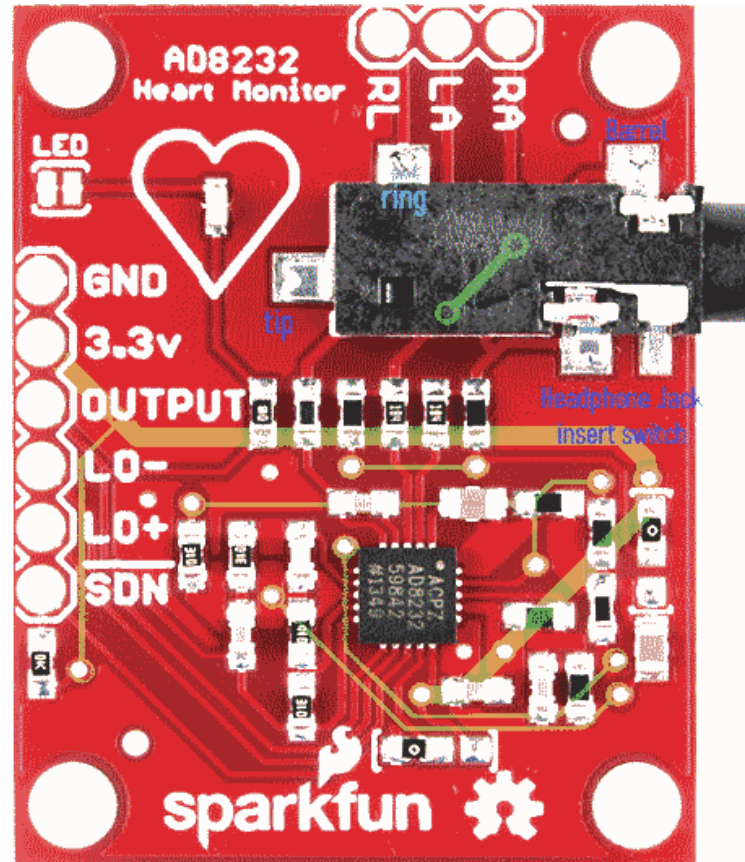
Empfohlenes Modul: AD8232

Herstellerfirma:



Massachusetts, gegründet 1965

Enthält hochempfindliche
Verstärker sowie mehrere
integrierte, analoge (!)
Filter.



3,5 mm Buchse
für Elektroden,
wie Stereo-
Kopfhörer

Kann man die Elektroden nicht
direkt an den Analog-Eingängen des
Arduino anschließen?

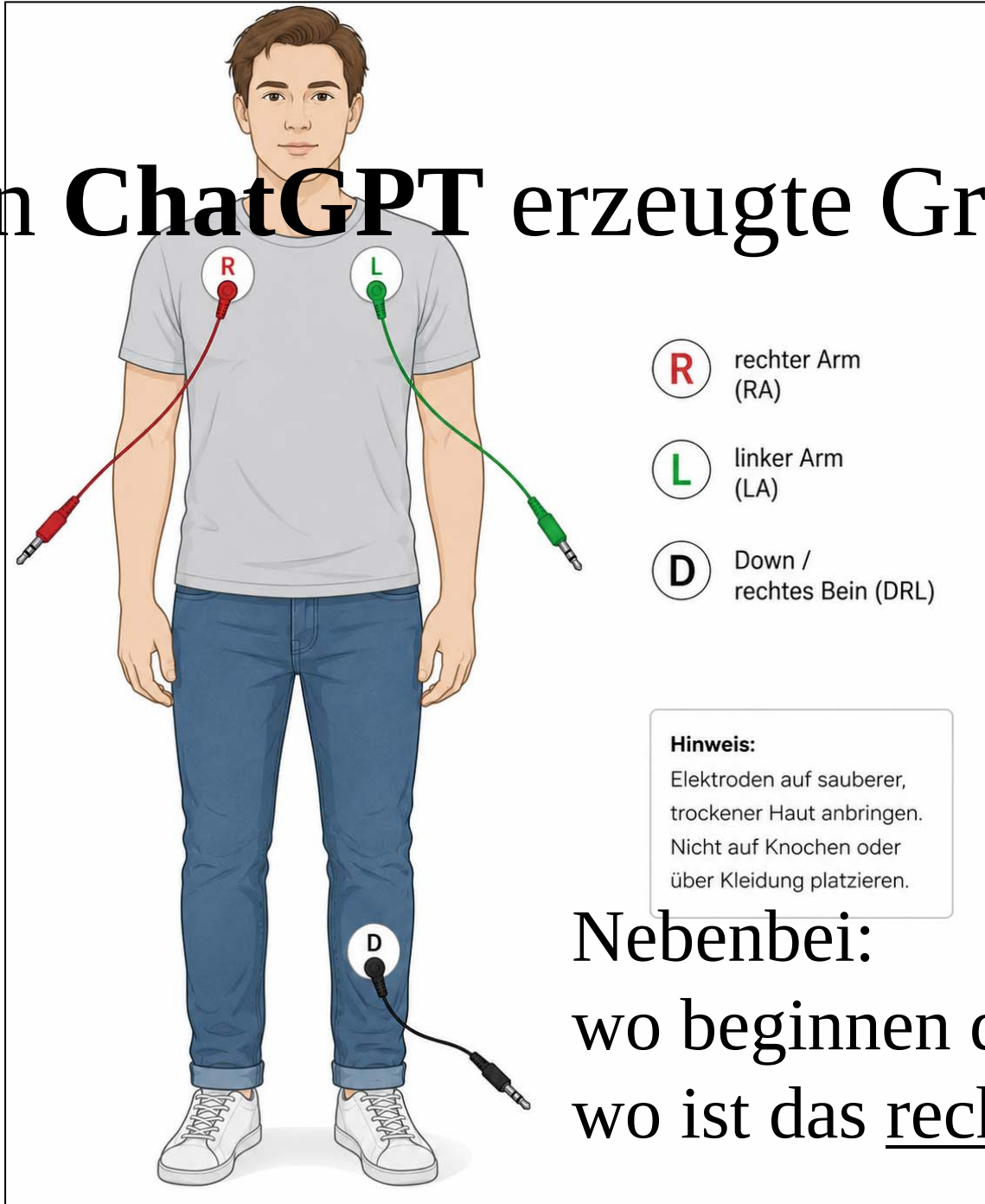
Kann man schon, aber die Analog-Elektronik auf
den Verstärker-Modulen leistet ganze Arbeit !
Das Anschließen der Elektroden direkt an den
Eingängen A0 und A1 sowie der
Referenzelektrode zeigt ein chaotisches Signal,
das nicht auf irgendwelche Herztätigkeiten
schließen läßt.

Warum braucht man **drei** Elektroden, um eine Potentialdifferenz zu messen?

- Die elektrische Spannung zwischen V_1 (**geLb**, Links) und V_2 (**Rot**, Rechts) beträgt meist weniger als 1 Millivolt und muss zur Verarbeitung erheblich verstärkt werden.
- Die auftretenden Stör-Spannungen sind oft höher als der Verstärker verträgt.
- Daher wird eine dritte Elektrode zur Referenz V_0 (**grün**, andere Körperstelle) benötigt.

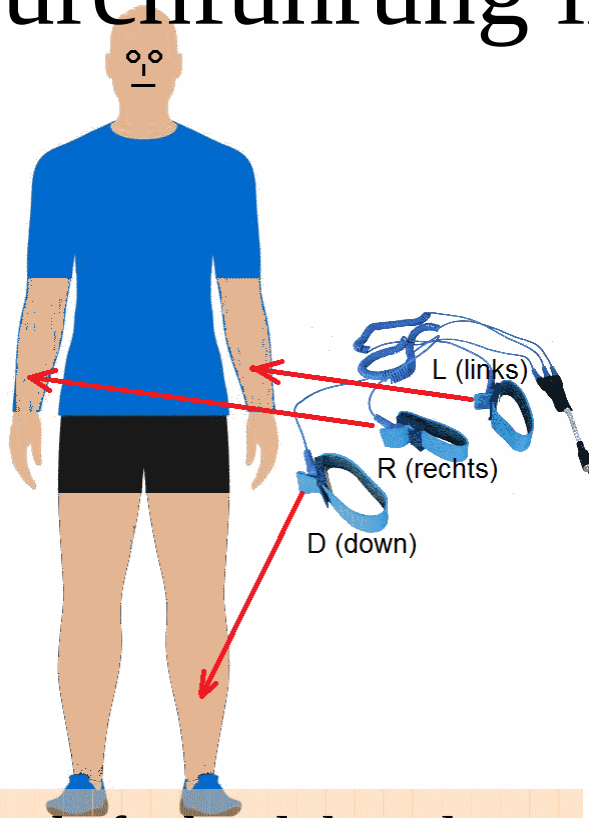
Farben nach **IEC**-Norm. **Die American Heart Association** hat eine andere Zuordnung festgelegt.

Von ChatGPT erzeugte Grafik



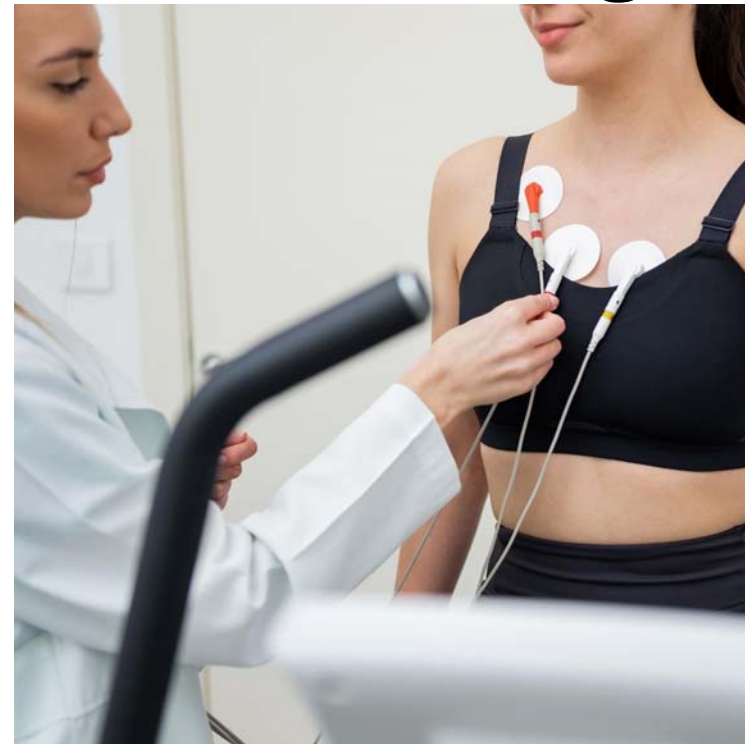
Nebenbei:
wo beginnen die Arme,
wo ist das rechte Bein?

Durchführung im Unterricht möglich



Mehrfach-Elektroden
mit elastischem Band

Zum Ausprobieren im Workshop geeignete Kleidung wählen!
Partnerarbeit empfohlen



Bildquelle: <https://www.amazon.de/EKG-Elektroden-Nassgel-Liquidgel-Einmalelektroden>

Einmal-Elektroden

Anzahl und Art der Elektroden

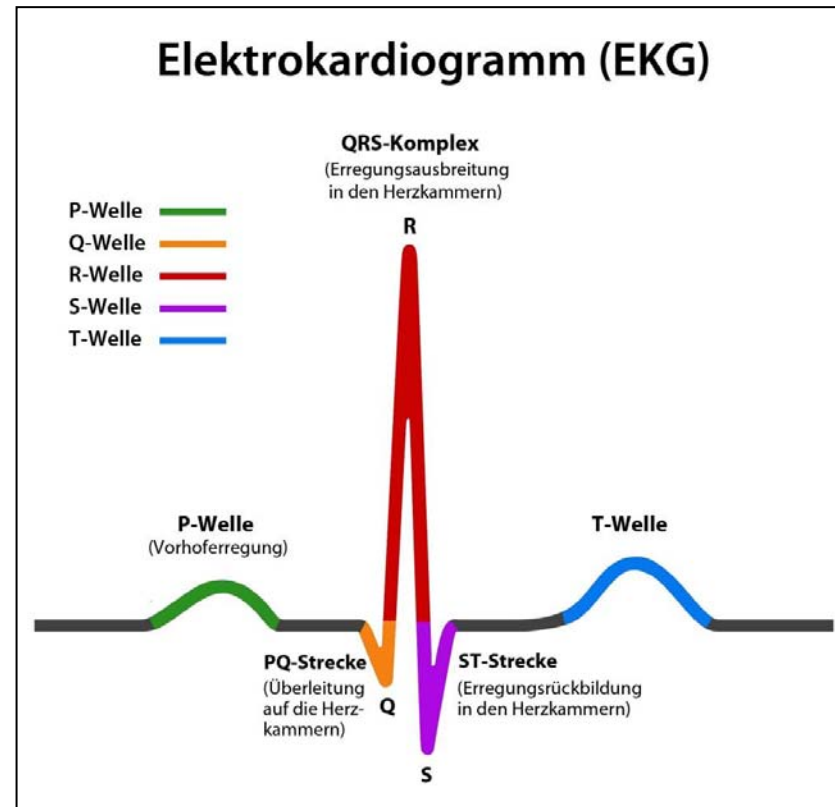
- Trotz der im vorigen Bild sichtbaren drei Elektroden handelt es sich hier um ein **Ein-Kanal-EKG**, genau wie die der Lehrmittelfirmen
- Medizinischer Standard sind derzeit **12-Kanal-EKGs**, benötigt werden aber nur 10 Elektroden.
- Im Gegensatz zu den hier gezeigten Passiv-Elektroden gibt es Aktiv-Elektroden mit eingebautem Signal-Vorverstärker.



Bildquelle:

<https://www.amazon.de/Wellue-24-Stunden-Echtzeit-EKG-Aufzeichnung>

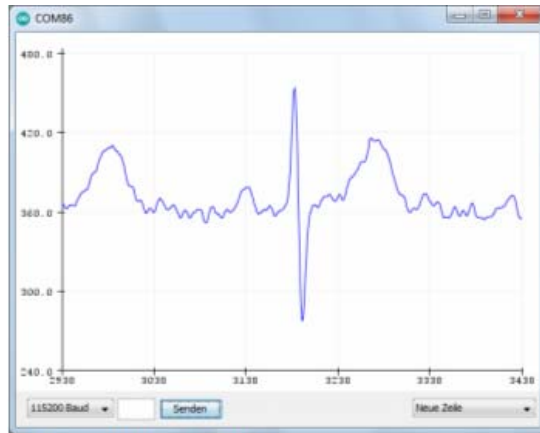
Typischer Verlauf eines EKG



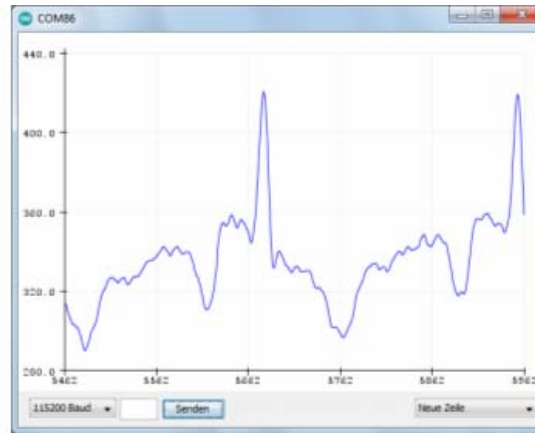
Dieser Vorgang wiederholt sich beim Menschen fast 100000 mal pro Tag

Bildquelle: <https://www.medpertise.de>

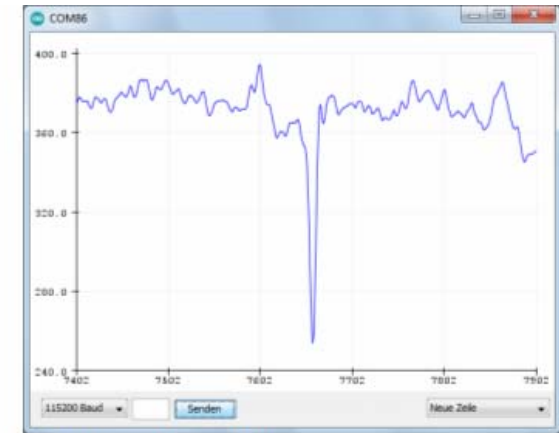
Elektroden nicht vertauschen!



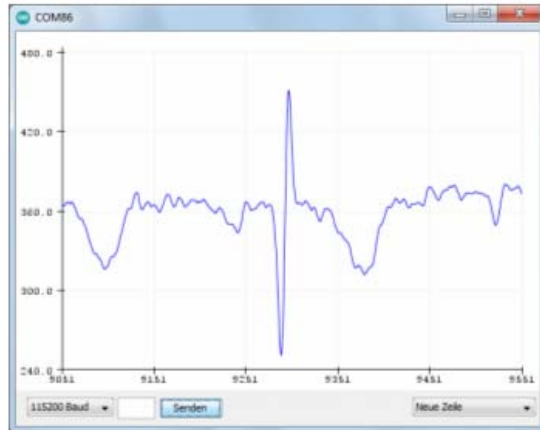
rechts - links - neutral



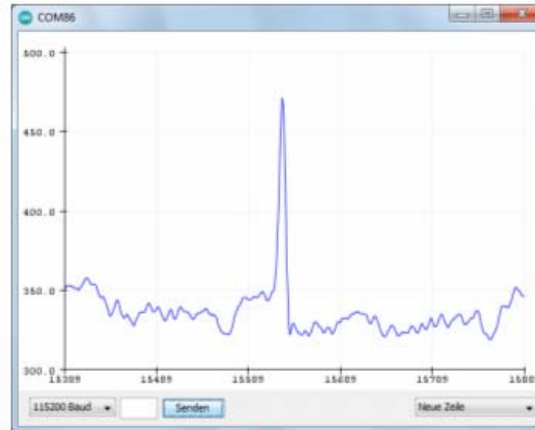
links - neutral - rechts



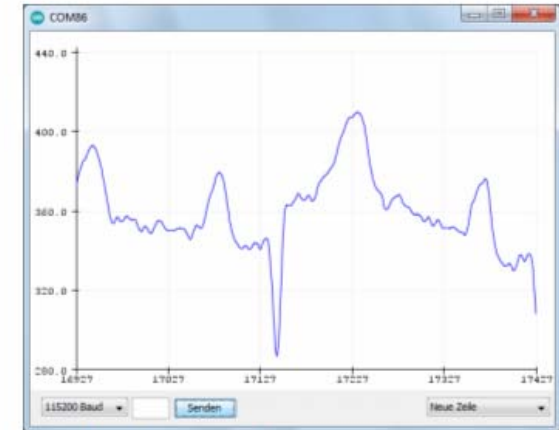
neutral - rechts - links



links - rechts - neutral



rechts - neutral - links

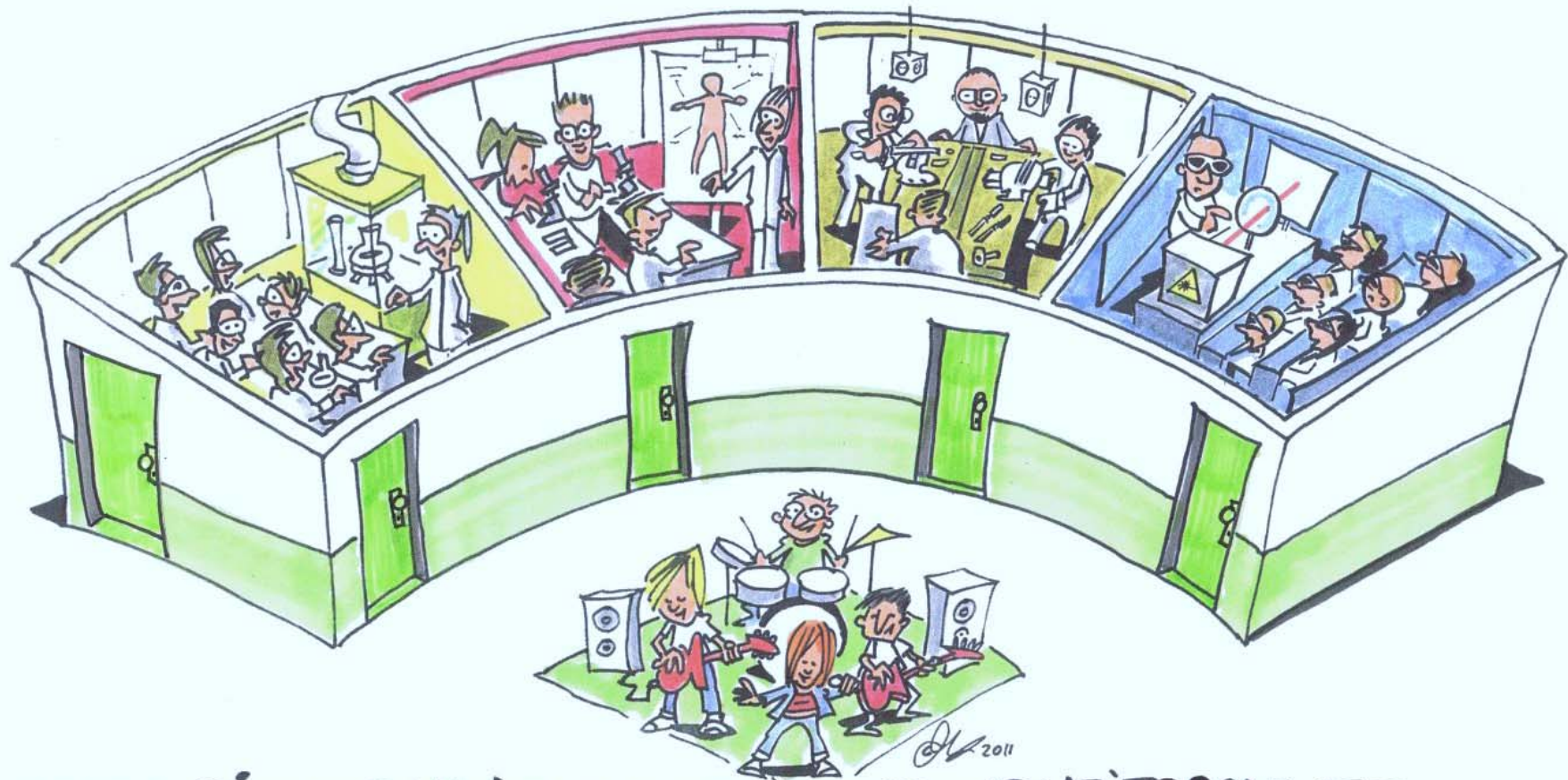


neutral - links - rechts

Die Workshop-Experimente

Was wird wo angezeigt?	Vorverarbeitung	Darstellung auf	Sicherheit/ Isolation
Zeit-Diagramm	Arduino UNO R4	IDE oder Browser	USB Isolator Tablet
Poincaré Diagramm	Arduino UNO R4	Browser	USB Isolator Tablet
Zeit-Diagramm	Arduino R4 WiFi	Smartphone + Phyphox	Bluetooth, Powerbank

Was muss beachtet werden?



RISU SICHERHEIT UND GESUNDHEITSSCHUTZ
IM UNTERRICHT



Bildquelle: <https://projects.arduinocontent.cc>

Empfehlenswert: USB-Isolator



Kostet ca. 10 Euro

Stromversorgung induktiv getrennt

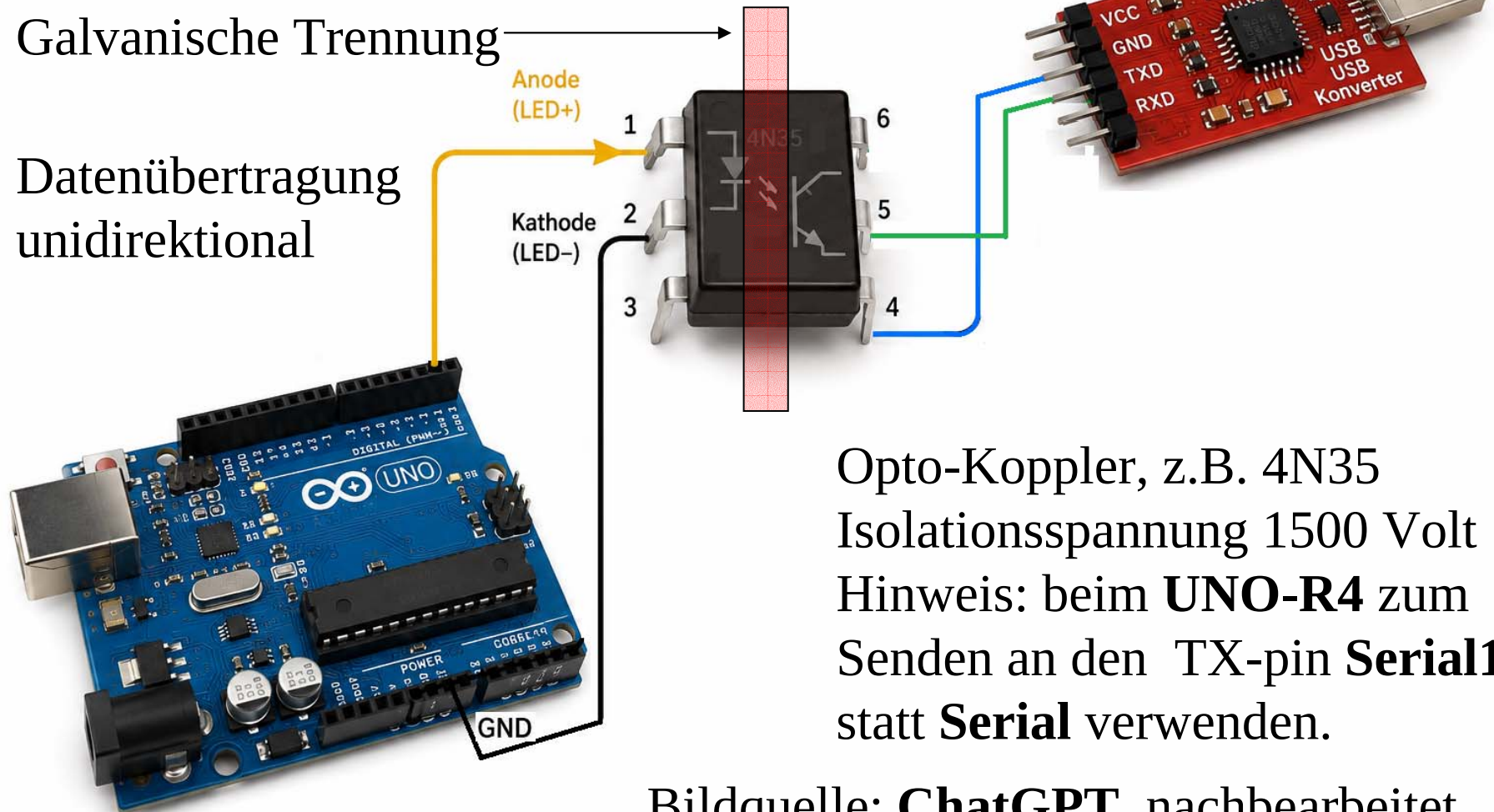
Datenübertragung bidirektional optisch

Außerdem reduziert er Brumm-Anteile im Signal

So geht es **sicher** auch

Galvanische Trennung

Datenübertragung
unidirektional



Opto-Koppler, z.B. 4N35
Isolationsspannung 1500 Volt
Hinweis: beim **UNO-R4** zum
Senden an den TX-pin **Serial1**
statt **Serial** verwenden.

Bildquelle: **ChatGPT**, nachbearbeitet.
Im Original-Bild von ChatGPT sind alle Pins falsch eingezeichnet.