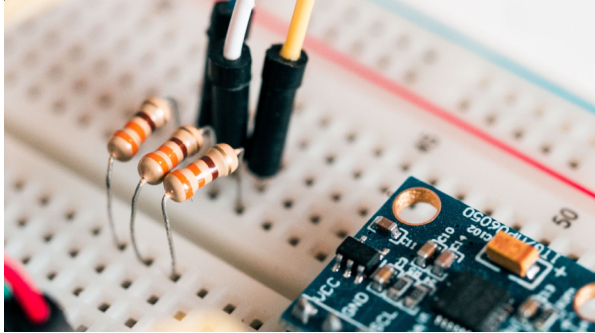

Elektronik für Informatiker

*Eine Einführung in Analoge und Digitale Systeme für Informatiker mit Elektronikgrundlagen
und Signalverarbeitung*

Prof. Dr. Stefan Bosse

Universität Koblenz - FB Informatik - FG Praktische Informatik

Überblick



Einführung



Worum geht es in diesem Kurs?

Einführung



Worum geht es in diesem Kurs?



Durchführung von funktionalen Berechnungen und Signalverarbeitung mit analogen elektronischen Schaltungen, vor allem mit dem Operationsverstärker sowie Schnittstellen zu digitalen Computern.

Einführung



Worum geht es in diesem Kurs?



Durchführung von funktionalen Berechnungen und Signalverarbeitung mit analogen elektronischen Schaltungen, vor allem mit dem Operationsverstärker sowie Schnittstellen zu digitalen Computern.



Statt Bits und Bytes und Boolescher Algebra sind hier elektrische Ströme und Spannungen, das Ohmsche Gesetz und die Kirchhoffsche Regel das Werkzeug.

Worum geht es?

Es geht um maschinelles Rechnen. Aber:



Kann man Berechnungen nur mit digitalen Rechnern durchführen?

Worum geht es?

Es geht um maschinelles Rechnen. Aber:



Kann man Berechnungen nicht auch mit analogen Maschinen durchführen?
Warum? Wieso? Wie? Was sind analoge Rechenmaschinen? Kann man die digitale Informatik abschaffen?

Worum geht es?

Es geht um maschinelles Rechnen.



Wir beschäftigen uns mit dem automatisierten Entwurf von analogen
Elektronikschaltungen für numerische Berechnungen und den Algorithmen dafür.

Worum geht es?

Es geht um maschinelles Rechnen.



Wir beschäftigen uns mit dem automatisierten Entwurf von analogen Elektronikschaltungen für numerische Berechnungen und den Algorithmen dafür.



Dabei sollen Analogrechner in Sensornetzwerken alleinstehend oder als Ergänzung (Koprozessor) eingesetzt werden. Die Miniaturisierung und Integration steht im Vordergrund.

Worum geht es?

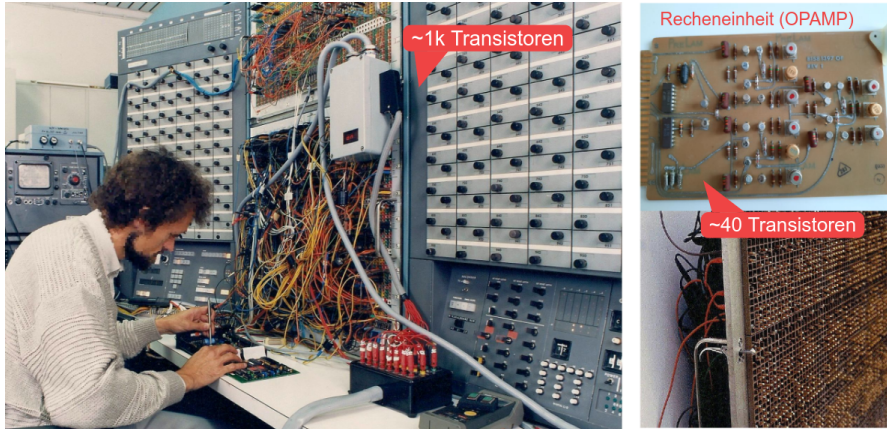


Abb. 1. Ein Analogrechner aus den 70er/80er Jahren zum Lösen von numerischen Problemen

Die Zeit vergeht ... und der Rost kommt.



Abb. 2. Ein Analogrechner aus den 70er/80er Jahren zum Lösen von numerischen Problemen - einige Jahre später...

Analog versa Digital

Analog

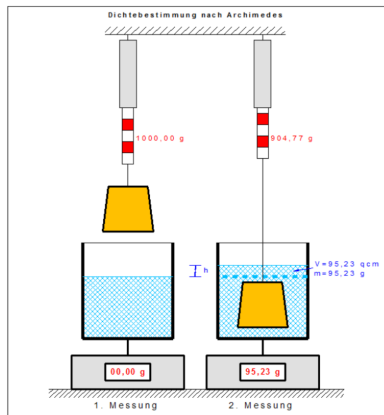
- Werte von Variablen sind kontinuierlich $\in \mathbb{R}$
- Signale (z.B. von Sensoren) sind wert- und zeitkontinuierlich
- "Auflösung" und Dynamikbereich der Werte nur durch physikalisches Rauschen begrenzt
- Abhängigkeit von Umweltbedingungen

Digital

- Werte von Variablen sind diskret $\in \mathbb{I} / \mathbb{F}$
- Signale (z.B. von Sensoren) sind wert- und zeitdiskret
- "Auflösung" und Dynamikbereich durch Anzahl von Bits und Kodierung bestimmt
- Keine Abhängigkeit von Umweltbedingungen

Analog versa Digital

Analog



Digital

Multiplikation dezimal

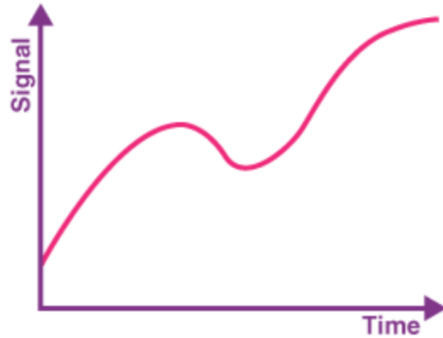
$$\begin{array}{r} 12 * 14 \\ \hline 12 \\ 48 \\ \hline 168 \end{array}$$

Multiplikation dual

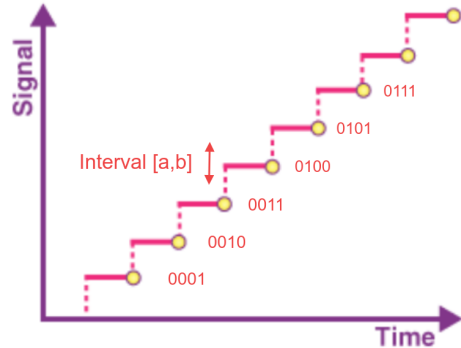
$$\begin{array}{r} 1100 * 1110 \\ \hline 1100 \\ 1100 \\ 1100 \\ 0000 \\ \hline 10101000 \end{array}$$

Analog versa Digital

Analog



Digital



Analog versa Digital

Kriterien und Eigenschaften

Präzision

Ein Messgerät gilt als präzise, wenn es Messwerte erzeugt, die möglichst eng um den Mittelwert der aufgenommenen Messreihe streuen.

Richtigkeit

Die Richtigkeit beschreibt die Differenz des Mittelwerts der Messwerte vom tatsächlichen, wahren Wert.

Genauigkeit

Ein Messgerät gilt als genau, wenn es Messwerte liefern kann, die möglichst eng und nahe am Referenz- beziehungsweise wahren Wert liegen, also präzise und richtig sind.

Analog versa Digital



Analoge Messtechnik und Analoge Signalverarbeitung gelten als unpräzise und ungenau.

Analog versa Digital



Analoge Messtechnik und Analoge Signalverarbeitung gelten als unpräzise und ungenau.

Digitale Messtechnik und digitale Datenverarbeitung gelten als präzise.

Analog versa Digital



Analoge Messtechnik und Analoge Signalverarbeitung gelten als unpräzise und ungenau.

Digitale Messtechnik und digitale Datenverarbeitung gelten als präzise.

Aber Richtigkeit und Genauigkeit in der digitalen Welt sind auch nur eine Illusion.

Rechnen auf kleinsten Raum ...

Keine Schaltschränke, sondern Staubkörner

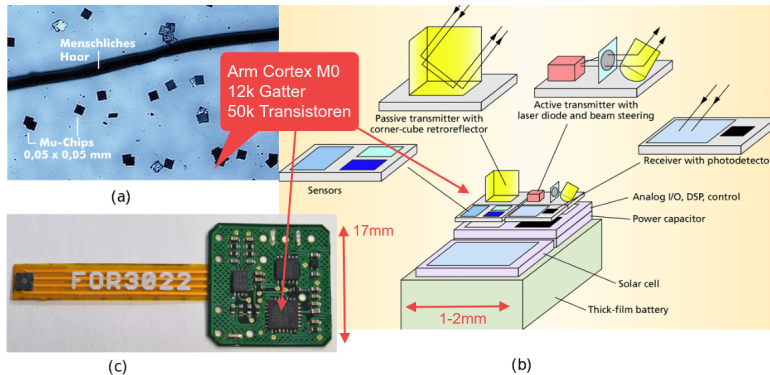


Abb. 3. (a) "Smart Dust" 50µm Mikrochip von Hitachi mit ARM Cortex Prozessor und RFID (b) "Smart Sensor Mote" von Warneke et al. (c) DFG Forschungsgruppe 3022, Drahtloser Sensorknoten, IMSAS Bremen

In-Sensor Berechnung

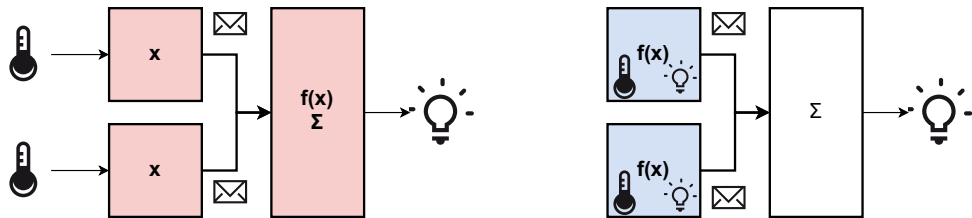


Abb. 4. (Links) Getrennte Sensoraufnahme, Vorverarbeitung, Kommunikation und zentrale Berechnung (Rechts) Berechnung im Sensor, Aggregation nur von reduzierten Informationen

"Programmierbare" Analogrechner on Chip

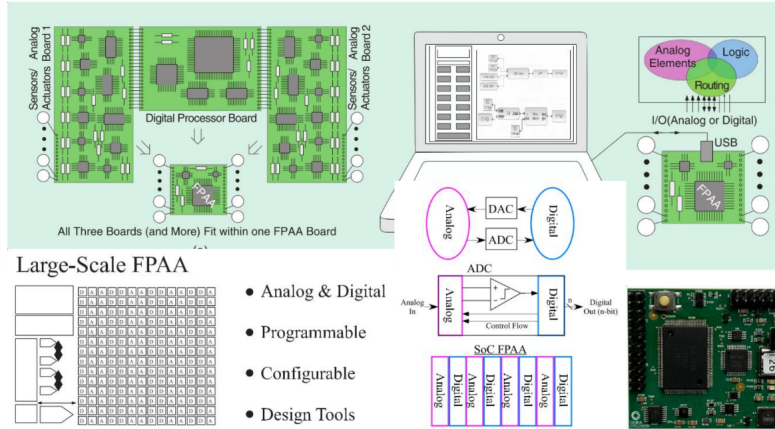
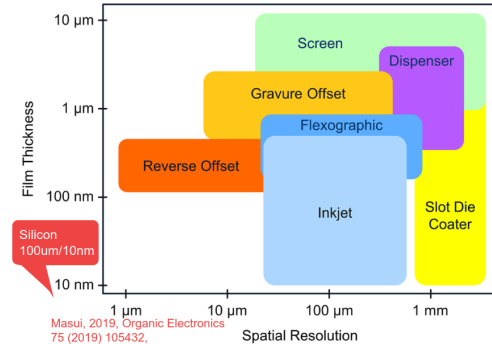
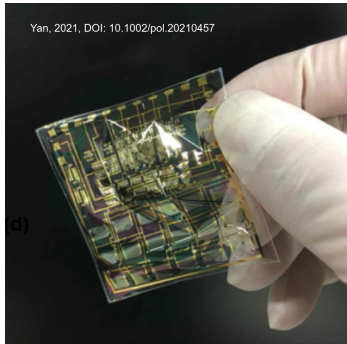


Abb. 5. Es geht auch klein: Feldprogrammierbare Analog Array (FPAA) Mikrochips mit digitaler Schnittstelle

Organische Elektronik

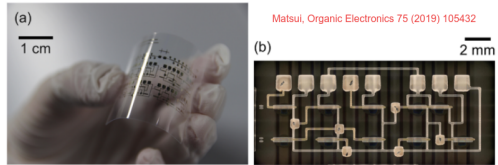
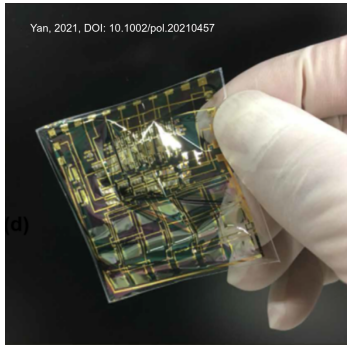
Flexible und gedruckte organische Transistoren: Von Materialien zu integrierten Schaltungen



Verschiedene Fertigungsverfahren und Größe von Transistoren

Organische Elektronik

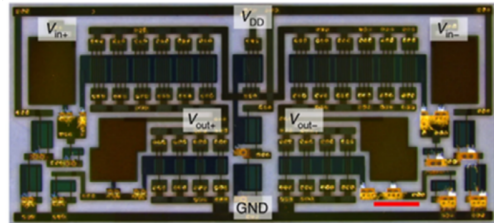
Flexible und gedruckte organische Transistoren: Von Materialien zu integrierten Schaltungen



Transistorgröße auf Folie

Yan, 2021, DOI: 10.1002/pol.20210457

2mm



Komplexe Schaltung (OPAMP)

Topics

1. Analoge und Digitale Berechnung
2. Grundlagen Elektronik und Sensorik
3. Der Operationsverstärker: Der analoge Universalrechner - vom mathematischen Modell zur Elektronikschaltung
4. Analog-Digital Schnittstellen und Wandlung
5. Sensoren, Signale und Signalverarbeitung
6. Berechnung mit Operationsverstärkern
7. Analoge Künstliche Neuronale Netzwerke
8. Simulation von Elektronikschaltungen: SimLab mit Spice3 und CircuitJS
9. Der technische Aufbau von Elektronikschaltungen: DiAnaLab mit Hardware Experimentierkasten
10. Praktische experimentelle Übungen

Übungsformat

1. Notebooks: Alle Übungen sind digital und werden im Web Browser bearbeitet (lokal, ggfs. off-line). Die Inhalte einer Übungseinheit werden als Datei im JSON Format gespeichert und hochgeladen.
2. Simulation (Browser, nativ)
3. Technische Experimente

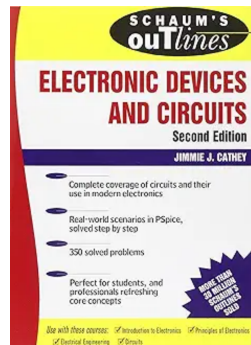
Alle Dokumente, Videos, und Übungen gibt es hier: <https://edu-9.de/Lehre/ads1k>.

Literatur

Manfred Rost, Sandro Wefel
Elektronik für Informatiker
De Gruyter Studium



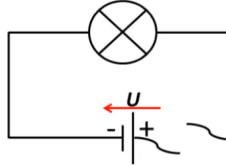
Jimmie J. Cathey
Schaum's Outline of Electronic Devices
and Circuits



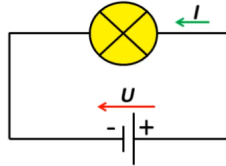
Elektrische Ströme und Spannungen



Unterbrochener Stromkreis



Geschlossener Stromkreis



<https://mg-spots.com/>

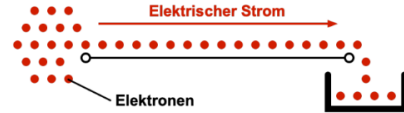
Spannungsquellen: Batterien, Akkus, Netzteile, Generatoren, Solarzellen ...

Abb. 6. Elektrische Spannung U , Stromfluss I

Elektrische Ströme und Spannungen

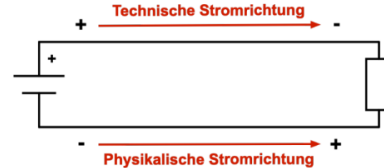
Was ist der elektrische Strom?

- Der elektrische Strom ist die Übertragung elektrischer Energie.
- Der elektrische Strom ist die Bewegung freier Ladungsträger.
- Ladungsträger sind Elektronen oder Ionen.



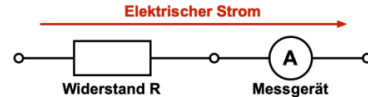
Stromrichtung

- Die technische Stromrichtung (historische Stromrichtung) verläuft von Plus (+) nach Minus (-).
- Die physikalische Stromrichtung (Flussrichtung der Elektronen) verläuft von Minus (-) nach Plus (+).
- Der Strom wird in Schaltungen mit einem (roten) Pfeil in die technische Stromrichtung angezeigt.

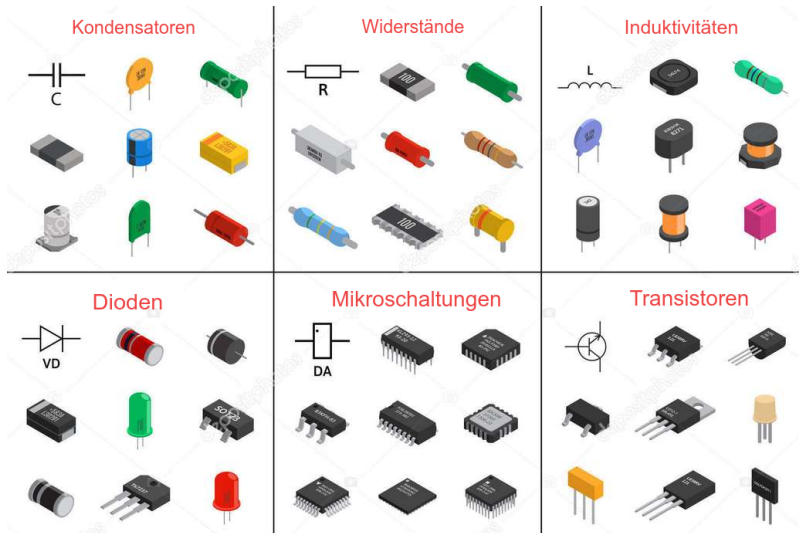


Messen des elektrischen Stroms

- Die Messung erfolgt in der Regel mit einem digitalen Vielfachmessgerät (Multimeter).
- Das Strommessgerät wird immer in Reihe zum Verbraucher angeschlossen.
- Während der Messung muss der Strom durch das Messgerät fließen.



Bauteile der Elektronik



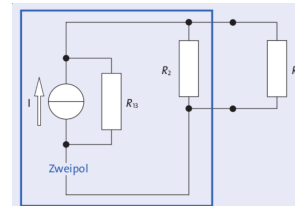
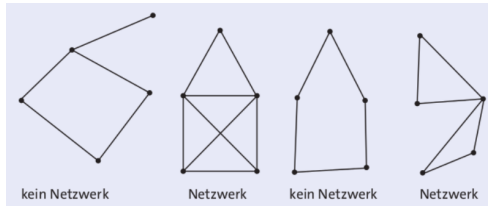
<https://catalogue-staging.gpccompany.com/study/simbologia-de-componentes-eletronicos.html>

Elektronische Schaltungen

Netzwerkberechnungen und Netzwerktheorie



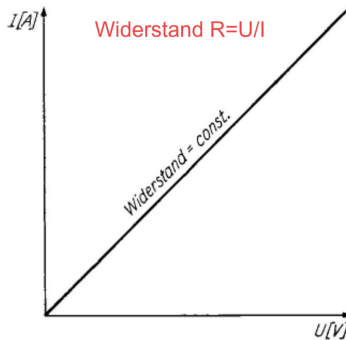
Netzwerke sind komplexe Schaltungen - und umgekehrt. Ein Netzwerk besteht aus Punkten, die miteinander in Verbindung stehen. Die Punkte müssen dabei so verbunden sein, dass mindestens ein Punkt mit drei anderen Punkten verbunden ist und dass jeder Punkt mit mindestens zwei anderen Punkten in Verbindung steht.



[Höwing, 2021]

Kennlinien

- In der Digitaltechnik und Informatik benutzt man funktionale Ausdrücke oder Diagramme um das Verhalten von Berechnungen, Algorithmen und Programmen zu beschreiben.
- In der Elektronik benutzt man häufig Kennlinien



Simulation

1. CircuitJS
2. Spice3

CircuitJS

CircuitJS ist ein vielseitiger, kostenloser und quelloffener elektronischer Schaltungssimulator, der direkt in einem Webbrowser ausgeführt wird und sowohl für die Online- als auch für die Offline-Verwendung zugänglich ist. Dieses Tool ist sehr interaktiv gestaltet und ermöglicht Benutzern das Experimentieren mit einer Vielzahl von elektronischen Komponenten wie Batterien, Widerständen, Induktivitäten und Kondensatoren.

CircuitJS eignet sich sowohl für Anfänger als auch für Fortgeschrittene und ermöglicht es den Lernenden, elektronische Schaltkreise durch einen praktischen Ansatz zu visualisieren und zu verstehen. Benutzer können Komponentenwerte, Ausrichtungen und Platzierungen einfach anpassen und erhalten so ein klares Verständnis von Konzepten wie Spannungsteilung, Stromfluss und grundlegenden Schaltungsoperationen. Diese virtuelle Umgebung hilft dabei, theoretisches Wissen in praktische Erkenntnisse umzuwandeln, indem das reale Schaltungsverhalten simuliert wird.

CircuitJS

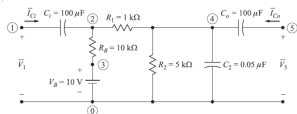
CircuitJS wurde ursprünglich von Paul Falstad entwickelt und später von Lush Projects erweitert und ist ein leistungsstarkes Lernwerkzeug, das die Komplexität des Lernens elektronischer Schaltkreise vereinfacht. Es ist besonders vorteilhaft für Studenten und Pädagogen und bietet eine benutzerfreundliche Oberfläche, die das effektive Lehren und Lernen von Schaltungsprinzipien unterstützt. Indem es Benutzern ermöglicht, Schaltkreise interaktiv zu manipulieren, erleichtert CircuitJS das Erfassen der Grundlagen der Elektronik und deren Anwendung in praktischen Szenarien.

CircuitJS



Spice3

Schaltung

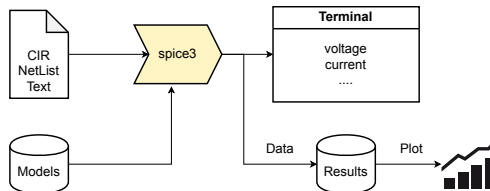
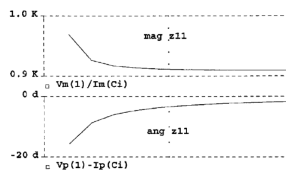


Spice3 Netzliste

```

Ex1_9.CIR - z-parameter evaluation
.PARAM I1value=1mA I5value=0mA
I1 0 1 AC (I1value)
R10 1 0 1Tohm ; Large resistor to avoid floating node
C1 1 2 100uF
RB 2 3 10kohm
VB 0 3 DC 10V
R1 2 4 1kohm
R2 4 0 5kohm
C2 4 0 0.05uF
Co 5 4 100uF
I5 0 5 AC (I5value)
R50 5 0 1Tohm ; Large resistor to avoid floating node
.AC LIN 11 10kHz 100kHz
.PROBE
.END
  
```

Simulationsergebnisse



Technische Experimente

DiAnaLab

In Kombination mit dem Elektronikstecksystem der Firma ELV mit Operationsverstärkern (Analogrechner)

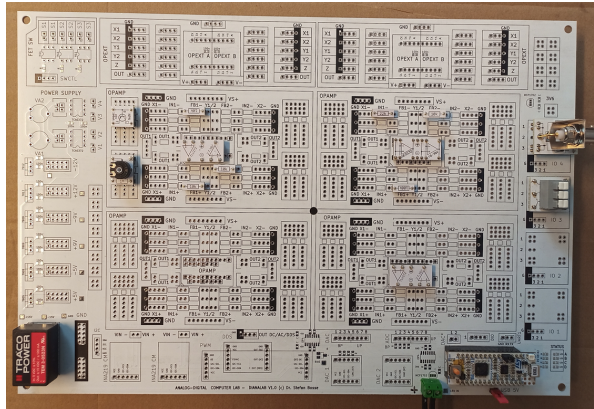
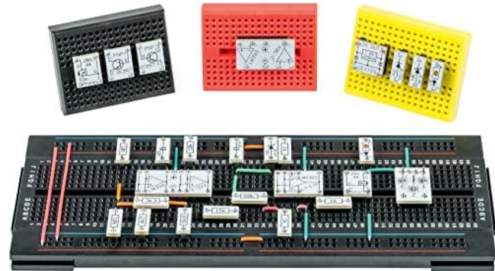
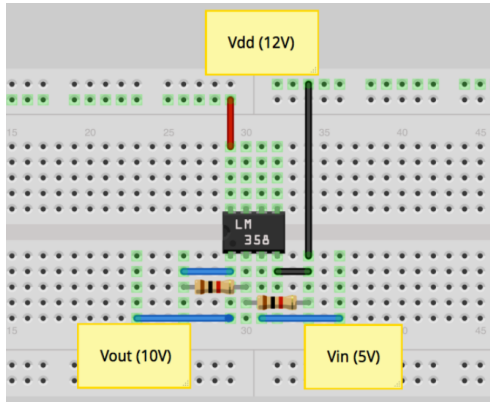


Abb. 7. Das Experimentierboard DiAnaLab: 8 universelle Recheneinheiten (OPAMP), 2-4 Multipliziereinheiten, Stromversorgung, Ergänzungsplätze, STM32 μ Controller, AD- und DA Wandler, PWM Module (ohne Verdrahtung)

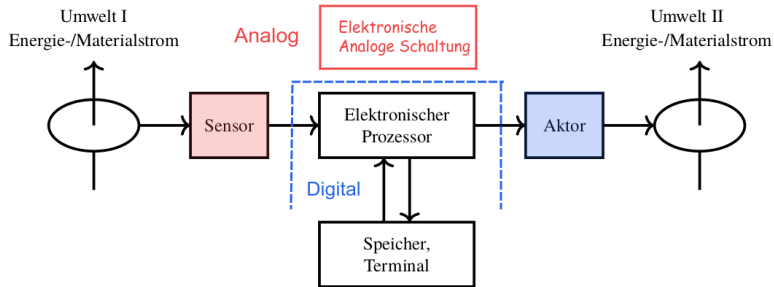
Technische Experimente

- Die technischen Experimente können auch mit eigenen Mitteln zu Hause mit einem einfachem Steckbrett und ggfs. den ELV Bauteilkomponenten durchgeführt werden.
- Alle Bauteile sind frei erhältlich



Sensoren und Aktoren

- Robotik
- Mess- und Prüftechnik
- Alltägliche Geräte
- Mobile Geräte



[Rost, Wefel, 2021]

Sensoren und Aktoren

- Abstandssensoren, Längen- und Wegmessung
- Beschleunigungssensoren
- Elektrische Größen (Spannung, Strom)
- Wärme, Temperatur
- Akustik, Schallwellen (Mikrofon)

Signale und Signalverarbeitung

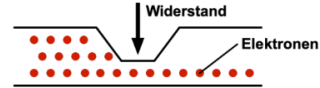
Zwei Signalarten sind zu unterscheiden: Stationäre Signale und zeitabhängige Signale.

- Robotik
- Mess- und Prüftechnik
- Alltägliche Geräte
- Mobile Geräte

Elektrischer Widerstand

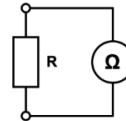
Was ist der elektrische Widerstand?

- Der elektrische Widerstand wird auch als ohmscher Widerstand bezeichnet. Er ist ein Verbraucher.
- Der elektrische Widerstand nimmt Einfluss auf die Größe von Spannungen und Strömen in Schaltungen.
- Effekt: freie Ladungsträger werden in ihrem Fluss gestört.
- Der elektrische Widerstand hat die Aufgabe, den Strom und die Spannung in einem Stromkreis zu begrenzen.



Messen des elektrischen Widerstands

- Die Messung erfolgt mit einem digitalen Vielfachmessgerät (Multimeter).
- Das Messgerät muss immer parallel zum Widerstand angeschlossen sein.
- Der zu messende Widerstand muss stromfrei sein, weil der Strom für die Messung aus dem Messgerät kommt.
- Das Messen ist nur an einem normalen Widerstand sinnvoll.



Elektrischer Widerstand

Maßeinheiten

$1.000.000 \Omega = 1 \text{ M}\Omega$ (Megaohm)

$100.000 \Omega = 100 \text{ k}\Omega$ (Kiloohm)

$10.000 \Omega = 10 \text{ k}\Omega$ (Kiloohm)

$1.000 \Omega = 1 \text{ k}\Omega$ (Kiloohm)

100Ω (Ohm)

10Ω (Ohm)

1Ω (Ohm)

$0,1 \Omega = 100 \text{ m}\Omega$ (Milliohm)

Die Maßeinheit für den elektrischen Widerstand ist Ohm mit dem Kurzzeichen „ Ω “. Omega ist ein Buchstabe aus dem griechischen Alphabet.

Große Widerstände werden in Kiloohm ($\text{k}\Omega$) oder Megaohm ($\text{M}\Omega$) angegeben. Kaum messbare Widerstände liegen im Bereich von Milliohm ($\text{m}\Omega$).

Formelzeichen

R : Elektrischer Widerstand

r : dynamischer Widerstand

R_1 : Widerstand 1

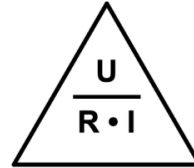
Das Formelzeichen des elektrischen Widerstands ist das große „ R “. Es steht für die englische Bezeichnung Resistor oder Resistance.

Davon abweichend gibt es verschiedene Schreibweisen in Groß- und Kleinschreibung mit zusätzlichen Kennzeichen, die eine bestimmte Bedeutung haben. Eine Zahl oder ein Buchstabe als Index kennzeichnen einen bestimmten Widerstand in einer Schaltung.

Ohmsches Gesetz

Was ist das Ohmsche Gesetz?

- Das Ohmsche Gesetz drückt aus, dass in einem „Leiter“ die Werte von Strom und Spannung direkt proportional sind.
- Das Ohmsche Gesetz definiert einen linearen Zusammenhang zwischen der Spannung U , dem Strom I und dem Widerstand R .
- Die Formel URI ist die mathematische Darstellung des Ohmschen Gesetzes.



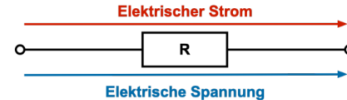
$$U = R \cdot I$$

$$R = \frac{U}{I}$$

$$I = \frac{U}{R}$$

Grundgrößen

- Elektrische Spannung U in Volt (V)
- Elektrischer Strom I in Ampere (A)
- Elektrischer Widerstand R in Ohm (Ω)



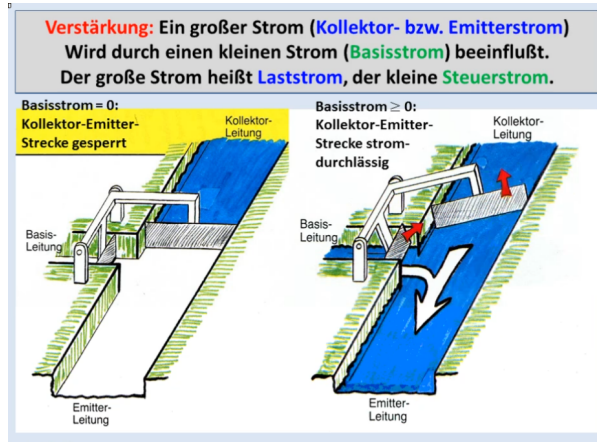
Wann gilt das Ohmsche Gesetz und wann nicht?

- Das Ohmsche Gesetz gilt nur für normale Widerstände.
- Das Ohmsche Gesetz gilt NICHT für Halbleiter, wie Lampen oder Dioden.



Bauelemente

Transistoren als Verstärker



<https://mg-spots.com/>

Abb. 8. Veranschaulichung des Transistorprinzips mit einem "Wasserkraftwerk"

Transistoren: Elektrisch

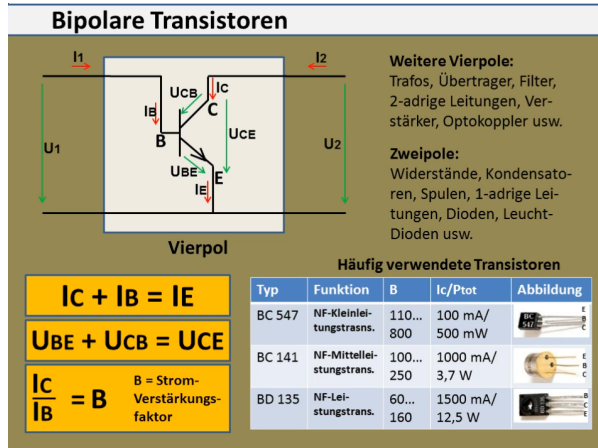
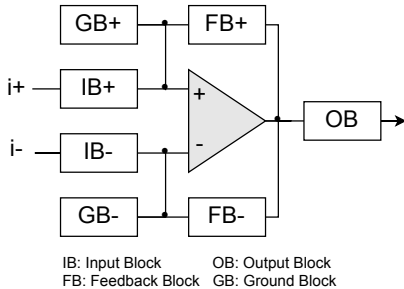

<https://mg-spots.com/>

Abb. 9. (Bipolare) Transistoren: Stromfluss und Spannungen

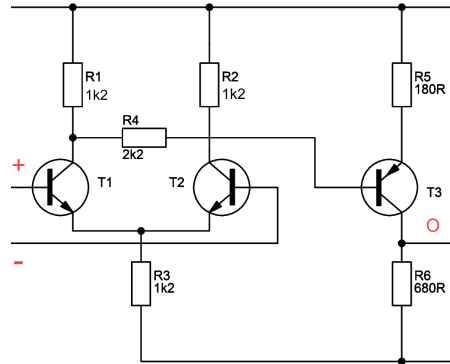
Die Elementarzelle: Der Operationsverstärker

Funktionsblock



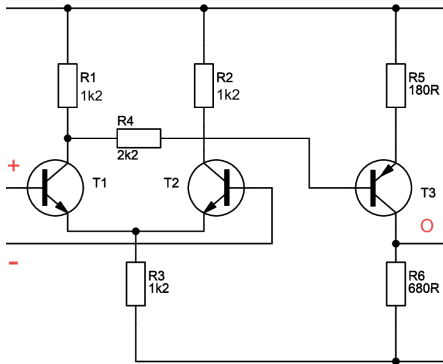
Spannungsgesteuerte Spannungsquelle Stromgesteuerte Spannungsquelle

E-Schaltung



Die Elementarzelle: Der Operationsverstärker

E-Schaltung



Demo zum Begreifen

