

Erfassung bioelektrischer Signale

R. Rödel

Bioelektrischer Signale

- Potentialdifferenzen mit
- Ursprung an den Membranen von Nerven- und Muskelzellen
- Ruhepotenzial, Aktionspotenzial

EKG	Elektrokardiogramm	Herz
EEG	Elektroenzefalogramm	Gehirn
EMG	Elektromyogramm	Muskel
EKG	Elektrogastrogramm	Magen
EUG	Elektrouterogramm	Gebärmutter
ERG	Elektroretinogramm	Netzhaut (Auge)
EOG	Elektrookulogramm	Augenbulbus
ENG	Elektronystagmogramm	Innenohr
AEP	akustisch evozierte Potentiale	Hörbahn
OEP	olfaktorisch evozierte Potentiale	Riechbahn

Bioelektrische Signale

Signal	Frequenz [Hz]	Amplitude [mV]
EKG (Herz)	0,2–200	0,1–10
EEG (Hirn)	0,5–100	2–100 μV
EMG (Muskel)	10–10000	0,05–1
EGG (Magen)	0,02–0,2	0,2–1
EUG (Gebärmutter)	0–200	0,1–8
ERG (Retina)	0,2–200	0,005–10
EOG (Auge)	0–100	0,01–5
FAEP (Hirnstamm)	100–3000	0,5–10 μV
SEP (somato-sensibles System)	2–3000	0,5–10 μV
VEP (visuelles System)	1–300	1–20 μV

Erfassung biologischer Signale

bioelektrisch

- Ableitung mittels Elektroden, 2 Pole
- monopolar
 - Pol 1 auf elektrisch aktivem Gebiet
 - Pol 2 auf elektrisch inaktivem gebiet (z. B. Ohrläppchen bei EEG)
- bipolar
 - beide Pole auf elektrisch aktivem Gebiet

Elektrische Wandler

sind Ableitelektroden, wandeln Ionenstrom in Elektronenstrom (elektrisches Signal) um

je nach Eigenschaft des Biosignals, Lokalisation und Ausdehnung:

Mikroelektroden (Glaskapillar-, Metallmikroelektroden)
Makroelektroden (Oberflächenelektroden, subkutane Nadelektroden, Tiefenelektrode)

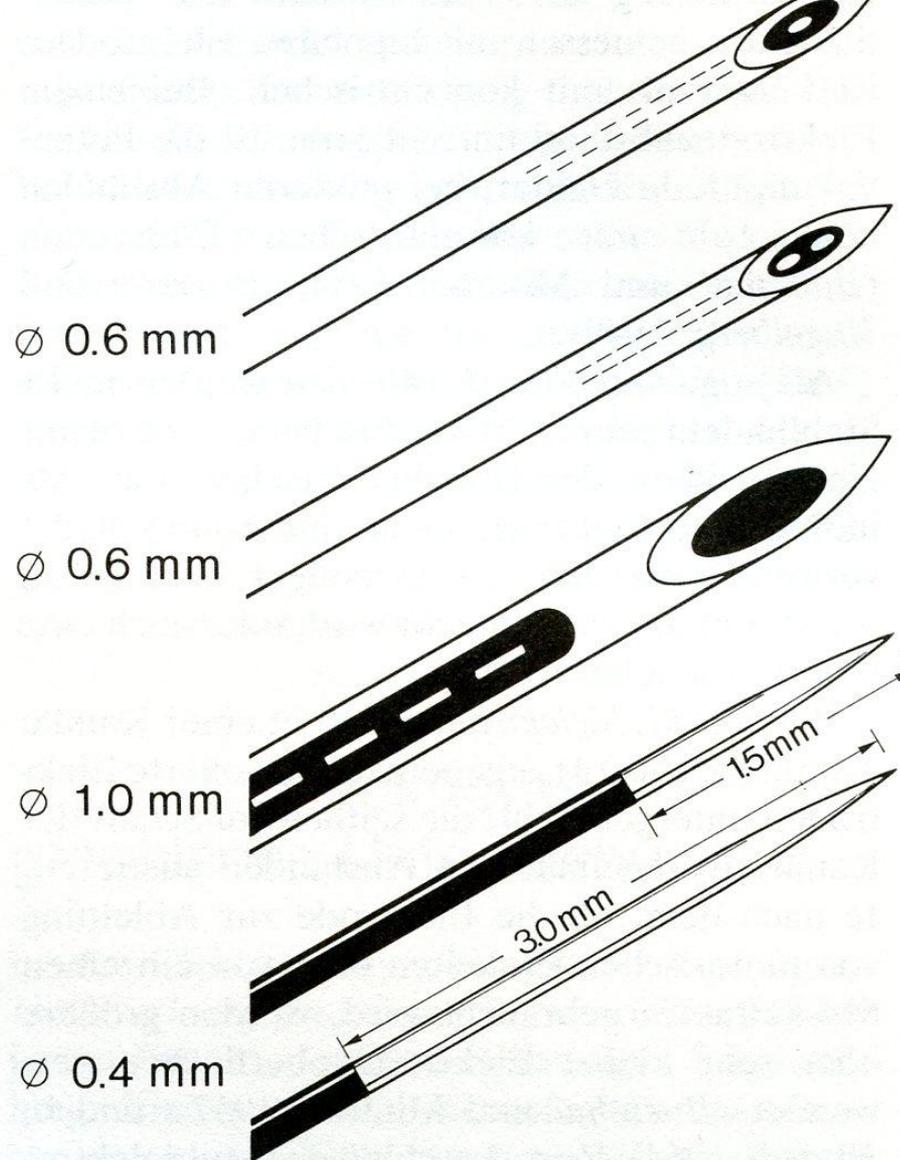
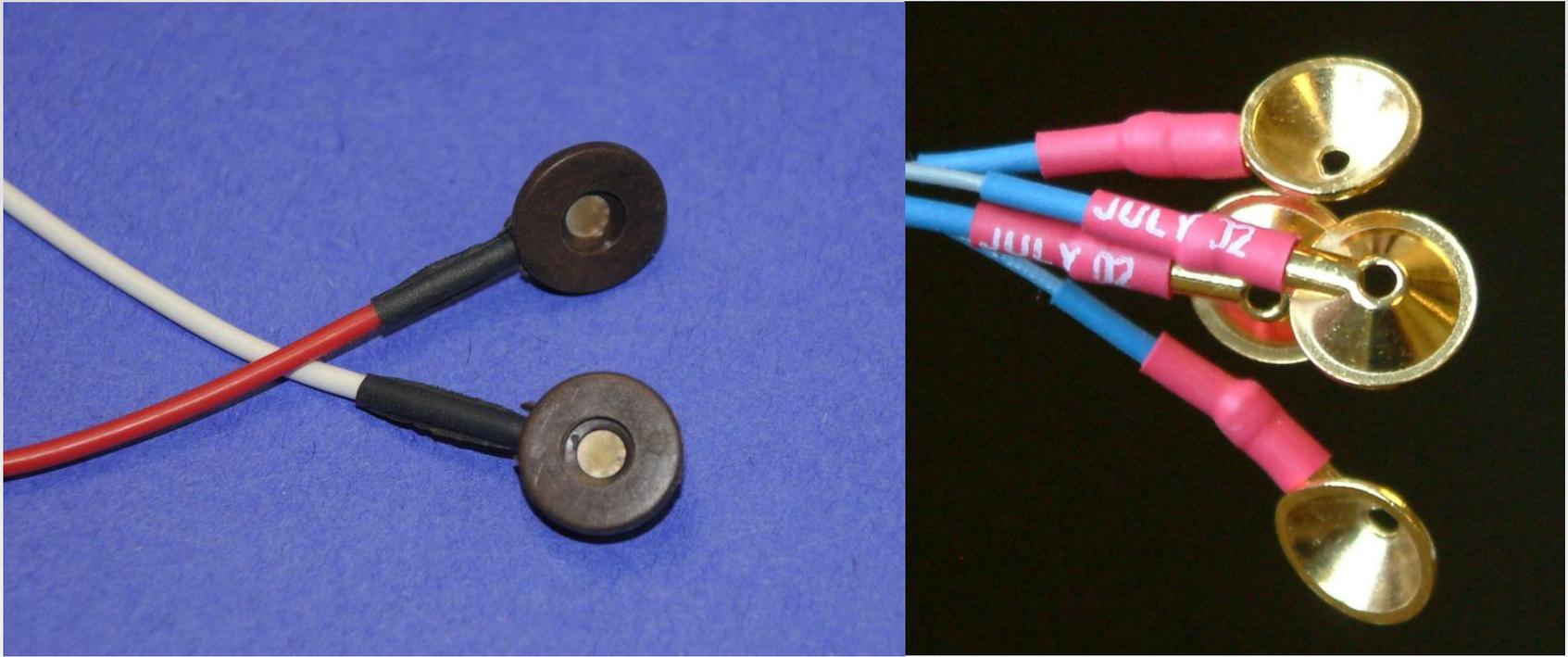
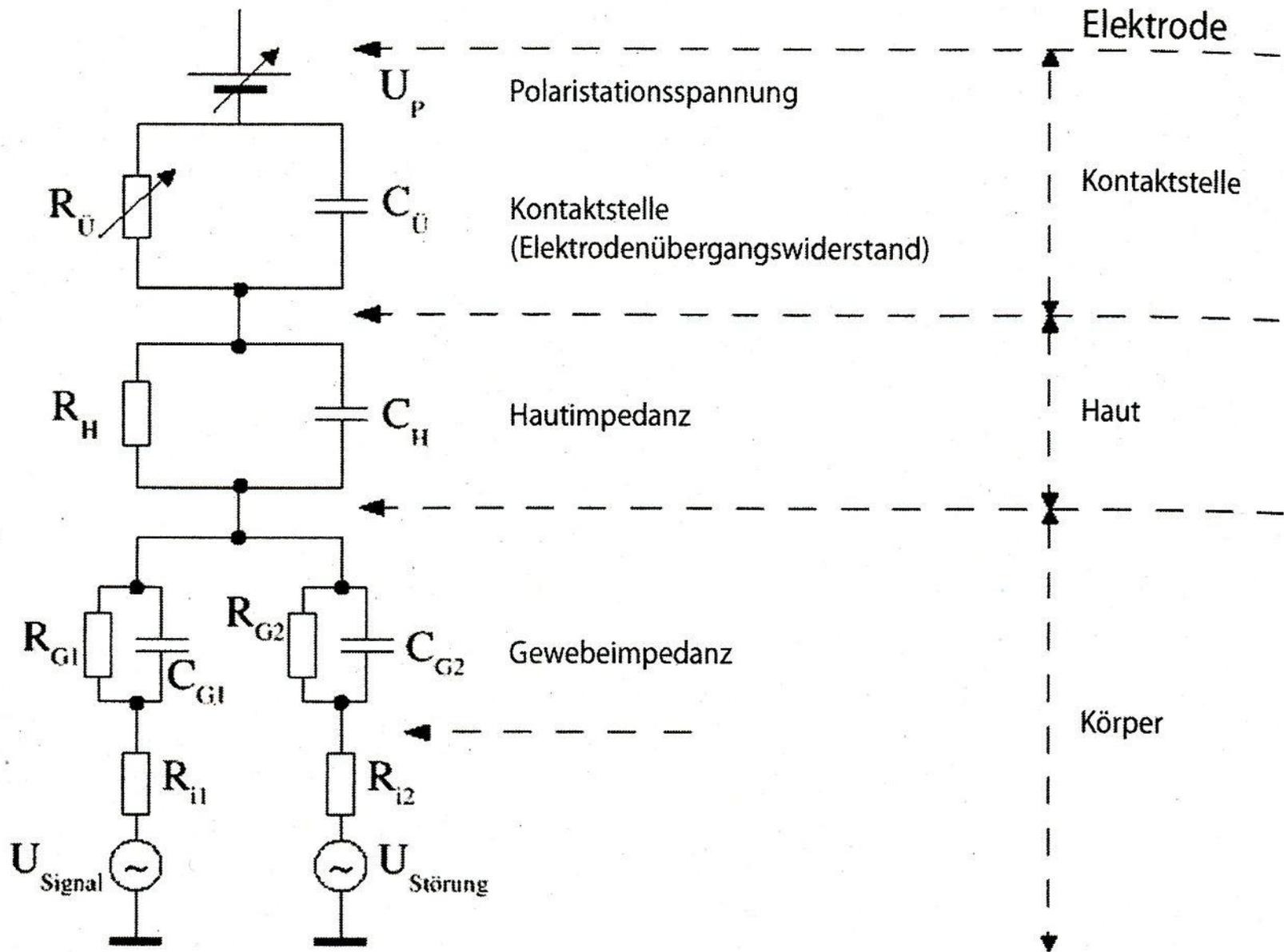


Abb. 11 Schematische Darstellung verschiedener Typen von Nadelelektroden: konzentrische Elektrode, bipolare Elektrode, Teil einer Multielektrode und unipolare Elektrode (oben differente, unten indifferente Elektrode).



Oberflächenelektroden (monopolar) aus Gold, goldbeschichtet



Elektrisches Ersatzschaltbild bei Ableitung von Biopotentialen mittels Oberflächenelektroden

Signalverarbeitung

Korrektur eines nicht linearen Übertragungsverhaltens

Eingrenzen des Frequenzganges

Eliminierung von Artefakten

- Analog
 - diskrete Bauweise
 - Operationsverstärker
- Digital
 - Analog digital Wandler (ADC), Speicher
 - Digitale Bearbeitung (z. B. Fouriertransformation)
- Sonderverfahren: Mittelungstechnik

Verstärker

Typischerweise Operationsverstärker mit

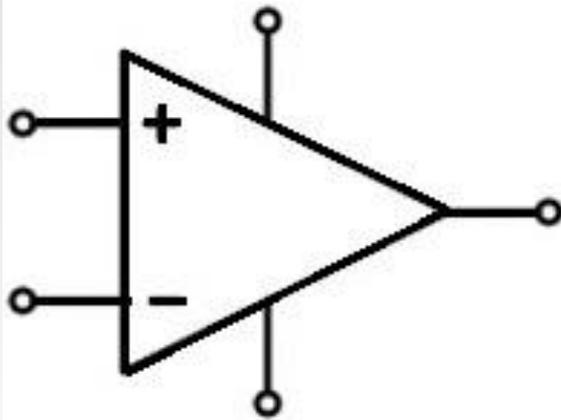
Impedanzwandler: → hoher Eingangswiderstand
geringer Ausgangswiderstand

Differenzverstärker: hohe Gleichtaktunterdrückung

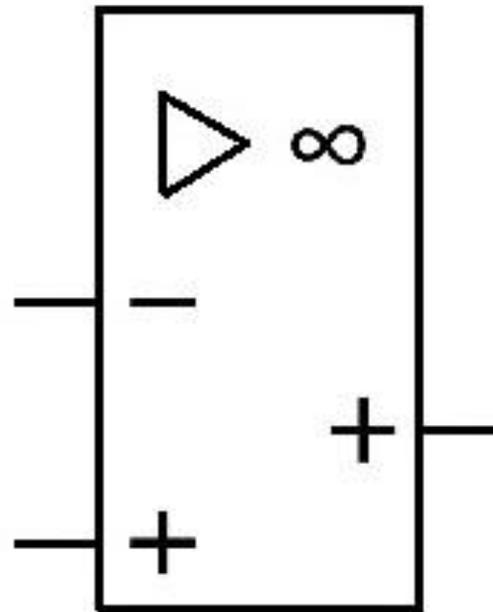
je nach Eigenschaften des Biosignals Anforderung an:

- Empfindlichkeit, Verstärkung
- Linearität (zwischen Ein- und Ausgang)
- Frequenz-, Phasengang
- Rauschen

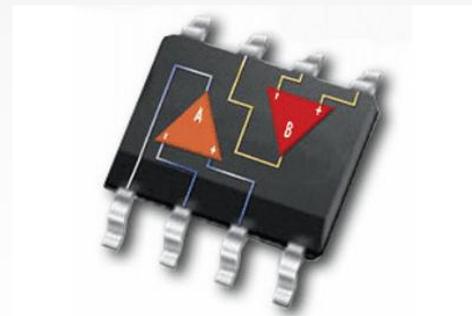
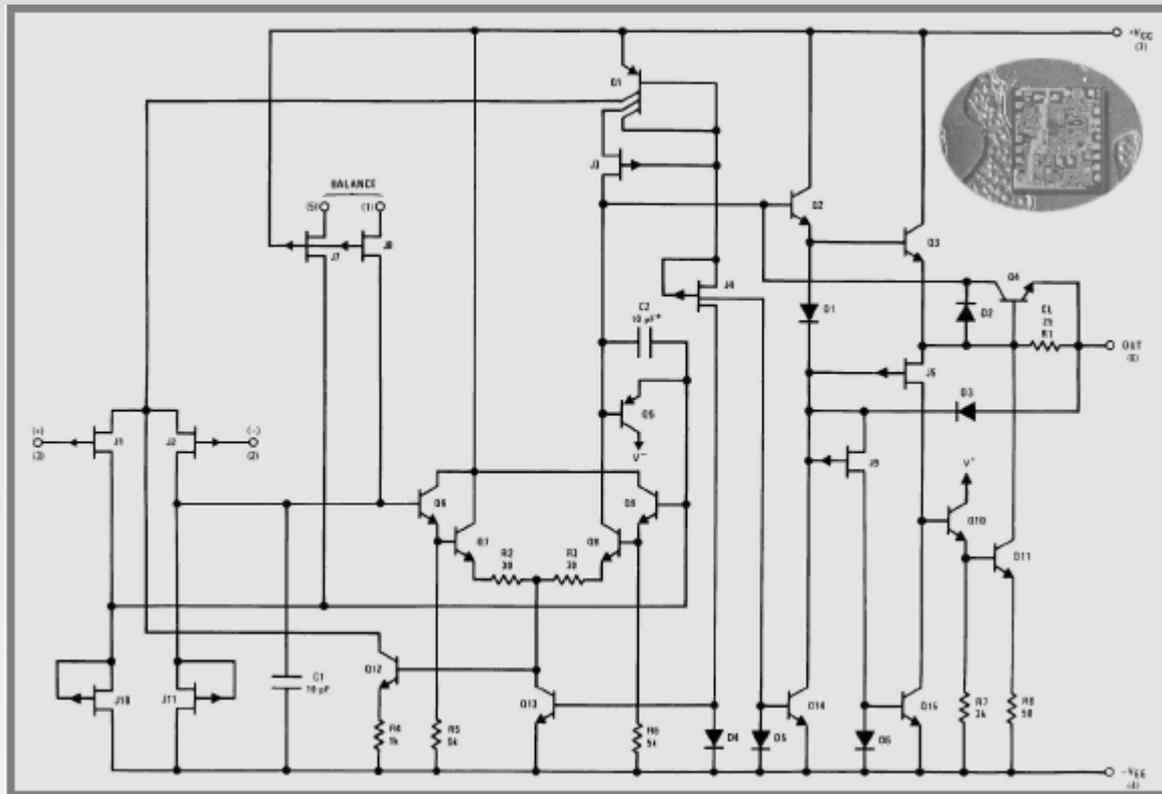
Operationsverstärker



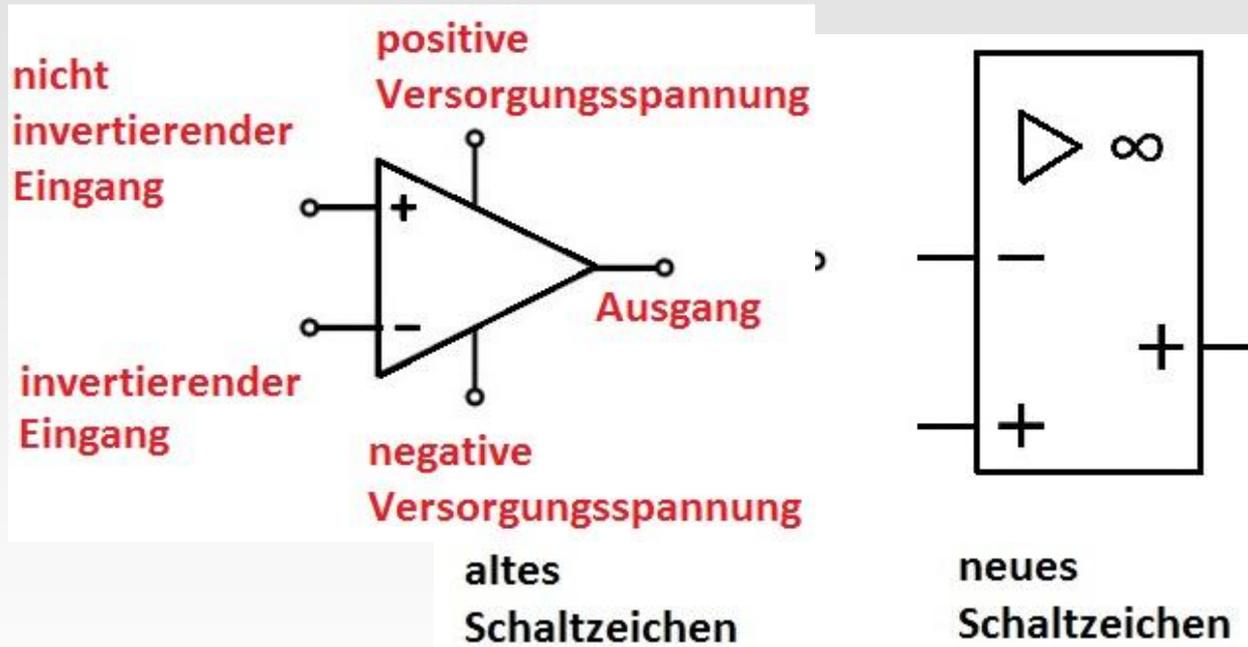
**altes
Schaltzeichen**



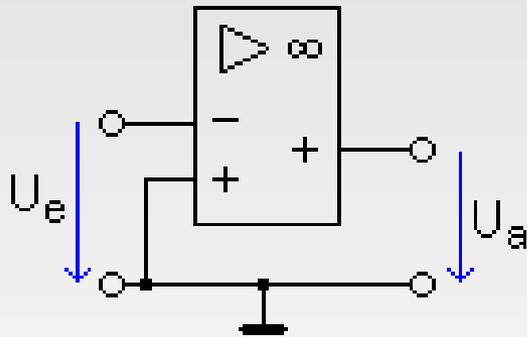
**neues
Schaltzeichen**



Operationsverstärker

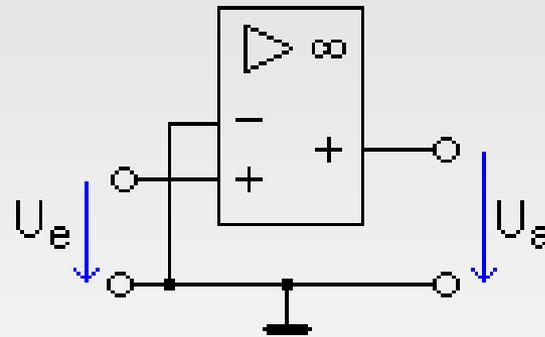


Schaltungsvarianten



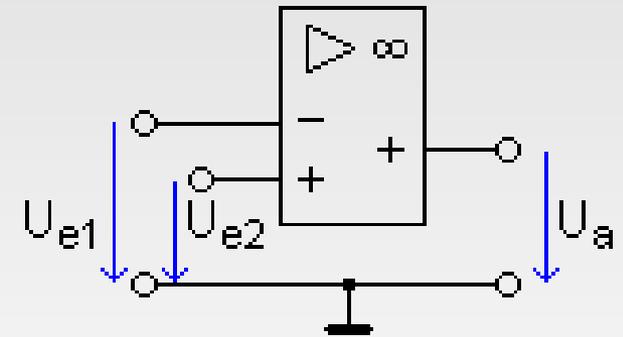
$$U_a = -V \cdot U_e$$

Invertierend



$$U_a = V \cdot U_e$$

Nicht-invertierend



$$U_a = -V \cdot (U_{e1} - U_{e2})$$

Differenzbetrieb

Differenzspannung:

Zwischen Eingang (+) und Eingang (-) liegt Differenzspannung U_D .

$$U_D = U_P - U_N$$

Beispiel: am positiven Eingang (+) Spannung von 3 mV
am negativen Eingang (-) eine Spannung von 2 mV.
Differenzspannung $U_D = 3 \text{ mV} - 2 \text{ mV} = 1 \text{ mV}$

Differenzverstärkung:

Der Operationsverstärker verstärkt die Differenzspannung (U_D).

Differenzverstärkung (V_D) ist typenabhängig

Verstärkung von 100.000 oder mehr ist mit sehr vielen OPs möglich

$$U_A = V_D \cdot U_D$$

Beispiel 1: Differenzspannung U_D zwischen den beiden Eingängen -1 mV.

Differenzverstärkung V_D sei 1000.

Ausgangsspannung $U_A = V_D \cdot U_D = -1 \text{ mV} \cdot 1000 = -1 \text{ V}$.

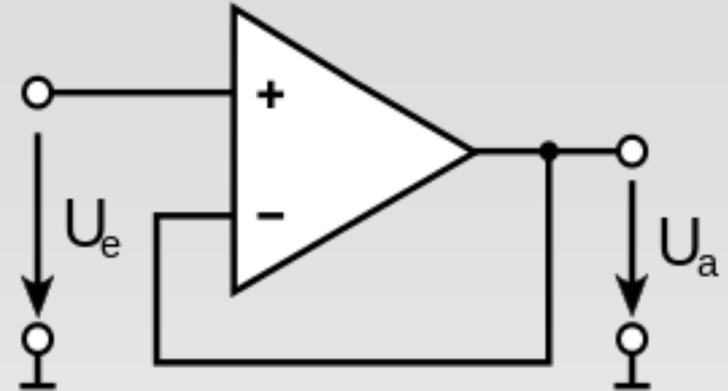
Beispiel 2: Differenzspannung 0,6 mV.

Verstärkung beträgt 10^6 . Der OP wird mit +15 V und -15 V Spannung versorgt.

Ausgangsspannung $U_A = V_D \cdot U_D = 0,6 \text{ mV} \cdot 10^6 = 600 \text{ V}$!

Nicht möglich, denn der OP wird nur mit +15 V und -15 V versorgt.

Ausgang des OP etwas unter der +15 V Versorgungsspannung (ca. +14 V)



Impedanzwandler (Spannungsfolger)

invertierender Eingang ist direkt mit dem Ausgang verbunden

Verstärkungsfaktor = 1 (Ausgangsspannung entspricht bzw. folgt genau der Eingangsspannung (*Spannungsfolger*))

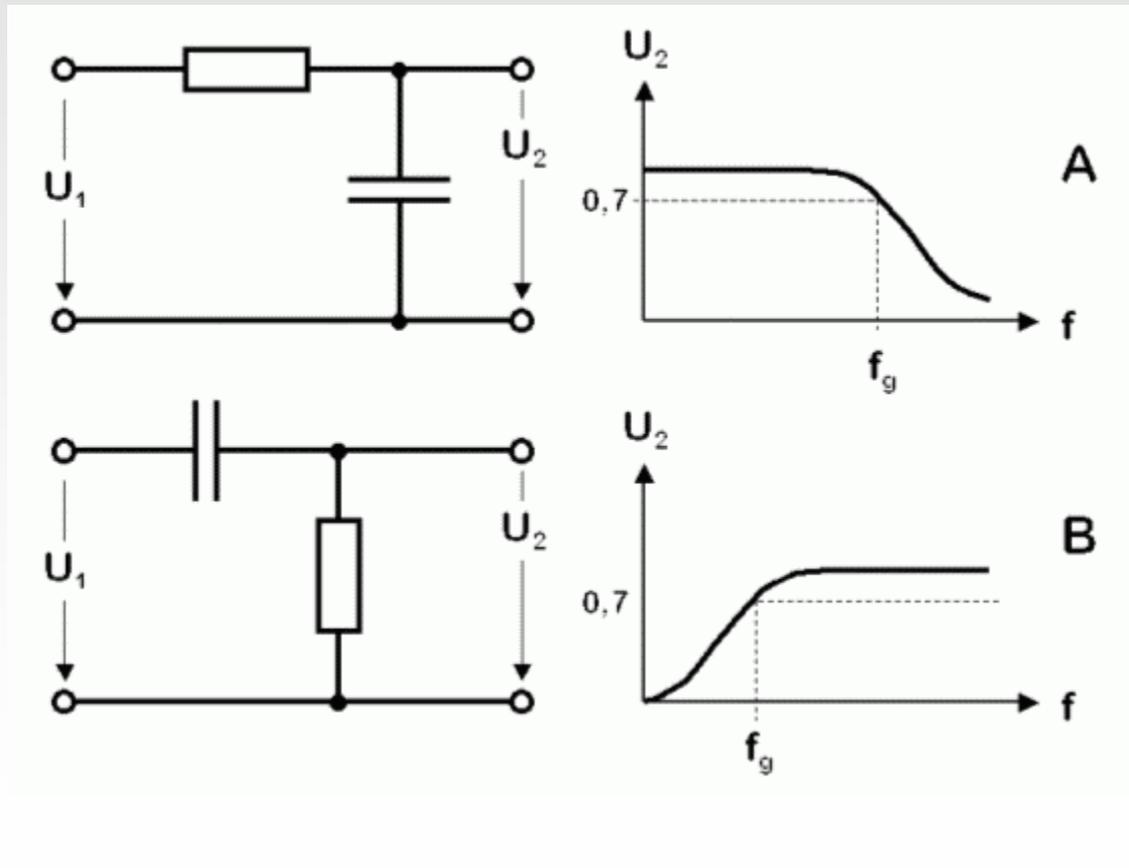
Eingangswiderstand des positiven Eingangs sehr groß
Ausgangswiderstand sehr klein

Puffer zwischen einer hochohmigen Spannungsquelle und einer nachfolgenden niederohmigen Last

hochohmige Spannungsquelle am Eingang wird minimal belastet und in der Eingangsspannungshöhe kaum verfälscht.

Signalverarbeitung

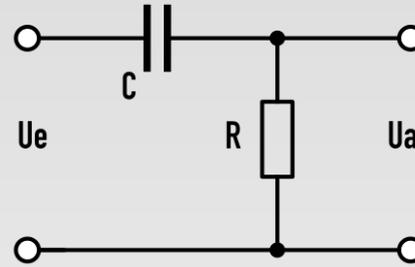
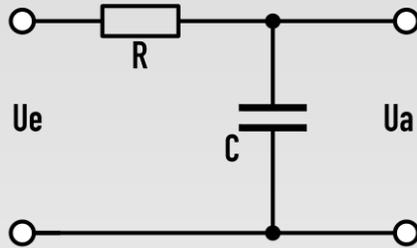
Korrektur eines nicht linearen Übertragungsverhaltens
Eingrenzen des Frequenzganges



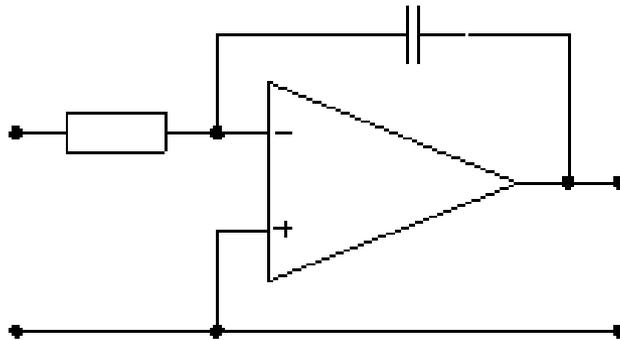
Tiefpass

Hochpass

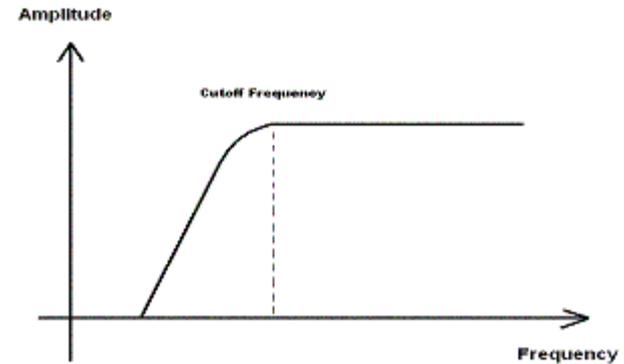
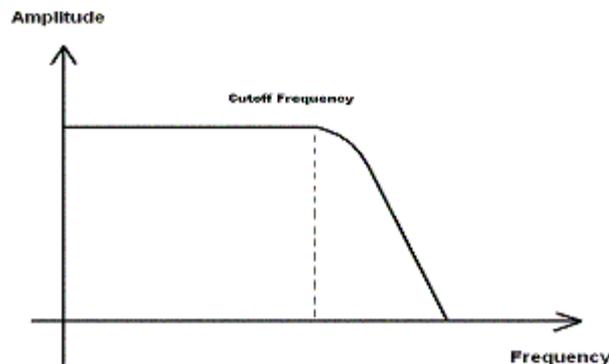
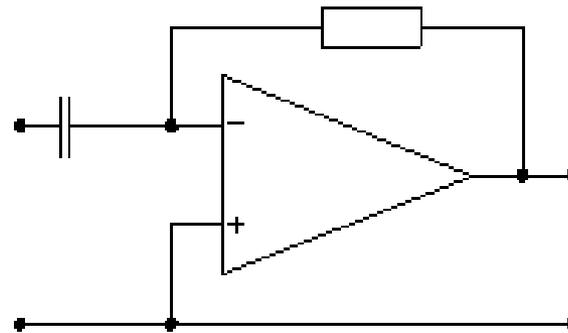
$$f_c = \frac{1}{2\pi RC}$$



Tiefpass



Hochpass



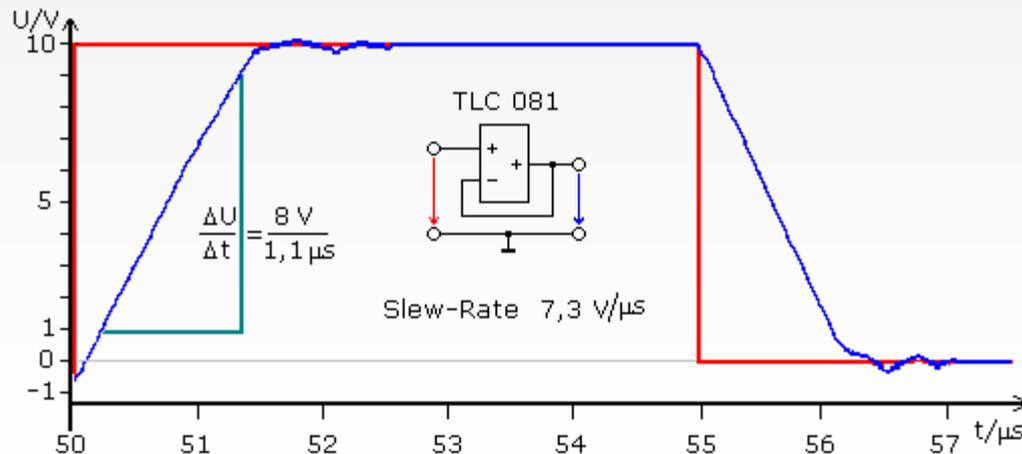
Leerlauf-Differenzverstärkung (open loop gain)

V_0 , beim unbeschalteten OPV ohne Gegenkopplung und Last
= Verhältnis von Ausgangsspannung zur Eingangsspannung.

$$V_0 = \frac{U_{\text{aus}}}{U_{\text{ein}}} \quad V_0 = 10^3 \dots 10^6 = 60 \dots 120 \text{ dB}$$

Anstiegszeit

Bei einer sprunghaften Änderung der Eingangsspannung wird das verstärkte Ausgangssignal erst nach einer kurzen Zeitspanne stabil messbar sein.

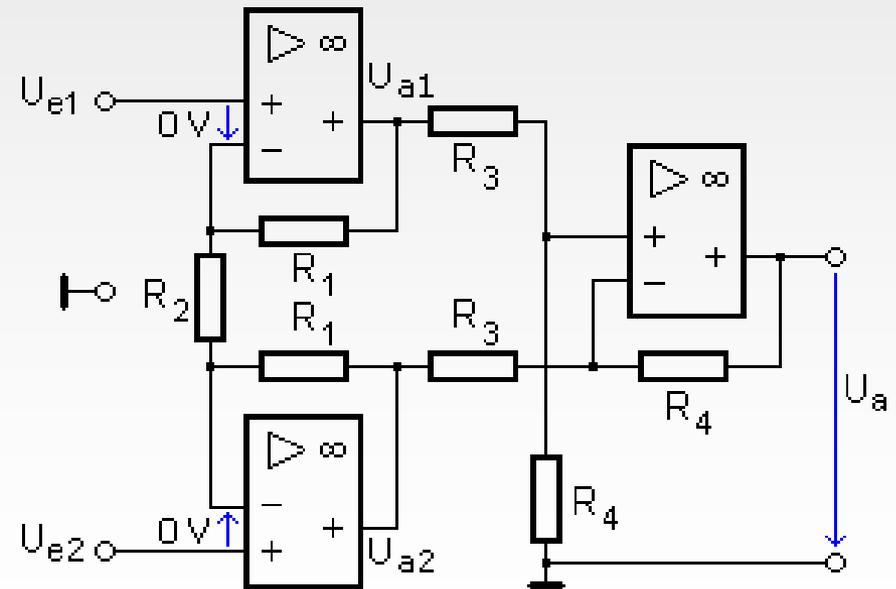
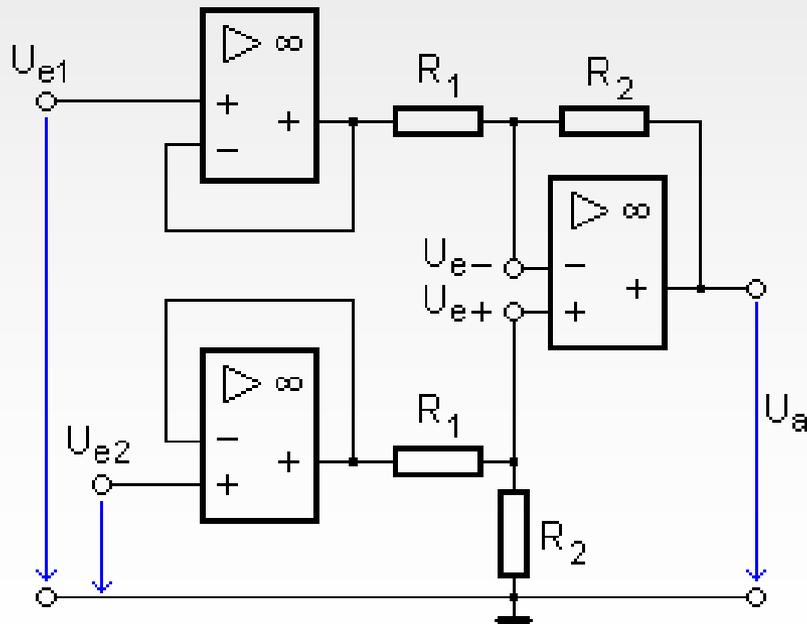


Instrumentenverstärker

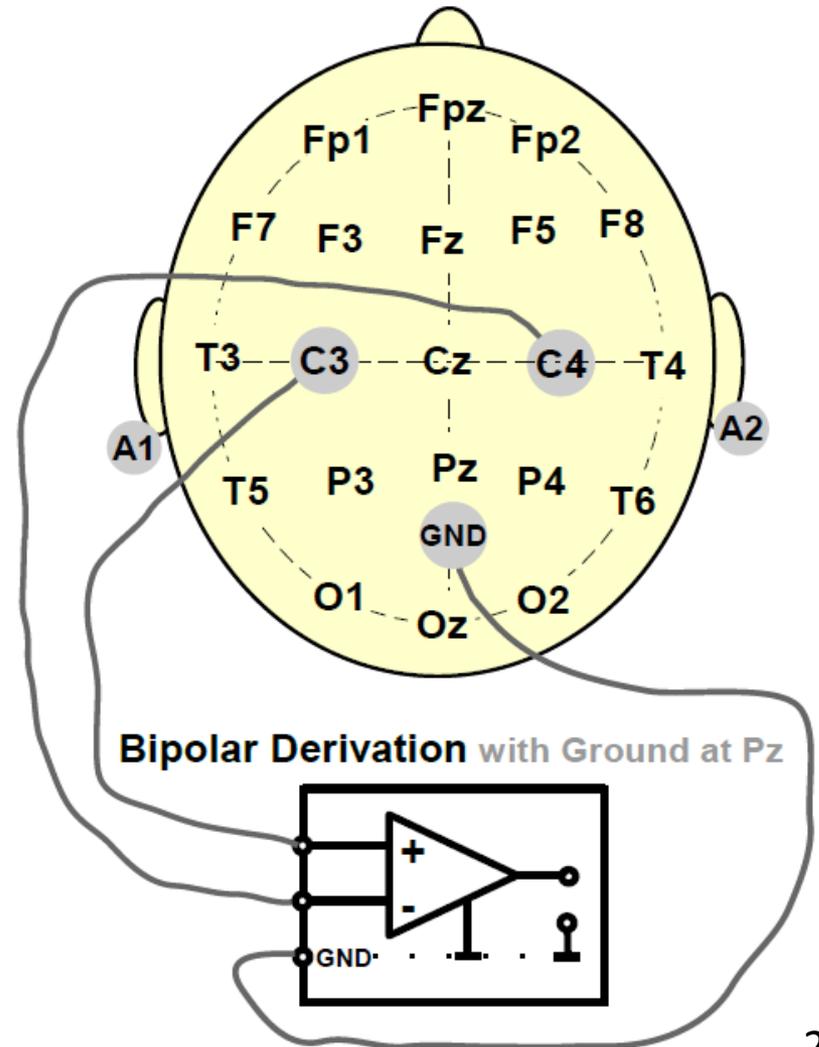
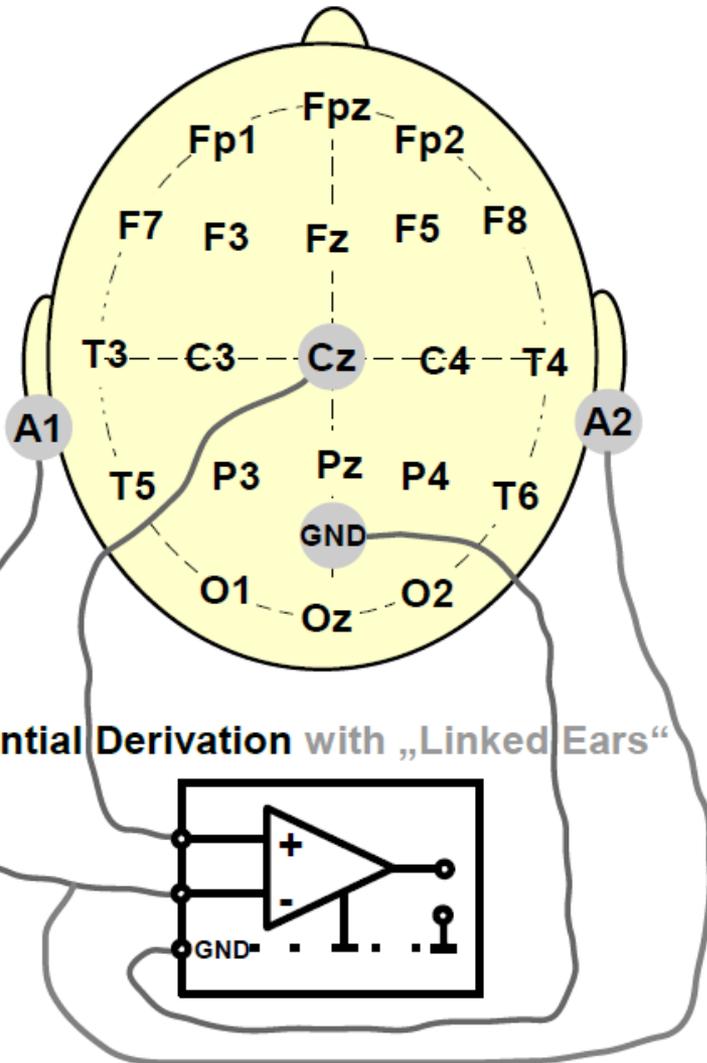
Differenzverstärker mit zwei gleichartigen, hochohmigen Eingangsimpedanzen

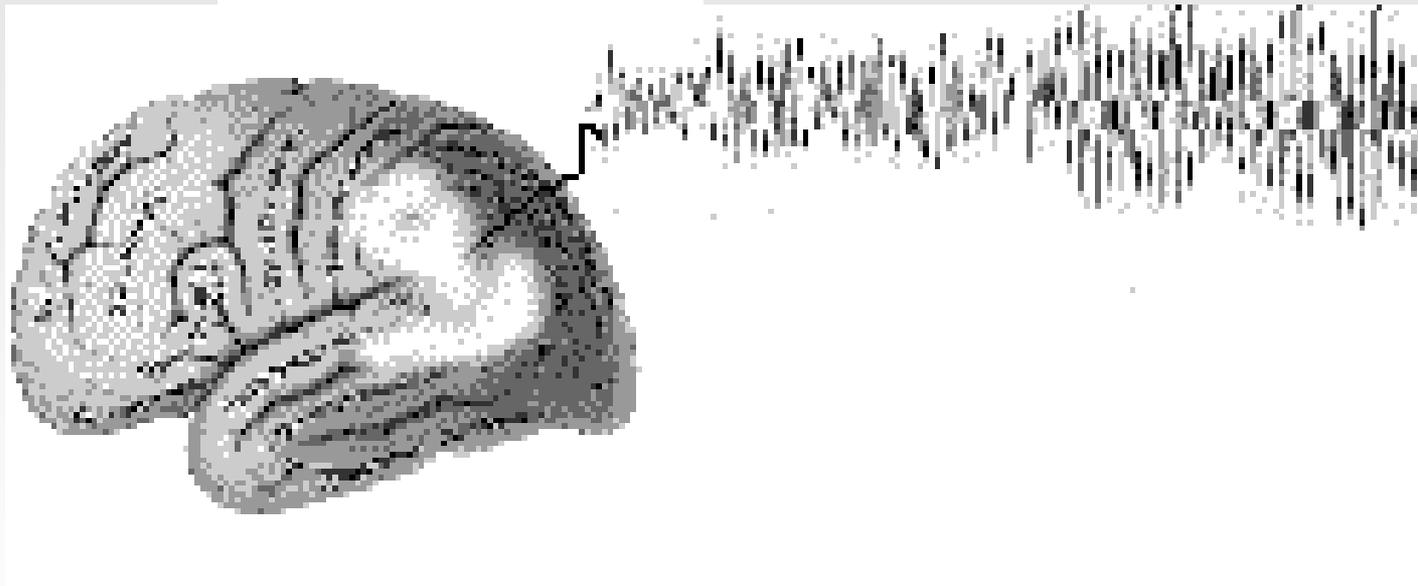
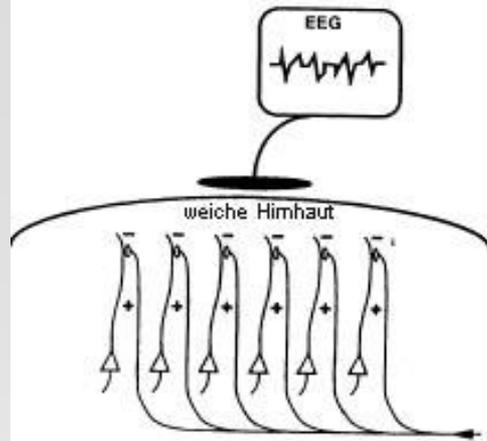
Differenzverstärker mit zwei vorgeschalteten Impedanzwandlern

Am Eingang zwei gleich dimensionierte, nicht invertierende Eingangsstufen, nachfolgende Ausgangsstufe als symmetrisch dimensionierter Differenzverstärker.

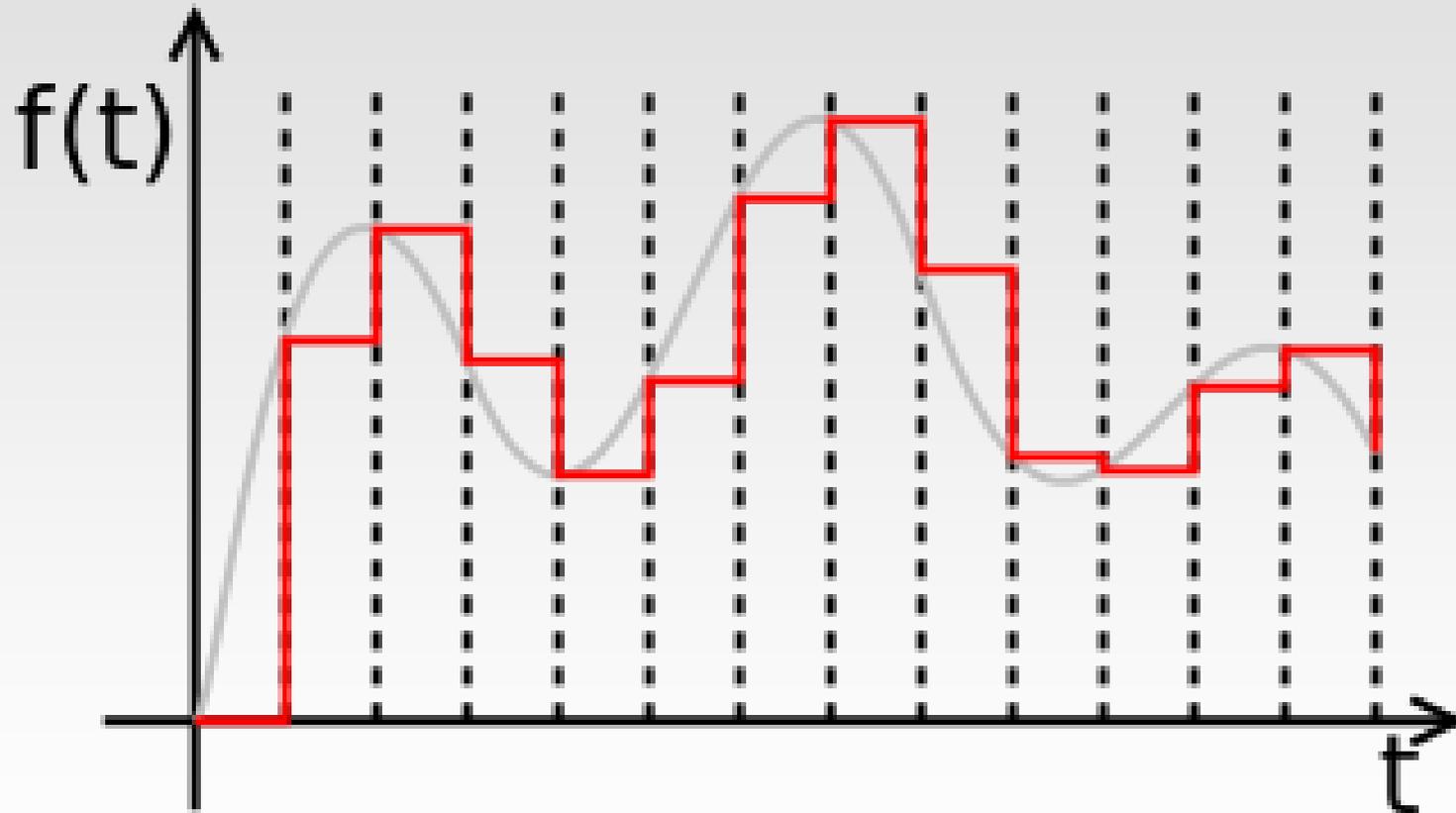


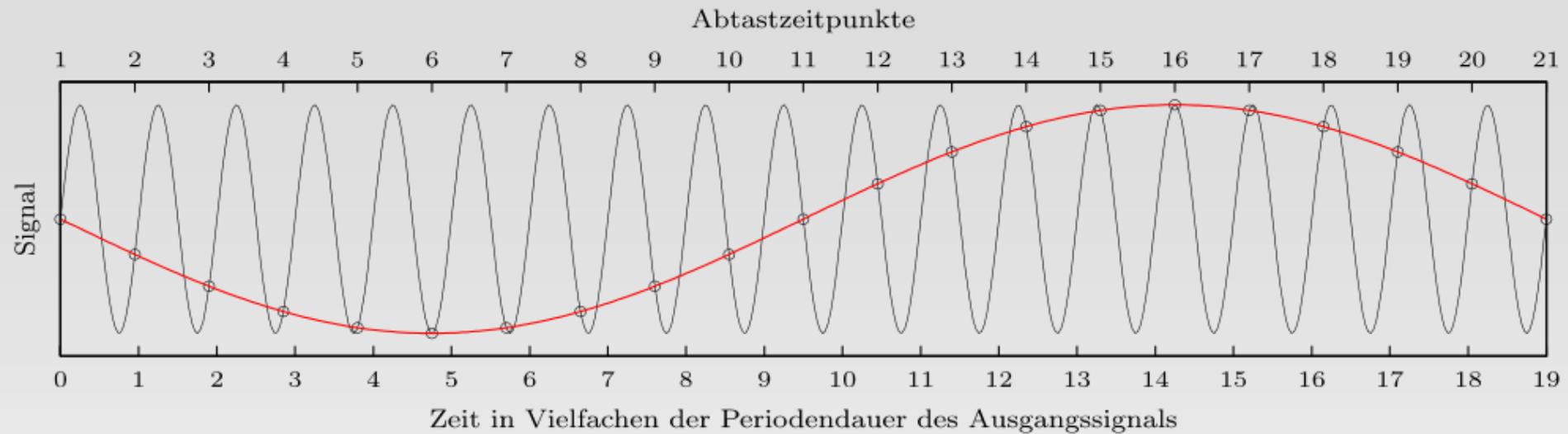
Uniopolar: Messung der Aktivität bezüglich Referenz (absolute Messung , Eins
bipolare Ableitung Registrierung der Potentialdifferenz zwischen zwei eng
benachbarten Elektroden auf aktiver Fläche, Verfälschungen durch einstreuende
Fremdaktivität gering





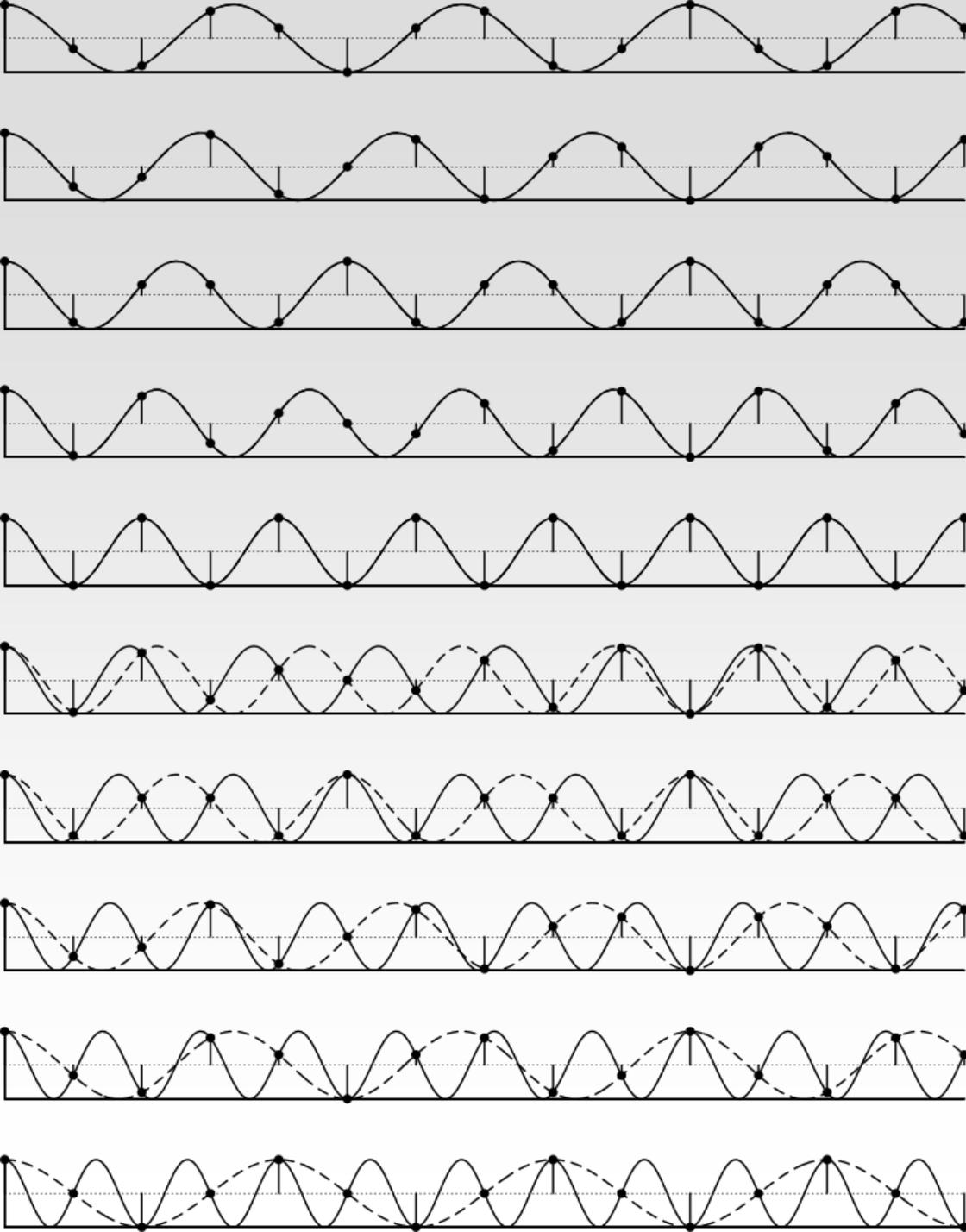
Analog digital Wandlung: Abtastung





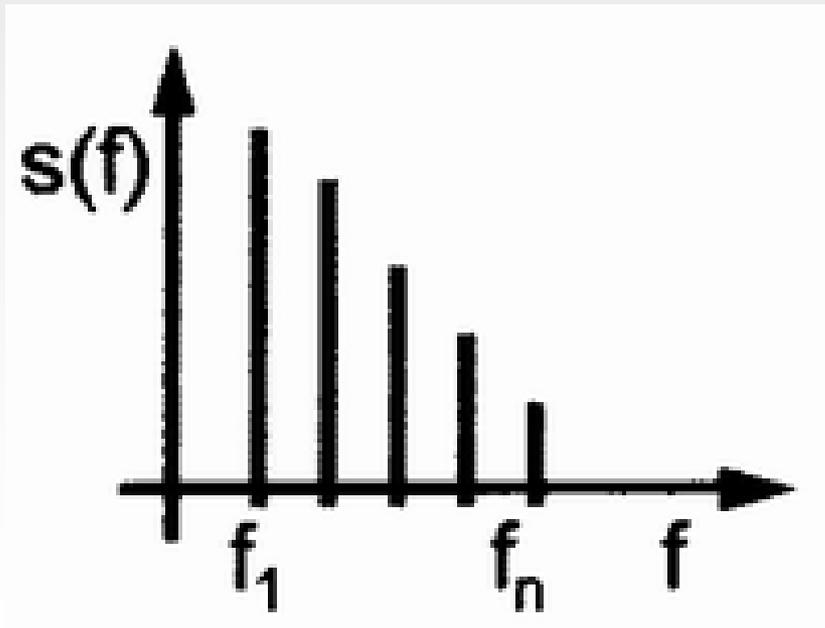
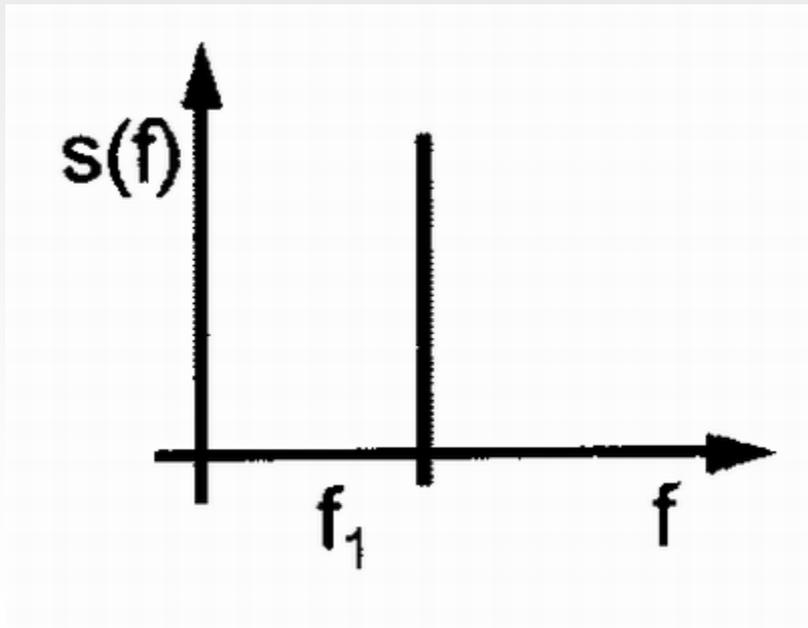
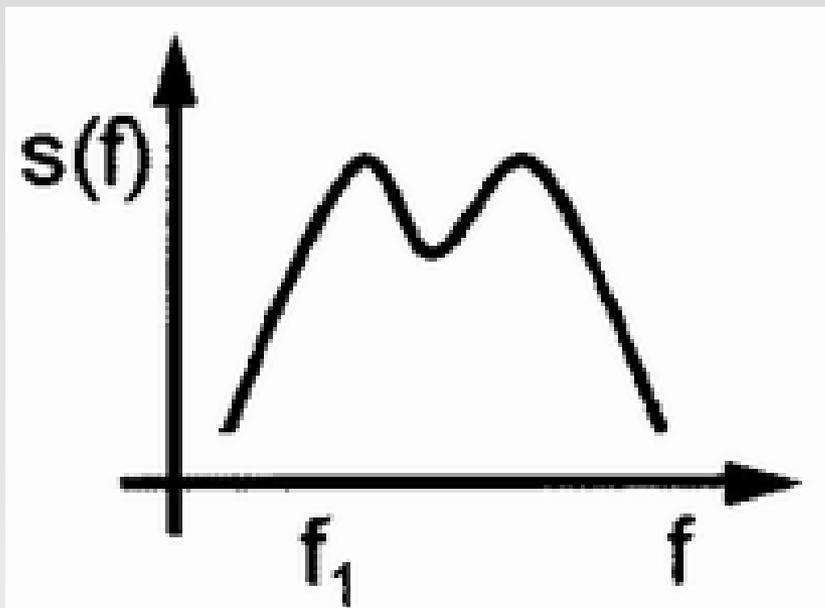
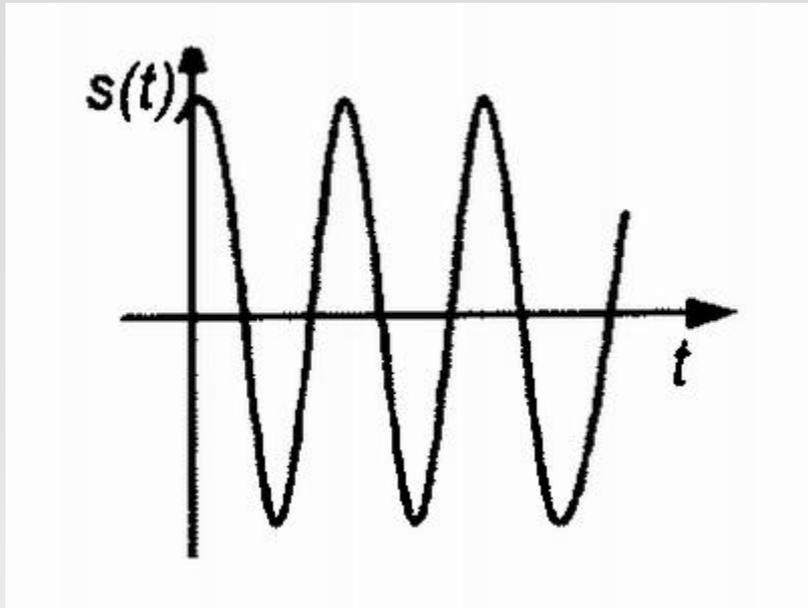
Nyquist-Shannon-Abtasttheorem

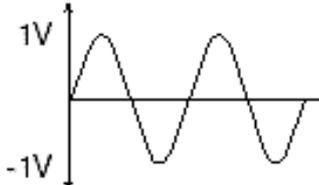
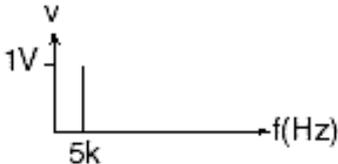
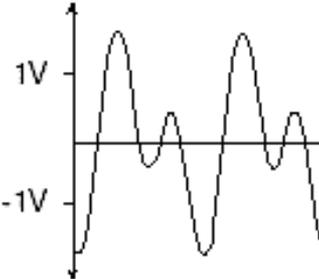
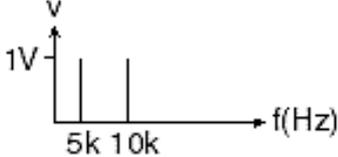
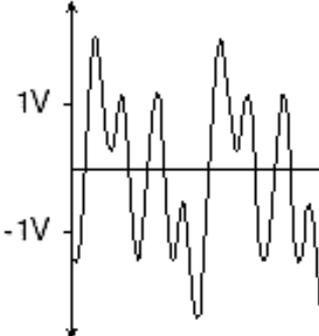
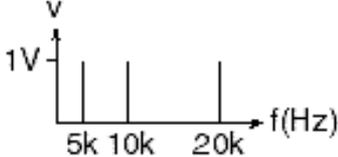
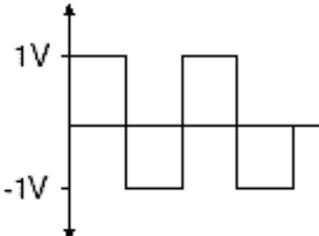
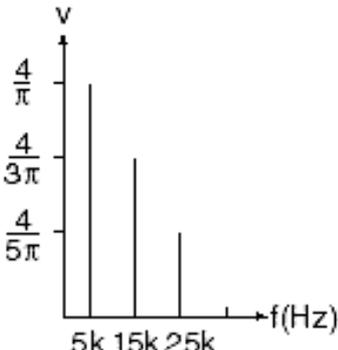
ein auf Signal mit der maximalen Frequenz f_{\max} muss mit einer Frequenz von mindestens $2 \cdot f_{\max}$ abgetastet werden

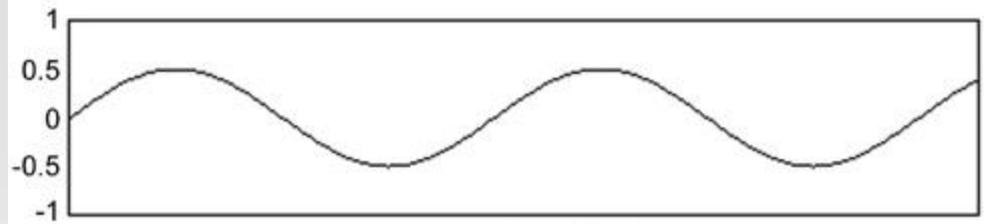


Erhöhung der Signalfrequenz
über die halbe Abtastfre-
quenz.

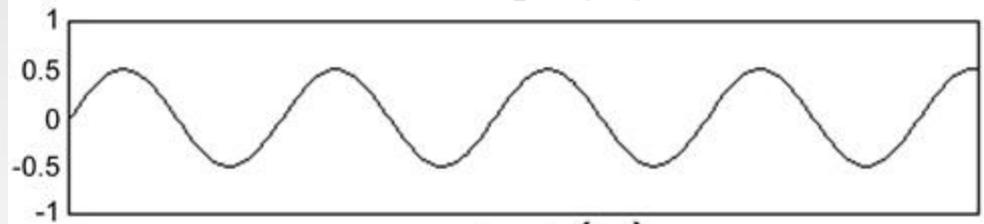
Gestrichelten Linien stellen
mögliche Ergebnisse nach
Abtastung dar



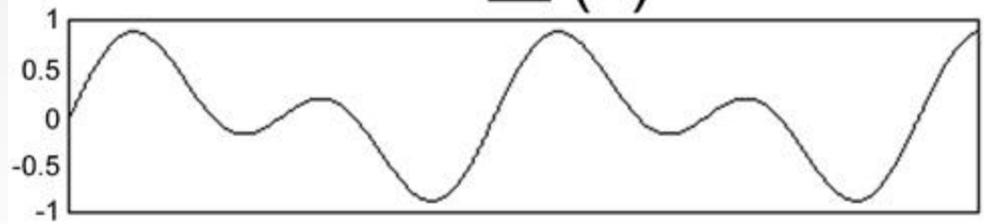
Description	Time Series	Fourier Expansion	Power Spectrum
A pure 5kHz sine wave measuring 1 volt peak		$v(t) = 1\sin(\omega_1)t$ $\omega_1 = 2\pi(5\text{kHz})$	
A pure 5kHz and 10kHz sine wave, each measuring 1 volt peak, added together		$v(t) = 1\sin(\omega_1)t + 1\sin(\omega_2)t$ $\omega_1 = 2\pi(5\text{kHz})$ $\omega_2 = 2\pi(10\text{kHz})$	
A pure 5kHz, 10kHz, and 20kHz sine wave, each measuring 1 volt peak, added together		$v(t) = 1\sin(\omega_1)t + 1\sin(\omega_2)t + 1\sin(\omega_3)t$ $\omega_1 = 2\pi(5\text{kHz})$ $\omega_2 = 2\pi(10\text{kHz})$ $\omega_3 = 2\pi(20\text{kHz})$	
A pure 5kHz square wave measuring 1 volt		$v(t) = \frac{4}{\pi}\sin(\omega_1)t + \frac{4}{3\pi}\sin(\omega_2)t + \frac{4}{5\pi}\sin(\omega_3)t\dots$ $\omega_1 = 2\pi(5\text{kHz})$ $\omega_2 = 2\pi(15\text{kHz})$ $\omega_3 = 2\pi(25\text{kHz})\dots$	

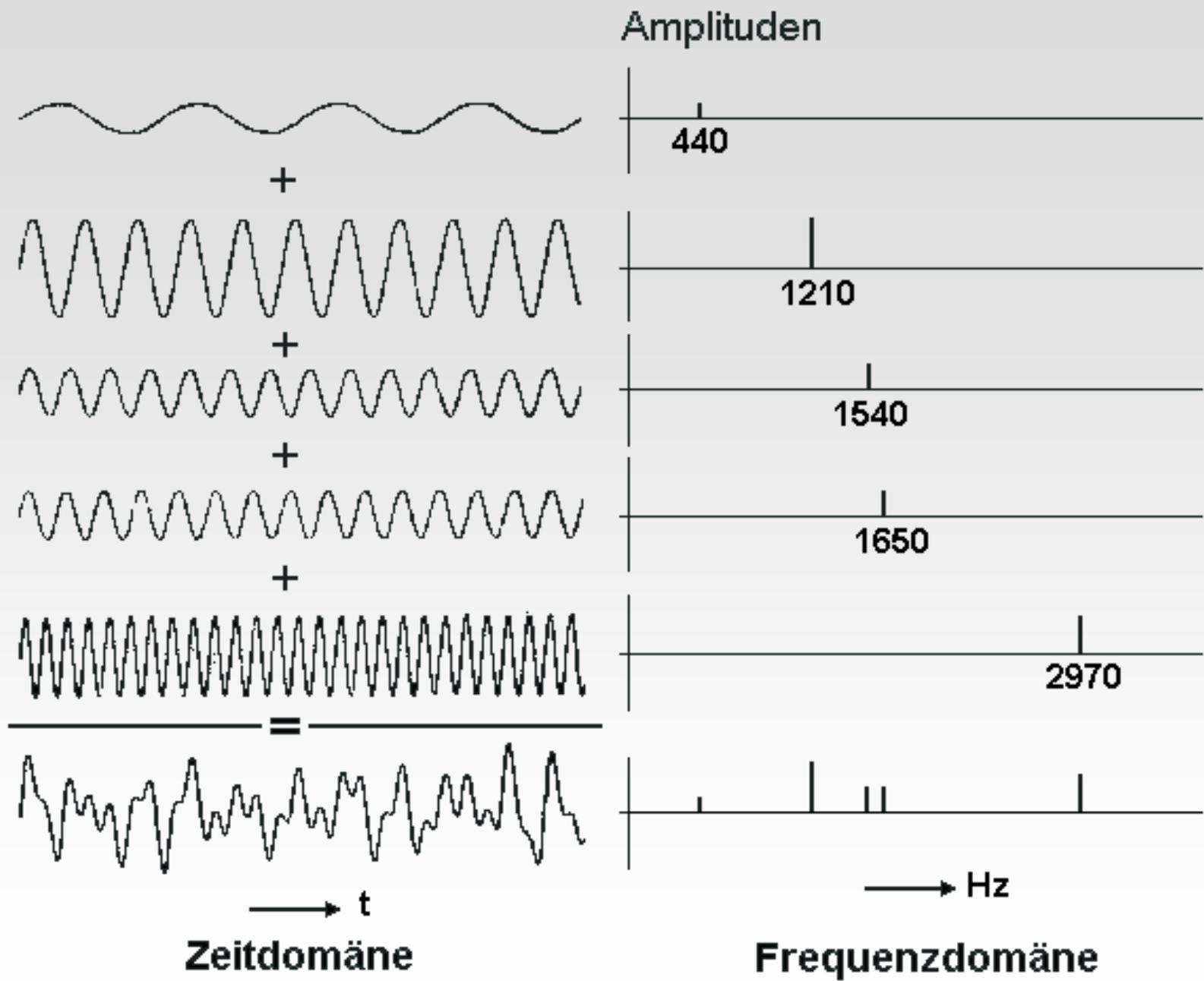


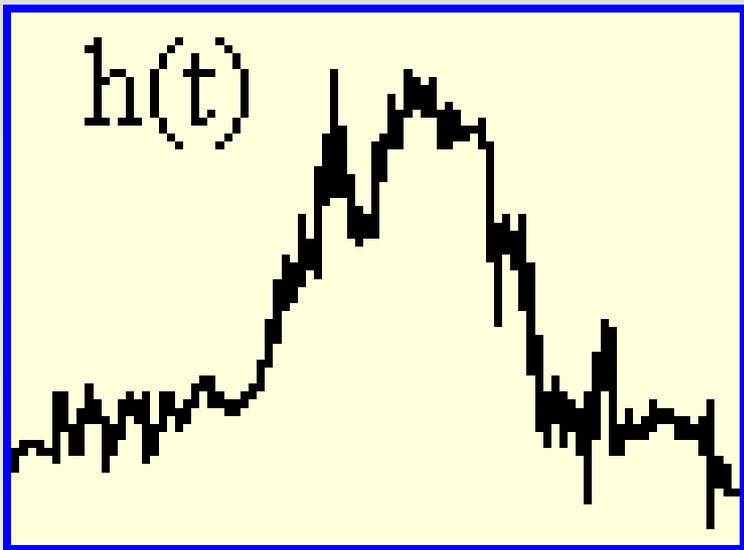
+ (=)



= (-)







↓ FT

↑ FT^{-1}

