



Elektronik 1

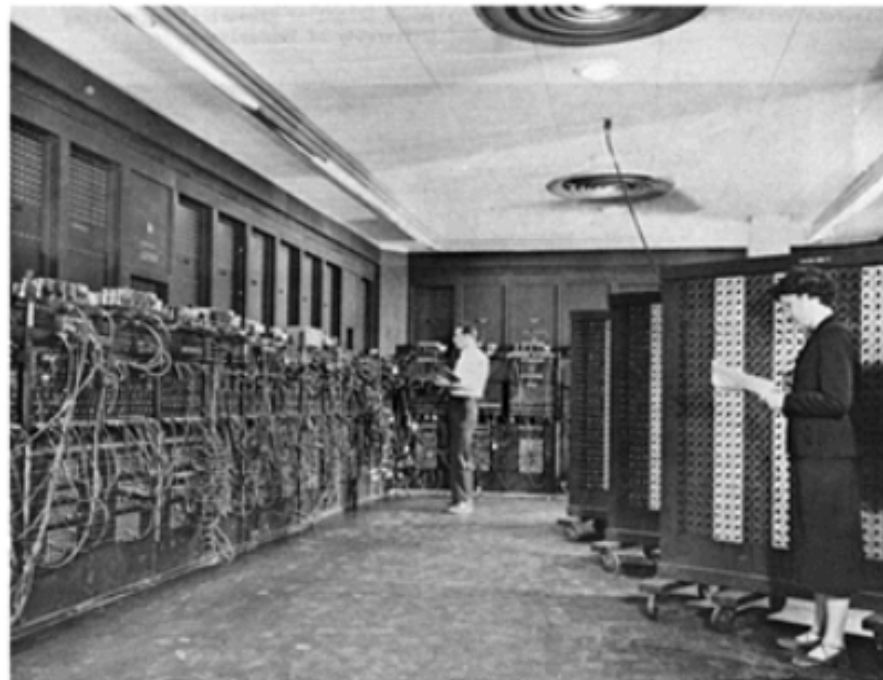
AMD Opteron Six Cores



FH MÜNSTER
University of Applied Sciences



Erster elektronischer Rechner 1948: ENIAC



[www.wikipedia.de⁶]

Mainframes 1960: UNIVAC 9400



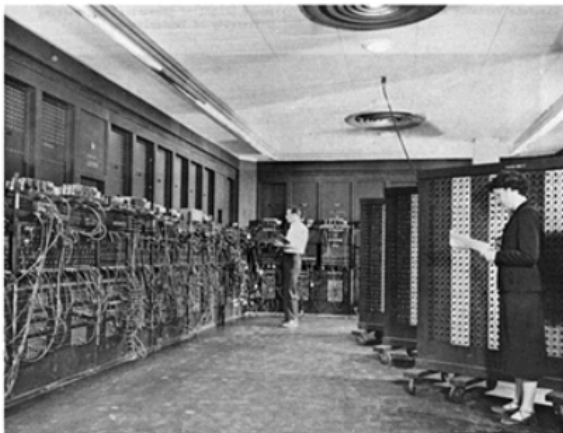
[www.technikum29.de¹¹]

1981: IBM PC 5150



[www.wikipedia.de^{3a}]

Erster elektronischer Rechner 1948: ENIAC



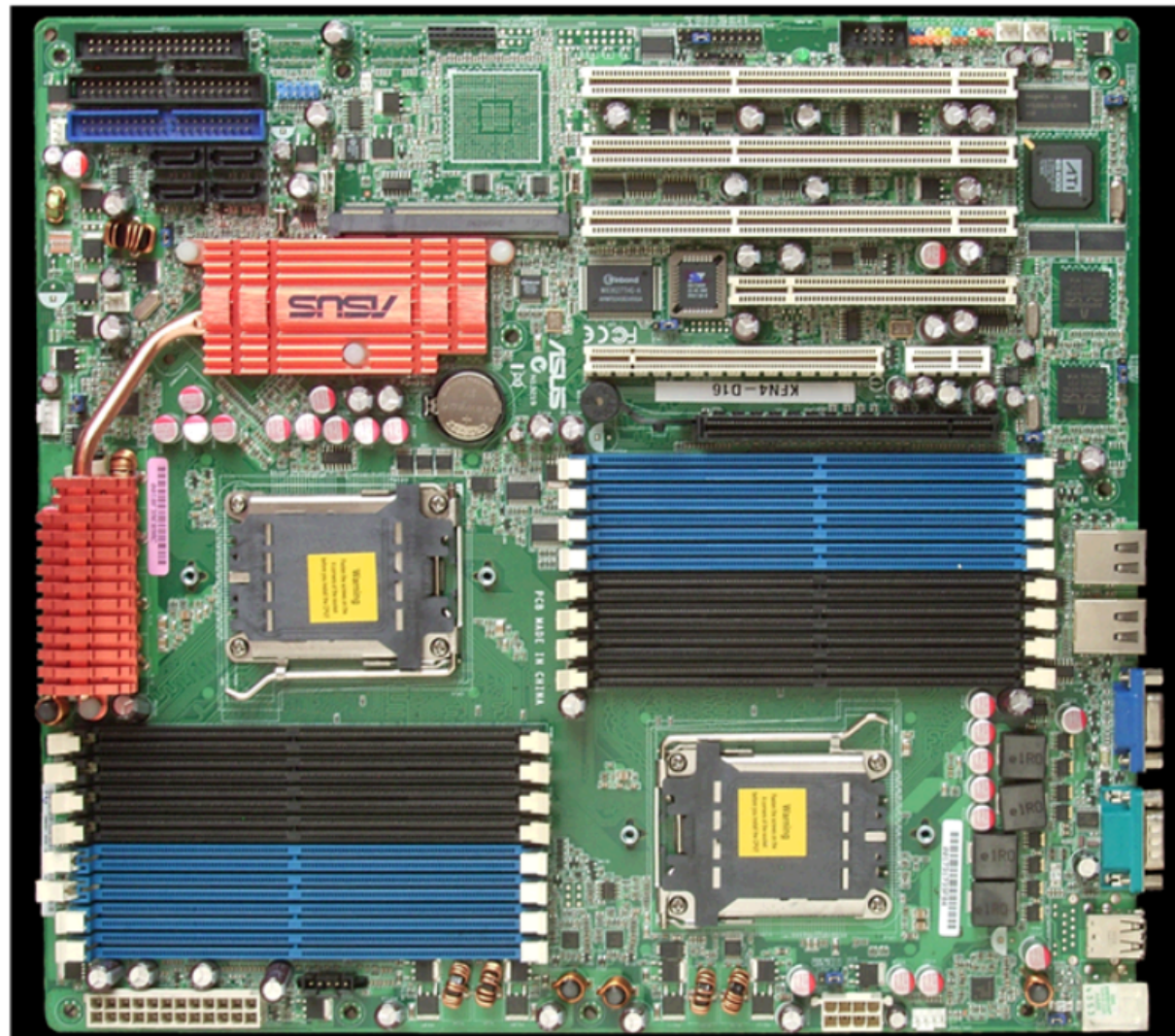
[www.wikipedia.de⁶]

„There is no reason anyone would want a computer in their home.“
Ken Olson, 1977, Gründer der Digital Equipment Company



[Apple⁷]

2009: Apple iMac



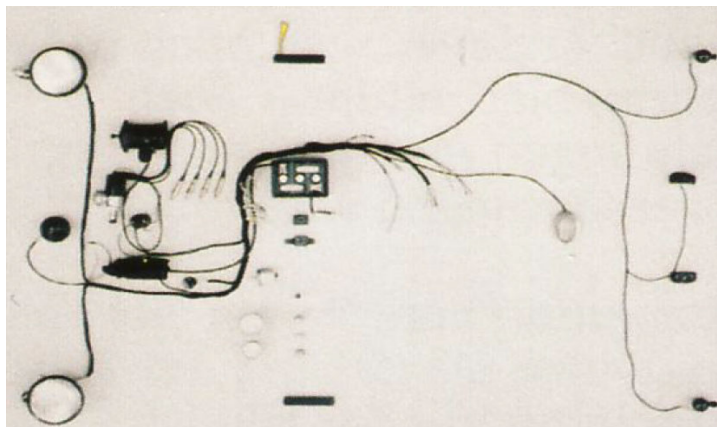
[www.wikipedia.de^{1a}]



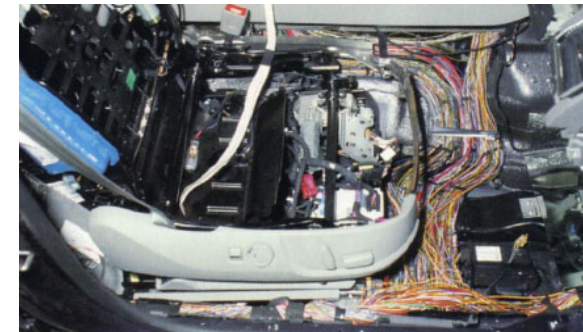
Mercedes-Benz 170
Aus dem Jahr 1946



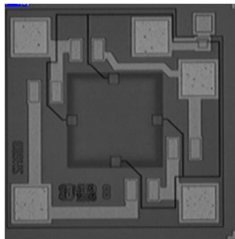
Mercedes-Benz S-Klasse (W223)
Modelljahr 2020



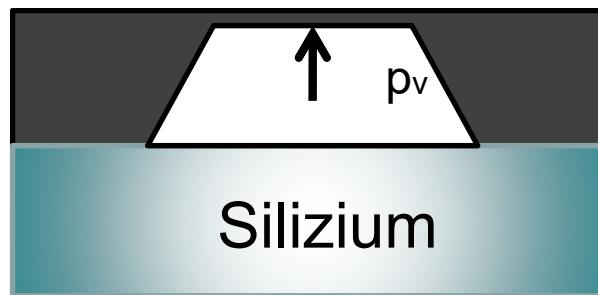
Motormanagement
Aktive und passive Sicherheit
Komfortsysteme



› Absolutdrucksensoren



Source: ELMOS Group

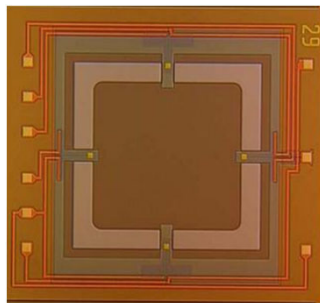


Source: Jens Rehbaum

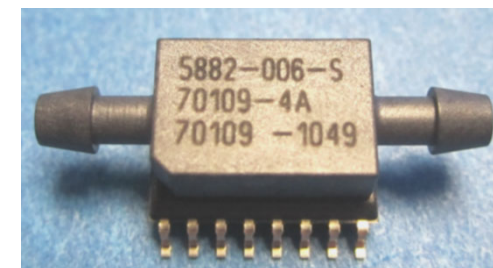
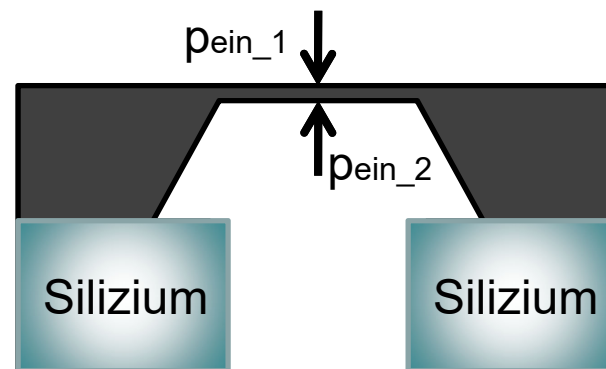


Source: Jens Rehbaum

› Differenzdrucksensoren

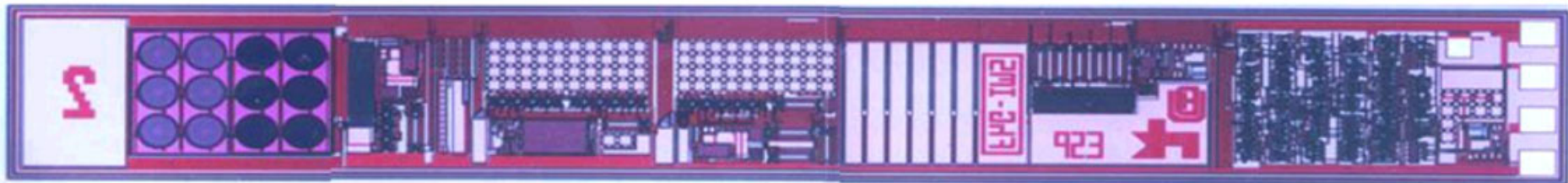
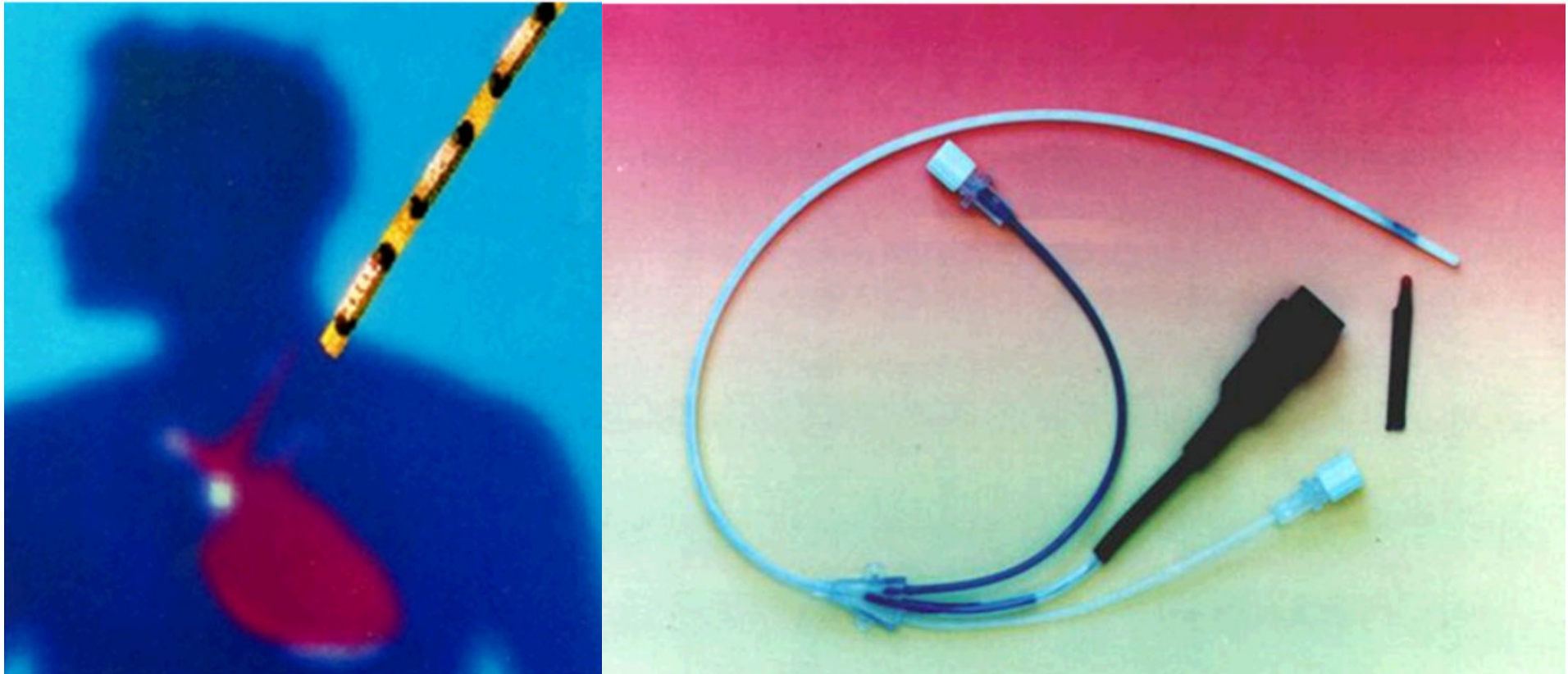


Source: ELMOS Group

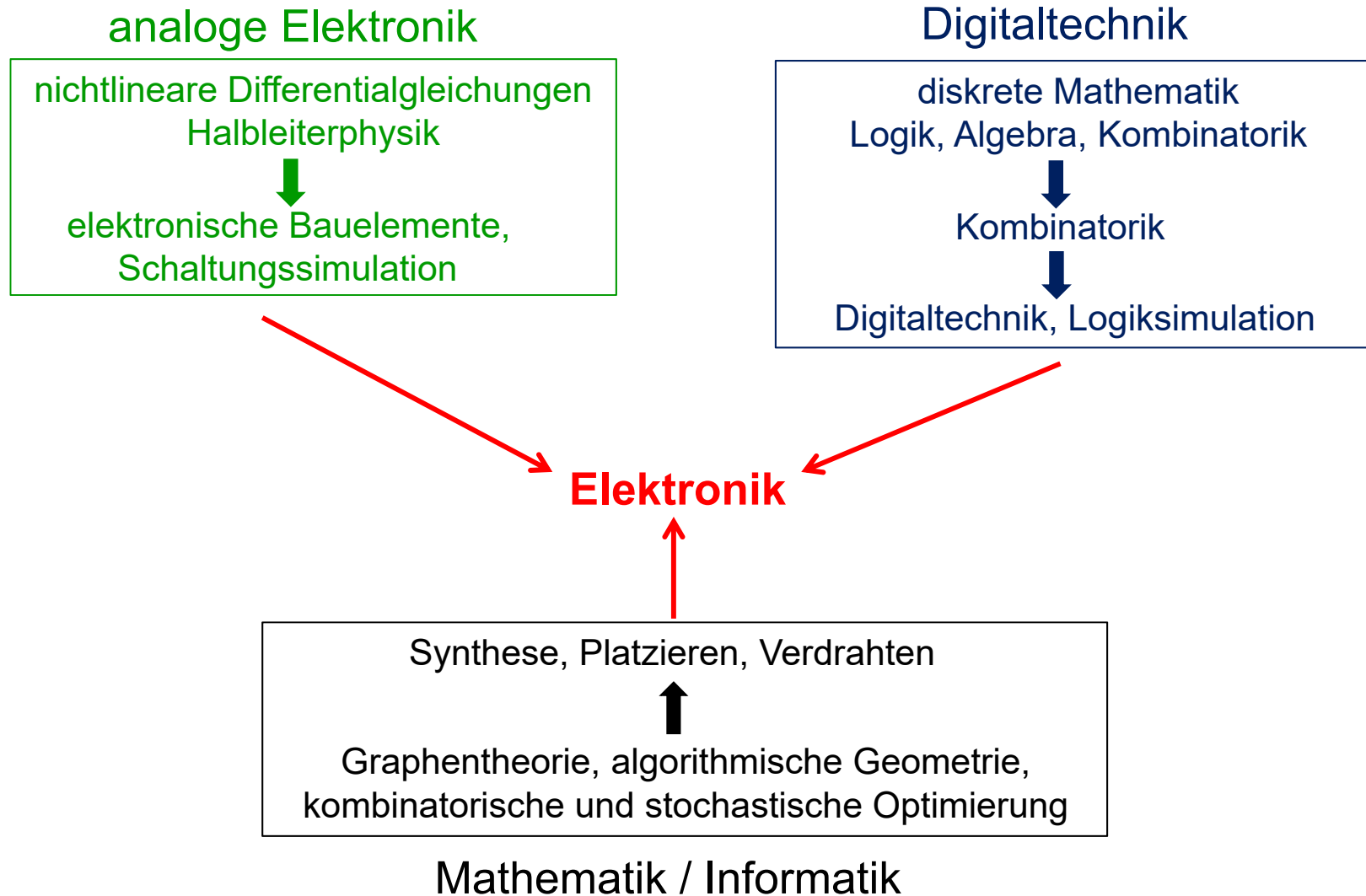


Source: Jens Rehbaum





[Fraunhofer Gesellschaft]



Was ist digital? – Was ist analog?



[www.wikipedia.org^{2a}]



[www.wikipedia.de³]

01000111011011111101110011001011010010001001111

0100 0111 0110 1111 1110 1110 0110 0101 1010 0100 0100 1111

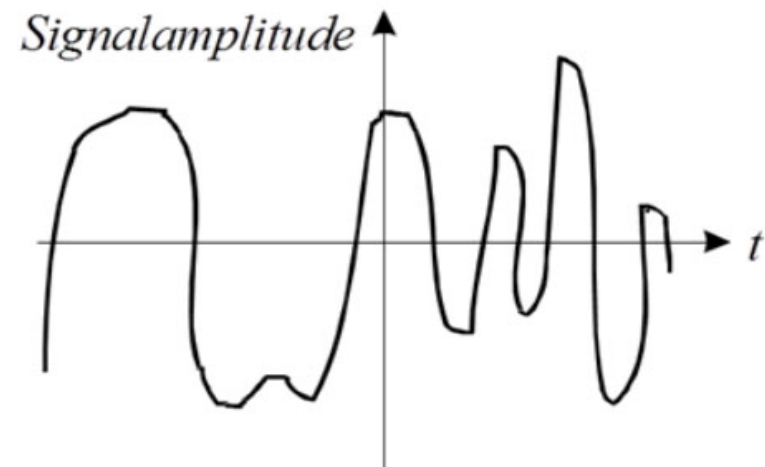
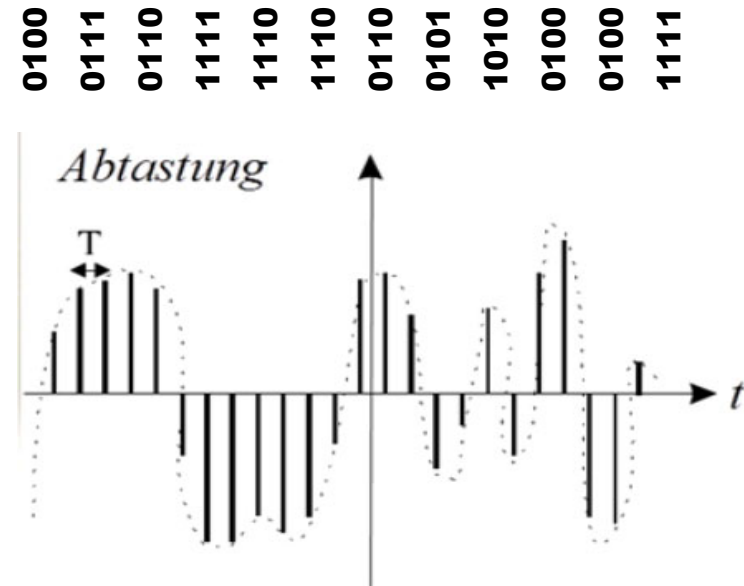
Speichkapazität einer CD:

700 Mbyte = 5,6 Gbit = 5.872.025.600 Bit

Datenformat:

41kHz Abtastrate bei 32 Bit/Abtastung (Stereo)

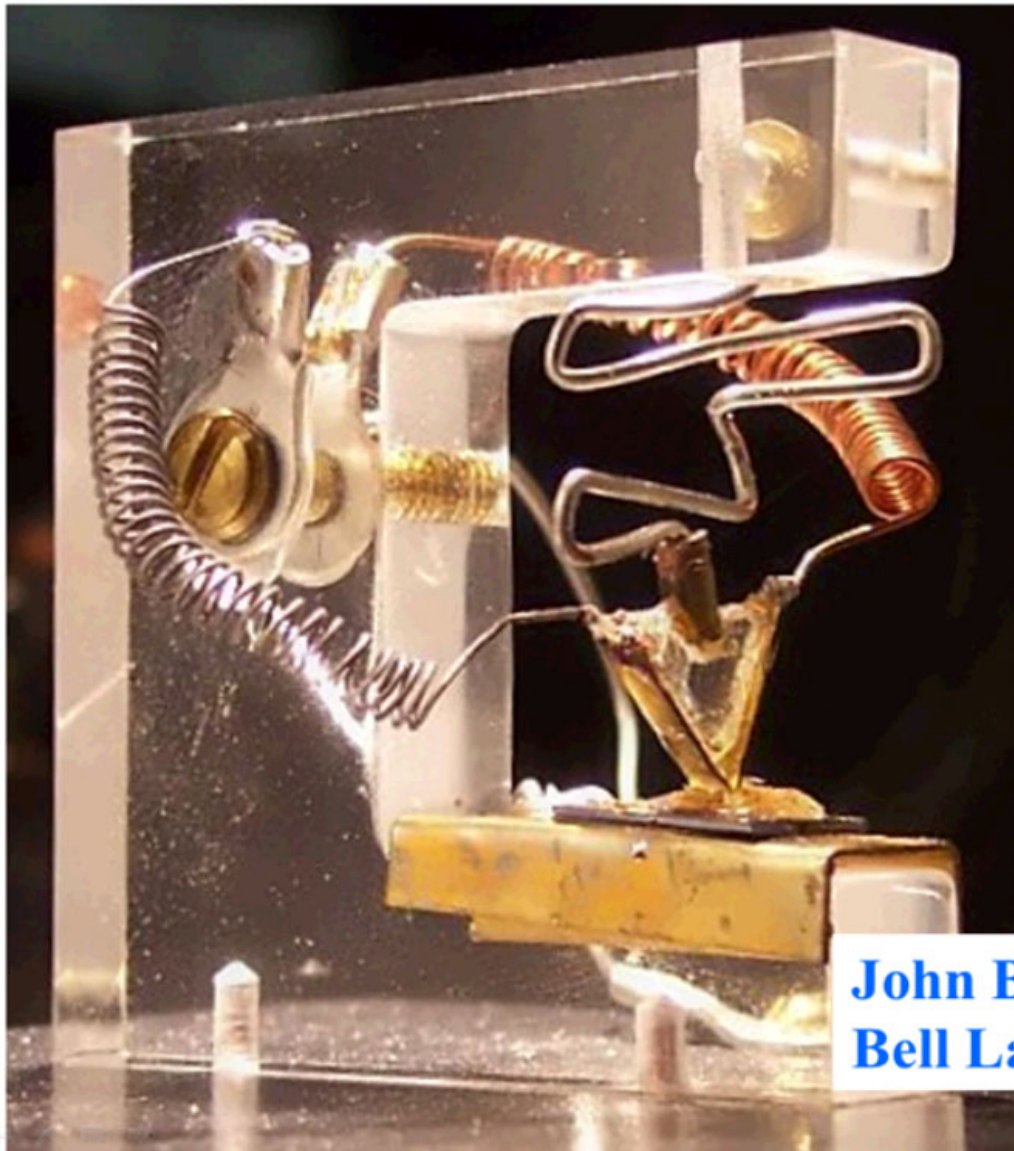
→ 4480 Sekunden = 1 Stunde 15 Minuten



Der erste Transistor



FH MÜNSTER
University of Applied Sciences



John Bardeen & Walter Brattain
Bell Laboratories, 1947 → 1956

Der Transistor vermehrt sich: der Chip entsteht

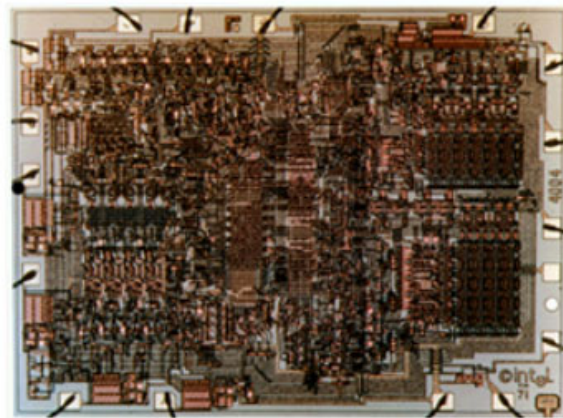


◆ Erster Chip, zwei Transistoren



1961
Jack Kilby,
Texas Instruments
& Robert Noyce,
Fairchild
Semiconductor

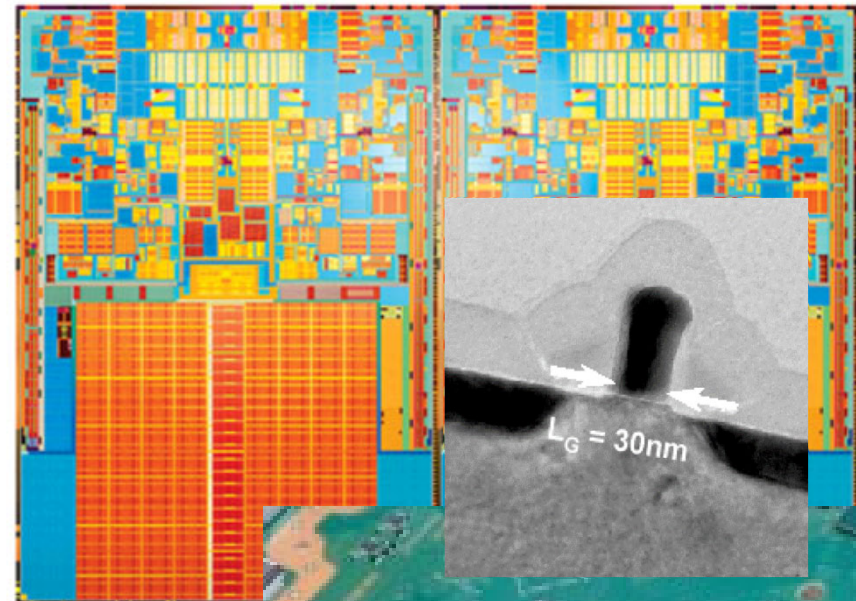
◆ Erster Prozessor, 2300 Trans.



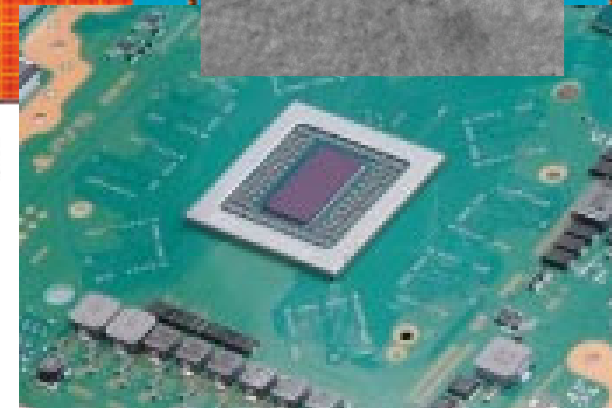
[www.intel.com]

1971
Intel

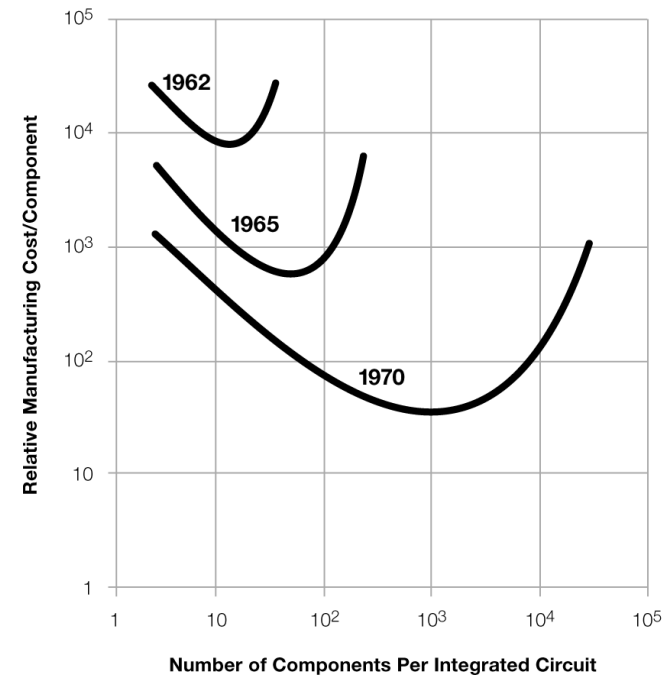
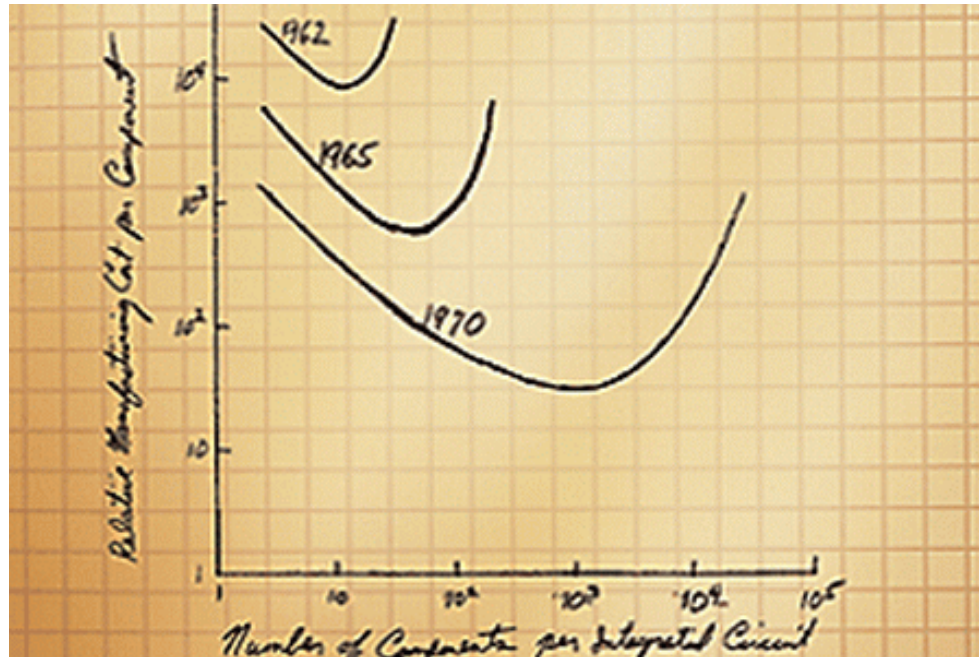
◆ Intel Core™2 Extreme Quad-Core, 820 Mio. Transistoren



2008, Intel



www.computerbase.de



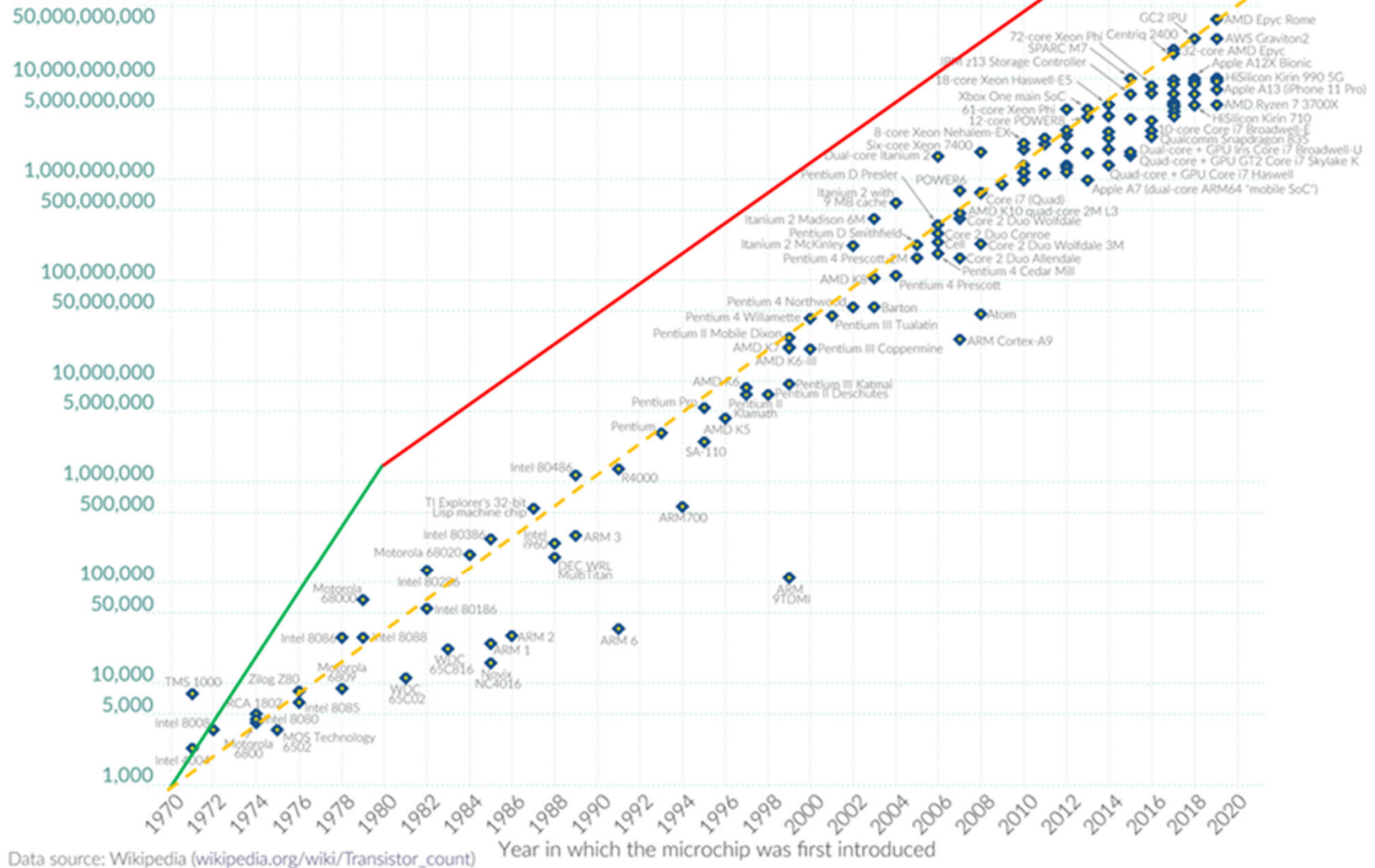
Gordon Moore (Fairchild Semiconductor):

- 1965: Verdopplung der Schaltungskomplexität jedes Jahr für näherungsweise 10 Jahre
- 1975: ab 1980 findet eine Verdoppelung alle zwei Jahre statt

Der Transistor vermehrt sich: der Chip entsteht



Transistor count

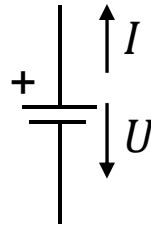


- Definitionen und Grundlegendes
- Zweipole
 - Aktive und passive Zweipole
 - Ideale und reale Spannungs- und Stromquellen
 - Äquivalenz von Spannungs- und Stromquellen
- Ersatzzweipole
- Netzwerkanalyse
- Übertragungsfunktionen

aktiver Zweipol $\hat{=}$ Generator

Gibt el. Energie ab, z. B.

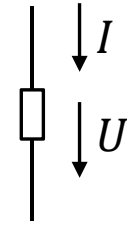
Batterie, Generator, Solarzelle,
Tonabnehmer, Sensor, ...



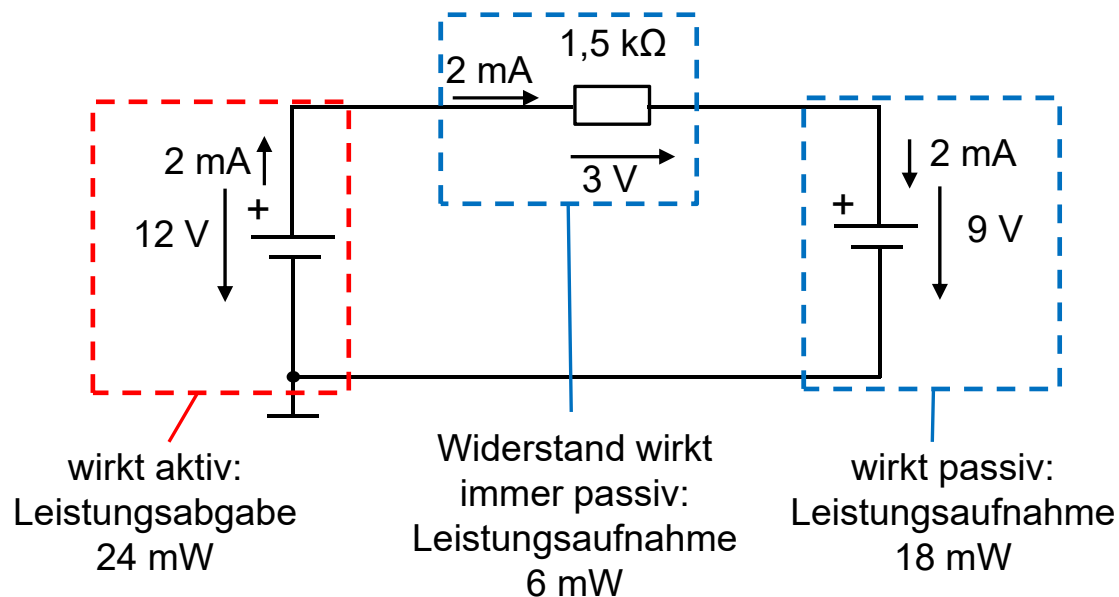
passiver Zweipol $\hat{=}$ Verbraucher

Nimmt el. Energie auf, z. B.

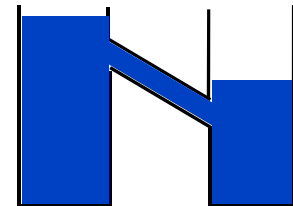
Widerstand, Glühlampe, Diode,
(Kondensator, Spule), ...



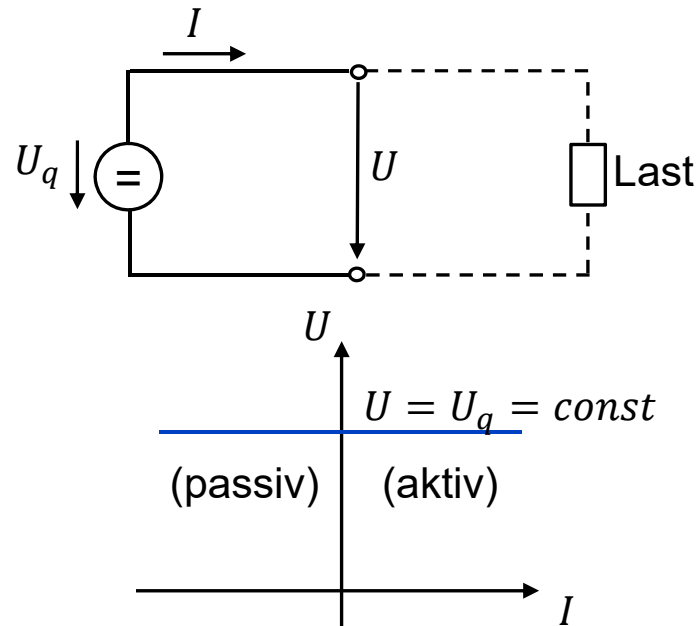
Beispiel: Welcher Zweipol wirkt aktiv, welcher passiv?



z.B. Akku laden

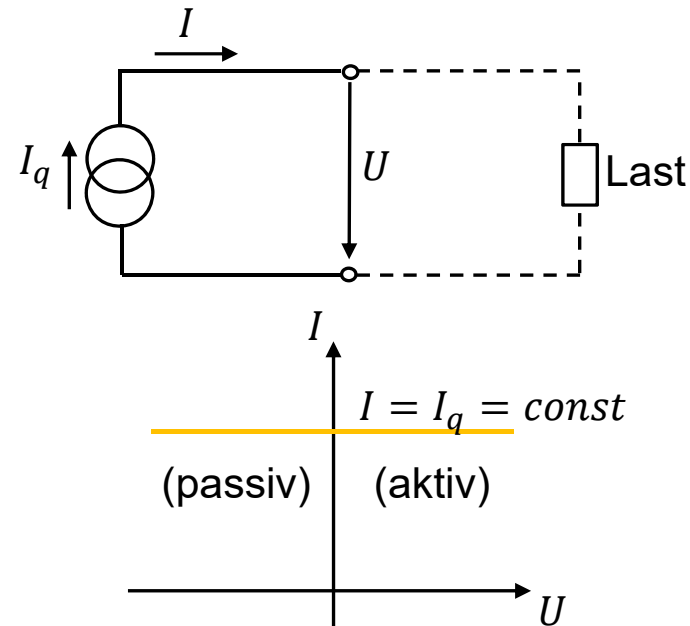


ideale Spannungsquelle



Eine ideale Spannungsquelle stellt an ihren Klemmen stets die Quellspannung U_q .

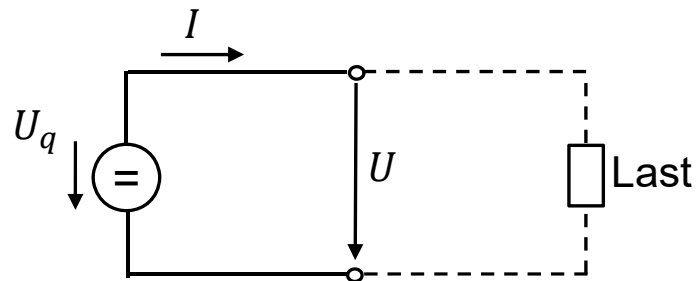
ideale Stromquelle



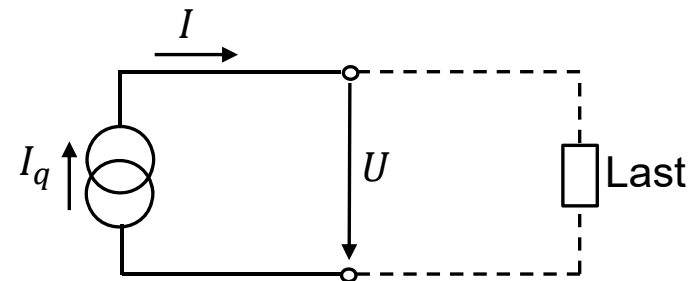
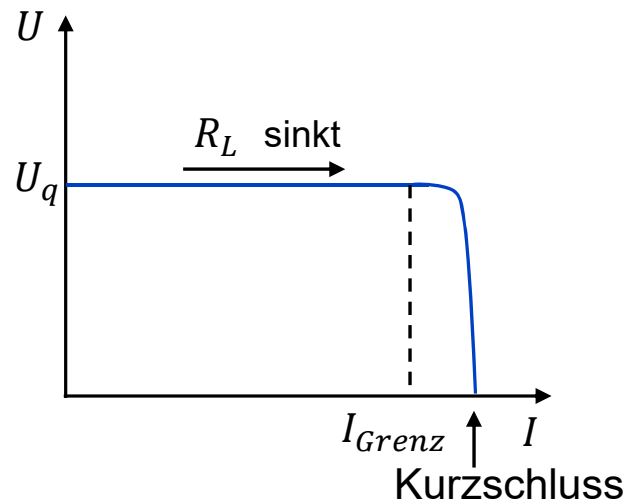
Eine ideale Stromquelle liefert über ihre Klemmen stets den Quellstrom I_q .

Die gilt jeweils unabhängig von der äußeren Beschaltung.

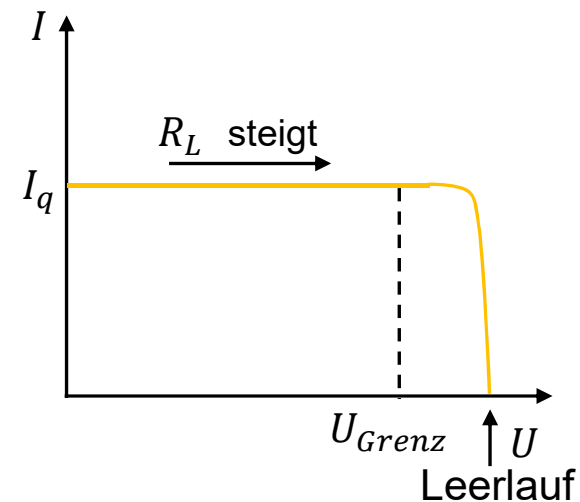
Ideale Quellen lassen sich **näherungsweise** durch elektronische Schaltungen realisieren.

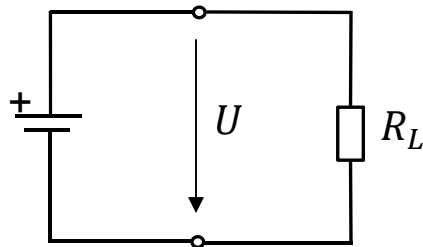


Konstantspannungsquelle

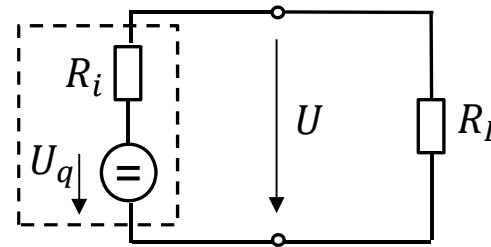


Konstantstromquelle

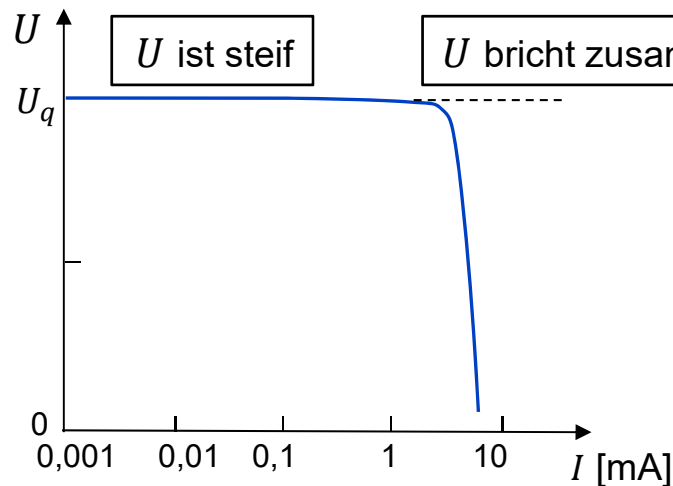




z. B. Batterie (mit Last)



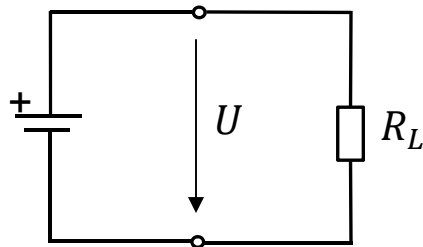
Ersatzschaltung



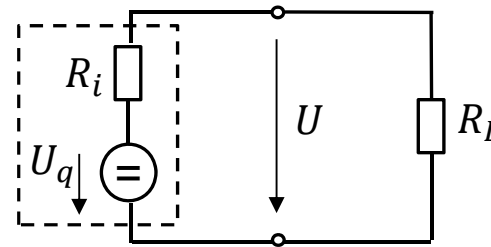
Spannung an den Klemmen in
Abhängigkeit von R_L :

$$U = U_q \cdot \frac{R_L}{R_i + R_L}$$

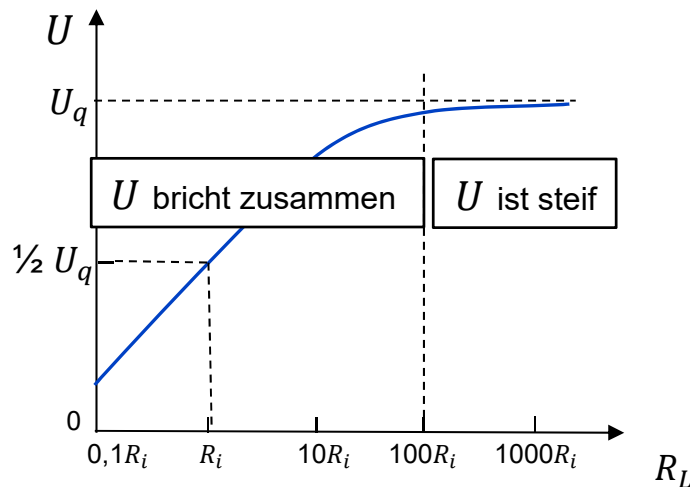
Bei einer Spannungsquelle sollte der Innenwiderstand möglichst klein sein im Vergleich zur Last, d. h. $R_i \ll R_L$ (Spannungsanpassung).



z. B. Batterie (mit Last)



Ersatzschaltung



Spannung an den Klemmen in
Abhängigkeit von R_L :

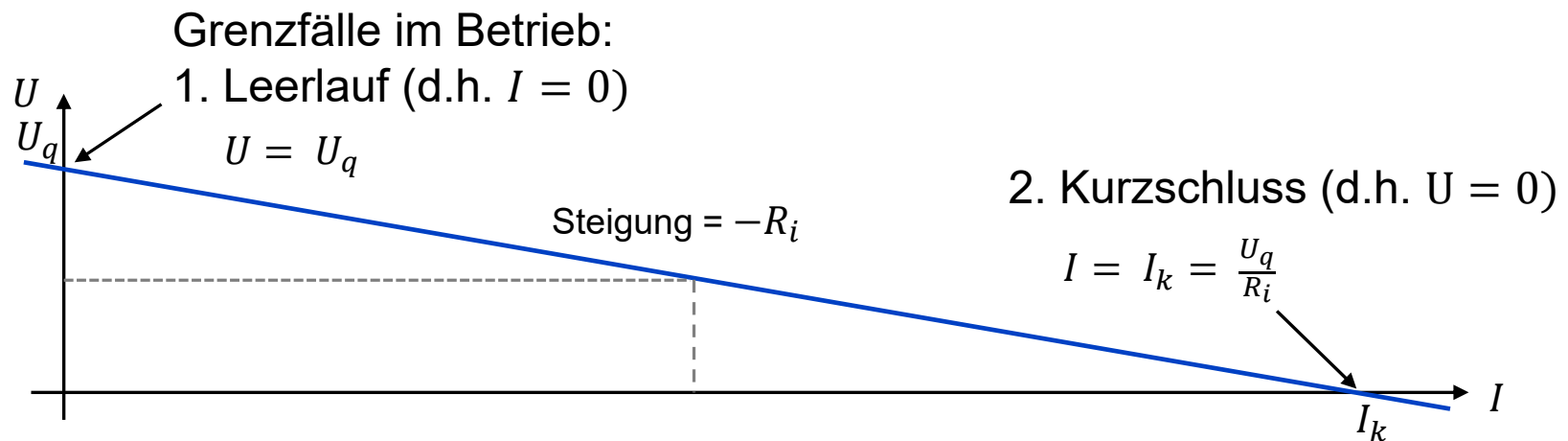
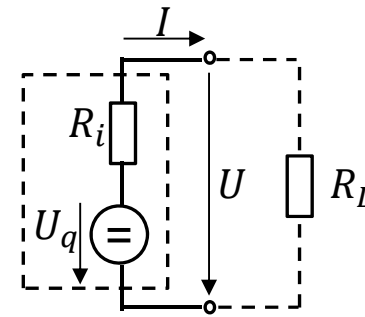
$$U = U_q \cdot \frac{R_L}{R_i + R_L}$$

Bei einer Spannungsquelle sollte der Innenwiderstand möglichst klein sein im Vergleich zur Last, d. h. $R_i \ll R_L$ (Spannungsanpassung).

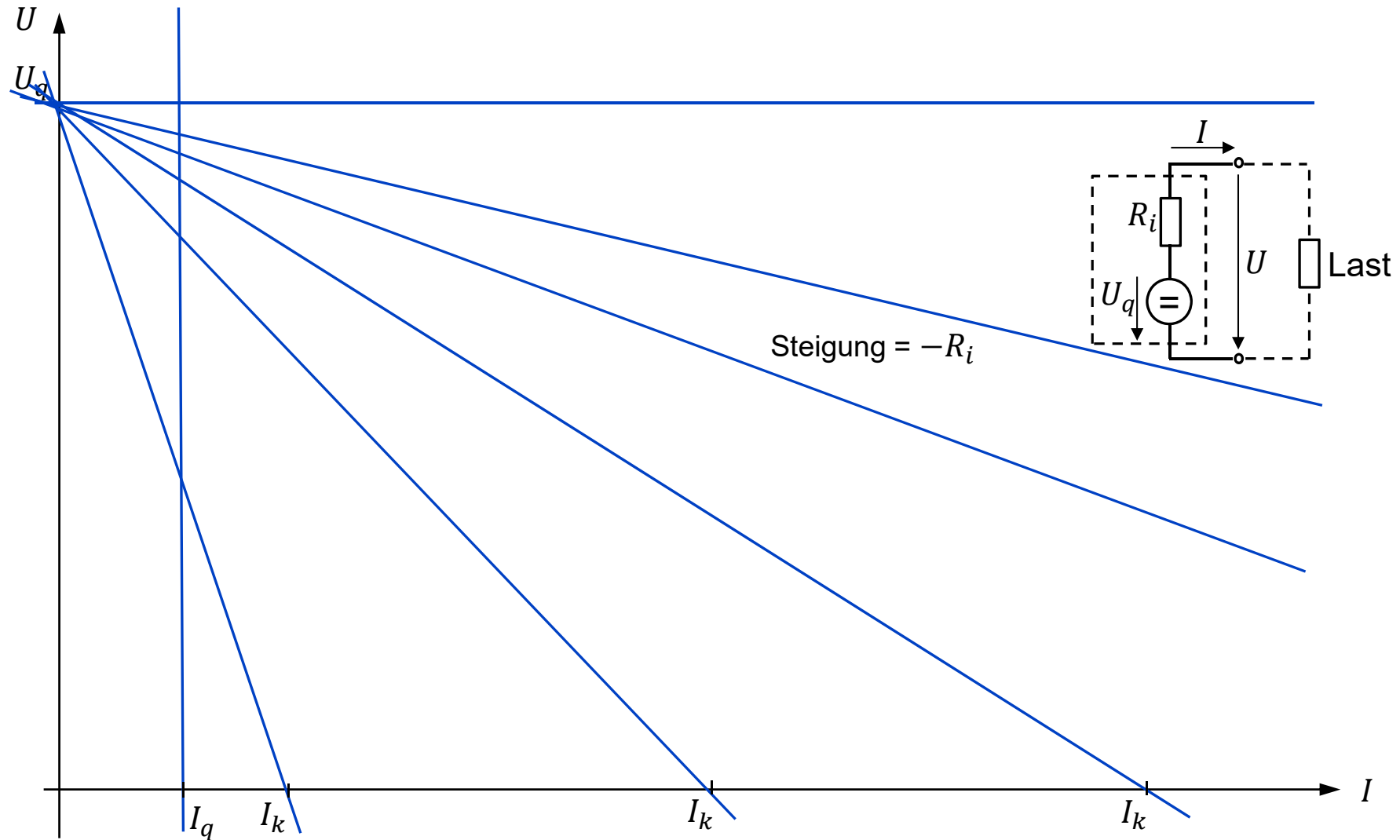
Spannung an den Klemmen in Abhängigkeit vom entnommenen Strom (Größe der Last R_L):
Maschenregel liefert...

$$U = -R_i \cdot I + U_q$$

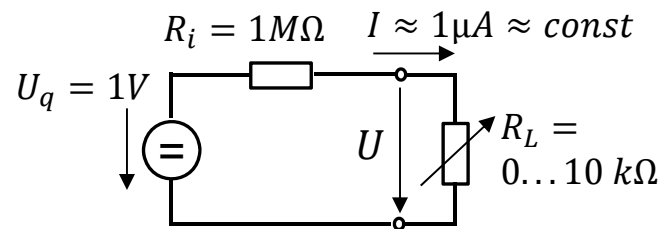
(Geradengleichung, vgl. $y = m \cdot x + b$)



Ideale \Leftrightarrow Reale Spannungsquelle



... könnte im Prinzip wie folgt realisiert werden (Bsp.):

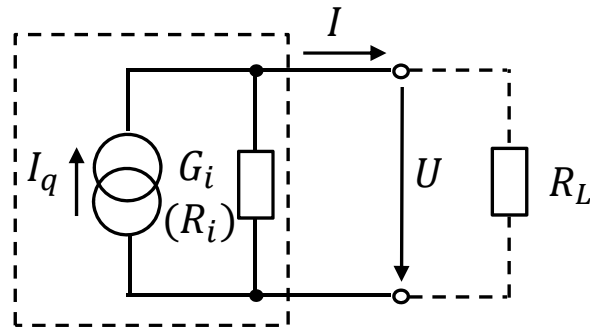


.... ist das eine Spannungsquelle
oder Stromquelle...??

$R_L/k\Omega$	$I/\mu A$	U/mV
0	1,000	0
1	0,999	0,999
10	0,990	9,9
100	0,909	90,9
200	0,833	166,7
300	0,769	230,8
1000	0,500	500

Bei einer Stromquelle sollte der Innenwiderstand möglichst groß sein im Vergleich zur Last, d. h. $R_i \gg R_L$ (Stromanpassung).

Übliche Ersatzschaltung:



Ausgangsstrom in Abh. von der Klemmenspannung:

Knotenregel liefert $I_q - G_i \cdot U - I = 0$

$$I = -G_i \cdot U + I_q$$

$$G_i = \frac{1}{R_i}$$

(Geradengleichung, vgl. $y = m \cdot x + b$)

Grenzfälle im Betrieb:

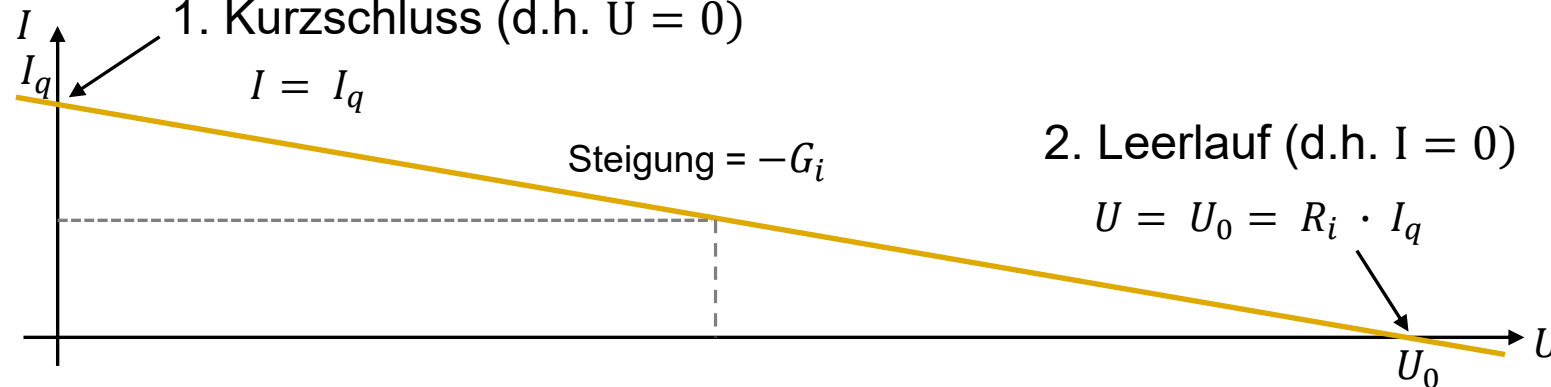
1. Kurzschluss (d.h. $U = 0$)

$$I = I_q$$

Steigung = $-G_i$

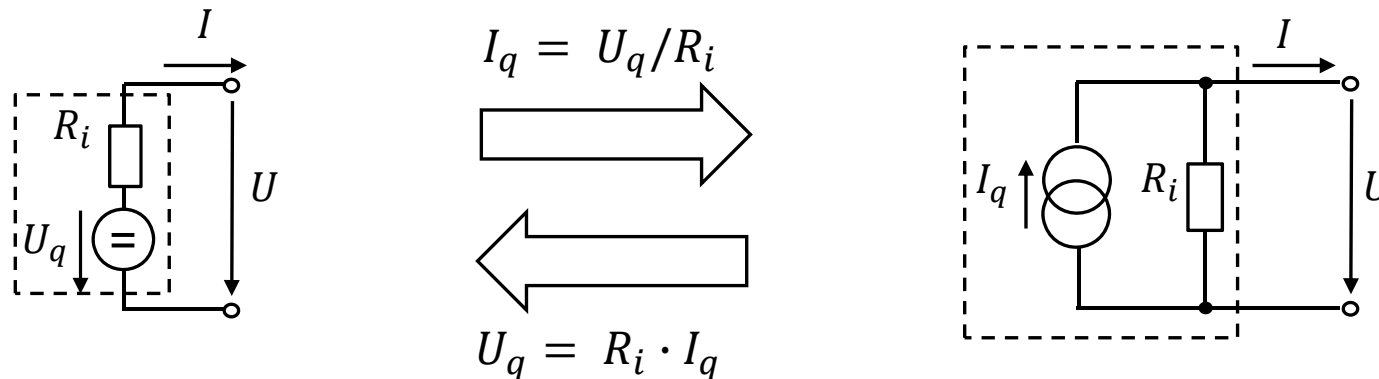
2. Leerlauf (d.h. $I = 0$)

$$U = U_0 = R_i \cdot I_q$$



Jede lineare Quelle kann entweder als Spannungs- oder Stromquelle aufgefasst werden. Beide Darstellungen sind gleichwertig.

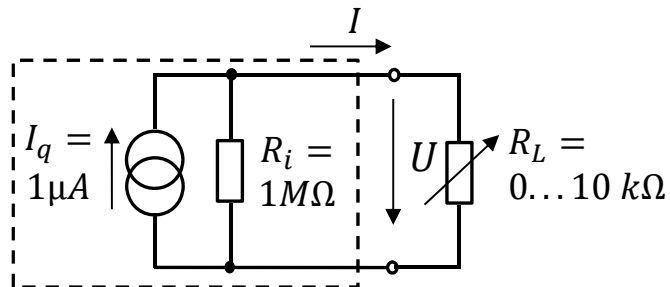
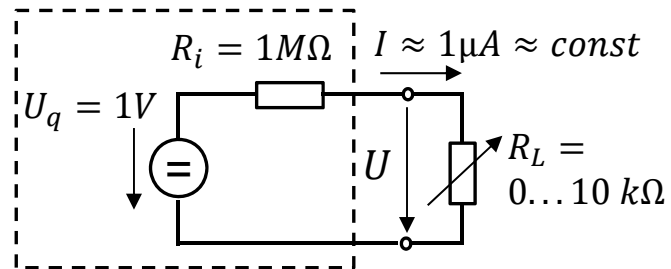
Umwandlung: Die Innenwiderstände beider Quellenarten sind identisch.
Für die Umrechnung der Quellenspannungen in Quellenströme und umgekehrt gilt:



Reale Stromquelle (gleiches Beispiel)



... kann unterschiedlich realisiert werden (Bsp.):



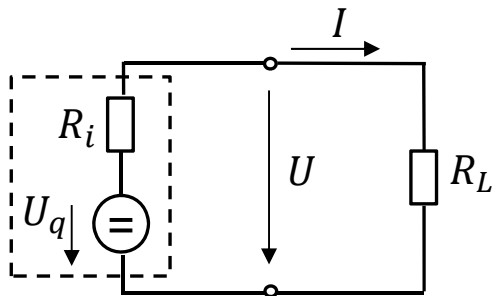
$R_L/k\Omega$	$I/\mu A$	U/mV
0	1,000	0
1	0,999	0,999
10	0,990	9,9
100	0,909	90,9
200	0,833	166,7
300	0,769	230,8
1000	0,500	500

Beispiel: Man bestimme die linearen Ersatzquellen für ein Mikrofon.
Das Mikrofon liefert eine Leerlaufspannung von 8 mV.
Nach Anschluss an einen Verstärker (Eingangswiderstand 5 kΩ)
beträgt die Spannung des Mikrofons nur noch 6,8 mV.

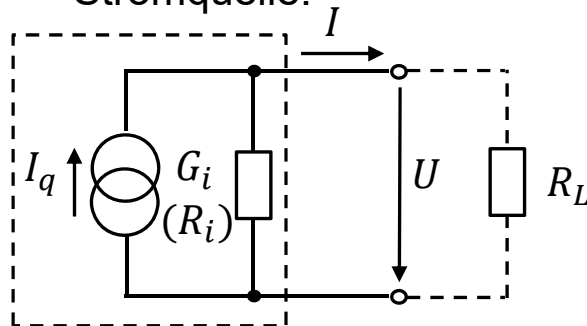


[www.wikipedia.de¹]

1. Darstellung als Spannungsquelle:



2. Darstellung als Stromquelle:



Die Quellspannung entspricht der Leerlaufspannung:

$$U_q = U_o = 8 \text{ mV}$$

Für den Strom in dem Verstärker gilt:

$$I = \frac{U}{R_L} = \frac{6,8 \text{ mV}}{5 \text{ k}\Omega} = 1,36 \text{ }\mu\text{A}$$

Der noch gesuchte Innenwiderstand ergibt sich damit zu:

$$U = U_q - R_i \cdot I \Rightarrow R_i = \frac{U_q - U}{I} = \dots = 880 \Omega$$

Bei der Umrechnung gilt für den Quellenstrom:

$$I_q = \frac{U_q}{R_i} = \dots = 9,09 \text{ }\mu\text{A}$$

Der Innenwiderstand ist derselbe, d.h. $R_i = 880 \Omega$



[www.wikipedia.de¹]

Charles Leon Thévenin

(1857-1926)



[www.wikipedia.de²]

Edward Lawry Norton

(1898-1983)

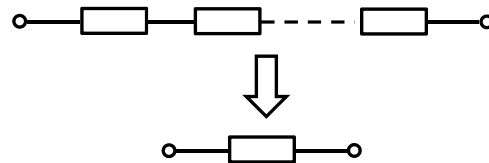


[AIP]

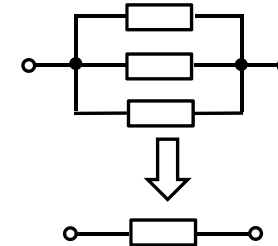
Clarence Melvin Zener

(1905-1993)

passive Ersatz-
Zweipole:



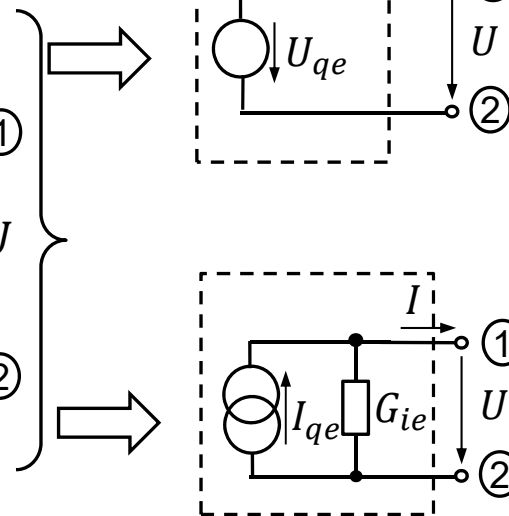
$$R_e = R_1 + R_2 + \dots + R_n$$



$$G_e = G_1 + G_2 + \dots + G_n$$

aktive Ersatz-
Zweipole:

beliebige
Schaltung aus
Widerständen
und linearen
Quellen



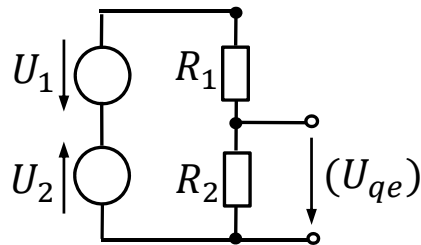
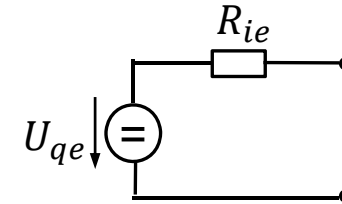
Ersatzspannungsquelle nach Thévenin:

1. Bestimme die Leerlaufspannung zwischen den Klemmen ① u. ②. Sie ist gleich U_{qe} .
2. Deaktiviere gedanklich alle Quellen. Der Widerstand zwischen ① u. ② ist gleich R_{ie} .

Ersatzstromquelle nach Norton:

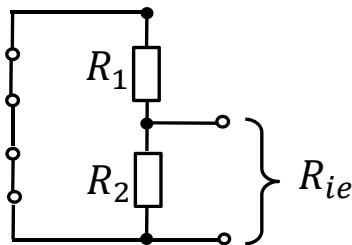
1. Bestimme den Strom, der bei Kurzschluss über ① u. ② fließt. Er ist gleich I_{qe} .
2. Deaktiviere gedanklich alle Quellen der Schaltung. Der Leitwert zwischen ① u. ② ist gleich G_{ie} .

Bestimme die Ersatzschaltung nach Thévenin!



Bestimmung der Ersatzquellenspannung
($\hat{=}$ Leerlaufspannung):

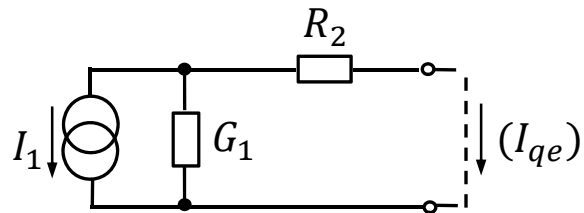
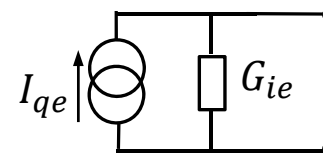
$$U_{qe} = (U_1 - U_2) \cdot \frac{R_2}{R_1 + R_2}$$



Bestimmung des Ersatzinnenwiderstands:

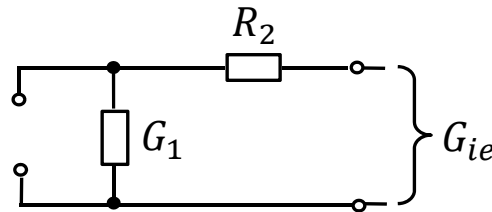
$$R_{ie} = R_1 \parallel R_2 = \frac{R_1 \cdot R_2}{R_1 + R_2}$$

Bestimme den Ersatzzweipol nach Norton!



Bestimmung des Ersatzquellenstroms
($\hat{=}$ Kurzschlussstrom):

$$I_{qe} = -I_1 \cdot \frac{1/R_2}{G_1 + 1/R_2} = -\frac{I_1}{1 + G_1 \cdot R_2}$$



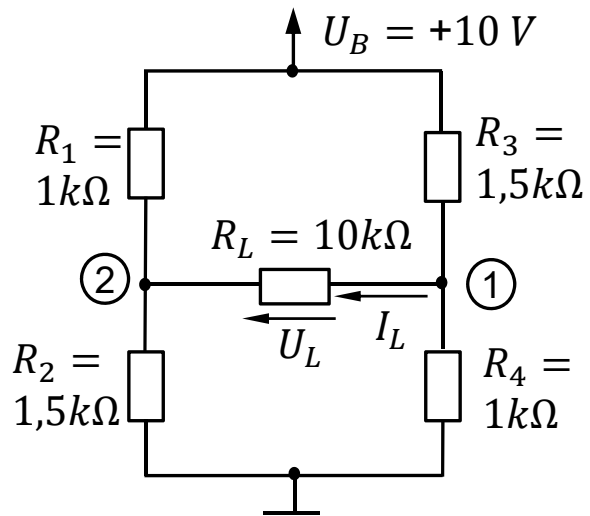
Bestimmung des Ersatzinnenleitwerts:

$$G_{ie} = \frac{1}{R_{ie}} = \frac{1}{R_2 + 1/G_1} = \frac{G_1}{1 + G_1 \cdot R_2}$$

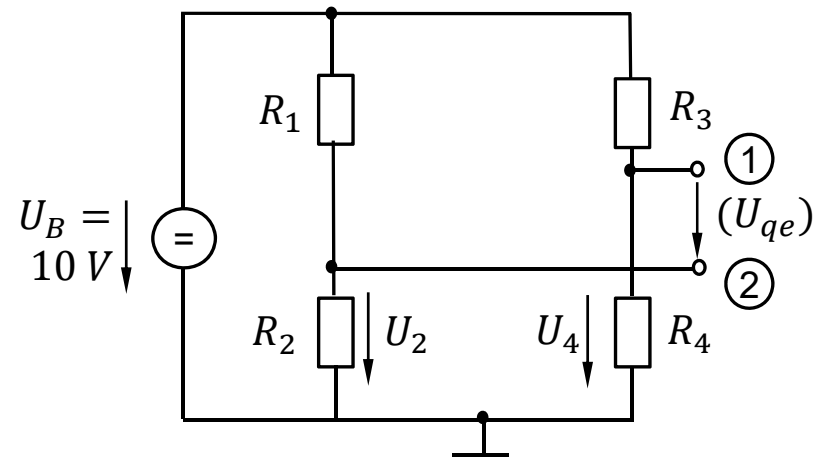
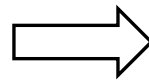
Ersatzzweipolbestimmung – Beispiel (1)



Bestimme I_L und U_L mit Hilfe des Thévenin-Theorems.



Widerstand R_L
ausbauen:



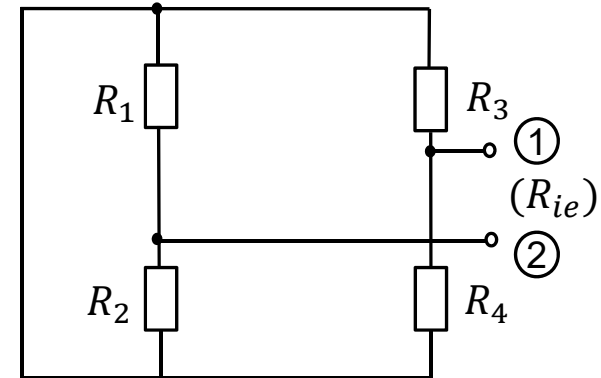
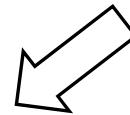
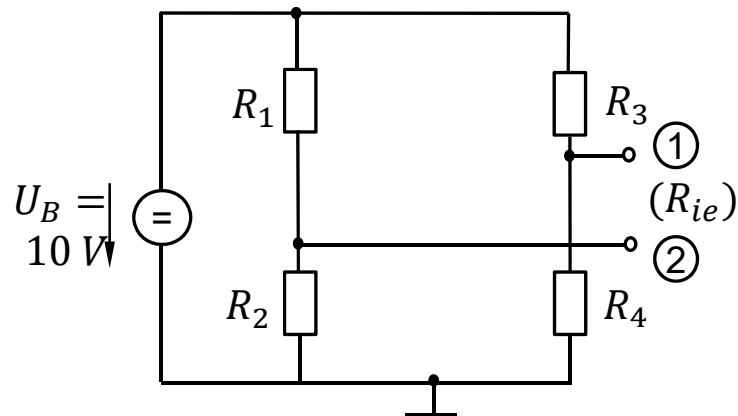
Bestimme U_{qe} :

$$U_{qe} = U_4 - U_2 = \frac{R_4}{R_3 + R_4} U_B - \frac{R_2}{R_1 + R_2} U_B = \dots = -2V$$

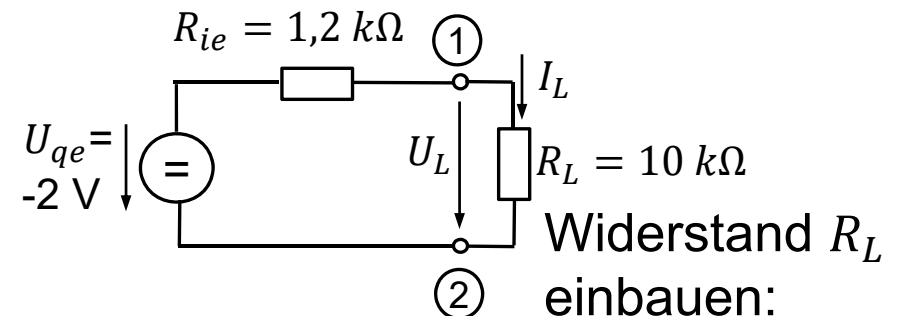
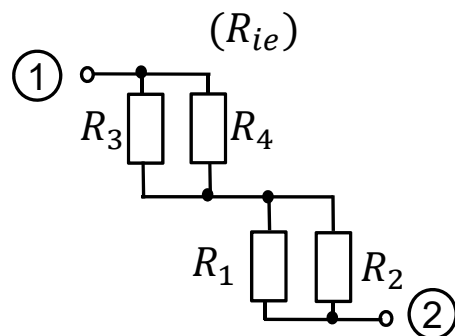
Ersatzzweipolbestimmung – Beispiel (2)



weiter: Bestimme R_{ie} .



Ersatzspannungsquelle:

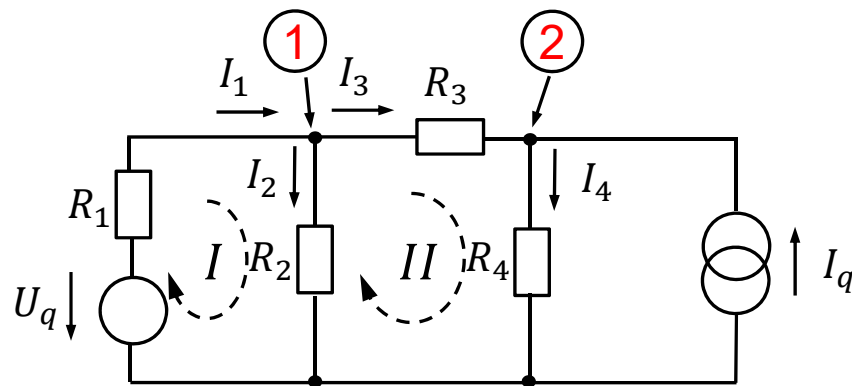


$$R_{ie} = (R_1 \parallel R_2) + (R_3 \parallel R_4) = \dots = 1,2 \text{ k}\Omega$$

$$I_L = \frac{U_{qe}}{R_{ie} + R_L} = \dots = -0,179 \text{ mA}$$

$$U_L = R_L \cdot I_L = \dots = -1,79 \text{ V}$$

- Gegeben sei eine Schaltung (Netzwerk) inklusive Quellen.
- Ziel: Berechnung von (allen) Strömen bzw. Spannungen mit Hilfe der kirchhoffschen Regeln sowie des ohmschen Gesetzes.
→ Lösen eines LGS mit n Gleichungen und n Unbekannten.
- Bei k Knoten erhält man $(k - 1)$ unabhängige Knotengleichungen und $n - (k - 1)$ unabhängige Maschengleichungen (n = Anzahl der unbekannten Zweigströme)
- Reduktion der Anzahl von Gleichungen durch Anwendung des Maschenstromverfahrens oder Knotenpotentialverfahrens.



$$I_1 - I_2 - I_3 = 0 \quad (\text{Knoten 1})$$

$$I_3 - I_4 = -I_q \quad (\text{Knoten 2})$$

$$R_1 I_1 + R_2 I_2 = U_q \quad (\text{Masche 1})$$

$$-R_2 I_2 + R_3 I_3 + R_4 I_4 = 0 \quad (\text{Masche 2})$$

Symbolisches Lösen für I z. B. mit Hilfe von Mathematica (Befehl Solve []):

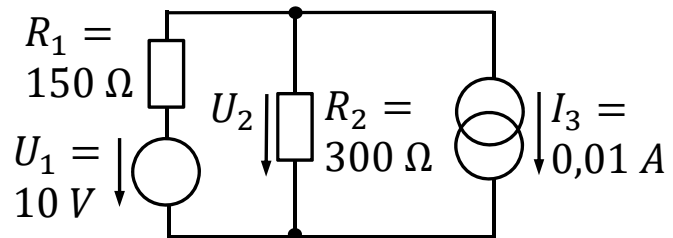
$$I_4 = \frac{R_2 \cdot (R_1 \cdot I_q + U_q) + (R_1 + R_2) \cdot R_3 \cdot I_q}{R_1 \cdot R_2 + (R_1 + R_2) \cdot (R_3 + R_4)}$$

$$U_4 = R_4 \cdot I_4$$

Lösungsmethodik:

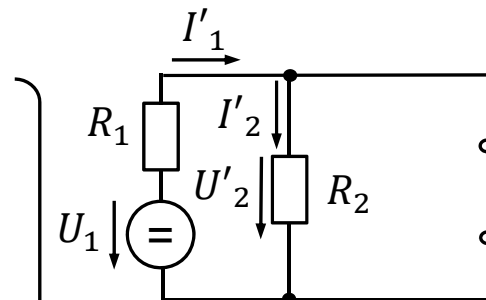
1. Deaktiviere gedanklich alle Quellen außer der betrachteten (Spannungsquellen durch Kurzschluss, Stromquellen durch Unterbrechung ersetzen).
2. Addiere die Teilspannungen / Teilströme für die Gesamtwirkung.

Beispiel: Bestimme U_2 !



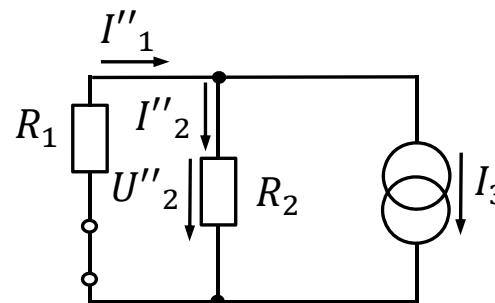
Überlagerung
(Addition):

$$U_2 = U'_2 + U''_2 = \dots = +5,66 \text{ V}$$



Stromquelle deaktivieren
(unterbrechen):

$$U'_2 = U_1 \cdot \frac{R_2}{R_1 + R_2} = \dots = 6,66 \text{ V}$$

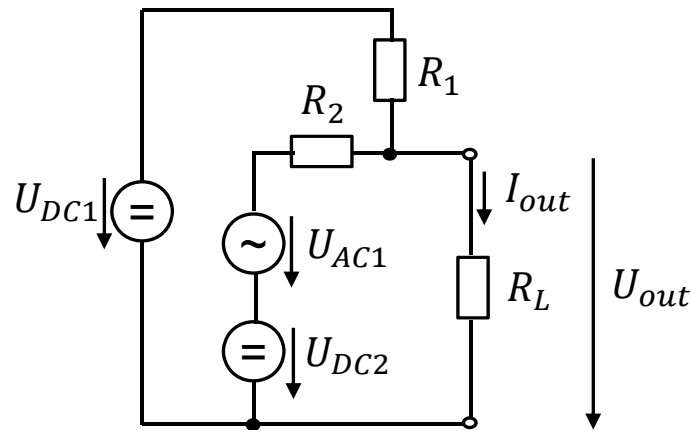


Spannungsquelle deaktivieren
(kurzschließen):

$$U''_2 = -I_3 \cdot (R_1 \parallel R_2) = \dots = -1,0 \text{ V}$$

In *linearen* Netzen gilt das Superpositionsprinzip!

Beispiel:

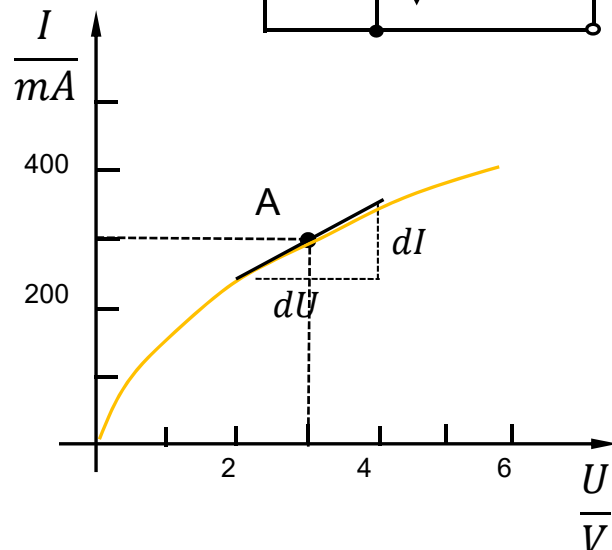
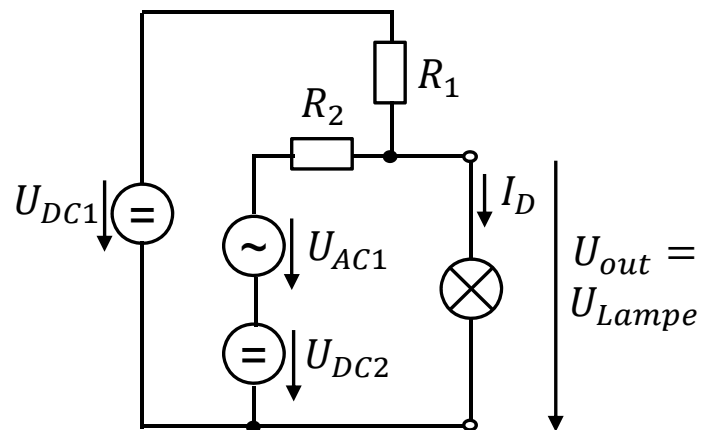


$$\begin{aligned}
 I_{out} &= \frac{U_{out}}{R_L} \\
 &= I_{out1}(U_{DC1}) \Big|_{U_{DC2}=U_{AC1}=0} \\
 &\quad + I_{out2}(U_{DC2}) \Big|_{U_{DC1}=U_{AC1}=0} \\
 &\quad + I_{out3}(U_{AC1}) \Big|_{U_{DC2}=U_{DC1}=0}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 U_{out} &= f_1(U_{DC1}) \Big|_{U_{DC2}=U_{AC1}=0} \\
 &\quad + f_2(U_{DC2}) \Big|_{U_{DC1}=U_{AC1}=0} \\
 &\quad + f_3(U_{AC1}) \Big|_{U_{DC2}=U_{DC1}=0} \\
 &= \frac{R_L \parallel R_2}{R_1 + R_L \parallel R_2} U_{DC1} \\
 &\quad + \frac{R_L \parallel R_1}{R_2 + R_L \parallel R_1} U_{DC2} \\
 &\quad + \frac{R_L \parallel R_1}{R_2 + R_L \parallel R_1} U_{AC1}
 \end{aligned}$$

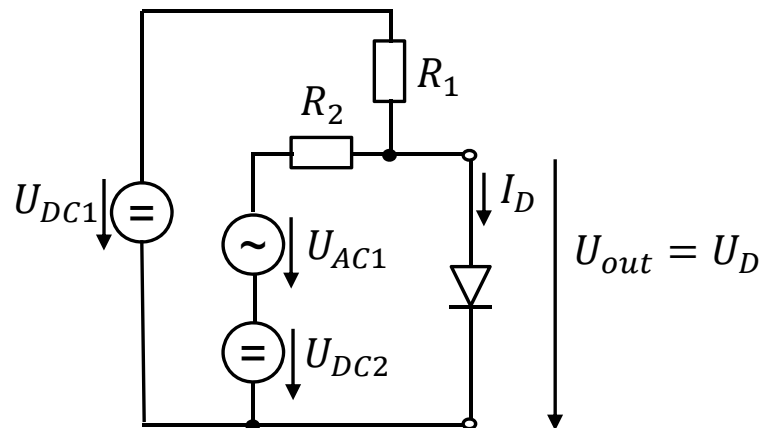
In *nichtlinearen* Netzen gilt dieses Prinzip generell nicht mehr!

Beispiel:



In *nichtlinearen* Netzen gilt dieses Prinzip generell nicht mehr!

Beispiel:



Diodengleichung:

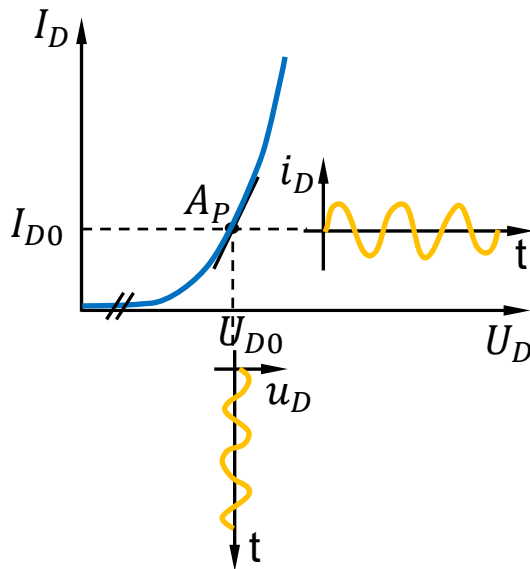
$$I_D = I_S \left(e^{\frac{qU_D}{kt}} - 1 \right)$$

$$\begin{aligned} &\neq I_{D1}(U_{DC1}) \Big|_{U_{DC2}=U_{AC1}=0} \\ &+ I_{D2}(U_{DC2}) \Big|_{U_{DC1}=U_{AC1}=0} \\ &+ I_{D3}(U_{AC1}) \Big|_{U_{DC2}=U_{DC1}=0} \end{aligned}$$

Hier unterscheidet man zwischen

Großsignal- und Kleinsignalanalyse

Diese beruht auf der Taylorreihenentwicklung des Übertragungsverhaltens der nichtlinearen Elemente bis zum linearen Glied!



$$I_D \approx I_s \cdot e^{\frac{U_D}{U_{Temp}}}$$

$$g_D = \left. \frac{dI_D}{dU_D} \right|_{AP=U_{D0}} = \frac{I_{D0}}{U_{Temp}}$$

$$g_D = \frac{1}{r_D} = \frac{i_D}{u_D}$$

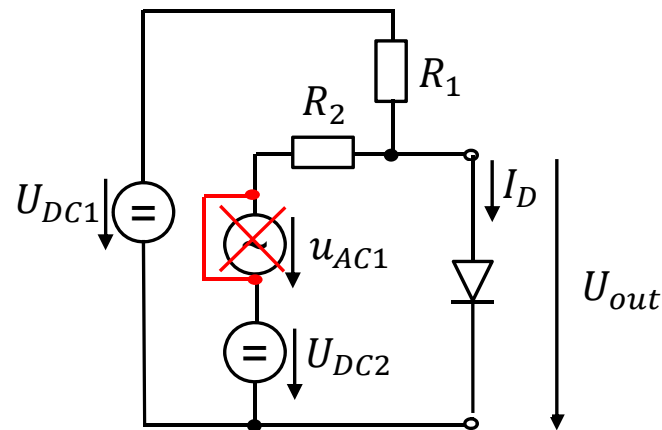
$$\Rightarrow i_D = g_D \cdot u_D$$

- Für die AC-Analyse betrachten wir nur infinitesimal kleine Änderungen um den Arbeitspunkt herum, bzw. Signale mit sehr kleiner Amplitude (= Kleinsignal).
- Unter dieser Voraussetzung dürfen alle nichtlinearen Kennlinien durch ihre Tangenten im Arbeitspunkt ersetzt werden (Linearisierung).
- Die entsprechenden differentiellen Größen fungieren als Rechengrößen (= Kleinsignalparameter) im Wechselstromersatzschaltbild der Schaltung.

Schritt 1: Großsignalanalyse

Zunächst erfolgt eine Analyse des Arbeitspunktes (AP, engl. Bias Point, Operating Point) unter Berücksichtigung aller DC Strom- und Spannungsquellen bei gleichzeitiger Vernachlässigung aller (Kleinsignal-) Wechselanteile (AC)!

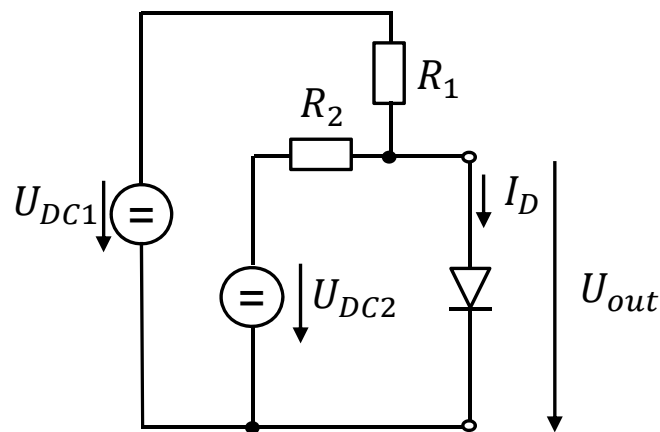
Beispiel: $R_1 = R_2 = R$



Schritt 1: Großsignalanalyse

Zunächst erfolgt eine Analyse des Arbeitspunktes (AP, engl. Bias Point, Operating Point) unter Berücksichtigung aller DC Strom- und Spannungsquellen bei gleichzeitiger Vernachlässigung aller (Kleinsignal-) Wechselanteile (AC)!

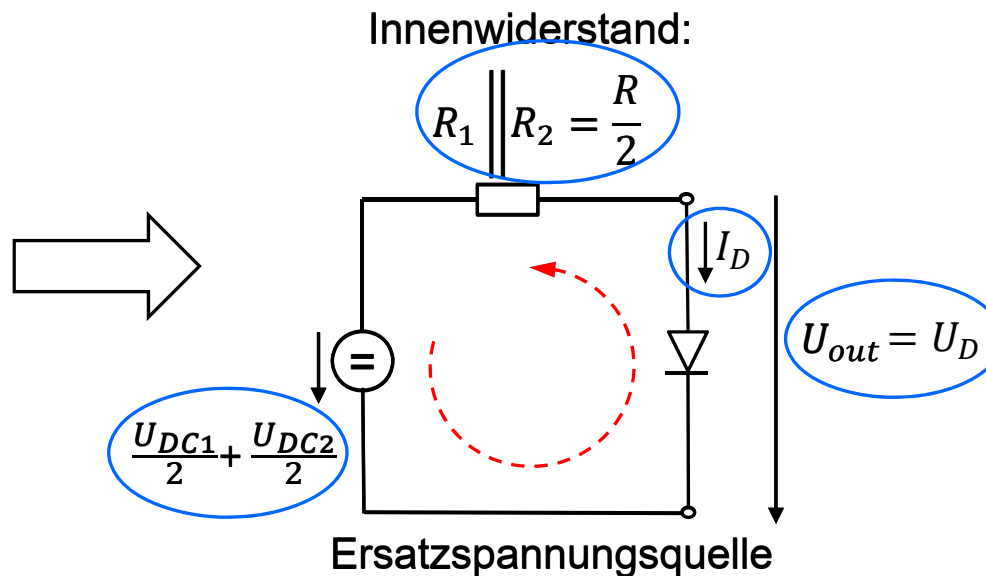
Beispiel: $R_1 = R_2 = R$



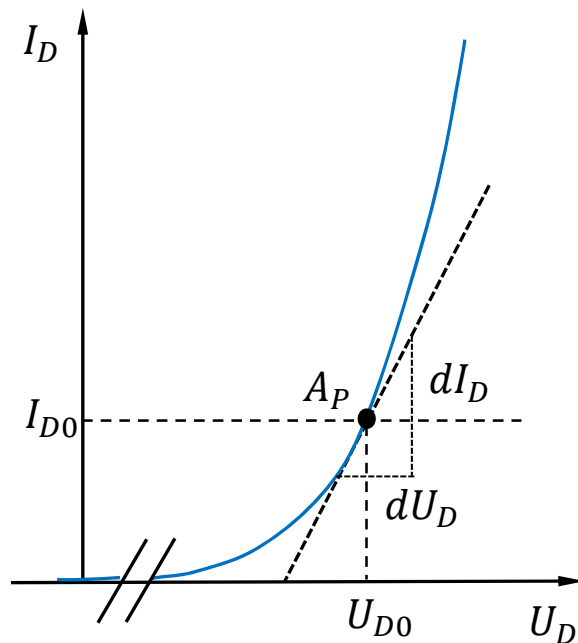
Es gilt (Maschenumlauf):

$$\frac{U_{DC1}}{2} + \frac{U_{DC2}}{2} - U_D - \frac{R}{2} I_D = 0$$

$$\frac{U_{DC1}}{2} + \frac{U_{DC2}}{2} = \frac{R}{2} \left(I_0 e^{\frac{qU_D}{kT}} - 1 \right) + U_D$$



Lösen nach U_D
Damit ist der AP (U_{D0}, I_{D0})
der Diode bestimmt



Man sieht:

$$I_D(U_{D0}) \hat{=} I_{D0}$$

$$\left. \frac{\partial I_D}{\partial U_D} \right|_{U_{D0}} \hat{=} g_D$$

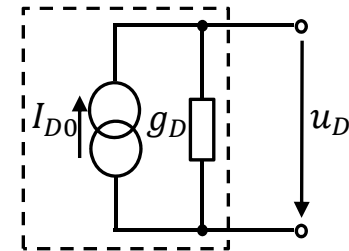
$$U_D(t) - U_{D0} \hat{=} u_D(t)$$

Mit Hilfe des berechneten AP (U_{D0}, I_{D0}) ist es nun möglich, eine Taylorreihenentwicklung für das nichtlineare Übertragungsverhalten durchzuführen.

Diodenkennlinie: $I_D = I_0 \left(e^{\frac{qU_D}{kT}} - 1 \right) \approx I_0 e^{\frac{qU_D}{kT}}, \frac{qU_D}{kT} \gg 0$

Taylorreihe:

$$I_D(t) \approx \underbrace{I_D(U_{D0})}_{I_{D0}} + \underbrace{\left. \frac{\partial I_D}{\partial U_D} \right|_{U_{D0}}}_{\text{konst. Leitwert}} \underbrace{(U_D(t) - U_{D0})}_{\text{Wechselanteil } u_D(t)} \hat{=} I_{D0} + g_D \cdot u_D(t)$$



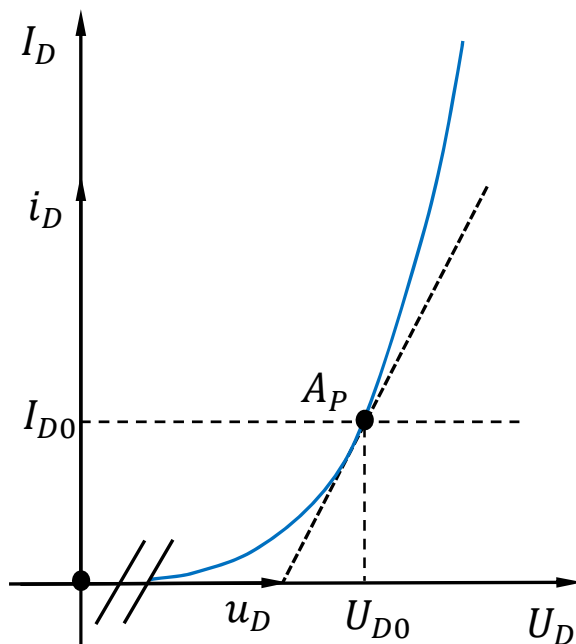
Ist der Arbeitspunkt (Großsignal), bereits berechnet

Ist die Steigung der Tangente im Arbeitspunkt an der Diodenkennlinie und deshalb wertmäßig durch den Arbeitspunkt bestimmt

Entspricht dem Wechselanteil $u_D(t)$ von $U_D(t)$ (Kleinsignalanalyse, noch durchzuführen)

Schritt 2: Kleinsignalanalyse

Nachdem der AP und somit die Steigung der Tangente an die reale Übertragungskennlinie im AP bestimmt wurde (Kleinsignalparameter g_D), spielt der AP selbst für die Kleinsignalanalyse keine weitere Rolle mehr!

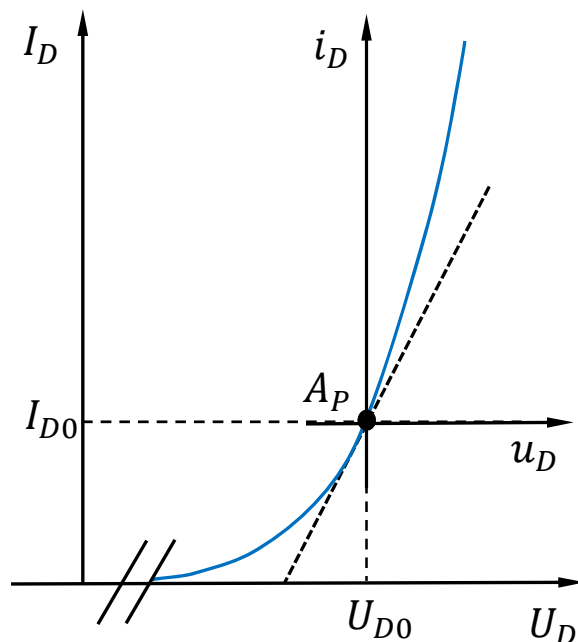


Man verschiebt daher das ursprüngliche Bezugssystem in den AP und definiert somit einen neuen Bezugspunkt (Nullpunkt) für die folgende Kleinsignalanalyse!
(man sagt: „der Knoten liegt DC-mäßig bzw. kleinsignalmäßig auf Masse“)

Für die Schaltung bedeutet dies die Vernachlässigung aller DC Quellen
(Spannungsquellen kurzschließen, Stromquellen unterbrechen)

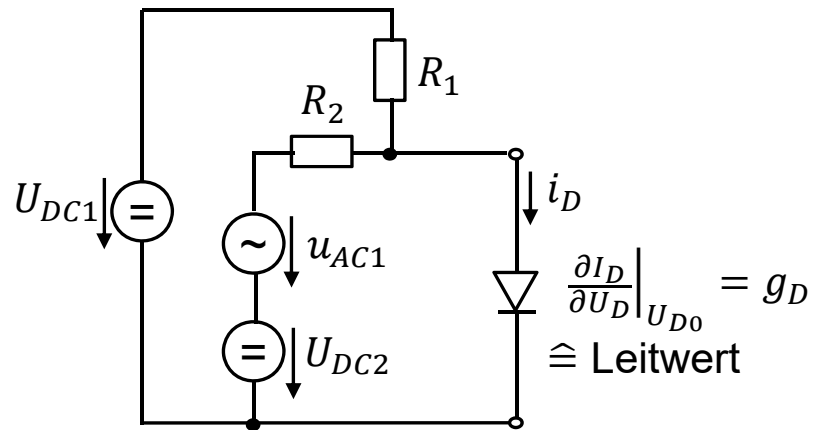
Schritt 2: Kleinsignalanalyse

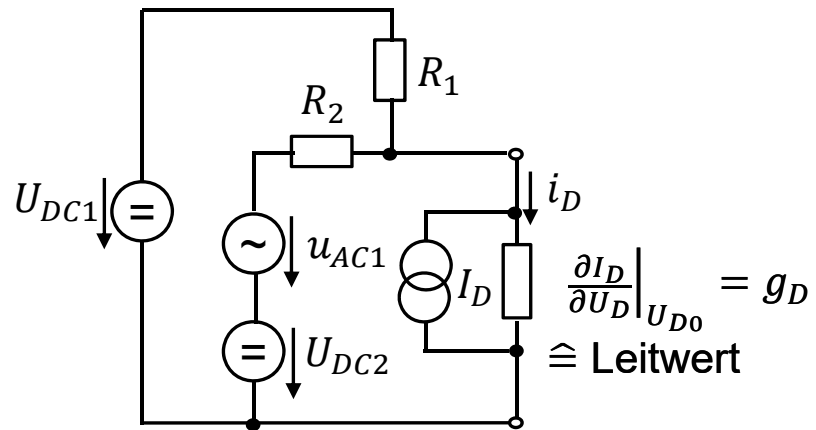
Nachdem der AP und somit die Steigung der Tangente an die reale Übertragungskennlinie im AP bestimmt wurde (Kleinsignalparameter g_D), spielt der AP selbst für die Kleinsignalanalyse keine weitere Rolle mehr!

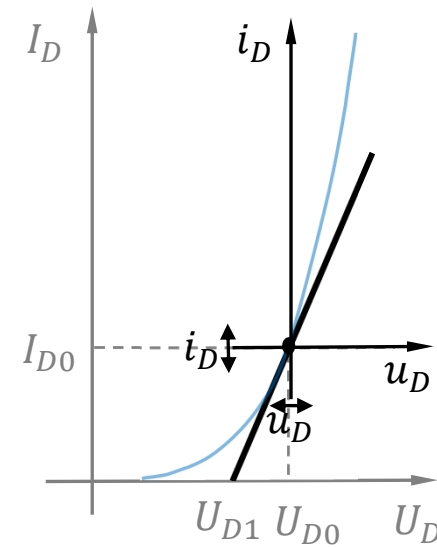
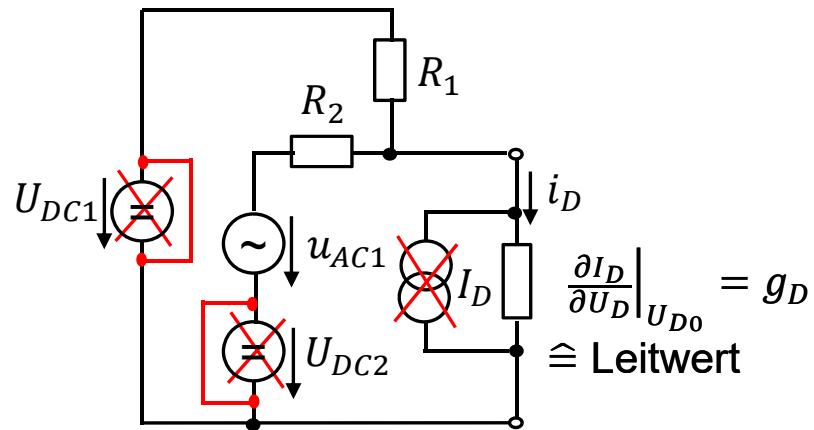


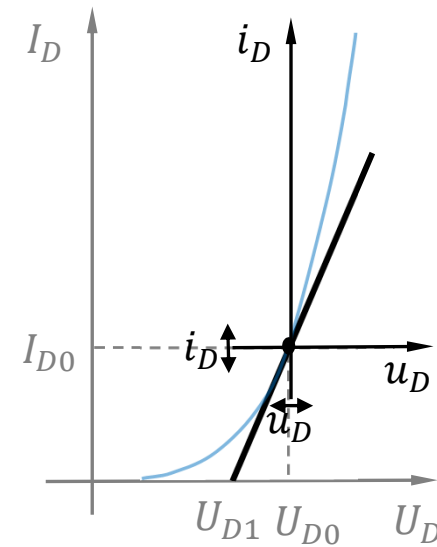
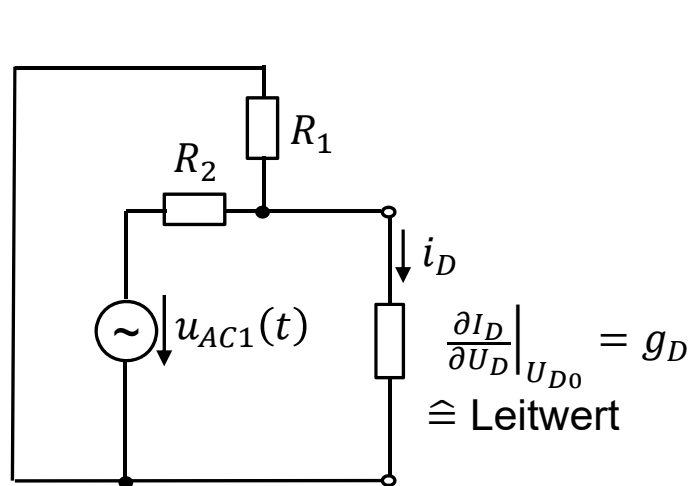
Man verschiebt daher das ursprüngliche Bezugssystem in den AP und definiert somit einen neuen Bezugspunkt (Nullpunkt) für die folgende Kleinsignalanalyse!
(man sagt: „der Knoten liegt DC-mäßig bzw. kleinsignalmäßig auf Masse“)

Für die Schaltung bedeutet dies die Vernachlässigung aller DC Quellen (Spannungsquellen kurzschließen, Stromquellen unterbrechen)





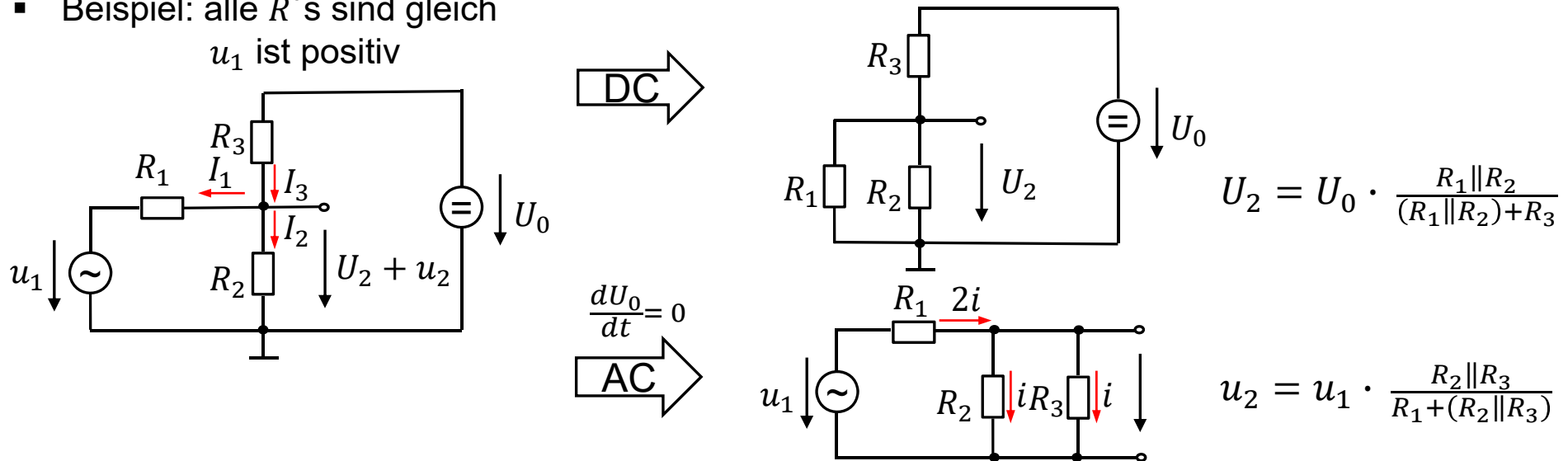




$$u_d(t) = \frac{R_1 \parallel g_D}{R_2 + R_1 \parallel g_D} u_{AC1}(t)$$

Beispiel: Man bestimme mit Hilfe von geeigneten Ersatzschaltungen den Gleich- und Wechselanteil (Arbeitspunkt und Kleinsignal $U_2 + u_2$)

- Beispiel: alle R 's sind gleich
 u_1 ist positiv



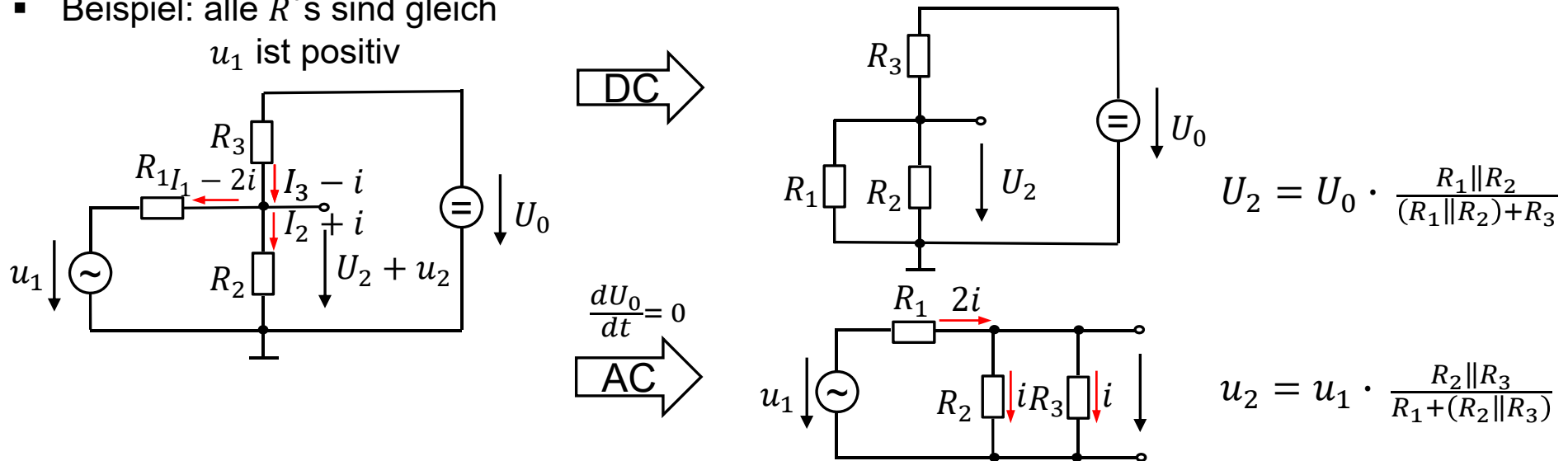
DC-Analyse: Es werden nur die DC-Quellen betrachtet.
Alle Wechselgrößen werden gedanklich deaktiviert.

AC-Analyse: Es werden nur die Wechselgrößen betrachtet.
Alle DC-Quellen werden gedanklich deaktiviert, d. h.

- Gleichspannungsquellen werden kurzgeschlossen,
- Gleichstromquellen werden unterbrochen bzw. entfernt.

Beispiel: Man bestimme mit Hilfe von geeigneten Ersatzschaltungen den Gleich- und Wechselanteil (Arbeitspunkt und Kleinsignal $U_2 + u_2$)

- Beispiel: alle R 's sind gleich
 u_1 ist positiv

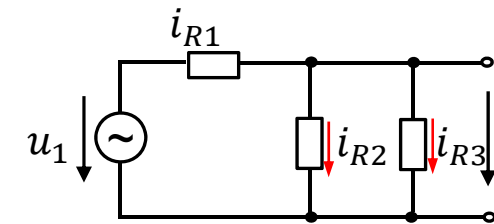
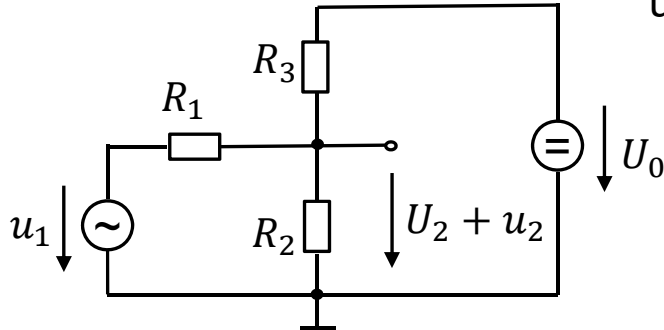


DC-Analyse: Es werden nur die DC-Quellen betrachtet.
Alle Wechselgrößen werden gedanklich deaktiviert.

AC-Analyse: Es werden nur die Wechselgrößen betrachtet.
Alle DC-Quellen werden gedanklich deaktiviert, d. h.

- Gleichspannungsquellen werden kurzgeschlossen,
- Gleichstromquellen werden unterbrochen bzw. entfernt.

Hausaufgabe: Man bestimme die drei Ströme I_{R1}, I_{R2}, I_{R3} anhand der (Gleich- und Wechsel-) Spannungen: U_0, u_1 . Bestimme auch U_2 und ΔU_2 (also die Änderung aufgrund von u_1 bezogen auf $u_1 = 0$)



Wiederhole mit obiger
Kleinsignalersatzschaltung

$U_0 = 18V$	$R_1 = 1\Omega$	$R_2 = 1\Omega$	$R_3 = 1\Omega$		
u_1 (V)	I_{R1} (A)	I_{R2} (A)	I_{R3} (A)	U_2 (V)	ΔU_2 (V)
-6					
-3					
0	6,0	6,0	12,0	6,0	0,0
3					
6					

Wiederhole mit u_1 in mV

$U_0 = 18V$	$R_1 = 1\Omega$	$R_2 = 1\Omega$	$R_3 = 1\Omega$		
u_1 (mV)	I_{R1} (A)	I_{R2} (A)	I_{R3} (A)	U_2 (V)	ΔU_2 (mV)
-6					
-3					
0	6,0	6,0	12,0	6,0	0,0
3					
6					

	$R_1 = 1\Omega$	$R_2 = 1\Omega$	$R_3 = 1\Omega$	
u_1	i_{R1}	i_{R2}	i_{R3}	u_2
-6				
-3				
0	0	0	0	0
3				
6				

Betrachte nun die Abweichung von AP ($u_i = 0$)
und vergleiche mit der Kleinsignalanalyse

Wichtige Hinweise:

- Bei der Arbeitspunktberechnung gilt das Superpositionsprinzip **nur**, sofern es sich um ein **lineares** Netzwerk handelt!
- Bei der **Kleinsignalbetrachtung** ist das **Superpositionsprinzip** anwendbar, da das nichtlineare Netzwerk durch ein lineares ersetzt wurde!
- Einer **Kleinsignalanalyse** geht immer eine **Großsignalanalyse** voraus, da diese die Steigungen der einzelnen nichtlinearen Übertragungscharakteristiken im AP und somit die **linearen Kleinsignalparameter bestimmt**!
- Für die **eigentliche Kleinsignalanalyse** spielen der Arbeitspunkt und die DC-Strom- und Spannungsquellen **keine** Rolle!

Deshalb werden:

- DC-Spannungsquellen kurzgeschlossen (man sagt: „der Knoten liegt DC-mäßig bzw. kleinsignalmäßig auf Masse“)
- Zweige, die DC-Stromquellen enthalten werden unterbrochen und somit weggelassen

Diese Vorgehensweise entspricht einer Verschiebung des Koordinatensystems in den AP!