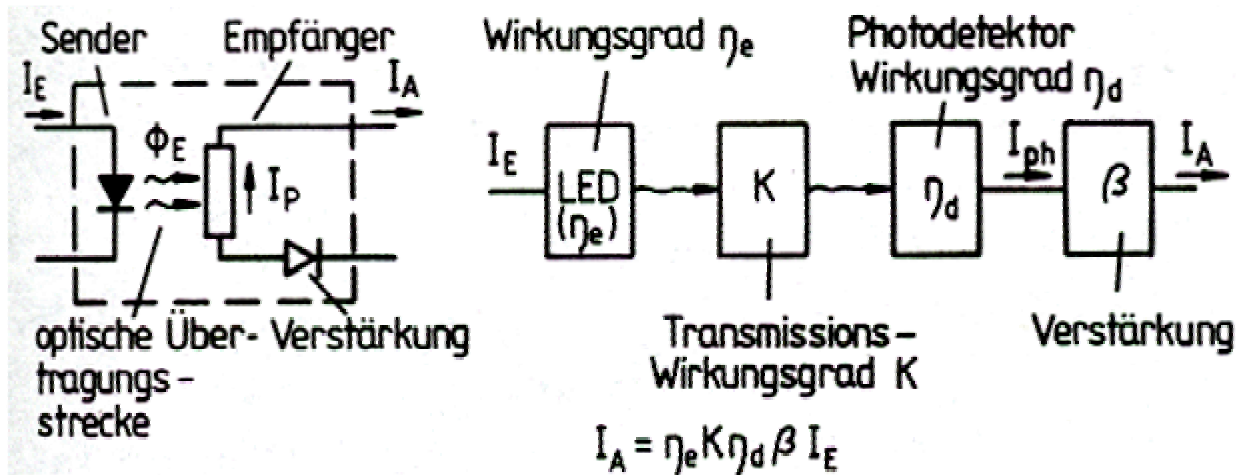


# Optokoppler (Optoisolator) - Prinzip

Sender: LED

Empfänger: Photodiode, -transistor, -thyristor, FET, - Triac u.U. ergänzt durch Verstärker, Begrenzer, Logik

Strecke: Luft, Lichtleiter, Glas, Kunststoff



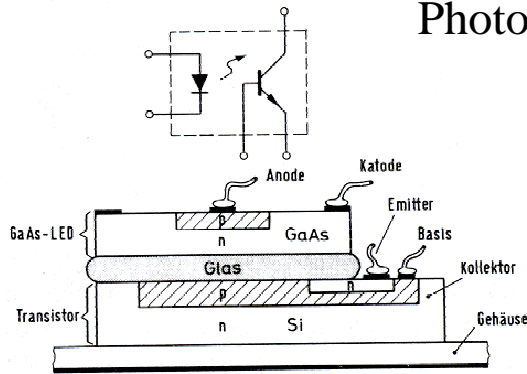
Aufgabe: galvanische Trennung zweier Kreise auf unterschiedlichen Potentialen

Motive: Schutz vor hochspannungsführenden Stromkreisen in der Anlagen- und Medizintechnik, Vermeidung von Störspannungen durch Erdschleifen räumlich ausgedehnter Messsysteme, Unterdrückung von Gleichtaktstörungen

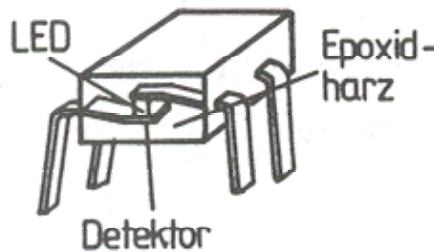
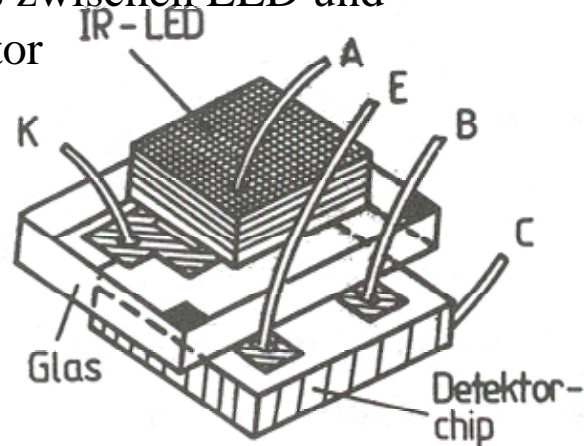
Vorteile: im Vergleich zum magnetischen Übertrager rückwirkungsfreie Übertragung in nur einer Richtung, größere Übertragungsbandbreite, kein Prellen und keine Kontaktabnutzung wie bei herkömmlichen Relais

# Geschlossene und offene Koppler

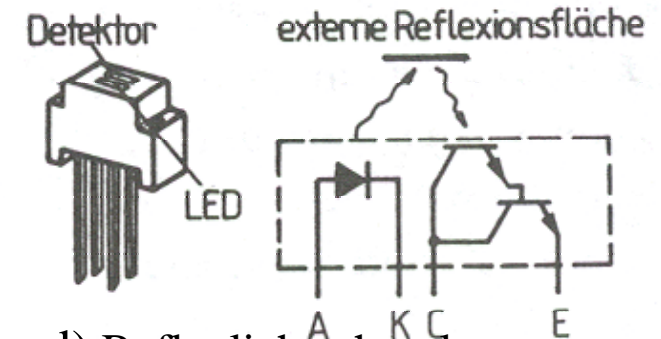
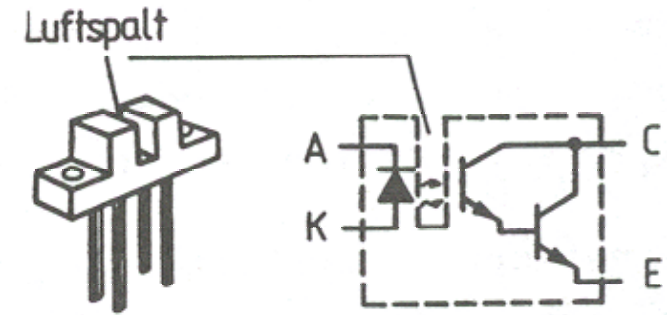
a) Sandwich-Anordnung mit 0,2 mm starkem Glas zwischen LED und Phototransistor



b) Montage auf getrennten Trägern im DIP-Gehäuse mit Epoxidharz zwischen LED und Detektor



c) Gabellichtschranke



d) Reflexlichtschranke

a) und b) geschlossene Koppler – keine äußere Beeinflussung des optischen Übertragungswegs, Modulation über den Sender

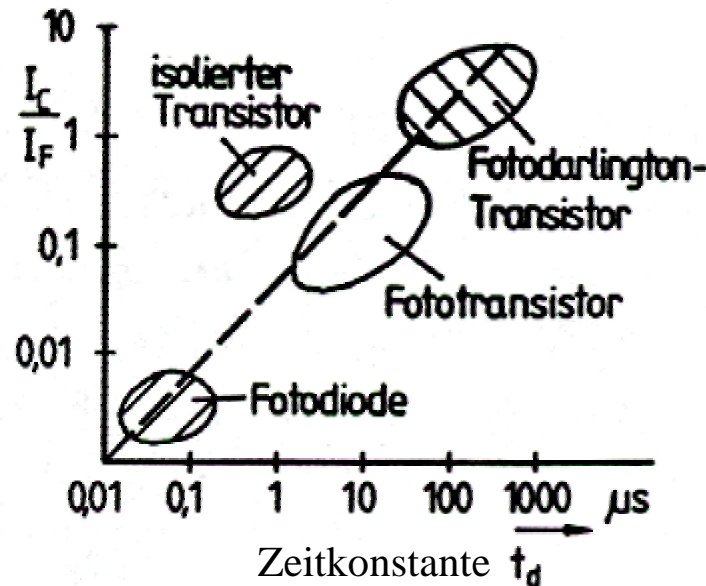
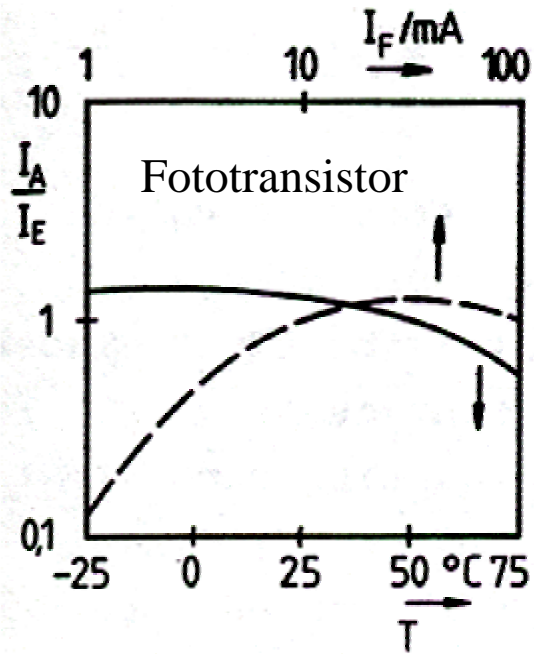
c) und d) offene Koppler – Modulation sowohl über Sender wie auch über die opt. Strecke  
Übertragung stark abhängig von der Art der optischen Strecke (Oberfläche, etc.)

# Sender-Empfängerkombinationen und Kenndaten

Kennwerte	Typ	Lampe	Fotoleiter	Fotodiode 3)	Fototransistor	LED-Fotthyristor 4), 5)	Fototriac	Fotodiode + Transistorverstärker	Fotodiode + Verstärker + Gatter	Fotofeld-effekttransistor
Stromübertragungsverhältnis 1)		100 Ω/V 10 kΩ/V	≈ 10 kΩ/A	< 2 %	< 100 % < 500 % <sup>2)</sup>	10 mA 6)	10 mA	< 400 %	< 500 %	< 50 %
Datenrate (MHz)		10 <sup>-5</sup>	10 <sup>-4</sup>	< 10 <sup>7)</sup>	< 0,5 < 0,05 <sup>2)</sup>	0,1 ... 1	< 1	< 30	30	1
Isolationsspannung (kV)		0,5 ... 2	dto	50	< 10	< 20	< 20	< 5	< 5	< 5

Hinweise: 1) bei Photoleitern spannungs- oder strombezogene Widerstandsänderung anstelle des Stromübertragungsverhältnisses, 2) für Photodarlingtontransistor, 3) Sonderform mit 2 antiparallelen LED (Wechselstrombetrieb), 4) LED-Phototriac, 5) Doppel-LED und 2 Thyristoren, 6) Triggerstrom, 7) in Sonderfällen höher

# Stromübertragungsverhältnis – CTR (current transfer ratio)



$$CTR = \frac{I_A}{I_E}$$

Kopplungsfaktor zwischen Eingangsstrom  $I_E$  und Ausgangsstrom  $I_A$  i. d. R. kleiner 1 und meist für  $I_E = 10$  mA spezifiziert, abhängig von Lichtausbeute der LED, Verlusten der opt. Strecke, Detektorempfindlichkeit

Näherungsweise

$$I_A = K(I_E / I_{E0})^n$$

Übertragung nichtlinear, weil

Strahlungsleistung nicht proportional dem Durchlassstrom der LED, besonders bei kleinen Flussströmen

Empfänger nichtlinear, vor allem Photodarlington-Transistoren mit großem CRT, kaum Photodioden mit rel. kleinem CRT (wenige %)

# Weitere Eigenschaften von Optokopplern

---

**Alterung:** Abnahme des CRT auf bis zu 50% des Nennwertes nach 10 000 h

**Temperaturkoeffizient** der LED  $-0,5 - 1\%$ , der Photodiode  $+ 1 - 2\%$

**Grenzfrequenz** im Bereich von 10 MHz bei Photodioden, sinkt mit wachsender Sperrschichtkapazität und steigender Verstärkung

**Gleichtaktunterdrückung** (Unterdrückung eines Eingangs-Gleichtaktsignals zum Ausgang hin)  $< 70$  dB bei 1 kHz

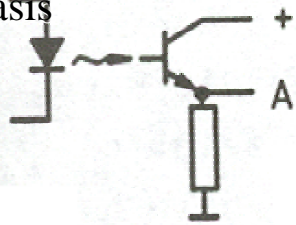
**Isolationsspannung** zwischen Ein- und Ausgangskreis typisch 1,5 – 5 kV, in Sonderfällen mehr

**Isolationswiderstand** abhängig von der optischen Strecke (Glas, Faser, Epoxidharz, Luft) bis zu 100 G $\Omega$

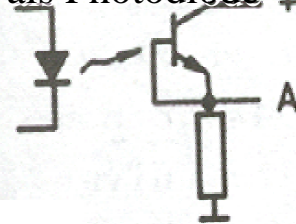
**Spektrale Anpassung:** Möglichst Empfindlichkeitsmaximum des Empfängers bei der gleichen Wellenlänge wie das Emissionsmaximum der LED; GaAs-LED und Si-Empfänger bilden eine günstige Kombination

# LED-Diodenkoppler und Phototransistorkoppler

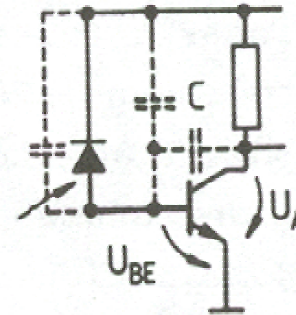
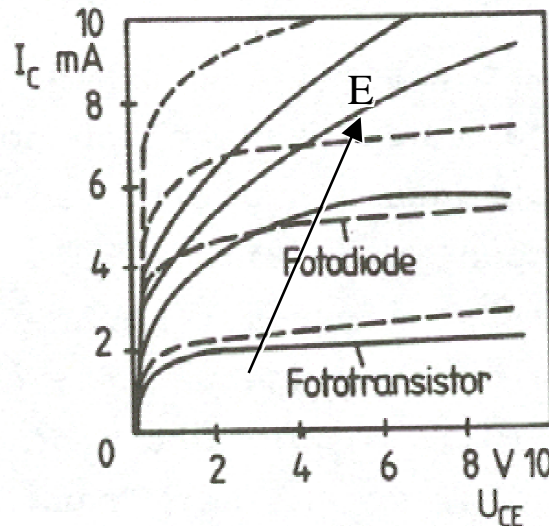
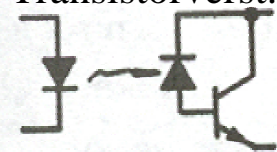
Offene  
Basis



Phototransistor als Photodiode



Photodiode mit Transistorverst.



Bei Photodiode: Ausgangsphotoströme einige  $10\mu\text{A}$  beim Eingangsstrom von  $10\text{ mA}$

Beim Phototransistor: Ausgangsphotoströme von mind.  $10\text{mA}$  beim Eingangsstrom von  $10\text{ mA}$

Nichtlinearität mit einem Phototransistor größer als mit einer Photodiode, weil die Stromverstärkung des Transistors vom Emitterstrom abhängt. Kombination aus Photodiode mit nachgeschaltetem Transistor hat i. d. R. bessere Linearität.

# **Iso-Gate, Optokoppler mit Photo-FET, -Thyristor, - Triac**

---

## **Iso-Gate:**

Ausgangsseitig mehrere in Serie geschaltete Photodioden (Photozellen-modus) liefern so hohe Ausgangsspannung  $> 6 \text{ V}$ , dass MOS-Leistungs-FET damit direkt angesteuert werden können. Verwendet als direktes Interface zwischen Mikrocontroller und anzusteuernenden Leistungsbau-elementen.

## **Opto-EFT:**

LED-Photo-FET Koppler dienen als isolierte variable Widerstand oder als Analogschalter.

## **Photothyristor-Optokoppler** als Schalter:

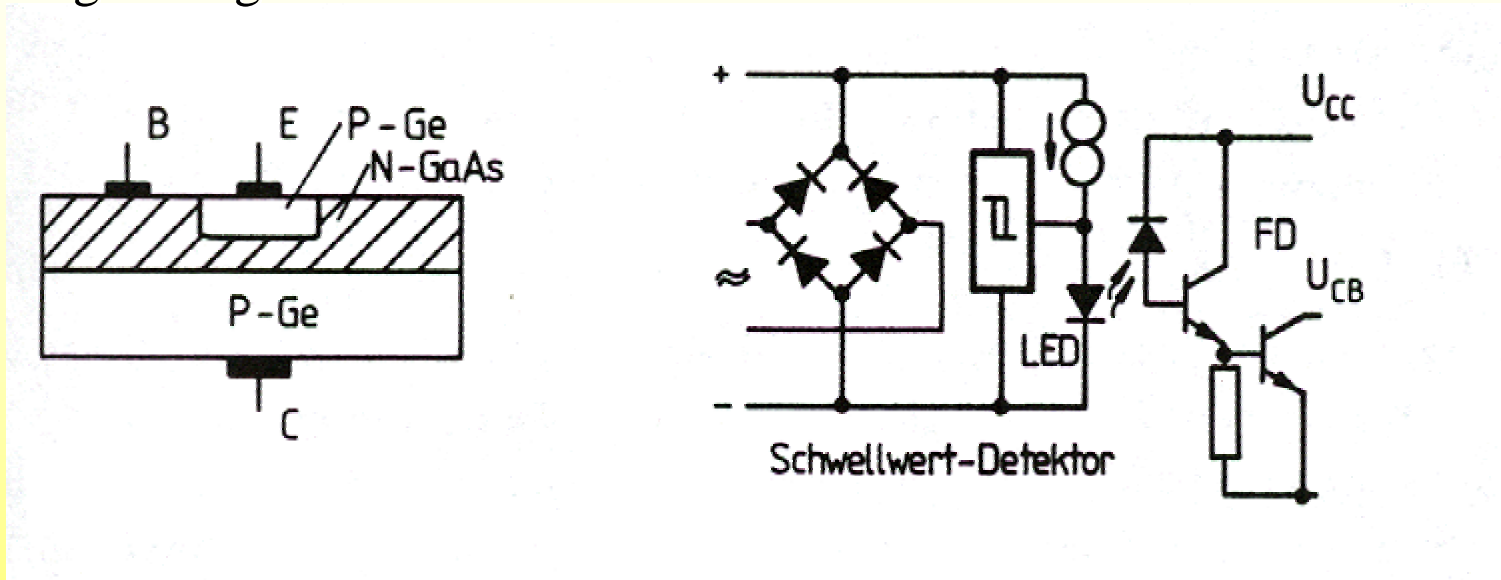
LED schaltet Photothyristor kleiner Leistung, der einen Leistungthyristor ansteuert. Kleiner Strom schaltet sehr großen Strom!

## **Opto-Triac:**

Zum Schalten großer Wechselströme werden 2 antiparallel angeordnete Photo-Thyristoren optisch eingeschaltet. Meist sind noch Hilfsschaltungen integriert, um ein Schalten im Nulldurchgang zu erlauben.

# Integrierte Optokoppler

**Integriert:** Sender- Empfängerelement im gleichen Halbleitersubstrat und/oder zusätzliche Schaltung, Operationsverstärker, Digitalschaltung, etc., hinter dem Empfänger integriert.



Optotransistor: GaAs-LED gleichzeitig Sender und Emitter-Basisstrecke eines Bipolartransistors. Strahlung gelangt in eine n-GaAs – p-Ge Heterophotodiode

Integrierter Schwellwertdetektor schaltet LED ein, wenn ein Schwellwert eines gleichgerichteten Signals erreicht wird. Potentialfreie Generierung eines logischen Signals.



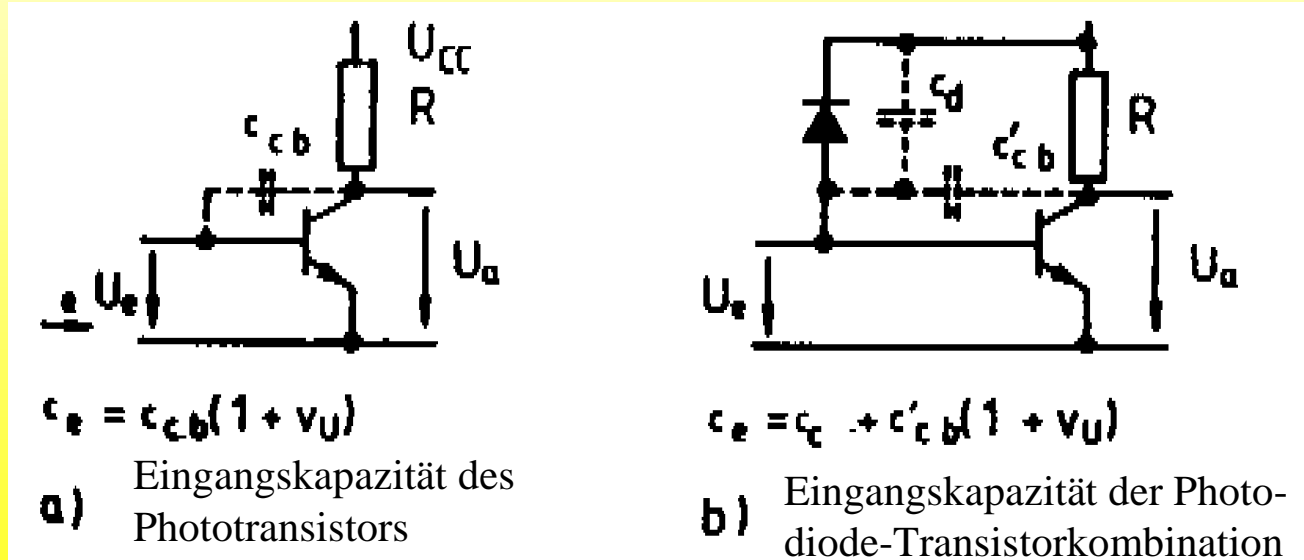
# Dynamisches Verhalten von Phototransistorkopplern

Phototransistorkoppler:

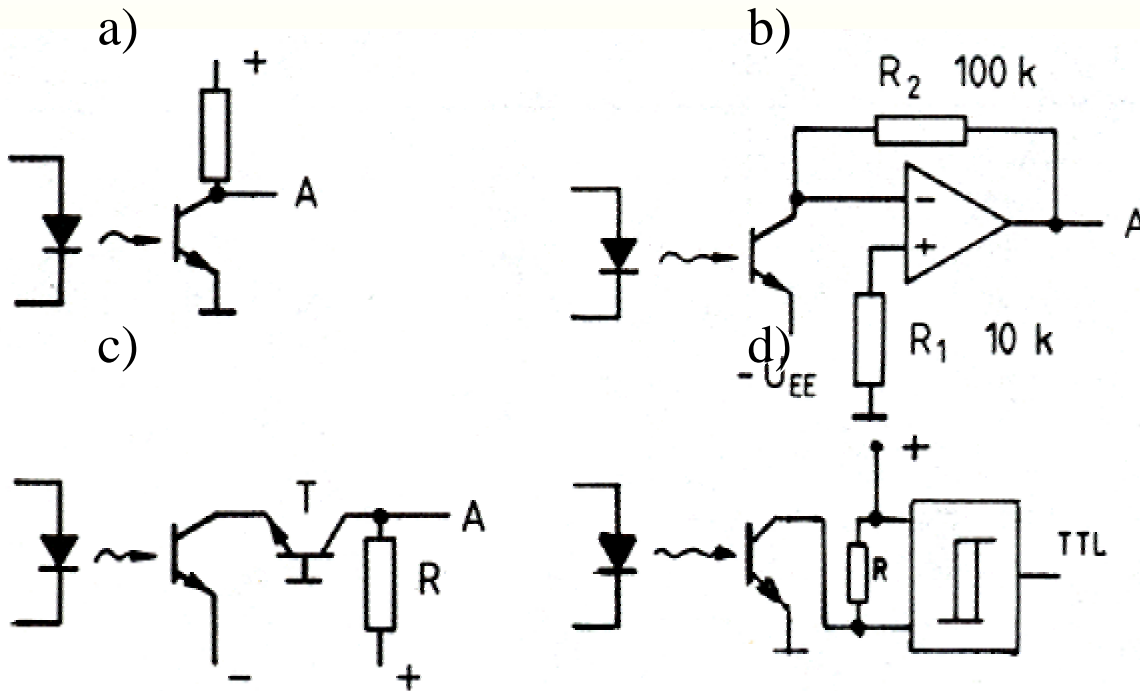
Schaltzeiten der LED im ns-Bereich, die des Phototransistors im Bereich von  $\mu\text{s}$ .

Miller-Effekt – Kollektor-Basiskapazität  $\beta$ -fach wirksam – relativ groß, weil die Kollektor-Basisfläche zum Zweck ausreichender optischer Einkopplung groß gestaltet wurde.

Günstiger die Kombination aus Photodiode und nachgeschaltetem Transistor, da der Transistor eine kleinere Kollektor-Basiskapazität haben kann und die Photodiodenkapazität nicht dem Miller-Effekt unterliegt.



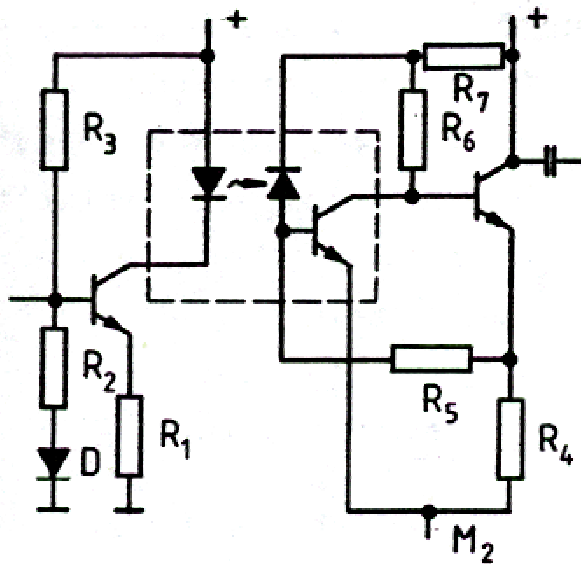
# Grundsaltungen für Phototransistorausgang



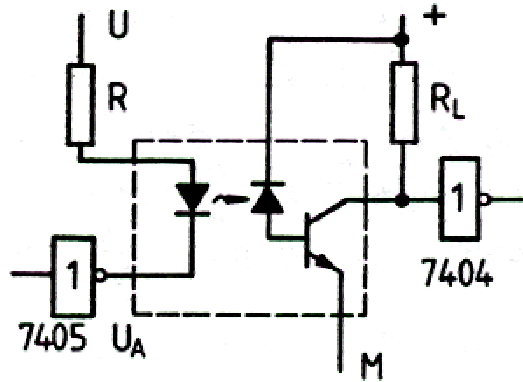
- a) Emitterschaltung wegen des Miller-Effekts rel. langsam - große Kollektor-Basiskapazität wird durch den kleinen Photostrom umgeladen
- b) Nachgeschalteter Operationsverstärker bewirkt nahezu konstantes Kollektorpotential (C virtuell auf Erde) – OP bestimmt weitgehend das Schaltverhalten.

- c) Nachgeschaltete Transistorbasisschaltung bewirkt kleinen Lastwiderstand des Phototransistors; die Kollektorspannung ist wieder nahezu konstant. Verbesserte Dynamik!
- d) Phototransistor mit nachgeschaltetem Schmitt-Trigger verbessert die Flankensteilheit und den Störabstand des Ausgangssignals

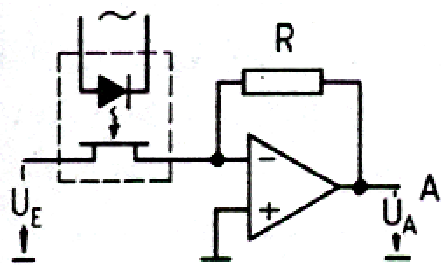
# Optokoppler in der Schaltung



a) Wechselspannungstrennverstärker



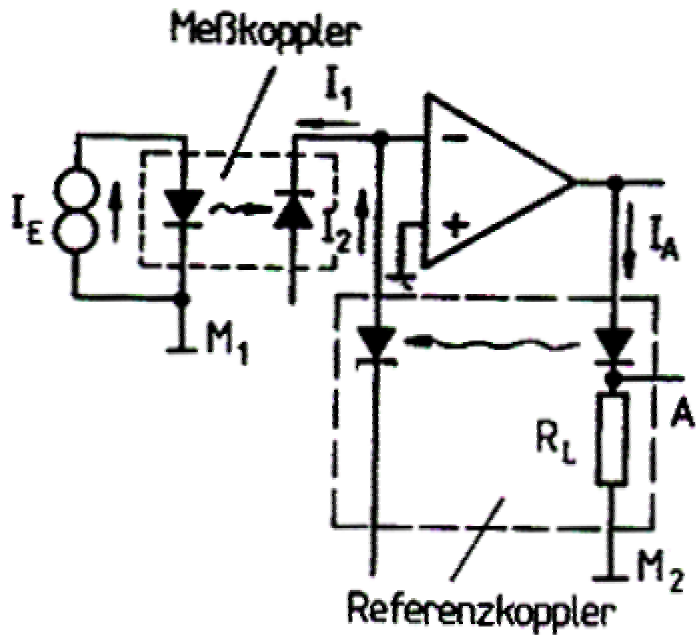
b) Kopplung von Digitalkreisen



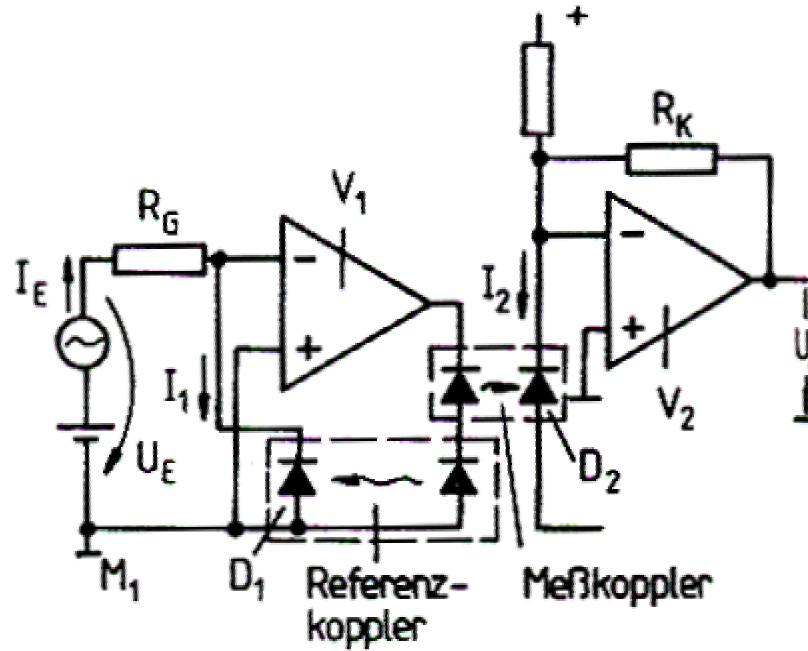
c) Verstärker mit Optokoppler als variabler Widerstand

- a) Stromgegekoppelte Emitterstufe als LED-Treiber, stark gegengekoppelter Ausgangsverstärker, problematisch nichtlineare Übertragungskennlinie des Optokopplers
- b) Ausgangsseitiges Gatter kann einen anderen Massenbezug als das eingangsseitige Gatter haben.
- c) Photofeldeffekttransistor als steuerbarer Widerstand hoher Linearität, hier zur Steuerung der Verstärkung einer OP-Stufe

# Servo- und Differenzoptokoppler



a) Servooptokoppler



b) Differenzoptokoppler

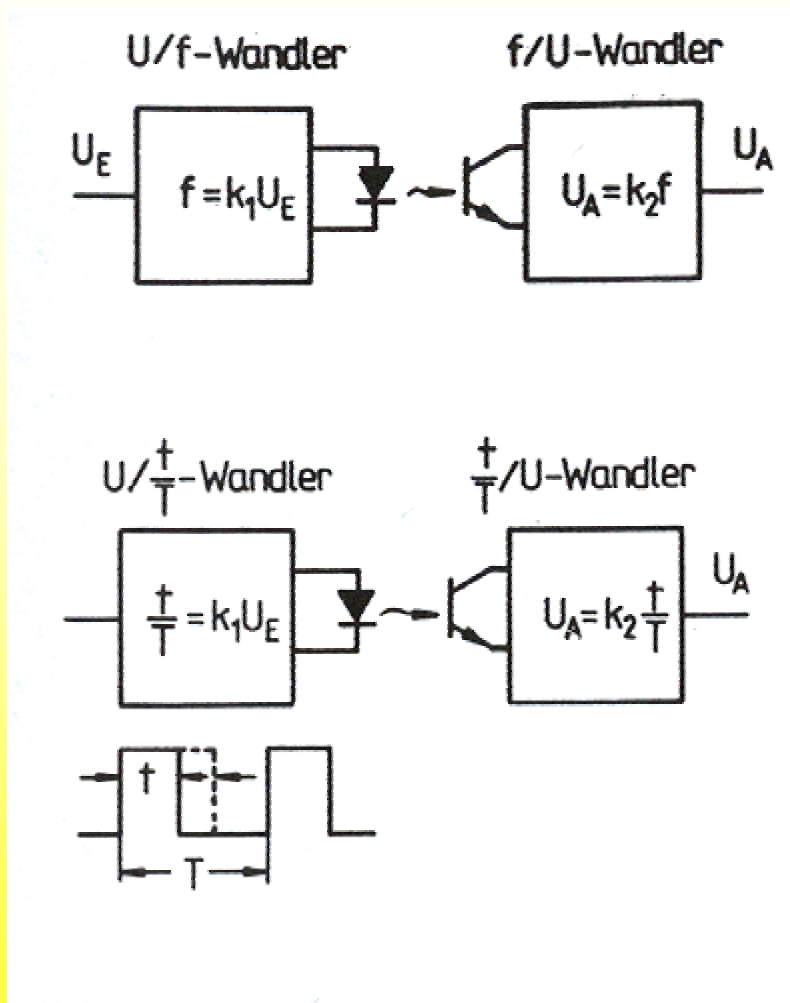
Ziel:

**Bessere  
Linearität der  
Übertragung!**

Einsatz im  
Opto-, Trenn-  
oder  
Isolationsver-  
stärker

- a) OP regelt den Ausgangsphotostrom  $I_2$  des Referenzkopplers so aus, dass die Eingangsdifferenzspannung verschwindet und  $I_1 = I_2$ .  $\ddot{U}_1 = I_1/I_E$ ,  $\ddot{U}_2 = I_2/I_A \Rightarrow I_A/I_E = \ddot{U}_1/\ddot{U}_2$ . Übertragen beide Koppler gleich (nichtlinear), ändert sich  $I_A/I_E$  nicht. Verwendbar u.a. zur Strommessung.
- b) Gleiche Koppler:  $I_1 = I_2 \Rightarrow U_A = R_K I_2 = R_K I_1 = R_K I_E = R_K U_E/R_G \Rightarrow U_A/U_E = R_K/R_G$   
Übertragung unabhängig von den Kennlinien von Photodioden und LED!

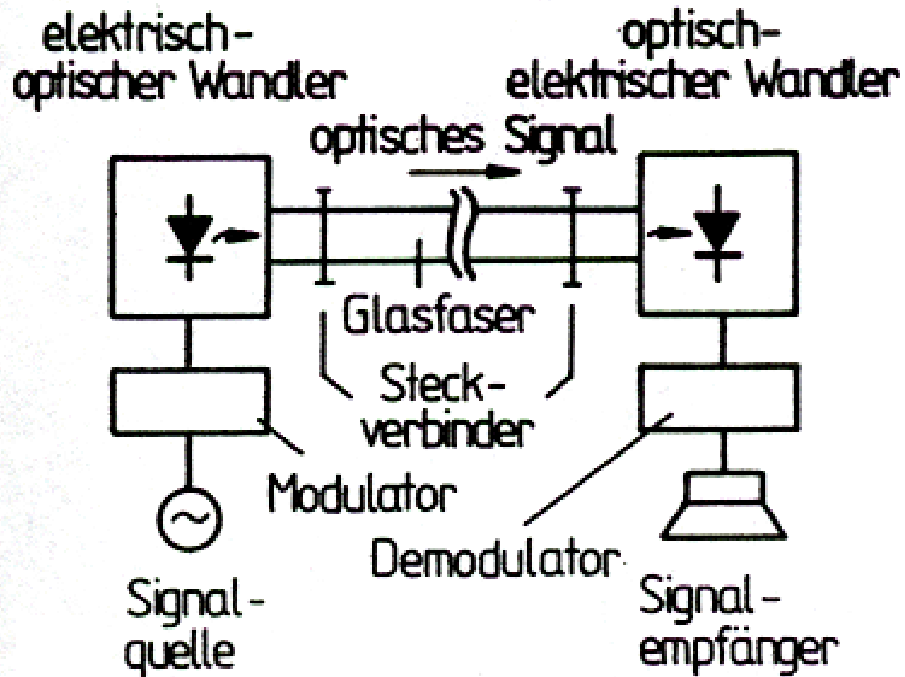
# Modulationsverstärker mit Optokopplern



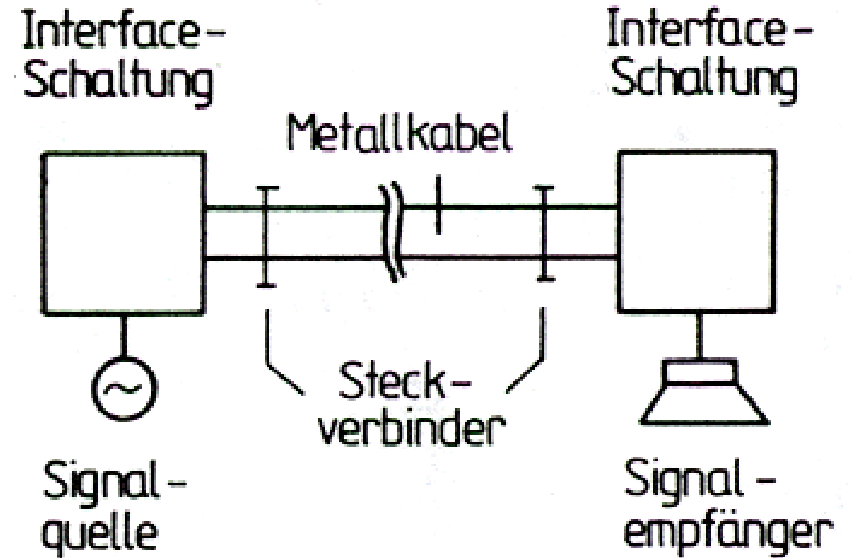
- Eliminierung von Nichtlinearität und Temperaturgang des Optokopplers durch
- $U/f$ -Wandler primär,  $f/U$ -Wandler sekundär, Optokoppler nur als Überträger „geschalteter“ Impulse
  - Wandlung in ein pulsbreiten moduliertes Signal – Tastverhältnis  $t/T$  proportional der Eingangsspannung -, optische Übertragung und Wandlung – z.B. durch mittelwertbildenden Tiefpass – wieder in eine  $U_E$  proportionale Ausgangsspannung



# Prinzip optischer Übertragungssysteme



Optisches Übertragungssystem



Herkömmliches drahtgebundenes System

**Vorteile:** Hohe Signalbandbreite ( $< 100$  GHz), geringe Verluste, immun gegen EMI, Sicherheit gegen Abhören, durch Wellenlängenmultiplex (Signalträger auf verschiedenen Wellenlängen) Erhöhung der Übertragungskapazität