

# Dokumentation analoger Schaltungen

## Ein Überblick

### Schaltzeichen und Schaltpläne

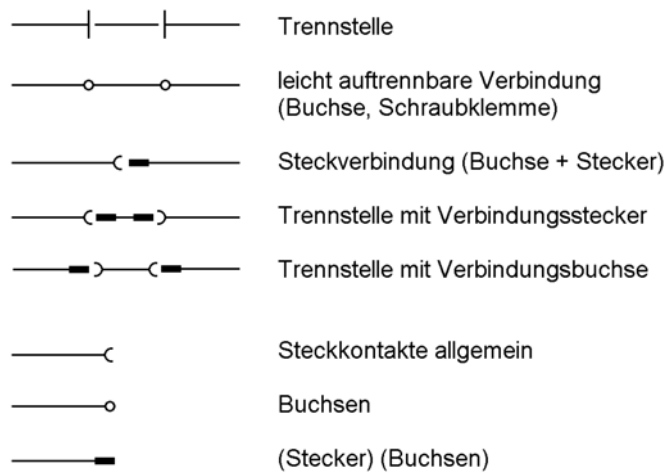
"Analoge" Schaltpläne unterscheiden sich grundsätzlich nur wenig von "digitalen". Verständlicherweise enthalten sie andere Schaltzeichen.

Auffallende Unterschiede:

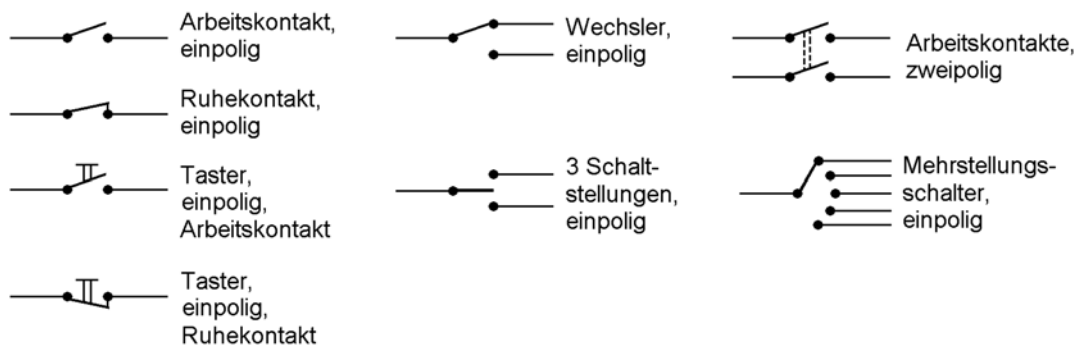
- integrierte Schaltkreise sind oft von einer Anzahl einfacher ("diskreter") Bauelemente umgeben (Außenbeschaltung),
- oftmals ist auch die Verschaltung der Versorgungsspannungen in allen Einzelheiten dargestellt,
- manche Schaltpläne (vor allem Serviceschaltpläne) enthalten zusätzlich Meßwerte und manchmal auch Darstellungen von Oszilloskop-Bildern.

Deutschland (DIN 40900)	USA (nur abweichende Symbole)	
		Widerstand
		Kondensator
		Elektrolytkondensator (gepolt)
		Spule, allgemein (Induktivität)
		Spule mit Eisenkern
		Spule eines Relais
		Arbeitskontakt (Schließer)
		Ruhekontakt (Öffner)
		Arbeitskontakt; Taster (rückfedernd)
		Wechselkontakt (Kontakte werden immer in Ruhelage dargestellt.)
	auch:	Diode
	auch:	Leuchtdiode (LED)

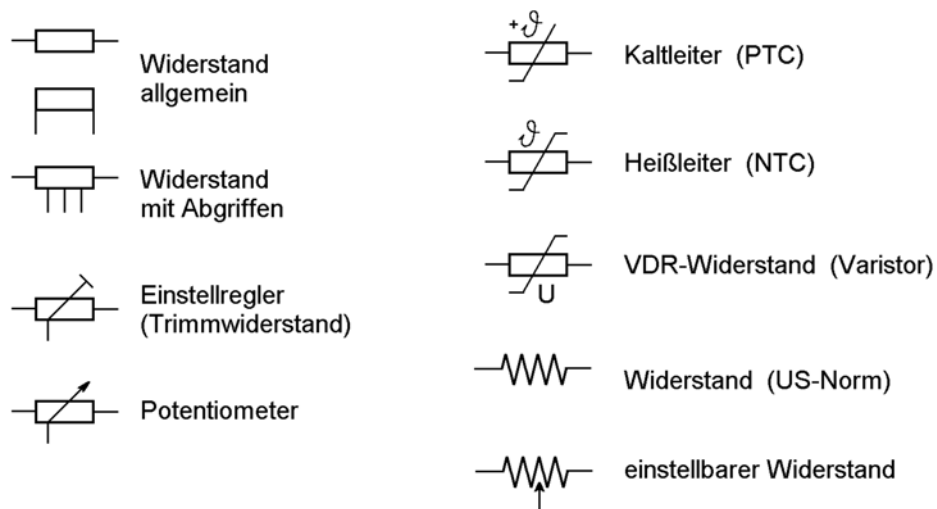
**Abb. 1** Häufig gebrauchte Schaltsymbole



**Abb. 2** Trennstellen und Steckverbindungen



**Abb. 3** Schalter und Taster



**Abb. 4** Widerstände

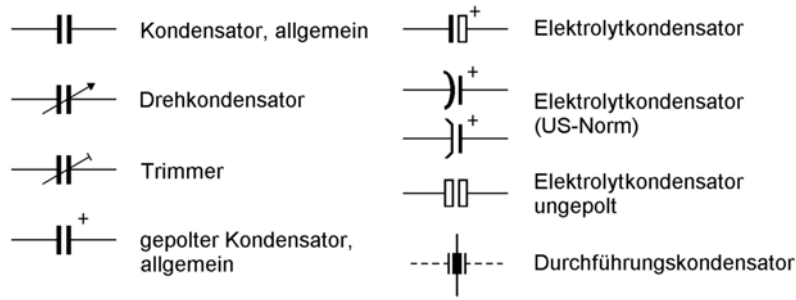


Abb. 5 Kondensatoren

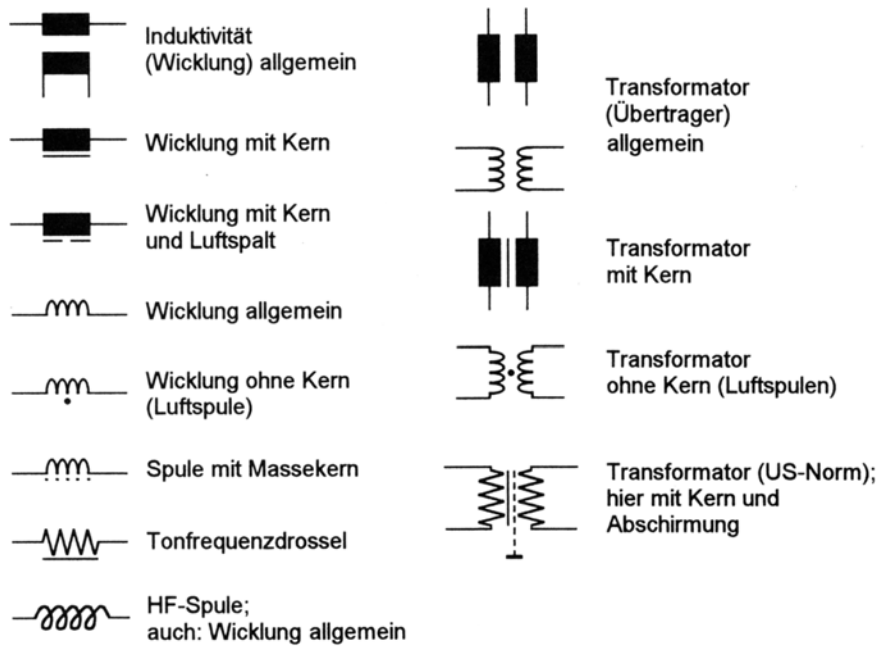


Abb. 6 Induktivitäten

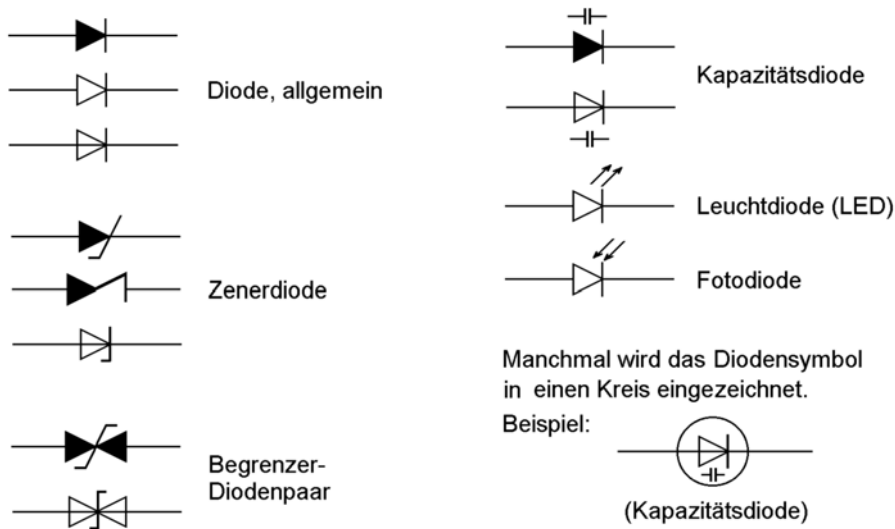


Abb. 7 Dioden

## Datenblätter

"Analoge" Datenblätter unterscheiden sich im grundsätzlichen Aufbau kaum von denen der Digitalschaltungen. Das Tabellenmaterial ist weitgehend gleichartig aufgebaut. Bemerkenswerte Unterschiede gibt es an sich nur in der Funktionsbeschreibung: anstelle von Wahrheitstabellen, Impulsdiagrammen und Beschreibungen findet man eher Kennlinien sowie Darstellungen von Frequenzgängen und Signalverläufen. Einen Transistor oder ein Triac wird im Datenblatt niemand beschreiben (die grundsätzliche Funktionsweise versteht sich von selbst), hingegen erfordern komplexe Analschaltungen recht umfangreiche Funktionsbeschreibungen, die oft durch Anwendungshinweise ergänzt werden.

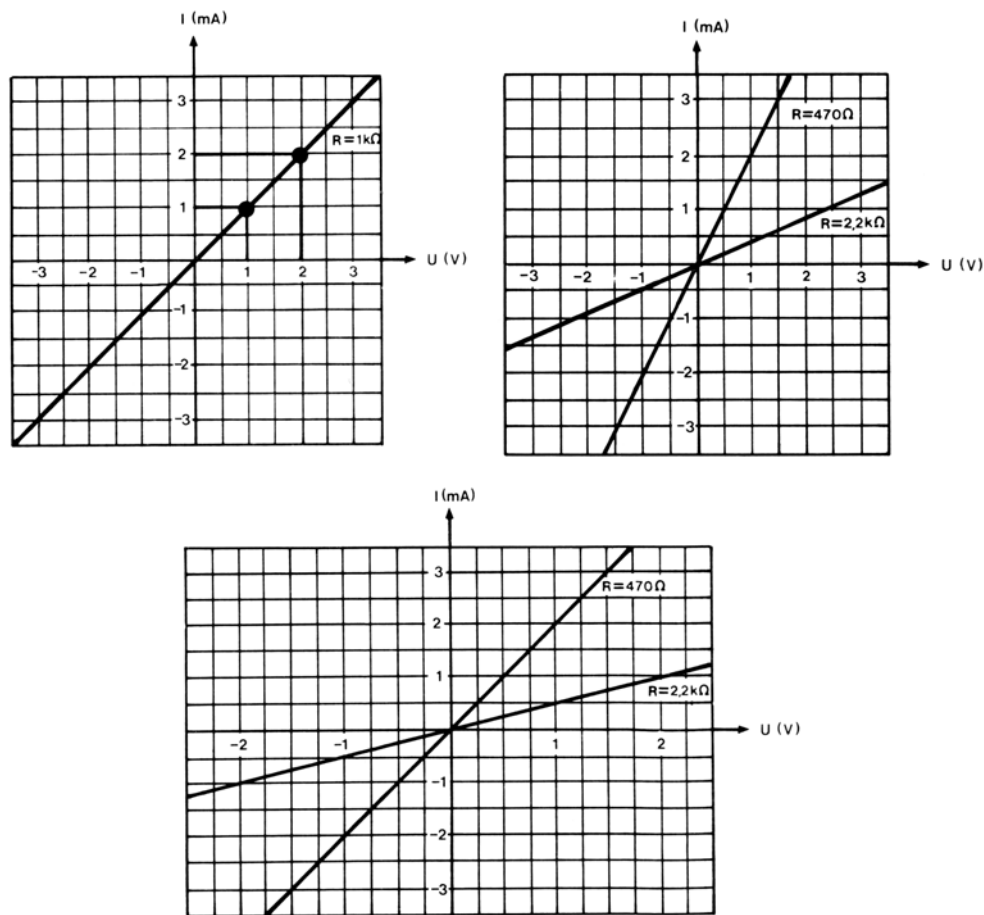
### *Praxistip:*

Applikationshinweise - Application Notes - sind oft unentbehrlich, um zu verstehen, wie das Bauelement eigentlich eingesetzt werden soll. Manchmal sind diese Hinweise dem Datenmaterial beigegeben, oft aber in gesonderten Applikationshandbüchern zusammengefaßt. Wenn Sie sich genauer einarbeiten wollen: Applikationsschriften sind fast noch wichtiger als das Datenmaterial. Oft finden Sie dort fertig dimensionierte, nachbaufähige Schaltungen. Beim Aufbauen einer solchen Schaltung und beim Messen daran lernt man wirklich etwas - und nicht selten sind die Schaltungen tatsächlich brauchbar.

## Kennlinien

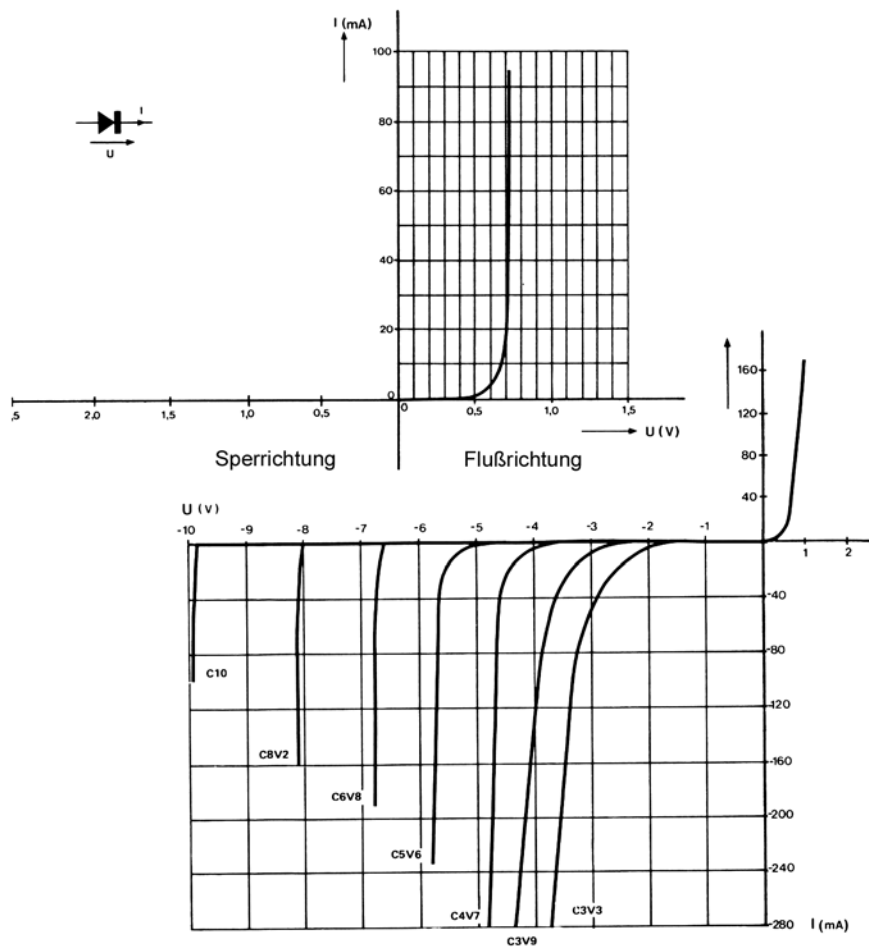
Kennlinien sind graphische Darstellungen funktioneller Abhängigkeiten. Im Grunde handelt es sich um nichts anderes als um die X-Y-Darstellung, wie sie aus der Schulmathematik bekannt sind. Im einfachsten Fall wird eine Abhängigkeit der Form  $y = f(x)$  in einem Koordinatenkreuz als Linie dargestellt. Gegenüber der Funktionsdarstellung in der Schulmathematik haben Kennlinien aber einige Besonderheiten:

- es handelt sich nicht immer um einfache mathematische Figuren (wie Geraden oder Parabeln), sondern um mehr oder weniger komplizierte *nichtlineare* Kurvenverläufe,
- die Kurvenverläufe werden nur selten berechnet, sondern oft meßtechnisch oder (ganz modern) durch Simulation auf dem Computer ermittelt,
- die Koordinatenkreuze können verschiedene Teilungen (Maßstäbe) haben; gelegentlich wird - zwecks besserer Darstellbarkeit - eine logarithmische oder doppelt logarithmische anstelle einer linearen Teilung verwendet,
- die Kurvenverläufe sind oft *parameterabhängig*; es gibt nicht nur eine Kurve, sondern ganze Kurvenscharen, wobei jede einzelne Kurve einer bestimmten Meßbedingung bzw. einem Parameterwert entspricht,
- oft reicht eine Kennlinie nicht aus, um das Verhalten des Bauelements zu beschreiben,
- in einem Koordinatenkreuz sind manchmal mehrere Teil-Kennlinien dargestellt. Gelegentlich ordnet man in den Quadranten eines Koordinatenkreuzes ganze Kennlinienfelder an. Beachten Sie, daß dann die Koordinaten jeweils vollkommen unterschiedlich belegt sein können.



**Abb. 8** Widerstandskennlinien. a) 1 kOhm, b) 470 Ohm und 2,2 kOhm, c) wie b) aber mit gestrecktem Maßstab der Spannungs-Achse

Geraden sind die einfachsten Kennlinien. Beachten Sie, daß man hier alle 4 Quadranten ausgenutzt hat, um auch negative Spannungen und Ströme darstellen zu können. Beachten Sie weiterhin, daß die Änderung des Maßstabs die Steigung der Geraden ändert.



**Abb. 9** Diodenkennlinien. a) Siliziumdiode, b) mehrere Zenerdioden

Diodenkennlinien sind überschaubare Beispiele für gekrümmte Kurven und eignen sich gut zum Üben des Kennlinien-Lesens. Beachten Sie, daß in Sperrichtung bei beliebiger Spannung praktisch kein Strom fließt und daß in Flußrichtung von etwa 0,7 V an beliebig starke Ströme fließen können, ohne daß der Spannungsabfall über der Diode merklich zunimmt. Achten Sie bei den Zenerdioden auch auf den einsetzenden Stromfluß bei Erreichen der jeweiligen Zenerspannung (Sperrichtung!).

TYPICAL CHARACTERISTICS

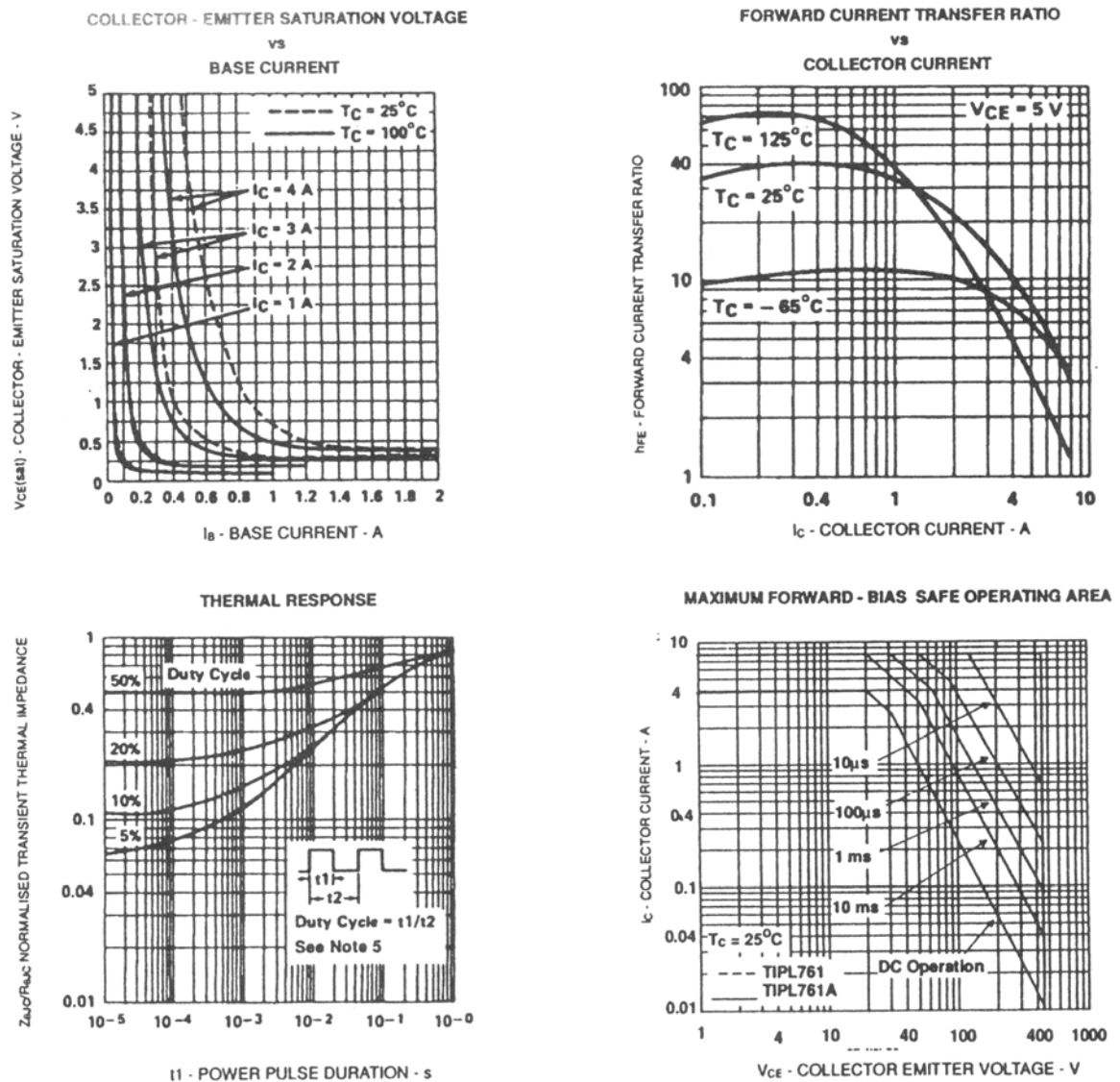
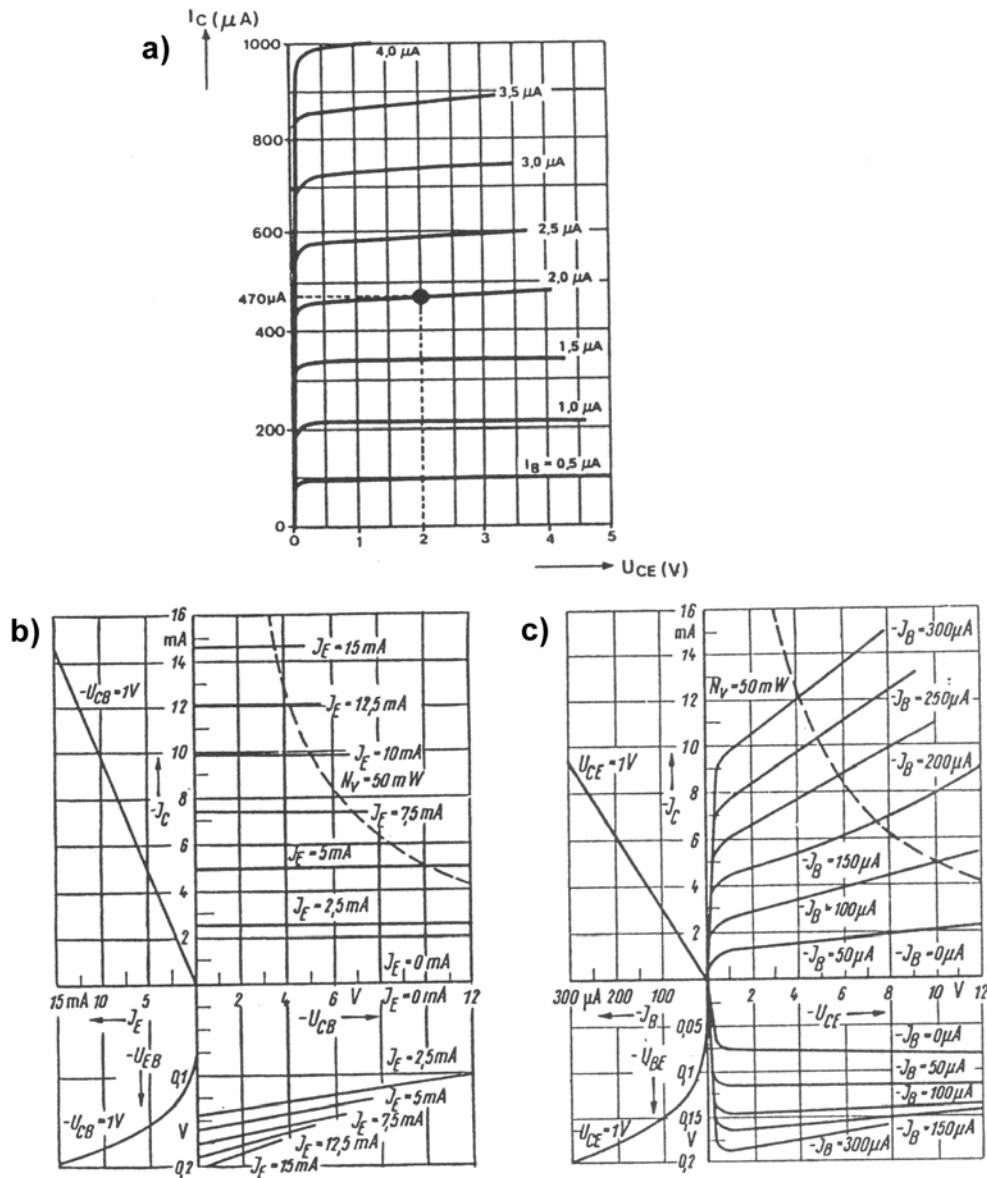


Abb. 10 Transistorkennlinien aus dem Datenblatt eines npn-Silizium-Leistungstransistors (Texas Instruments)

Dieses Kennlinienfeld charakterisiert den Transistor. Achten Sie auf die Merkmale der Darstellung: parameterabhängige Kurvenscharen und logarithmische Teilung.



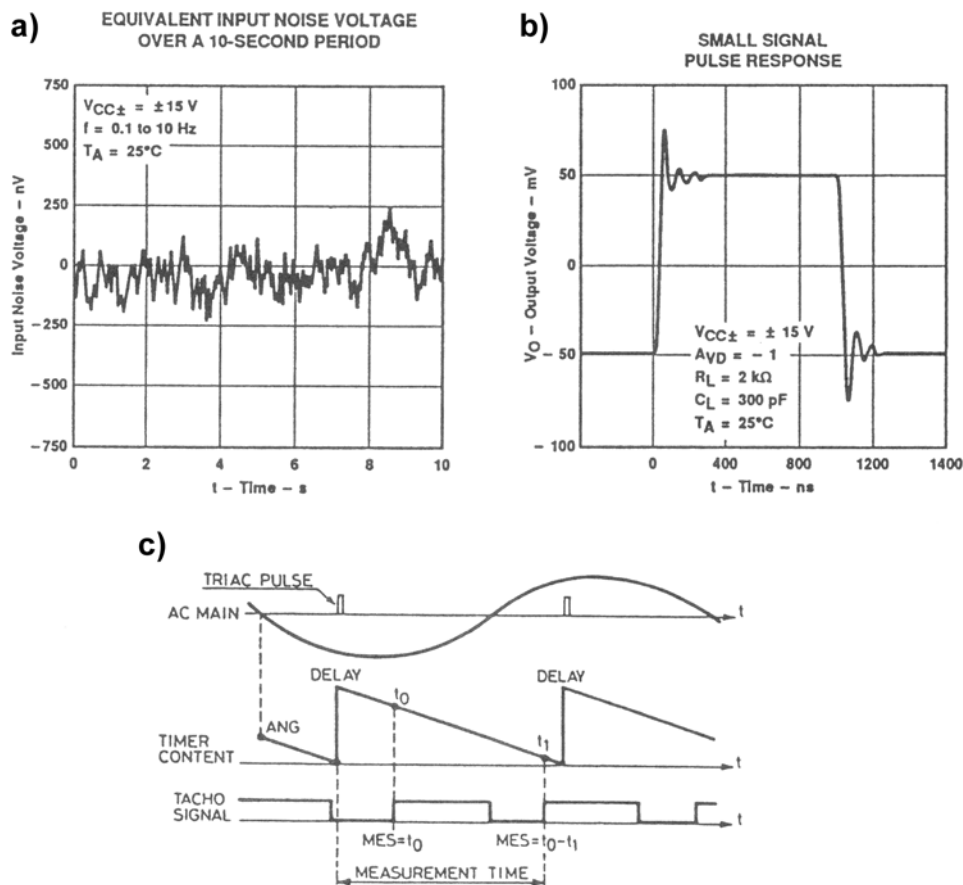
**Abb. 11** Transistorkennlinien. a)  $I_C$ - $U_{CE}$ -Kennlinie eines Kleinleistungs-Siliziumtransistors, b) Kennlinienfeld in Basisschaltung, c) Kennlinienfeld in Emitterschaltung

Achten Sie auf die parameterabhängige Darstellung und darauf, wie man mehrere verschiedene Kennlinien in einem Koordinatenkreuz untergebracht hat (Vierquadranten-Kennlinienfeld; die Bilder b und c stammen aus der Steinzeit der Transistortechnologie; erschrecken Sie also nicht über die Wertangaben).

**Darstellungen des zeitlichen Verhaltens**

Die üblichen Darstellungen des Zeitverhaltens können mit den Impulsdigrammen der Digitaltechnik verglichen werden. Nur kann man in der Analogtechnik nicht allzu stark abstrahieren; man kann bestenfalls Rauschen und andere Störeffekte im Bild vernachlässigen, aber die Darstellung nicht auf ein reines 1-0-Schema vereinfachen. Praxisbezogene Darstellungen von Zeitverläufen sind deshalb meist direkte oder in gewissem Maße idealisierte Wiedergaben von Oszillogrammbildern.

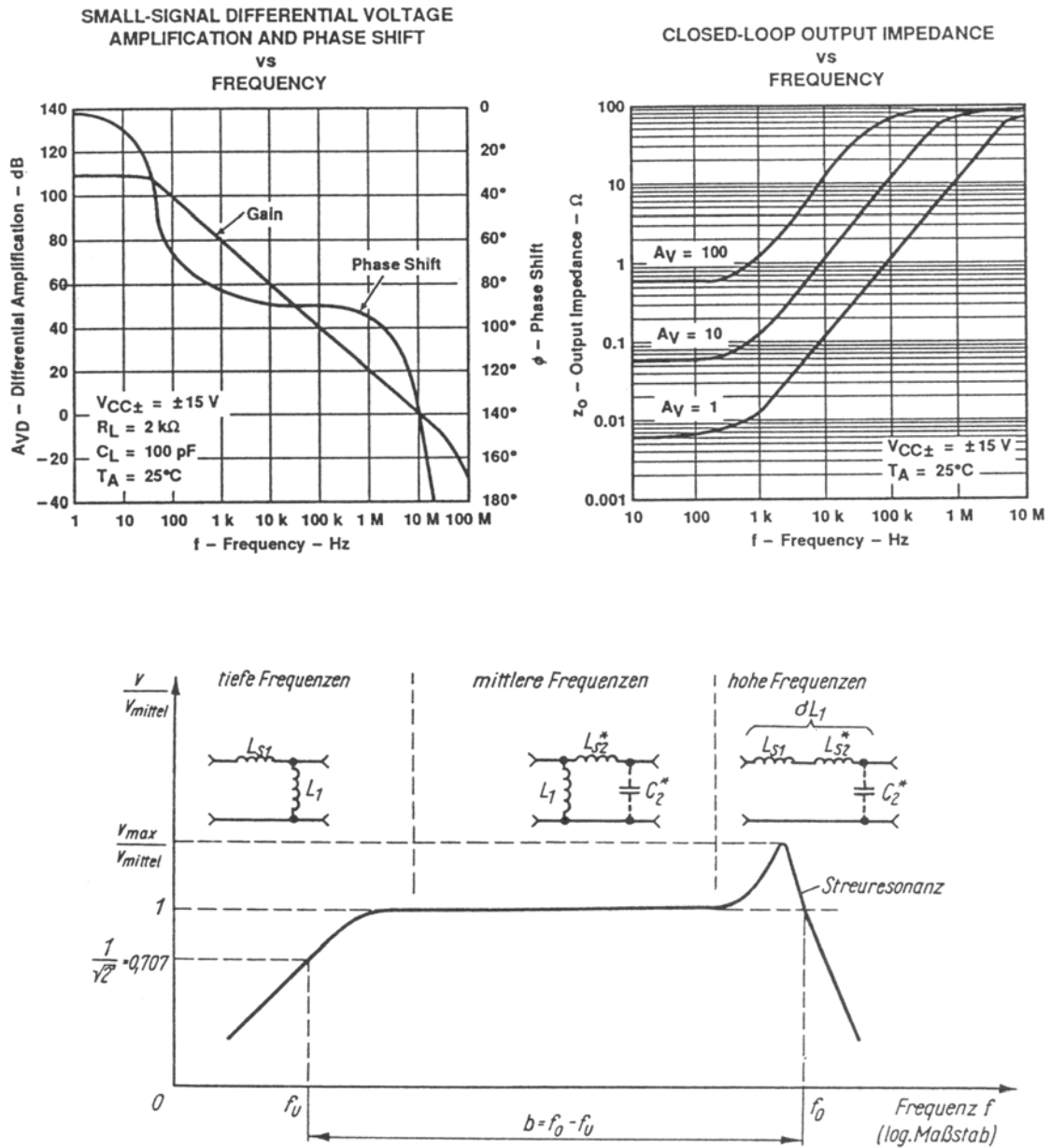




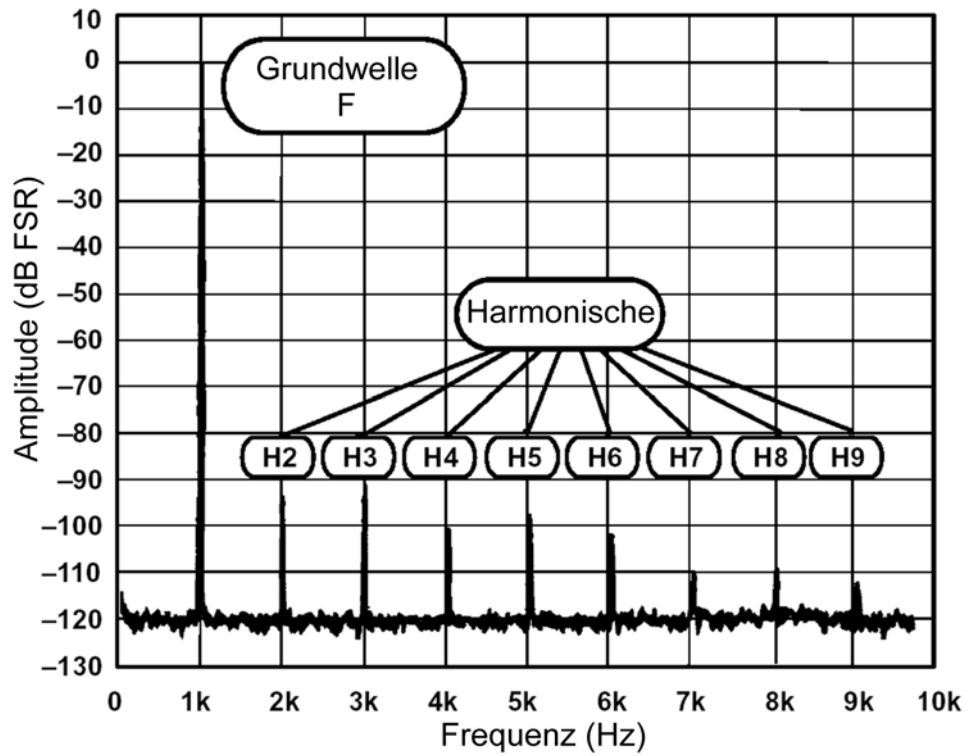
**Abb. 12** Darstellung des zeitlichen Verhaltens. a), b) Oszillogrammbilder mit Meßbedingungen, c) schematische Darstellung (Texas Instruments, SGS-Thomson)

### Frequenzgang- bzw. Spektraldarstellungen

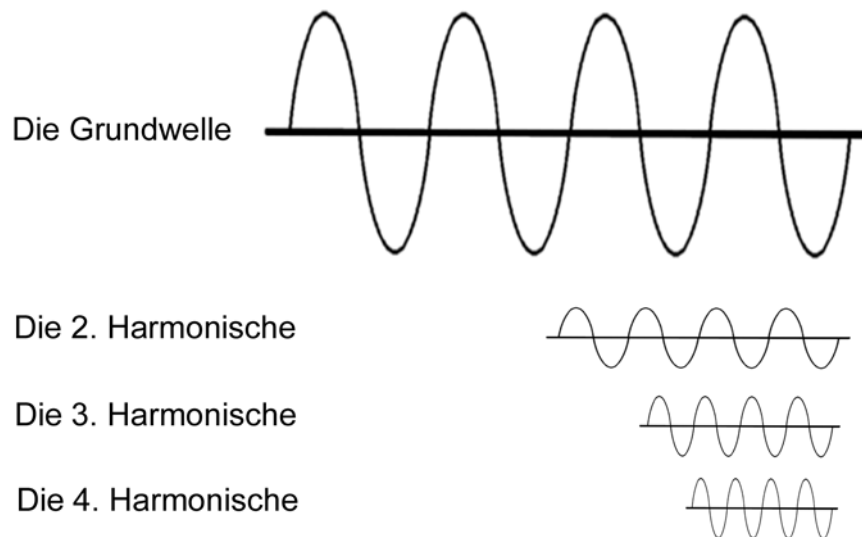
Frequenzgangdarstellungen sind Kurven in einem Koordinatenkreuz, die die Abhängigkeit bestimmter Kennwerte von der Frequenz beschreiben. Die Frequenz ist dabei üblicherweise auf der waagerechten Koordinatenachse aufgetragen, wobei, wenn große Bereiche zu überstreichen sind, oft eine logarithmische Darstellung bevorzugt wird.



**Abb. 13** Frequenzgangdarstellungen. Oben: aus dem Datenblatt eines Operationsverstärkers (Texas Instruments). Links das sog. Bode-Diagramm. Unten: schematische Darstellung des Frequenzgangs eines transformatorgekoppelten Verstärkers



**Abb. 14** Darstellung eines Frequenzspektrums

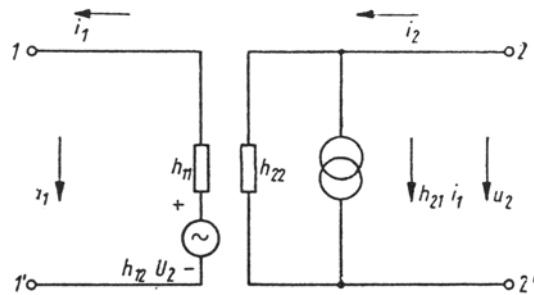


**Abb. 15** Signalverläufe und spektrale Darstellung

Beim Frequenzspektrum interessieren die Signalverläufe nicht, denn sie sind bekannt - es sind stets Sinusschwingungen. Die Höhe der Linie im Frequenzspektrum gibt die Amplitude an, die Lage auf der waagerechten Achse die Frequenz

### Ersatzschaltungen

Eine Ersatzschaltung ist die näherungsweise Nachbildung eines Bauelementes durch eine - möglichst reguläre und mathematisch "elegant" zu beschreibende - Anordnung einfacher Bauelemente (Widerstände, Induktivitäten, Kapazitäten, Stromquellen, Spannungsquellen). Als Beispiel zeigt Abb. 16 das sogenannte h-Ersatzschaltbild des Transistors.



**Abb. 16** Das h-Ersatzschaltbild des Transistors

Der Zweck solcher Ersatzschaltbilder besteht hauptsächlich darin, Schaltungen, die kompliziertere Bauelemente (wie. z. B. Transistoren) enthalten, auf Verknüpfungen von Grundsaltungen zurückzuführen, die mathematisch exakt behandelt werden können. Das Durchrechnen solcher Schaltungen mit konkreten Signalparametern ist die Grundlage der Schaltungssimulation auf dem Computer.

#### Hinweise:

1. Die meisten Ersatzschaltbilder sind unter dem Gesichtspunkt der mathematischen Handhabbarkeit aufgestellt worden. Solche Ersatzschaltbilder eignen sich deshalb nicht immer dafür, sich das grundsätzliche Funktionieren eines Bauelements klarzumachen.
2. Für bestimmte Bauelemente gibt es verschiedene Ersatzschaltbilder gibt (so kennt man für Transistoren noch die r-Ersatzschaltung, die y-Ersatzschaltung usw.). Je nachdem, welche Betriebszustände modelliert werden sollen, muß man sich die geeignete Ersatzschaltung herausuchen.