

# **Halbleitertechnologie von A bis Z**

Grundlagen

|                                                           |   |
|-----------------------------------------------------------|---|
| <b>CMOS vs. Bipolar</b> .....                             | 3 |
| <i><b>Einordnung</b></i> .....                            | 3 |
| <i><b>Funktionsprinzip im Vergleich</b></i> .....         | 3 |
| <i><b>Leistungsaufnahme und Schaltverhalten</b></i> ..... | 4 |
| <i><b>Integrationsdichte und Skalierung</b></i> .....     | 4 |
| <i><b>Vergleichstabelle</b></i> .....                     | 5 |

# CMOS vs. Bipolar

---

## Einordnung

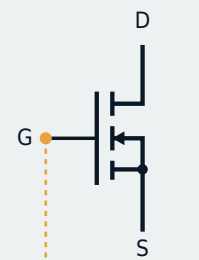
CMOS-Technologie und der Bipolartransistor stehen für zwei grundverschiedene Wege, elektrische Signale zu steuern und zu verstärken. Während der Bipolartransistor über Jahrzehnte die Digitaltechnik dominierte (TTL-Logik), hat ihn der Feldeffekttransistor in Form der CMOS-Technologie seit den 1980er-Jahren nahezu vollständig verdrängt – nicht weil er grundsätzlich „besser“ ist, sondern weil seine Eigenschaften besser zur Massenintegration passen. In Analog-, Hochfrequenz- und Leistungsanwendungen bleibt der Bipolartransistor dagegen bis heute relevant.

## Funktionsprinzip im Vergleich

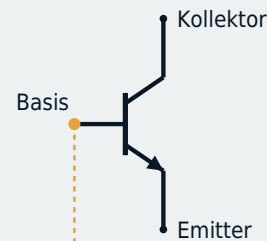
Der MOSFET ist ein unipolares Bauelement: Eine Spannung am Gate erzeugt über ein elektrisches Feld einen leitfähigen Kanal zwischen Source und Drain. Da das Gate durch eine Oxidschicht vom Kanal isoliert ist, fließt im stationären Zustand praktisch kein Steuerstrom – der MOSFET wird spannungsgesteuert.

Der Bipolartransistor arbeitet dagegen mit zwei Ladungsträgertypen gleichzeitig (daher „bipolar“). Ein Basisstrom steuert über Ladungsträgerinjektion und -diffusion einen deutlich größeren Kollektorstrom. Er ist damit stromgesteuert und benötigt im Betrieb kontinuierlich einen Steuerstrom.

## CMOS vs. Bipolar – Steuergrößen im Vergleich



MOSFET (CMOS)



Bipolartransistor (NPN)

Spannungsgesteuert (kapazitiv,  $\sim 0$  Steuerstrom) vs. stromgesteuert (dauerhafter Basisstrom)

## Leistungsaufnahme und Schaltverhalten

Dieser Unterschied hat direkte Folgen für die Verlustleistung: In CMOS-Schaltungen sind bei jedem Logikpegel stets ein n- und ein p-Kanal-Transistor komplementär geschaltet, sodass im statischen Zustand kein Pfad zwischen Versorgung und Masse leitet – die statische Verlustleistung ist nahezu null. Verlustleistung entsteht hier vor allem dynamisch beim Umladen der Gate- und Leitungskapazitäten während des Schaltens.

Bipolartransistoren benötigen dagegen dauerhaft einen Basisstrom, um leitend zu bleiben, was zu einer permanenten statischen Verlustleistung führt. Dafür erreichen sie durch die hohe Steilheit (hoher Kollektorstrom pro Steuerstromänderung) oft höhere Schaltgeschwindigkeiten und bessere Treiberfähigkeit bei niedrigen Lastimpedanzen.

## Integrationsdichte und Skalierung

Die nahezu verlustfreie Ruhezustand-Eigenschaft von CMOS erlaubt es, Milliarden von Transistoren auf einem Chip zu integrieren, ohne dass die Gesamtverlustleistung unbeherrschbar wird – ein Vorteil, den Bipolar-Logik in dieser Dichte nie erreichen konnte. Zudem benötigt ein MOSFET keine aufwendige Basis-Dotierungsstruktur, was ihn flächeneffizienter und einfacher zu skalieren macht.

Bipolartransistoren behaupten sich dort, wo hohe Stromtreiberfähigkeit,

geringes Rauschen oder hohe Grenzfrequenzen gefragt sind: in HF-Verstärkern, Leistungsstufen und Präzisions-Analogschaltungen (z. B. Operationsverstärker). Auch BiCMOS-Prozesse kombinieren beide Welten gezielt.

## Vergleichstabelle

| <b>Merkmal</b>            | <b>MOSFET / CMOS</b>     | <b>Bipolartransistor</b>        |
|---------------------------|--------------------------|---------------------------------|
| Steuergröße               | Spannung (Gate)          | Strom (Basis)                   |
| Eingangswiderstand        | sehr hoch (kapazitiv)    | niedrig                         |
| Statische Verlustleistung | ~0 (im Ruhezustand)      | dauerhaft vorhanden             |
| Schaltgeschwindigkeit     | hoch, kapazitiv begrenzt | sehr hoch, steilheitsbegrenzt   |
| Rauschverhalten           | gut                      | teilweise besser (bei HF)       |
| Typische Anwendung        | Digitallogik, Speicher   | Analog-/HF-/Leistungselektronik |