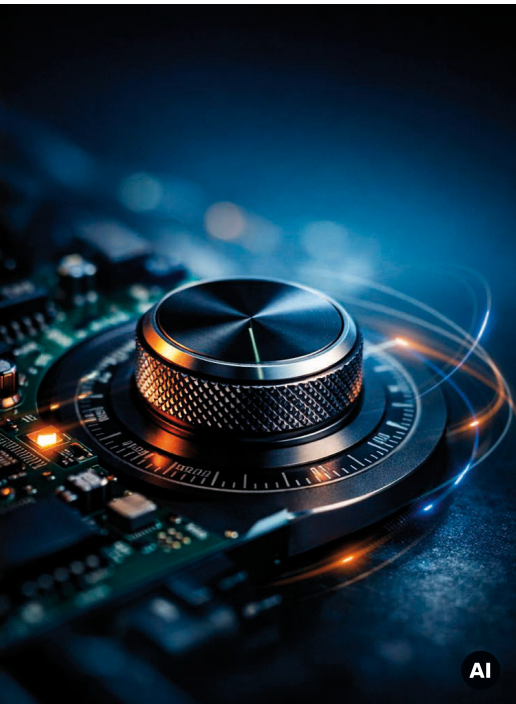


Potentiometer-Technologien im Vergleich

Eigenschaften, Vor- und Nachteile moderner Lösungen



Klassische Potentiometer – die Kohleschicht-Technologie

Aufbau und Funktionsweise von Kohleschicht-Potentiometern

Kohleschicht-Potentiometer zählen zu den am weitesten verbreiteten Widerstandselementen in analogen Schaltungen. Sie bestehen aus einer ringförmigen Widerstandsbahn, die aus kohlenstoffhaltigem Material auf ein Trägermaterial aufgebracht ist. Ein mechanischer Schleifer bewegt sich entlang dieser Bahn und verändert so den Abgriffspunkt. Dadurch ändert sich der Widerstand zwischen den Endanschlüssen und dem Schleifer kontinuierlich.

Der wesentliche Vorteil dieser Bauweise liegt in ihrer Einfachheit und Wirtschaftlichkeit. Die Herstellung ist vergleichsweise kostengünstig, was Kohleschicht-Potentiometer besonders attraktiv für preisgetriebene Anwendungen und hohe Stückzahlen macht. Durch den direkten mechanischen Kontakt zwischen Schleifer und Widerstandsbahn entsteht zudem ein weiches, intuitives Einstellverhalten, das in manuellen Bedienkonzepten geschätzt wird.

Typische Anwendungen und Vorteile

Kohleschicht-Potentiometer werden bevorzugt dort eingesetzt, wo häufige manuelle Verstellung und kosteneffiziente Umsetzung im Vordergrund stehen.

Kohleschichtpotentiometer finden sich in einer Vielzahl von Anwendungen:

- **Audioelektronik:** Lautstärkeregler in Verstärkern, Mischpulten und Radios
- **Haushaltsgeräte:** Drehregler zur Temperatureinstellung oder Programmauswahl
- **Werkzeugtechnik:** Steuerung von Drehzahlen oder Positionen in Elektrowerkzeugen
- **Automotive:** Einstellregler im Fahrzeug-Cockpit für Klimaanlage, Licht oder Menüführung

Ein zentraler Vorteil ist das angenehme haptische Feedback, insbesondere bei Varianten mit mechanischen Rastpunkten (Detents). Diese ermöglichen eine definierte Positionierung und verbessern die Bedienbarkeit. Je nach Ausführung sind bis zu rund 50 Rastpositionen realisierbar.

Hohe mechanische Lebensdauer

Darüber hinaus sind Kohleschicht-Potentiometer häufig auf hohe mechanische Lebensdauer ausgelegt. Sie erreichen bis zu 100.000 Betätigungszyklen, was sie ideal für klassische Human-Machine-Interfaces macht, bei denen regelmäßige Nutzerinteraktion zu erwarten ist. Zudem bieten sie eine gewisse Flexibilität durch unterschiedliche Baugrößen (6 mm, 10 mm, 15 mm), was eine breite Integration in verschiedenste Gehäusedesigns erlaubt.

Nachteile und technische Einschränkungen

Trotz ihrer breiten Einsatzfähigkeit sind Kohleschicht-Potentiometer technisch limitiert. Der kontinuierliche Schleifkontakt führt zwangsläufig zu mechanischem Verschleiß, der sich langfristig in Form von Kontaktinstabilitäten, erhöhtem Rauschen oder Widerstandsdrift bemerkbar machen kann.

Ein weiterer begrenzender Faktor ist die Temperatur- und Leistungsfähigkeit. Typische Einsatzbereiche liegen bei etwa -25°C bis $+70^{\circ}\text{C}$, in erweiterten Ausführungen bis maximal $+85^{\circ}\text{C}$. Auch das Power Rating ist vergleichsweise niedrig, was ihren Einsatz in strom- oder spannungsbelasteten Schaltungen einschränkt.

Toleranzen sind bis $\pm 20\%$ möglich, $\pm 30\%$ eher üblich. Steigende Anforderungen an Genauigkeit, Temperaturstabilität oder Umgebungsbeständigkeit machen alternative Technologien erforderlich.

Fazit

Zusammengefasst bieten Kohleschicht-Potentiometer eine bewährte, wirtschaftliche Lösung für klassische Bedienfunktionen, die einer häufigen Betätigung unterliegen, sind jedoch nicht für hochpräzise oder thermisch anspruchsvolle Anwendungen ausgelegt.



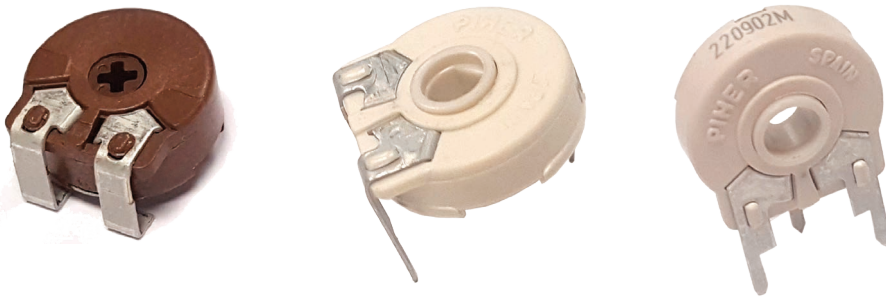
Unterschiedliche Ausführungen Kohleschicht-Potentiometer (Hersteller: Piher)

© KI-generiert 2026 ChatGPT/Copilot

Potentiometer zählen seit Jahrzehnten zu den gängigen Komponenten in der Elektronik. Sie dienen als verstellbare Widerstände zur präzisen Regelung elektrischer Signale – sei es in der Lautstärkeregelung, bei Sensoranwendungen oder in industriellen Steuerkreisen. Mit dem technologischen Fortschritt haben sich auch die Potentiometer-Technologien weiterentwickelt: Von klassischen Kohleschichtlösungen über hochpräzise Cermet-Potentiometer bis hin zu kontaktlosen Varianten auf Basis des Hall-Effekts. Jede Technologie bringt spezifische Eigenschaften, Vorteile und Herausforderungen mit sich.

Autoren:
Paul-Martin Kamprath
Leitung Marketing
pk components GmbH
www.pk-components.de

Javier Rubio
Sales Manager,
Antonio Beasain
Marcom
Piher Sensing Systems
www.piher.net



Unterschiedliche Ausführungen Cermet-Potentiometer (Hersteller: Piher)

Cermet-Potentiometer – Präzision für anspruchsvolle Anwendungen

Cermet ist ein Verbundmaterial aus keramischen und metallischen Bestandteilen. Diese Kombination verleiht dem Widerstandselement Eigenschaften, die deutlich über die der Kohleschicht hinausgehen. Cermet-Widerstandsbahnen sind abriebfester, temperaturstabiler und zeigen ein geringeres Rauschverhalten.

Im Vergleich zur Kohleschicht erlaubt die Materialstruktur eine gleichmäßigere elektrische Charakteristik über die gesamte Lebensdauer. Dadurch eignen sich Cermet-Potentiometer besonders für Anwendungen, bei denen Zuverlässigkeit und ein reproduzierbares Verhalten entscheidend sind.

Stabil bei höheren Temperaturen

Wie bei Kohleschicht-Potentiometer gibt es Varianten mit mechanischen Rastpunkten (Detents) sowie lineare wie auch nicht lineare bzw. stufenförmige Kennlinien des Widerstandes. Cermet-Modelle bieten typischerweise ebenso Toleranzen von $\pm 20\%$ und $\pm 30\%$ was somit vergleichbar ist mit ihren Kohleschicht-Pendants. Cermet-Potentiometer sind typischerweise für erweiterte Temperaturbereiche von -40°C bis $+90^\circ\text{C}$, teilweise bis $+120^\circ\text{C}$ ausgelegt. Diese Eigenschaft macht sie ideal für industrielle Umgebungen, Automotive-Anwendungen oder Systeme mit hoher Eigenerwärmung. Wenn sich das Potentiometer in der Nähe heißer Bauteile befindet oder starken Schwankungen der Umgebungstemperatur ausgesetzt ist, wird aus diesem Grund häufig Cermet bevorzugt, da es über Temperaturgrenzen hinweg eine höhere Stabilität aufweist.

Höhere elektrische Belastbarkeit

Ein weiterer zentraler Vorteil liegt in der höheren elektrischen Belastbarkeit. Aufgrund der besseren Wärmeverteilung und der thermisch stabilen Widerstandsbahn erreichen Cermet-Potentiometer bei vergleichbarer Baugröße ein deutlich höheres Power Rating als Kohleschichtvarianten – in der Regel ist es das Doppelte. Ähnliches gilt für die maximale Betriebsspannung. Cermet findet mehr Verwendung wenn nach einer höheren Spannungsbelastbarkeit verlangt wird.

Auch in Bezug auf den TCR (Temperaturkoeffizient des Widerstands) und das Verhalten bei Feuchtigkeit zeigen Cermet-Potentiometer ein stabileres und vorhersehbareres Verhalten. Zusätzlich unterstützen die keramischen Materialien eine höhere inhärente Flammwidrigkeit, ergänzt durch V0-klassifizierte Kunststoffgehäuse.

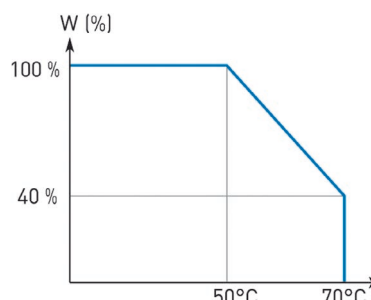
Einsatzbereiche

Interessanterweise liegt die mechanische Lebensdauer von Cermet-Potentiometern häufig unter der robuster Carbon-Panel-Potentiometer und beträgt typischerweise bis zu 10.000 Zyklen. Dies ist jedoch weniger als Nachteil zu verstehen, sondern als Hinweis auf den typischen Einsatzzweck: Cermet-Potentiometer werden primär für Justage-, Kalibrier- oder selten verstellte Regelaufgaben eingesetzt – nicht für dauerhafte Nutzerbedienung.

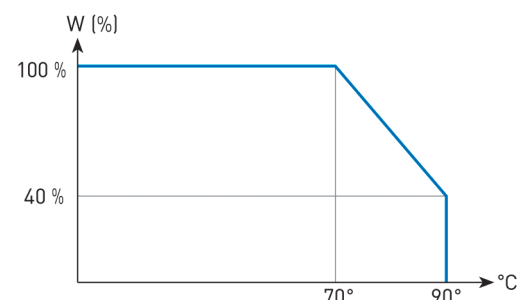
Für industrielle Anwendungen, bei denen dauerhaft hohe Spannung oder Stromstärken verarbeitet werden müssen – etwa bei Stromregelungen, Sensorbrücken, Leistungselektronik oder in automatisierten Maschinen – ist Cermet nicht nur wegen seiner Genauigkeit, sondern auch wegen seiner hitzebeständigen Belastbarkeit die überlegene Wahl.

Abgrenzung zu Kohleschicht: Wann lohnt sich der höhere Preis?

Cermet-Potentiometer sind aufgrund der verwendeten Materialien und der energieintensiven Fertigungsprozesse kostenintensiver. Der höhere Preis ist jedoch gerechtfertigt, wenn technische Anforderungen in Richtung Temperaturstabilität oder Präzision im Vordergrund stehen.



Kennlinie Derating Power über Temperatur Kohleschicht-Potentiometer



Kennlinie Derating Power über Temperatur Cermet-Potentiometer

Typische Einsatzfelder:

- **Medizintechnik:**
Dosier- und Kalibriersysteme
- **Industrielle Automatisierung:**
Stellglieder, Sensorbrücken, Regelkreise
- **Prüftechnik:**
präzise, driftarme Einstellfunktionen
- **Stromversorgungen:** AC/DC Power LED Treiber und Batterieladegeräte
- Umgebungen mit **Hitze, Feuchtigkeit oder Spannungsspitzen**

Kohleschicht-Potentiometer bleiben hingegen die erste Wahl, wenn Kostenoptimierung und eine häufige manuelle Bedienung ohne besondere Temperaturanforderungen im Fokus sind.

Der Blick auf die verfügbaren Widerstandswerte und den elektrischen Drehwinkel zeigt: In diesen beiden Parametern unterscheiden sich Cermet- und Kohleschicht-Potentiometer kaum. Beide Technologien decken typischerweise einen Bereich von $100\ \Omega$ bis $5\ \text{M}\Omega$ ab – unabhängig vom eingesetzten Material. Auch die elektrischen Winkel betragen meist 220° bis 333° .

Somit lässt sich festhalten: Wenn es um die Skalierung des Widerstands oder die Abdeckung eines typischen Drehbereichs geht, bieten beide Technologien eine vergleichbare Auswahl. Die eigentlichen Unterschiede liegen weniger in den technischen Basisdaten, sondern vielmehr in Belastbarkeit, Toleranz, Lebensdauer, Umgebungsresistenz und Entflammbarkeit.

Kontaktlose Potentiometer – Hall-Effekt-Sensoren

Technologisches Prinzip hinter Hall-Effekt-Sensoren

Im Gegensatz zu herkömmlichen Potentiometern, bei denen ein mechanischer Schleifer über eine Widerstandsbahn geführt wird, arbeiten Hall-Effekt-Potentiometer vollkommen kontaktlos. Grundlage ist der physikalische Hall-Effekt, bei dem sich eine elektrische Spannung bildet, wenn ein stromdurchflossener Leiter einem Magnetfeld ausgesetzt wird.



Unterschiedliche Ausführungen Hall-Effekt-Sensoren (Hersteller: Piher)

In der Praxis bedeutet das: Ein rotierender Magnet erzeugt ein Magnetfeld, das von einem darunter liegenden Hall-Sensor erfasst wird. Die Positionsänderung des Magneten wird in eine proportionale Spannung analog oder in ein digitales Signal (z. B. PWM) umgewandelt – ohne mechanischen Verschleiß. Dadurch bieten Hall-Effekt-Sensoren eine hervorragende Wiederholgenauigkeit. Modelle der Hall-Effekt-Sensoren erreichen eine Lebensdauer in der Größenordnung von 50 Millionen Umdrehungen und sind somit extrem langzeitstabil wie auch belastbar.

Vorteile bei Verschleißfreiheit und Lebensdauer

Der kontaktlose Aufbau bringt zahlreiche Vorteile mit sich:

- **Keine mechanische Reibung:** Kein Materialabrieb
- **Sehr hohe Lebensdauer:** Bis zu 50 Millionen Zyklen möglich
- **Hohe Genauigkeit und Wiederholbarkeit:** Linearität $\pm 1\%$, Auflösung bis 14 Bit bei digitalen Ausgängen
- **Exzellente Umweltbeständigkeit:** Funktionsfähig auch bei Erschütterung, Vibration, Staub und Feuchtigkeit

Zukunftssichere Lösung

Gerade in sicherheitskritischen oder schwer zugänglichen Anwendungen, bei denen ein Ausfall gravierende Folgen haben kann, stellen Hall-Effekt-Potentiometer eine zukunftssichere Lösung dar. Auch Temperaturbereiche von -40 °C bis $+125\text{ °C}$ sind problemlos möglich – ein Niveau, das selbst viele Cermet-Modelle übertrifft.

Ein besonders zukunftsweisendes Merkmal moderner Hall-Effekt-Potentiometer ist die Möglichkeit, das Sensorsignal direkt in digitaler Form auszugeben – etwa über PWM (Pulsweitenmodulation) oder in Form eines absoluten 14-Bit-Signals (SPI-Format). Damit entfällt die Notwendigkeit einer analogen Auswertung oder einer zusätzlichen A/D-Wandlung. Das Signal kann direkt in digitalen Steuergeräten, Mikrocontrollern oder SPS-Systemen weiterverarbeitet werden.

Diese Eigenschaft ist insbesondere für Industrie 4.0-Anwendungen, die nahtlose Integration in Bus-Systeme oder eine präzise Echtzeitverarbeitung relevant. Sie ermöglicht nicht nur eine höhere Genauigkeit und weniger Störanfälligkeit, sondern reduziert auch den Schaltungsaufwand und verbessert die Gesamteffizienz der Systemarchitektur.

Ein weiterer Pluspunkt: Die Sensoren sind je nach Ausführung frei drehbar bis 360° bzw.

bieten eine Endlos-Rotation. Auch gibt es Modelle mit einstellbarer elektrischer Drehwinkelbegrenzung – ideal für flexible Einbauanforderungen.

Einsatzgebiete mit hoher Belastung

Dank ihrer Robustheit und Präzision finden Hall-Effekt-Potentiometer Einsatz in besonders anspruchsvollen Bereichen:

- **Automotive:** Lenkwinkelsensoren, Fahrpedalerkennung, Klappenpositionierung
- **Industrie 4.0:** Zustandsüberwachung und Positionskontrolle in Maschinen
- **Land- und Baumaschinen:** Positionserfassung unter Vibration und Witterung
- **Robotik:** Gelenksteuerung, Achswinkelmessung in Echtzeit
- **Medizintechnik:** kontaktlose Bedienfelder zur Vermeidung von Verschmutzung

Auch redundante bzw. voll-redundante Ausführungen oder Modelle mit integrierter Selbstdiagnose sind möglich – vor allem bei Anwendungen mit funktionaler Sicherheit (SIL / ISO 26262). Hall-Effekt-Potentiometer bieten höchste Präzision und Zuverlässigkeit ohne mechanischen Verschleiß – und sind die erste Wahl für moderne, industrielle und sicherheitskritische Anwendungen.

Kohle vs. Cermet vs. Hall (Stärken/Schwächen)

Um die Unterschiede zwischen den gängigen Potentiometer-Technologien greifbar zu machen, bietet sich ein tabellarischer Vergleich an. Die folgende Übersicht zeigt zentrale technische Merkmale auf:

Merkmal	Kohleschicht	Cermet	Hall-Effekt
Technologie	Mechanisch (Schleifer)	Mechanisch (Schleifer)	Magnetfeldsensor (Hall)
Lebensdauer	10.000 – 100.000 Zyklen	10.000 – 100.000 Zyklen	bis 50.000.000 Zyklen
Temperaturbereich	-25 bis $+85\text{ °C}$	-40 bis $+120\text{ °C}$	-40 bis $+120\text{ °C}$
Kontaktart	schleifend	schleifend	kontaktlos
TCR	hoch	niedrig	sehr niedrig
Max. Spannung	o	+	N/A
Rauschverhalten	mittel bis hoch	niedrig	sehr niedrig
Power Rating	o	+	N/A
Feuchtigkeit	-	+	++
Entflammbarkeit	-	+	++
Typische Anwendungen	Consumer, Audio, HMI	Medizintechnik, Industrie	Automotive, Robotik, Industrie 4.0
Kosten ca. (Kohleschicht-Potentiometer = 100)	100	200	10.000

Potentiometer-Technologien im Vergleich: Eigenschaften, Vor- und Nachteile moderner Lösungen

Diese Daten zeigen: Es gibt keine universell beste Technologie – der ideale Potentiometer hängt immer vom Anwendungskontext ab.