

# Magnetfeld-Sensoren

**Zu den meistverwendeten Sensortypen gehören die Magnetfeld-Sensoren. Die verschiedenen Sensorarten vom einfachen Reed-Sensor bis hin zum Hall-Sensor mit integrierter Auswertelektronik stellen wir in diesem Artikel vor und zeigen typische Einsatzgebiete auf.**

## Allgemeines

Neben den Dehnungsmessstreifen gehören magnetfeldabhängige Sensoren zu den am weitesten verbreiteten Sensortypen. Jeder von uns „begegnet“ ihnen im tägliche Leben – zumeist aber unbewusst. So sind Magnetfeld-Sensoren beispielsweise in der Automobiltechnik nicht mehr wegzudenken. Ob als Raddrehzahlerkennung oder in der Steuerung der Motorelektronik, überall liefern sie Messwerte zu Steuer- und Regelzwecken.

Da der Magnetismus bei vielen Technikern ein wenig geliebtes Fachgebiet ist, ist auch das Wissen über magnetfeldabhängige Sensoren oftmals nicht sehr ausgeprägt. Dieser Artikel beschäftigt sich zunächst mit den verschiedenen Sensortypen und beschreibt die physikalischen Hintergründe in leicht verständlicher Weise. Weiterhin werden einfache Applikationsschaltungen aufgezeigt.

Im Wesentlichen lassen sich vier verschiedene Magnetfeldsensoren spezifizieren: der Reed-Sensor, die Feldplatte, der Hall-Sensor und der Permalloy-Sensor.

Allen gemeinsam ist die Umsetzung eines magnetischen Feldes in eine elektrische Größe.

## Reed-Sensor

Die einfachste Ausführung eines magnetfeldabhängigen Sensors ist der Reed-Sensor (auch Reed-Kontakt oder Reed-Schalter genannt). Dieser besitzt wegen seiner Zuverlässigkeit und der unkomplizierten Anwendung ein weites Einsatzgebiet. Der Aufbau ist denkbar einfach: Der Sensor besteht aus zwei Schaltkontakten,

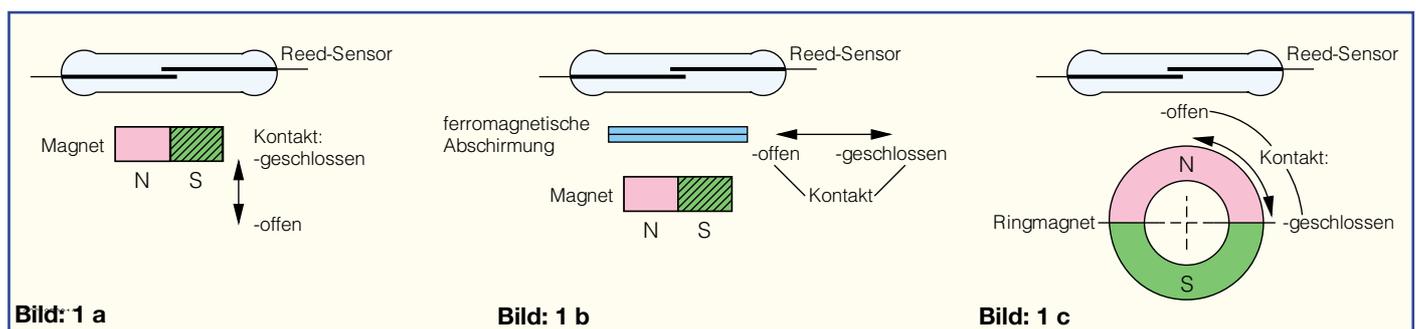
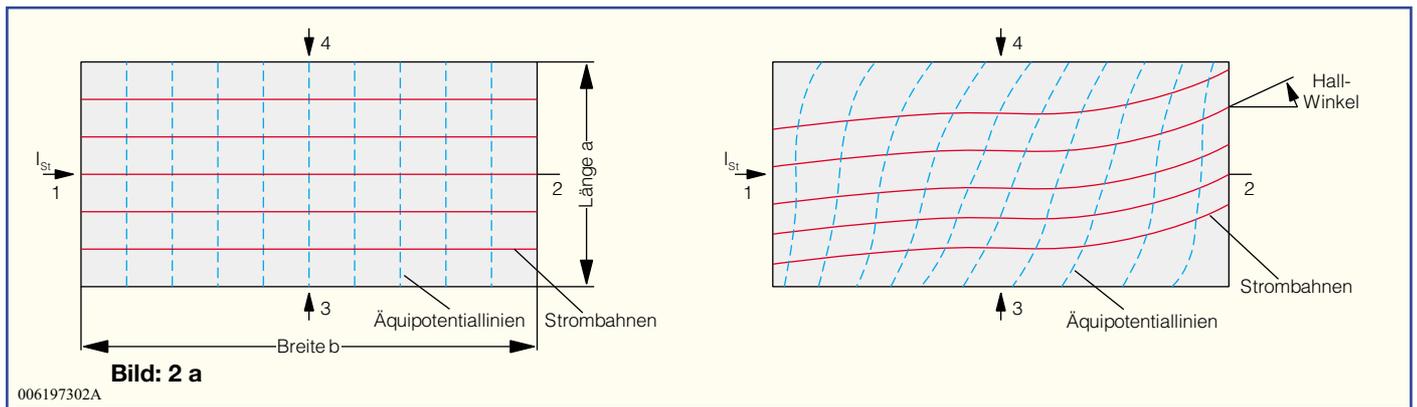


Bild 1: Reed-Sensor mit verschiedenen Ansteuermöglichkeiten



**Bild 2: Hall-Effekt-Theoretische Betrachtungen mit und ohne Magnetfeld**

die meist in einem Glasgehäuse eingeschmolzen sind. Die Kontakte bestehen aus einem ferromagnetischen Material und sind so angeordnet, dass sie sich überlappen, dabei aber noch einen Luftspalt bilden. So ergibt sich prinzipiell ein einfacher geöffneter Schalter. Wird diese Konstruktion einem ausreichenden magnetischen Feld ausgesetzt, schließen sich die Kontakte aufgrund ihrer ferromagnetischen Materialeigenschaften und stellen so eine leitende Verbindung her. Wird das magnetische Feld entfernt, öffnet sich der Kontakt wieder. Abbildung 1 zeigt das Prinzip. Um ein unkontrolliertes Schalten bei sich geringfügig ändernden Feldstärkebedingungen zu verhindern, besitzen die Reed-Sensoren eine Hysterese. So ist die zum Einschalten benötigte Feldstärke immer etwas größer als der Feldstärkewert, bei dem der Schalter wieder öffnet.

Ein solcher Reed-Schalter lässt sich dabei nur mittels eines magnetischen Feldes betätigen. Er ist gegenüber anderen Umwelteinflüssen, wie z. B. Stoß und elektrische Felder, relativ unempfindlich. Um die Gefahr von Oxydation an den Kontakten zu verringern und die Schaltleistung zu erhöhen, ist der Glaskörper meist mit einem Schutzgas gefüllt.

Für die magnetische Ansteuerung eines Reed-Sensors gibt es verschiedene Varianten. Meist wird der Reed-Kontakt fest eingebaut und ein Permanentmagnet an diesem vorbeigeführt bzw. dem Reed-Sensor angenähert. Eine andere Möglichkeit ist, den Sensor und den zugehörigen Permanentmagneten fest anzuordnen, so dass der Kontakt im Ruhezustand geschlossen ist. Mit einem Metallstreifen (ferromagnetisch) wird dann, wie in Abbildung 1 b gezeigt, der Reed-Sensor vom Magnetfeld abgeschirmt und der Kontakt öffnet sich. Sein gekapselter Aufbau erlaubt auch den Einsatz in explosionsgefährdeten Bereichen.

Aufgrund des einfachen Aufbaus und der einfachen Anwendung sind solche Sensoren weit verbreitet. Typische Anwen-

dungsgebiete sind der Einsatz als Geber in Alarmanlagen, als Endschalter, Positionsmelder oder Tachogeber. Ein Reed-Kontakt kann auch zum Ein- und Ausschalten hermetisch gekapselter elektronischer Schaltungen verwendet werden.

Bei der Applikation als Tachogeber, wird hier mit rotierenden Magneten gearbeitet. (Abbildung 1 c). Je nach Polzahl lassen sich so neben vollen Umdrehungen auch kleinste Winkeländerungen erfassen. Zu beachten ist dabei allerdings, dass Reed-Sensoren eine maximale Schaltgeschwindigkeit von ca. 1 ms besitzen. Die hiermit maximal erfassbare Drehzahl liegt dann theoretisch bei ca. 30.000 1/Minute – dies ist für viele Anwendungen ausreichend.

Die Umsetzung des vorhandenen Magnetfeldes erfolgt in die elektrische Größe Leitfähigkeit bzw. Widerstand. Mit dem einfachen Aufbau als magnetisch betätigter Schalter liefert ein Reed-Sensor ein digitales Ausgangssignal, d. h. hiermit kann nur die Aussage getroffen werden, dass ein magnetisches Feld mit einer entsprechenden Minimalfeldstärke vorhanden ist.

Die Entwicklung einer elektronischen Auswerteschaltung gestaltet sich relativ einfach, da der Reed-Sensor elektrisch prinzipiell wie ein normaler Schalter betrachtet werden kann. Entsprechend sind auch nur die üblichen Parameter Schaltspannung, Schaltstrom und Schaltleistung zu beachten.

Neben den auch vom inneren Aufbau relativ einfachen Reed-Sensoren gibt es mit dem Hall-Sensor und der Feldplatte zwei Magnetfeldsensoren, die auf den theoretischen Grundlagen des Hall-Effektes beruhen.

### Hall-Effekt

Das Funktionsprinzip des Hall-Sensors und der eng damit verknüpften Feldplatte beruhen auf dem Hall-Effekt. Dieser nach dem amerikanischen Physiker Hall benannte Effekt lässt sich auf anschauliche Weise

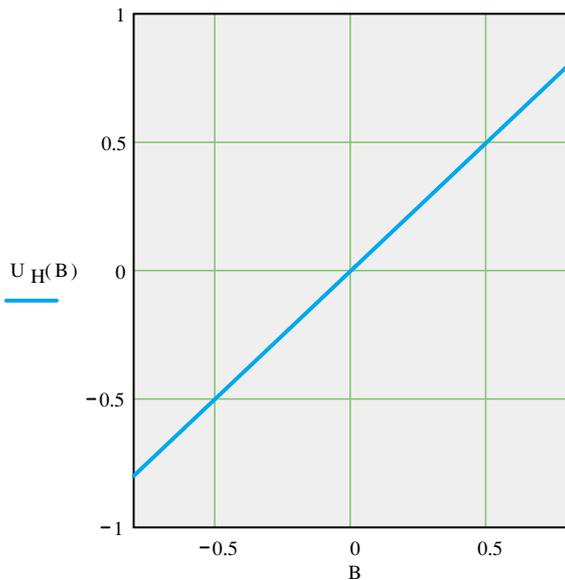
wie folgt erklären: Ausgehend vom Motorprinzip, bei dem sich ein von einem elektrischen Strom durchflossener Leiter in einem konstanten Magnetfeld bewegt, gilt diese Abhängigkeit auch im atomaren Bereich innerhalb eines Leiters. Fließt ein Gleichstrom durch einen Leiter oder auch Halbleiter, so bewegen sich die für die Stromleitung verantwortlichen Elektronen von einem Anschluss zum anderen und das im ersten Ansatz relativ geradlinig und mit einer über die Fläche gesehenen konstanten Stromdichte. Abbildung 2 a zeigt die Stromleitung in solchen geradlinigen „Strombahnen“.

Wird diese Anordnung jetzt einem magnetischen Feld ausgesetzt, das die Fläche senkrecht durchdringt, so wirkt eine Kraft auf die Elektronen. Diese auch als Lorentz-Kraft bekannte Kraft bewirkt eine Veränderung der Elektronen-Bewegungsrichtung, d. h. vereinfacht ausgedrückt eine „Ablenkung der Strombahnen“. Der sich dabei einstellende Winkel der Ablenkung wird als Hall-Winkel bezeichnet und ist ein wesentlicher Parameter eines Hall-Sensors.

Diese Ablenkung der Strombahnen zeigt sich dabei nur an den leitenden Kontaktflächen 1 und 2. Im Inneren des Materials bildet sich zur Kompensation ein elektrisches Feld aus, das senkrecht zu den Strombahnen und zum magnetischen Feld verläuft. Nach außen hin ist dieses elektrische Feld dann als Spannung, der sog. Hall-Spannung, messbar. In der in Abbildung 2 b dargestellten Anordnung liegt die Hall-Spannung  $U_H$  zwischen den Punkten 3 und 4 an. Der Gleichstrom  $I_{st}$  fließt vom Punkt 1 nach Punkt 2 und das magnetische Feld  $B$  steht senkrecht auf der dort gezeichneten Fläche. Aus dieser hier dargestellten Anordnung lässt sich nun der Aufbau eines Feldplatten-Sensors und eines Hall-Sensors ableiten.

### Hall-Sensor

Bei einem Hall-Sensor wird die bereits

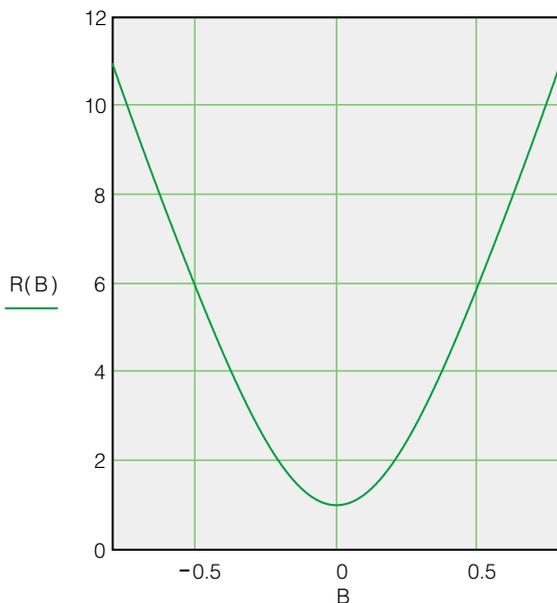


**Bild 3: Ausgangsspannung eines Hallsensors in Abhängigkeit von der anliegenden Flussdichte**

beschriebene Hall-Spannung abgegriffen. Dabei verändert man die mechanischen Abmessungen so, dass die Breite  $b$  sehr viel größer ist als die Länge  $a$ . Die Empfindlichkeit eines solchen Sensors ist von einigen Materialkonstanten abhängig. Diese Parameter sind dabei in der Leerlaufempfindlichkeit  $K_{BO}$  zusammengefasst, die dem Datenblatt zu entnehmen ist. Weiterhin geht die Höhe des Steuer-Gleichstromes  $I_{St}$  mit ein. Letztlich ergibt sich folgende Berechnungsformel für die Hall-Spannung  $U_H$ :

$$U_H = -K_{BO} \cdot I_{St} \cdot B$$

Obige Gleichung zeigt den linearen Zusammenhang zwischen der magnetischen



**Bild 4: Widerstandsänderung einer magnetoresistiven Feldplatte in Abhängigkeit von der anliegenden Flussdichte**

Flussdichte  $B$  und der Hallspannung. Typische Daten eines Hall-Sensors sind dabei:  $K_{BO} = 200 \text{ V/AT}$  und  $I_{St} = 5 \text{ mA}$ .

Die Linearität einer solchen Kennlinie, wie sie auch in Abbildung 3 dargestellt ist, vereinfacht die Auswertung des Ausgangssignales, da keine aufwendigen Linearisierungsmaßnahmen erforderlich sind. Mit steigender Flussdichte steigt der Linearitätsfehler jedoch an, so dass sinnvoll nur bis ca. 1 T gemessen werden kann. Da die Ausgangsspannungen eines solchen Sensors im Millivolt-Bereich liegen, ist in vielen Sensoren bereits eine erste Verstärkerstufe integriert.

Als typische Anwendungsbeispiel steht die messtechnische Bewertung von magnetischen Feldern im Vordergrund. Diese kann beispielsweise in der Umwelttechnik zur Erfassung von Streufeldern notwendig sein. Mit entsprechend empfindlichen Sensoren ist auch die Messung des Erdmagnetfeldes möglich, so dass u. a. ein elektronischer Kompass realisiert werden kann.

Weit verbreitet ist auch der Einsatz in Stromzangen. Dort wird das äußere Magnetfeld eines stromdurchflossenen Leiters gemessen und daraus auf den fließenden Strom zurückgerechnet. Auch in Drucksensoren erfolgt die Messwerterfassung oftmals über den „Umweg“ der Magnetfeldmessung. In solchen Druckmessdosen verschiebt eine mit dem Druck beaufschlagte Membran einen Magneten und sorgt so für eine Magnetfeldänderung, die von einem Hall-Sensor ausgewertet wird.

Alle vorher beschriebenen Anwendungen arbeiten mit einem analogen Hall-Sensor. Wird das Ausgangssignal mit einem Komparator digitalisiert, so ergeben sich weitere Anwendungsgebiete - beispielsweise als kontaktlose Schalter oder Hall-Gabelschranke. Letztere finden in der rauen Industrieumgebung Anwendung, da hier optische Systeme zu störanfällig sind. Bei einer Hall-Gabelschranke befindet sich zwischen Hall-Sensor und Magnet ein Luftspalt, durch den ein ferromagnetischer Blechstreifen geführt wird und so die Schranke auslöst. Solche

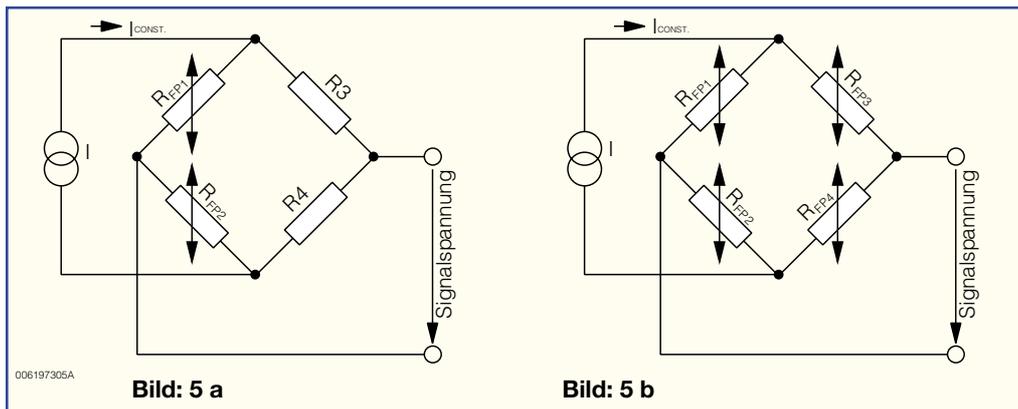
Bauelemente sind aber oftmals nicht mit Hall-Sensoren aufgebaut, sondern hier kommen dann Feldplatten zum Einsatz.

### Feldplatten

Als Feldplatten bezeichnet man magnetempfindliche Halbleiterbauelemente, die ihren Innenwiderstand in Abhängigkeit vom vorhandenen Magnetfeld ändern. Auch hier beruht die Funktionsweise auf dem bereits betrachteten Hall-Effekt. Anders als beim Hall-Sensor wird hier jedoch nicht die entstehende Hall-Spannung ausgewertet, sondern die „Ablenkung der Strombahnen“. Aus Abbildung 2 ist zu erkennen, dass die vom Steuerstrom „genommenen Strombahnen“ eine Krümmung erfahren. Dies geht unweigerlich mit einer Verlängerung der Bahn gegenüber dem unmagnetisierten Zustand einher. Einfach ausgedrückt, handelt es sich um eine Verlängerung eines Leiters, die eine Widerstandserhöhung zur Folge hat. Um auch die Empfindlichkeit dieser Sensoren zu verbessern, wird die Breite  $b$  gegenüber der Länge  $a$  (vgl. Abbildung 2) verkleinert. Durch Hintereinanderschalten mehrerer solcher Einheiten erreicht man dann eine entsprechend große Widerstandsänderung unter Einwirkung eines magnetischen Feldes. Die Widerstandsänderung verhält sich mathematisch jedoch nicht linear wie bei den Hallsensoren, sondern folgt in erster Näherung einer quadratischen Funktion, wie sie Abbildung 4 zeigt. Weiterhin fällt hier auf, dass sich aus der Widerstandsänderung nicht die Polarität des Feldes erkennen lässt. Betrachtet man die der Erklärung dienende Abbildung 2, so ist dies auch einleuchtend, da jede Ablenkung der „Strombahnen“, gleich in welcher Richtung, eine Verlängerung dieser zur Folge hat.

Beim Einsatz von Feldplatten ist zu beachten, dass diese eine Temperaturabhängigkeit besitzen. Daher werden sie quasi auch nur in Brückenschaltung aufgebaut. So findet man im Allgemeinen auch nur Differentialsensoren für Halbbrücken oder 2-fach Differentialsensoren für Vollbrückenschaltungen. Da die Temperaturänderung und sonstige Driftänderungen auf alle Sensoren gemeinsam wirkt, heben sich die Effekte auf. Abbildung 5 a und b zeigen die Halbbrücken- und die Vollbrücken-Schaltung. Die äußere Beschaltung einer solchen Brücke besteht im einfachsten Fall aus einer Konstantstromquelle für die Speisung und einem Differenzverstärker zur Messwertverstärkung.

Als Einsatzgebiete sind die gleichen Anwendungen wie bei den Hall-Sensoren zu nennen. Neben der eigentlichen Erfassung von exakten Feldstärkewerten stehen auch hier die Anwendungen mit einfachen



**Bild 5: Halb- und Vollbrückenschaltung von Feldplatten**

Ja/Nein-Informationen in Vordergrund. Diese sind dann beispielsweise die Drehzahlmessung mit Drehrichtungserkennung, der Einsatz als Endschalter, zur Winkelcodierung usw.

### Permalloy-Sensoren

Bei den sogenannten Permalloy-Sensoren handelt es sich auch um magnetoresistive Bauelemente. Auch hier ändert sich der Widerstandswert unter Einfluss eines magnetischen Feldes. Anders als bei den auf dem Hall-Effekt beruhenden Komponenten, wirkt hier nicht die magnetische Flussdichte  $B$ , sondern die magnetische Feldstärke  $H$  direkt auf den elektrischen Widerstand. Als Material wird Permalloy eingesetzt, eine Legierung aus Nickel und Eisen.

Diese Sensoren sind als Vollbrückenschaltung (vgl. Abbildung 5 b) aus vier solchen magnetisch empfindlichen Wider-

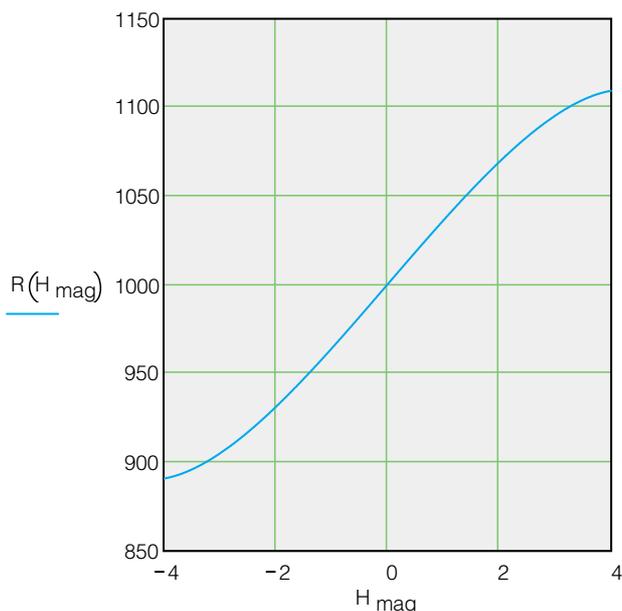
ständen ausgeführt. Mit Hilfe eines Steuerstromes oder eines Permanentmagneten muss zunächst ein definiertes sensorinternes Magnetfeld erzeugt werden. Unter Einfluss eines äußeren Feldes, das senkrecht zu diesem internen Feld gerichtet sein muss, ändert sich dann der Widerstandswert, und es ergibt sich eine entsprechende Signalspannung in der Brückendiagonalen. Wie Abbildung 6 zeigt, ist diese in einem gewissen Bereich sehr linear, so dass auch hier in der Auswerteschaltung meist auf komplizierte Ausgleichsmaßnahmen verzichtet werden kann.

Diese Sensortypen kommen in Kraftfahrzeuganwendungen und in Stromsensoren sehr häufig zum Einsatz. Abbildung 7 zeigt schematisch die typische Anwendung in einer Drehzahlmessung mit

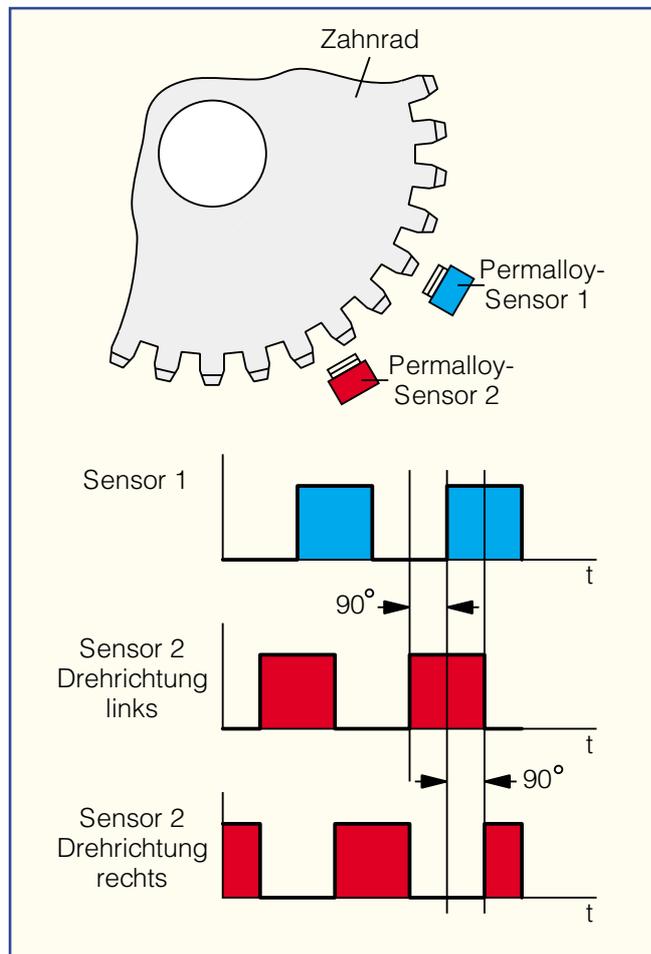
Drehrichtungserkennung an einem Zahnrad. Hier wird mittels eines Permanentmagneten am Sensor ein magnetisches Feld erzeugt. Durch die Rotation des (ferromagnetischen) Zahnrades kommt es zu einer vom Sensor auswertbaren Beeinflussung des magnetischen Feldes. Die Feldstärkeänderung beruht dabei nur auf der Änderung des Feldes durch die Zähne des Zahnrades. Das Zahnrad an sich muss somit kein aktiver Magnet sein, sondern nur ferromagnetisch, d. h. in der Lage sein, die magnetischen Felder des externen Magneten zu bündeln, wie z. B. Eisen.

Beim Einsatz von zwei Sensoren, die ein um  $90^\circ$  phasenverschobenes Ausgangssignal liefern (vgl. Abbildung 7), lässt sich dann auch aus der Folge der Nulldurchgänge der Signale die Drehrichtung ermitteln.

Magnetfeldsensoren decken ein sehr großes Anwendungsgebiet ab und werden vor allem dort eingesetzt, wo unter widrigen Bedingungen mechanische Bewegungen erfasst werden müssen. Daher kommen sie vielfach in der Industrie- und Kraftfahrzeugtechnik zum Einsatz. **ELV**



**Bild 6: Prinzipieller Verlauf der Kennlinie eines Permalloy-Sensors**



**Bild 7: Drehzahl- und Drehrichtungsmessung an Zahnradern**