

## Kurzexposé zum Traffic-Sensor

### 1. Magnetostatische und elektrodynamische Grundlagen

Im unmittelbaren Erfahrungsbereich des Menschen spielen statische und dynamische Magnetfelder eine Rolle, die sich über ca. sechzehn Dekaden erstrecken. Äußerst geringe Magnetfelder bis hinunter in den Femtotesla-Bereich ( $10^{-15}$  Tesla) treten beispielsweise auf im Zusammenhang mit biologisch-medizinischen Vorgängen. So erzeugen viele unserer Organe charakteristische Magnetfelder. Relativ hohe Magnetfelder treten im Zusammenhang mit elektromagnetischen Maschinenkomponenten auf oder auch sehr stark lokalisiert im Bereich der magnetischen Datenspeicherung. Das Erdmagnetfeld mit einer Größe von etwa einigen zehn Mikrottesla ( $10^{-5}$  Tesla) liegt als Referenzpunkt im mittleren Drittel der Magnetfeldskala.

Zu unterscheiden ist grundsätzlich zwischen statischen oder quasistatischen Magnetfeldern, die sich gar nicht oder nur vergleichsweise zeitlich ändern, und dynamischen Magnetfeldern, die sich transientenhaft oder periodisch mit der Zeit ändern und im Bereich hoher Frequenzen insbesondere als Bestandteil elektromagnetischer Wellen auftreten. Statische Felder werden beispielsweise durch Permanentmagnete erzeugt. Das Erdmagnetfeld mit seinen niederfrequenten Variationen wäre als quasistatisches Feld zu bezeichnen. Dynamische Felder treten in jedem Transformator auf und entstehen in der Umgebung von Sendeantennen im Rahmen der elektromagnetischen Wellenausbreitung.

Über die physiologischen Wirkungen statischer und dynamischer Magnetfelder sowie elektromagnetischer Wellen ist so gut wie nichts bekannt. Von der Strahlenschutzkommission vorgegebene Richtwerte, die selbstverständlich groß im Vergleich zum Erdmagnetfeld sind, sind als rein prophylaktische Empfehlungen zu verstehen.

Da elektrische Ströme sowie ferro- und ferrimagnetische Materialien Magnetfelder erzeugen, besitzt eine Vielzahl von Objekten unseres täglichen Lebens einen "magnetischen" Fingerabdruck. Ausschließlich Gegenstände, die weder magnetische Materialbestandteile noch elektrische Ströme involvieren, wie etwa ein Kunststoffgehäuse, sind magnetisch völlig neutral. Hingegen erzeugen die meisten technisch verwendeten Metalle sowie alle elektrischen Geräte markante und charakteristische Magnetfelder oder auch lokale Verzerrungen des Erdmagnet-

feldes. Sind hinreichend empfindliche Magnetfeldsensoren verfügbar, so können die genannten magnetischen Erscheinungen zur berührungslosen und teilweise über große Entfernungen realisierbaren Erkennung technischer Objekte verwendet werden.

## 2. Relevante Magnetfeldsensoren

Die empfindlichsten derzeit verfügbaren Magnetfeldsensoren sind die supraleitenden Quanteninterferenzdetektoren (SQUID), die bis in den Femtotesla-Bereich hin vorstoßen, allerdings kommerziell so gut wie nicht verfügbar sind, komplexe Herstellungsverfahren erfordern und auf mindestens etwa  $-200^{\circ}\text{C}$  gekühlt werden müssen. SQUID werden heute in der Grundlagenforschung, in Sonderfällen der zerstörungsfreien Werkstoffprüfung und auch in speziellen Bereichen der medizinischen Diagnostik verwendet. Sie wurden im militärischen Bereich eingesetzt zur Detektion metallischer Objekte, wie U-Boote, über extrem große Entfernungen. Heute überprüft man insbesondere die Verwendbarkeit für Fragestellungen der geophysikalischen Exploration.

Im Bereich mittlerer bis kleiner statischer Felder und niederfrequenter dynamischer Felder gibt es eine Reihe von Sensoren, die als Massenprodukte kommerziell erhältlich sind. Die Palette reicht von Fluxgates über Hallsonden bis hin zu Magnetowiderstandselementen, die insbesondere als Leseköpfe in der magnetischen Datenspeicherung heute millionenfache Verwendung finden. Stand der Technik bei den Magnetowiderstandselementen sind heute GRM (Giant MagnetoResistance)-Elemente, Spinvalves und in Kürze auch TMR (Tunneling MagnetoResistance)-Elemente. Mit entsprechenden Sensoren kann bei hinreichend aufwendiger Schaltungstechnik ungekühlt bis in den Picotesla-Bereich ( $10^{-12}$  Tesla) vorgestoßen werden. Im Bereich der Grundlagenforschung konzentriert man sich derzeit auf die Entwicklung von CMR (Colossal MagnetoResistance)-Sensoren auf keramischer Basis.

Grundsätzlich sind im Bereich mittlerer bis hoher Felder natürlich Induktionsschleifen zu nennen, die vielfältige Verwendung finden, und die bei hinreichender flächenmäßiger Auslegung oder bei hohen Frequenzen eine ausreichende Empfindlichkeit für viele technische Anwendungen aufweisen, insbesondere auch für den verkehrstechnischen Bereich.

### 3. Magnetfelder und Verkehrsdatenerfassung

Bewegte metallische Objekte, wie Autos, Schienenfahrzeuge, Schiffe oder Flugzeuge, erzeugen signifikante Magnetfelder und Verzerrungen des Erdmagnetfeldes. Je nach Empfindlichkeit verwendeter Sensoren können die magnetischen Phänomene über Entfernungen detektiert werden, die für die Erfassung von Verkehr relevant sind. Dies ist möglich geworden durch die Einführung hinreichend empfindlicher Sensoren in den vergangenen Jahren. Da Magnetfelder witterungs- und verschmutzungsunabhängig sind, bietet der Einsatz von Magnetfeldsensoren zur Verkehrsdatenerfassung a priori einige Vorteile gegenüber üblicherweise verwendeten Systemen. Der Einsatz moderner Sensoren im Millimeterformat erweitert darüber hinaus den Anwendungsbereich gegenüber demjenigen von Induktionsschleifen erheblich. Gravierende Vorteile, die mit dem Einsatz von Magnetfeldsensoren verbunden sind, bestehen sowohl in wesentlich erweiterten als auch in sehr kostengünstigen Einsatzmöglichkeiten.

### 4. Entwicklungen an der Universität des Saarlandes

Die Arbeitsgruppe um Prof. U. Hartmann beschäftigt sich seit Jahren mit der Erforschung magnetischer Phänomene und mit der Anwendung magnetischer Komponenten, insbesondere im Bereich der Informationstechnologie. Die Arbeiten konzentrieren sich dabei auf zwei Bereiche: Zum einen wird physikalische Grundlagenforschung im Bereich neuer magnetisch funktionaler Materialien und ultrakleiner Bauelemente durchgeführt. Hierbei nehmen die Grundlagen der Magnetosensorik einen breiten Raum ein. Zum anderen werden technische Anwendungsfelder für höchstempfindliche Sensoren, die zum Teil kommerziell verfügbar sind, erschlossen.

Mit zunehmender Empfindlichkeit sensorischer Systemkomponenten lassen sich gänzlich neue Anwendungsfelder erschließen, oder auch magnetische Sensoren in Anwendungsfeldern einsetzen, die bisher aufwendigeren Techniken vorbehalten waren. Ein Beispiel für den zuletzt genannten Sachverhalt ist die Verkehrsdatenerfassung.

Selbst wenn kommerziell hinreichend empfindliche Magnetosensoren potentiell verfügbar sind, erfordert deren Anwendung unter technisch relevanten Arbeitsbedingungen, d. h. insbesondere in magnetisch gestörter Umgebung, aufwendige Forschungs- und Entwicklungsarbei-

ten. Nur auf der Basis anspruchsvoller analog- und digitalelektronischer Konzepte, kombiniert mit angepaßten Softwarealgorithmen lassen sich funktionale Systemlösungen entwickeln. Die Saarbrücker Arbeiten konzentrieren sich auf die Erfassung äußerst kleiner (typisch Nanotesla) magnetischer Signale bei hoher Abtastrate und in gestörter Umgebung. Im Rahmen dieser Aktivitäten wurde auch ein Sensormodul entwickelt, welches sich aufgrund seiner hohen Empfindlichkeit (Nanotesla-Bereich) und hohen Bandbreite (Megahertz-Bereich) für die Erfassung verkehrsbezogener Daten eignet. Das Sensormodul zeichnet sich durch seine Kompaktheit und Flexibilität in der Anwendung aus. Unterschiedlichste Fahrzeuge oder auch andere bewegte Objekte lassen sich aus mehreren Metern Entfernung zuverlässig witterungs- und verschmutzungsunabhängig detektieren. Im Rahmen geeigneter Systemlösungen können selbst ruhende Objekte sowie eine Vielzahl von Daten, die beispielsweise die Geschwindigkeit oder bestimmte Fahrzeugmerkmale betreffen, erfaßt werden. Damit bietet sich das Sensormodul für die unterschiedlichsten Verkehrsleitkonzepte an.