

# Zuverlässige Radsensoren als Basis für hochverfügbare Systeme

## Reliable wheel sensors as the basis for highly available systems

Franz Pointner | Hannes Kalteis

Induktive Radsensoren werden im Bahnbereich für Schalt- und Triggeraufgaben sowie für sicherheitsrelevante Applikationen, wie zur Gleisfreimeldung oder an Bahnübergängen, eingesetzt. Dabei sind sie zum Teil besonders widrigen Einflüssen und Belastungen ausgesetzt. Zuverlässige Lösungen für unterschiedliche Märkte erfordern daher laufende Neu- und Weiterentwicklungen. Der vorliegende Artikel betrachtet verschiedene Einflüsse, bekannte Sensorarchitekturen und Detektionsverfahren sowie entsprechende Lösungsansätze.

### 1 Der Zusammenhang von Zuverlässigkeit und Verfügbarkeit

Vorab sollen die häufig in ähnlichem Zusammenhang verwendeten Begriffe Verfügbarkeit und Zuverlässigkeit einer genaueren Betrachtung unterzogen werden. In der EN 50126 wird Verfügbarkeit wie folgt definiert: „Die Fähigkeit eines Produkts, in einem Zustand zu sein, in dem es unter vorgegebenen Bedingungen zu einem vorgegebenen Zeitpunkt oder während einer vorgegebenen Zeitspanne eine geforderte Funktion erfüllen kann unter der Voraussetzung, dass die geforderten äußeren Hilfsmittel bereitstehen.“ [1]. Verfügbarkeit beschreibt also den Zustand, in dem ein komplettes System zur Nutzung zur Verfügung steht und basiert auf der Zuverlässigkeit der entsprechenden Komponenten. Funktionieren diese nicht zuverlässig, erfordern beispielsweise häufige Wartung, dann kann zwar bei redundanter Ausführung die Verfügbarkeit bestehen bleiben – der dafür zu erbringende Aufwand steigt allerdings erheblich an.

Zuverlässigkeit ist im Sinne dieser Definition also die Grundlage für nachhaltige Verfügbarkeit. Daher soll im vorliegenden Artikel die Zuverlässigkeit induktiver Radsensoren im Sinne von Robustheit, Widerstandsfähigkeit und Funktionalität betrachtet werden, da diese die Voraussetzung für die optimale Verfügbarkeit von Systemen bildet, auf Basis derer wiederum ein reibungsloser Bahnverkehr gewährleistet werden kann.

### 2 Anforderungen an induktive Radsensoren im Bahnverkehr

Angesichts zahlreicher Faktoren, die die Zuverlässigkeit von Radsensoren beeinflussen, gelten hinsichtlich ihres Einsatzes in sicherheitsrelevanten Bereichen verschiedene Normen und Standards. Das Europäische Komitee für elektrotechnische Normung (CENELEC) kennt für die Eisenbahnsignaltechnik etwa eigene Regelwerke zu allgemeinen RAMS-Anforderungen (EN 50126), zu technischen Parametern von Gleisfreimeldesystemen (EN 50617-2), zur elektromagnetischen Verträglichkeit EMV (EN 50121-4) oder zu Umweltbedingungen (EN 50125-3). Daher gilt

Inductive wheel sensors are used in the railway sector for switching and trigger tasks as well as for vital applications, such as for train detection or at level crossings. At times, these components are exposed to particularly extreme conditions and stresses, which is why the creation of reliable solutions for different markets requires continuous new development and improvements. This article discusses various influences, known sensor architectures and detection methods, as well as approaches to developing suitable solutions.

### 1 The link between reliability and availability

Firstly, the terms availability and reliability – which are often used in a similar context – should be examined in more detail. According to EN 50126, the term availability is defined as follows: “The ability of a product to be in a state to perform a required function under given conditions at a given instant of time or given time interval assuming that the required external resources are provided.” [1]. Availability therefore describes the state in which a complete system is available for use based on the reliability of the respective components. If these components are not functioning reliably, i.e. they require frequent maintenance, availability can still be maintained with the use of a redundant implementation, but the expense incurred increases significantly.

Reliability is therefore the basis for long-term availability in the context of this definition. This article seeks to examine the reliability of inductive wheel sensors in terms of robustness, resilience and functionality, as this reliability is the prerequisite for the optimum availability of systems, which in turn makes it possible to ensure smooth railway operations.

### 2 The demands placed on inductive wheel sensors in the rail sector

Given the numerous factors which influence the reliability of wheel sensors, various norms and standards apply with regard to their use in vital areas. The European Committee for Electrotechnical Standardization (CENELEC) defines its own guidelines for railway signalling technology, for instance the general RAMS requirements (EN 50126), the technical parameters for train detection systems (EN 50617-2), electromagnetic compatibility (EMC) (EN 50121-4) and environmental conditions (EN 50125-3). It is therefore important to use suitable RAMS management to meet the exacting demands placed on reliability,

es, durch ein geeignetes RAMS-Management die Umsetzung der hohen Anforderungen an Zuverlässigkeit, Verfügbarkeit, Wartbarkeit und Sicherheit im gesamten Lebenszyklus eines Produkts zu überwachen. Die enge Zusammenarbeit von Entwicklungs- und Produktionsabteilungen schafft dabei die Basis für die sichere und hochverfügbare Funktion und damit auch für den Erhalt entsprechender Produktzertifikate.

Vor dem Hintergrund der Globalisierung steht das RAMS-Management häufig vor der Herausforderung, zusätzliche Vorgaben und Anforderungen aus unterschiedlichen Märkten in die Entwicklung und Optimierung der Produkte einfließen zu lassen. So wurden etwa für das europäische Bahnnetz Emissionsgrenzwerte von Bahnfahrzeugen auf der Grundlage des Frequenzmanagements des TSI-ZZS-Schnittstellendokuments (ERA/ERTMS/033281) festgelegt, um die Kompatibilität zwischen Fahrzeugen und Gleisfreimeldesystemen zu gewährleisten. Abseits dieser europäischen Normierungen müssen entsprechende Optimierungen allerdings oftmals anhand konkreter Erfahrungen geschehen, die in verschiedenen Märkten gesammelt werden. Dies gilt ebenso für auftretende Belastungen wie zum Beispiel extreme Temperaturen, Vibrationen, Schocks, Feuchtigkeitseinflüsse oder unzeitige Beeinflussungen, etwa Blitzschläge, Kurzschlüsse und Aderbrüche (Bild 1).

### 3 Einflussfaktoren auf die Zuverlässigkeit von induktiven Radsensoren

Unabhängig von der Bauweise der Sensoren – auf die in Abschnitt 4 noch näher eingegangen wird – und davon, in welchem Bahnsegment die Komponenten zur Anwendung kommen – ob auf Hochgeschwindigkeits- oder Nebenbahnlinien für Personen- und Güterverkehr, im urbanen Metrobereich oder in industriellen Anlagen –, gilt: Grundsätzlich werden Radsensoren am Gleis und damit in einer zum Teil extrem widrigen Umgebung verbaut.



**Bild 1: Induktive Radsensoren müssen weltweit verschiedenen Anforderungen entsprechen.**

Fig. 1: Inductive wheel sensors must meet various requirements around the world.

availability, maintainability and safety throughout the entire life cycle of the product. Close collaboration between development and production departments creates the basis for safe functionality and high availability, and in turn for obtaining the relevant product certification.

In the light of globalisation, RAMS management is often faced with the challenge of incorporating additional regulations and requirements for various markets into the development and optimisation of products. For this reason, emissions limits have been defined for rail vehicles operating on the European rail network on the basis of frequency management as per the TSI CCS Control Interface Document (ERA/ERTMS/033281) in order to ensure compatibility between vehicles and train detection systems. In addition to these European standards, suitable optimisation measures often need to be implemented on the basis of the experience gained in various markets. This also applies to the stresses affecting the components, for example extreme temperatures, vibrations, shocks, moisture or inopportune influences such as lightning strikes, wire breaks and short-circuit cable faults (fig. 1).

### 3 Factors influencing the reliability of inductive wheel sensors

The following applies irrespective of the sensor design (which is covered in more detail in section 4) and the rail segment in which the components are used (no matter whether on high-speed lines or branch lines for passenger and freight transport, in the urban metro sector or in industrial systems): wheel sensors are mounted on the track and as such in an environment which is sometimes exposed to extreme conditions.

Several factors, which have a considerable influence on the reliable functioning of the wheel sensors, have been divided into three categories and described below: temperature and environmental influences, mechanical influences and electromagnetic influences.

#### 3.1 Temperature and environmental influences

Temperature changes can occur rapidly or gradually depending on the cause. While heat builds up gradually over the course of the day/night cycle, eddy current brakes can cause a sudden rise in rail temperature. By contrast, a downpour of rain can cause rapid cooling. In any case, these temperature changes lead to parameter changes in the rails and in the wheel sensors mounted on the rails.

Other environmental influences can also affect the track bed, the rails and the sensors themselves. Such influences include coverings of sand, snow and ice or industrial commodities such as coal dust. Flooding must also be taken into account (fig. 2).

#### 3.2 Mechanical influences

The challenges arising from any mechanical influences concern all the sensor components and the mounting assembly. The latter must ensure that the position of the sensor does not change under extreme stress, as deviations may lead to a fault due to incorrect detection. These stresses include severe lightning strikes or vibrations caused by flat spots on wheels, defective rail joints or even rail breaks (fig. 3). The arising forces may also damage the sensor housing.

However, such damage can also be caused by influences such as metal parts hanging from the train, the shedding of ice or ballast pickup. The possible consequences of a damaged housing include the ingress of moisture and resulting faults or failures in



**Bild 2: Selbst unter Wasser müssen induktive Radsensoren höchst zuverlässig funktionieren.**

Fig. 2: Inductive wheel sensors have to work highly reliably, even when completely under water.



**Bild 3: Schocks an Schienenstößen stellen Herausforderungen für Sensoren und Montagevorrichtungen dar.**

Fig. 3: Shocks in the vicinity of the rail joints can be challenging for the sensors and the mounting assembly.

Einige Faktoren, die wesentlichen Einfluss auf die zuverlässige Funktion von Radsensoren nehmen, sollen im Folgenden in drei Kategorien beschrieben werden: Temperatur- und Umwelteinflüsse, mechanische Einflüsse und elektromagnetische Einflüsse.

### 3.1 Temperatur- und Umwelteinflüsse

Temperaturänderungen können je nach Ursache schnell oder langsam erfolgen. Während der Tag-Nacht-Zyklus etwa zu einer trägen Erwärmung führt, lösen Wirbelstrombremsen eine plötzliche Erhitzung der Schiene aus. Ein Platzregen kann wiederum eine rasche Abkühlung verursachen. In jedem Fall führen diese Temperaturänderungen aber zu Parameteränderungen in der Schiene und in den daran montierten Radsensoren.

Auch andere Umwelteinflüsse können das Gleisbett, die Schienen, wie auch den Sensor selbst betreffen. Dazu zählen beispielsweise die Überlagerung mit Sand, Schnee und Eis oder industriellem Gut, wie Kohlestaub. Auch Überflutungen müssen einkalkuliert werden (Bild 2).

### 3.2 Mechanische Einflüsse

Die Herausforderungen, die sich aus mechanischen Einflüssen ergeben, betreffen sämtliche Bauteile des Sensors und der Montagevorrichtung. Diese muss garantieren, dass sich die Position des Sensors selbst unter großen Belastungen nicht verändert, da Abweichungen zu einer Störung durch fehlerhafte Detektion führen können. Zu diesen Belastungen zählen etwa starke Schläge oder Vibrationen, die durch Flachstellen von Rädern, defekte Schienenstöße oder gar Schienenbrüche hervorgerufen werden (Bild 3). Die dabei auftretenden Kräfte können zudem das Sensorgehäuse beschädigen.

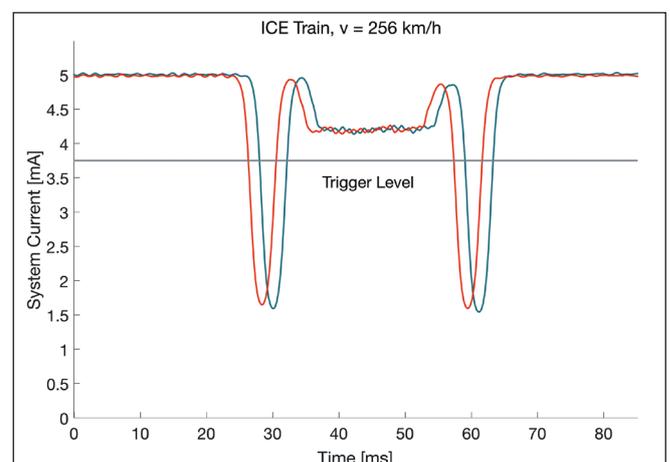
Eine solche Schädigung kann aber auch durch Einflüsse wie etwa durch vom Zug herabhängende Metallteile, Eisabwurf oder Schotterflug hervorgerufen werden. Mögliche Folgen eines schadhafte Gehäuses sind Feuchtigkeitseintritt und daraus resultierende Störungen oder Ausfälle in der Elektronik des Sensors. Auch das Sensorkabel und dessen Anschlussvorrichtung am Sensor können durch mechanische Einflüsse in Mitleidenschaft gezogen werden.

the sensor electronics. The sensor cable and sensor connection equipment may also become damaged as a result of mechanical influences.

### 3.3 Electromagnetic influences

Wheel sensors used in the rail sector function on the basis of the highly sensitive evaluation of changes to inductive parameters. On the one hand, this allows for the precise detection of passing train axles, but it also requires the intelligent handling of the various electromagnetic influences present in the field.

To start with, the immediate surroundings of the sensor, including the mounting assembly and the track itself, consist of materials which influence the magnetic field of the sensor. This means that any changes in one of these components are also visible in the sensor signal. This correlation must be taken into consideration in the development of highly reliable sensors, as current flowing through the rail also alters the permeability, as does a magnetic rail brake.



**Bild 4: Frauscher RSR123 Sensorsignal bei Überfahrt eines ICE mit Wirbelstrombremse**

Fig. 4: The Frauscher RSR123 sensor signal under an ICE using eddy current brakes

### 3.3 Elektromagnetische Einflüsse

Im Bahnbereich eingesetzte Radsensoren arbeiten in der Regel auf Basis einer hochsensiblen Auswertung von Veränderungen induktiver Parameter. Dies ermöglicht zum einen die präzise Detektion vorüberfahrender Zugachsen, bedingt aber auch die intelligente Handhabung verschiedener im Feld vorhandener elektromagnetischer Einflüsse.

Alleine das direkte Umfeld des Sensors besteht mit der Befestigungsvorrichtung und dem Gleis selbst schon aus Materialien, die Einfluss auf das Magnetfeld des Sensors nehmen. Das heißt, dass Änderungen in einer dieser Komponenten auch im Sensorsignal sichtbar werden. Dieser Zusammenhang muss in der Entwicklung höchst zuverlässig funktionierender Sensoren ebenfalls Beachtung finden, da beispielsweise Strom, der durch die Schiene fließt, die Permeabilität ebenso verändert wie etwa eine Magnetschienenbremse.

Besondere Bedeutung kommt in der Liste zu berücksichtigender elektromagnetischer Einflüsse den Wirbelstrombremsen zu, die ein enormes Magnetfeld generieren, das wiederum zweierlei Auswirkungen hat (Bild 4). Das in den Stahl des Schienenkopfes eindringende Magnetfeld treibt diesen in magnetische Sättigung. Das Streumagnetfeld erreicht darüber hinaus auch den Sensor und muss störungsfrei verkraftet werden [2]. Ansätze bezüglich der Optimierung der EMV-Stabilität von Sensoren werden in Abschnitt 5.3 des vorliegenden Artikels näher erörtert. Zuvor sollen jedoch die Detektionsverfahren und Sensortypen, die im Feld eingesetzt werden, untersucht werden.

### 4 Detektionsverfahren und Sensortypen

Die Hauptaufgabe eines Radsensors besteht in der zuverlässigen und präzisen Detektion jeder vorüberfahrenden Zugachse. Den Stand der Technik markiert dabei die induktive Sensortechnologie – ein Ansatz, der sich inzwischen rund um den Globus vielfach bewährt hat. Induktive Parameter und deren Veränderungen durch den Einfluss eines metallischen Gegenstandes, wie etwa das Rad eines Zugs, bilden die Grundlage zur Generierung zahlreicher Informationen.

#### 4.1 Evaluierung alternativer Technologien

Die Evaluierung alternativer Technologien konnte vor allem in sicherheitsrelevanten Bereichen bisher zu keinen zufriedenstellenden Ergebnissen führen. So eignet sich beispielsweise das Fiber Bragg Grating (FBG) grundsätzlich zur Detektion vorüberfahrender Züge – jedoch können einzelne Achsen nicht unter allen Einsatzbedingungen präzise erfasst werden. Auch die Nachweisführung der Sicherheit stellt hier ein Problem dar, da sie signifikant vom Zustand des Gleises und der Dynamik zwischen Rad und Schiene bei unterschiedlichen – und gegebenenfalls unterschiedlich beladenen – Fahrzeugen abhängt.

Als weitere Alternative bietet etwa Distributed Acoustic Sensing (DAS) zahlreiche Vorteile beim Einsatz im Eisenbahnbereich – darauf basierende Lösungen müssen aber gerade im sicherheitstechnischen Bereich ebenfalls mit zugelassenen Komponenten, wie etwa Radsensoren, kombiniert werden [3].

Gemessen am Umfeld, in dem diese Technologien zum Einsatz kommen, stellen induktive Radsensoren damit heute die zuverlässigste und wirtschaftlichste Lösung für die rasche Umsetzung sowohl von sicherheitsrelevanten als auch von nicht-sicherheitsrelevanten Applikationen dar.

#### 4.2 Konstruktionsarten induktiver Radsensoren

Für bestimmte Anwendungen, wie nicht sicherheitsrelevante Schaltaufgaben, kommen im Eisenbahnbereich auch Einzelsensoren, das heißt Sensoren mit nur einem Sensorsystem, zum Einsatz.

In the list of electromagnetic influences to be considered, particular importance is attached to eddy current brakes, which generate an enormous magnetic field with a twofold effect (fig. 4). The magnetic field which penetrates the steel of the rail-head leads to magnetic saturation. The residual magnetic field also affects the sensor and must be resolved without interference [2]. Approaches to the optimisation of the EMC stability of sensors are discussed in greater detail in section 5.3 of this article. However, the detection methods and sensor types used in the field should be examined first.

### 4 Detection methods and sensor types

The main task of a wheel sensor lies in the reliable and precise detection of each passing train axle. Inductive sensor technology is state-of-the-art and has proved its worth many times over, across the globe. The inductive parameters and any changes to these parameters resulting from the influence of a metallic object, such as the wheel of a train, form the basis for the generation of a wealth of information.

#### 4.1 The evaluation of alternative technologies

The evaluation of alternative technologies has not yet yielded satisfactory results, especially in areas related to safety. For example, the Fiber Bragg Grating (FBG) is suitable for the detection of passing trains, but the individual axles cannot be recorded precisely under all operating conditions. Providing evidence of safety also presents a problem, as it is largely dependent on the state of the track and the dynamics between the rail and the wheels of various vehicles, which may be loaded quite differently.

Another alternative is Distributed Acoustic Sensing (DAS), which offers numerous benefits in rail applications. However, where safety applications are concerned, solutions based on this technology must also be combined with other approved components, such as wheel sensors [3].

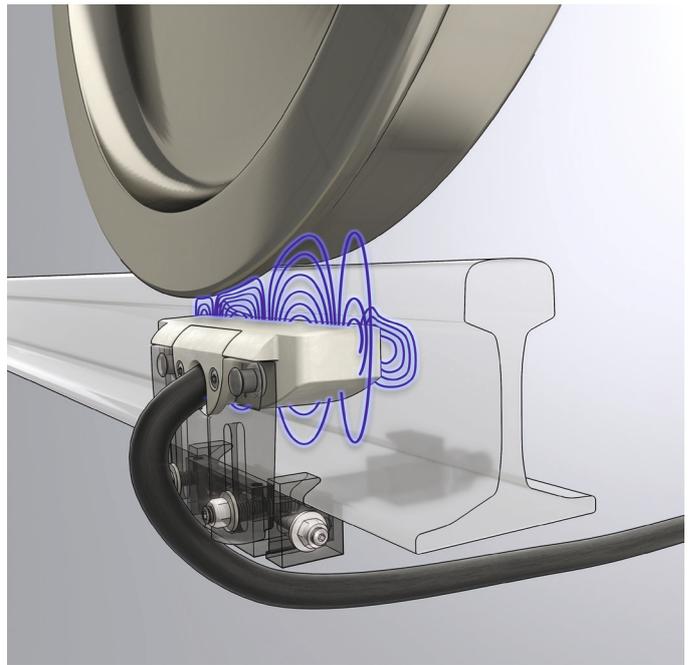
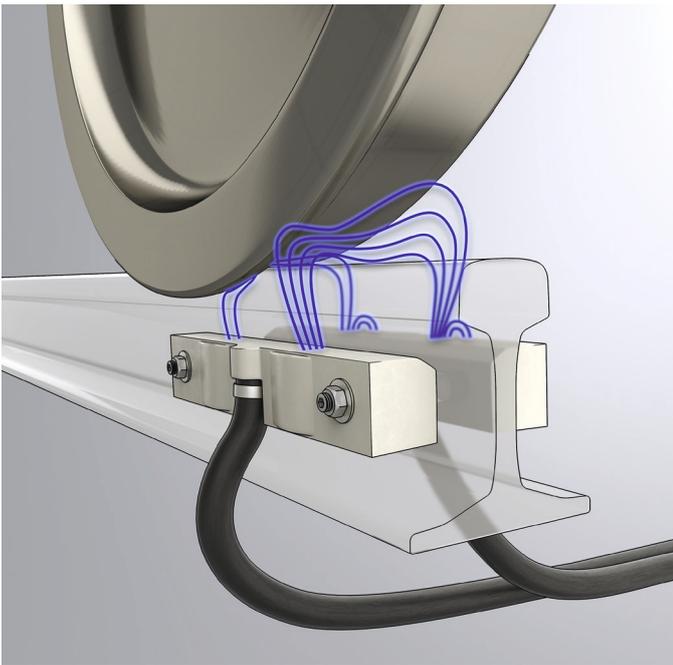
Given the environment in which these technologies are used, inductive wheel sensors represent the most reliable and economical solution for the rapid implementation of both vital and non-vital applications.

#### 4.2 Design types for inductive wheel sensors

Single sensors (i. e. sensors with only one sensor system) are also used for specific applications in the rail sector, such as non-vital switching tasks. However, the majority of inductive wheel sensors used for wheel detection are designed as double sensors, i. e. sensors with two sensor systems. It is possible to describe different designs with regard to these double sensors: while the sensor parts for one version are mounted to both sides of the rail, the parts for another are only installed on the inside of the track (fig. 5). The principle of sender and receiver components whose coupling is altered by a passing wheel is applicable in both cases. Sensors that are only mounted on the inside of the track predominantly detect the wheel flange and often work on the basis of two independent coils. In this case, changes to the resonant circuit parameters indicate the presence of a wheel.

Even though both designs comply with the same safety standards and requirements and function in the same way, Frauscher has preferred the version mounted on the inside of the track ever since the development of its first wheel sensor.

The company has various reasons for doing so, the first of which is its compact dimensions. The resulting low weight allows for the



**Bild 5: Gegenüberstellung der Bauweise von Doppelsensoren**

Fig. 5: A comparison of the construction variants for double sensors

Die meisten der zur Detektion von Zugachsen verwendeten induktiven Radsensoren sind jedoch als Doppelsensoren, also Sensoren mit zwei Sensorsystemen, konstruiert. Dabei können Unterschiede hinsichtlich der Bauart beschrieben werden: Während in einer Version Sensorteile an beiden Seiten einer Schiene montiert werden, werden andere nur an der Gleisinnenseite installiert (Bild 5). Das Prinzip aus Sender- und Empfängerkomponente, deren Kopplung durch ein passierendes Rad verändert wird, ist in beiden Fällen anwendbar. Jene Sensoren, die nur innenseitig am Gleis montiert werden, detektieren vordringlich den Spurkranz des Rades und funktionieren oft auf Basis zweier separat arbeitender Spulen. In diesem Fall werden Veränderungen der Schwingkreisparameter als Indikator für die Präsenz eines Rades herangezogen.

Wenngleich hinsichtlich Sicherheitsstandards und Funktionsweise beide Konstruktionsarten denselben Standards und Ansprüchen genügen, präferiert Frauscher schon seit der Entwicklung seines ersten Radsensors die an der Innenseite des Gleises montierte Version.

Dafür sprechen aus Sicht des Unternehmens verschiedene Gründe, von denen zuerst die kompakte Bauweise zu nennen ist. Das daraus resultierende geringe Gewicht ermöglicht den Einsatz von einfach zu handhabenden Schienenklauen. Das Sensorsignal wird über ein einzelnes Kabel direkt und ohne vorherige Auswertung oder Umwandlung in Gleisnähe an die Innenanlage übertragen. Auf Basis des übertragenen Signals bietet Frauscher standardmäßig die Ausgabe von Zusatzinformationen, wie Geschwindigkeit oder Überfahrtrichtung, an (Bild 6). Steckbare Kabelanschlüsse erleichtern die Installation und Wartung zusätzlich. Darüber hinaus ermöglicht dieses Konstruktionsprinzip auch einen raschen Abgleich des Sensors, der automatisiert aus der Innenanlage heraus erfolgen kann. Insgesamt konnte in den vergangenen Jahren ein Trend zu dieser Bauweise induktiver Doppelsensoren zur Raddetektion verzeichnet werden. Erfahrungen haben auch gezeigt, dass diese Konstruktionsweise den Umgang mit oben beschriebenen Einflussfaktoren unterstützen kann. Welche Ansätze es dazu gibt, soll im folgenden Abschnitt näher erörtert werden.

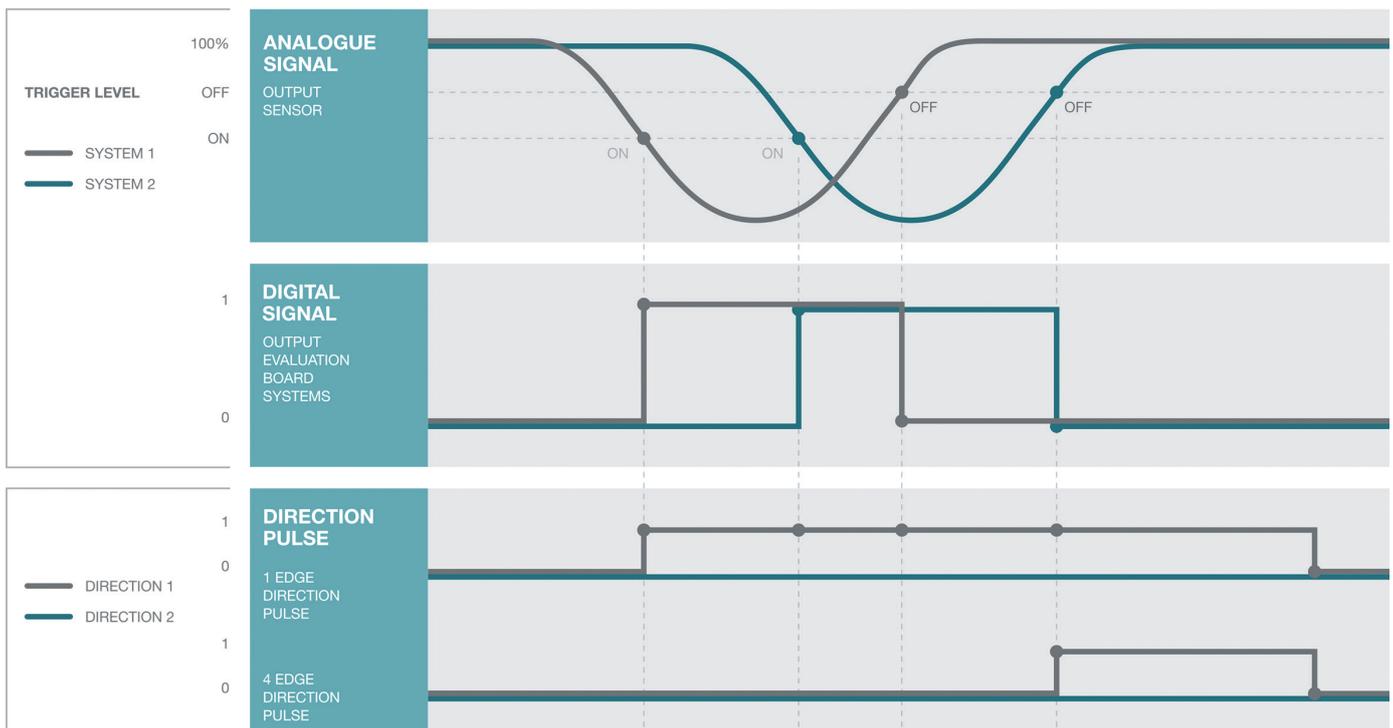
use of easy-to-handle rail claws. The sensor signal is transmitted to the indoor equipment directly via a single cable, without the need for any prior evaluation or conversion in another device close to the track. Frauscher generally also provides additional information on the basis of the transmitted signal, such as the speed and traversing direction (fig. 6). Plug-in cable connections also simplify the installation and maintenance. In addition, this design principle allows for the rapid adjustment of the sensors, which can be performed automatically using the indoor equipment.

In general, the past few years have revealed a trend towards this type of inductive double sensors for wheel detection. Experience has also shown that this design can help in dealing with the influencing factors described above. The approaches involved are examined in more detail in the following section.

### 5 Approaches to increasing the reliability of inductive wheel sensors

The above considerations show that the reliability of inductive wheel sensors is largely dependent upon the handling of the various influencing factors, as well as the physical and technical conditions. Against this backdrop, there are a number of possible approaches to increasing the robustness and reliable functioning of the wheel sensors, which will be examined in more detail below. Due to their complexity, these influences cannot always be classified under the categories described in section 3.

As an expert in inductive sensor technology, Frauscher has been conducting fundamental research in this area for 30 years and it has combined its practical experience gained from various projects with the analysis and evaluation of faulty devices. A total of 150,000 sensors in use in more than 80 countries around the world form the basis of a knowledge database for continuous optimisation. This ever-increasing knowledge base has laid the foundations for the development of reliable and highly precise wheel sensors for various mar-



**Bild 6:** Das analoge Sensorsignal liefert die Grundlage zur Generierung verschiedener Zusatzinformationen.

Fig. 6: The analogue sensor signal provides the basis for the generation of additional information.

## 5 Ansätze zur Steigerung der Zuverlässigkeit induktiver Radsensoren

Die bisher dargelegten Erörterungen zeigen, dass die Zuverlässigkeit induktiver Radsensoren in erster Linie vom Umgang mit verschiedenen Einflussfaktoren sowie von der Handhabung physikalischer und technischer Gegebenheiten abhängt. Hinsichtlich der weiteren Steigerung der Robustheit und zuverlässigen Funktionalität von Radsensoren ergibt sich vor diesem Hintergrund eine Reihe möglicher Ansätze, die im Folgenden genauer betrachtet werden sollen. Aufgrund der Vielschichtigkeit der Einflüsse können diese jedoch nicht immer konkret einem der in Abschnitt 3 beschriebenen Faktoren zugeordnet werden.

Als Experte für induktive Sensortechnologie betreibt Frauscher seit 30 Jahren Grundlagenforschung auf diesem Gebiet und kombiniert dabei praktische Erfahrungen aus verschiedenen Projekten mit Analysen und Auswertungen fehlerhafter Geräte. 150 000 Sensoren, die in über 80 Ländern weltweit im Einsatz sind, werden damit zur Wissensdatenbank für laufende Optimierungen. Das somit ständig wachsende Know-how dient wiederum als Basis dafür, gemeinsam mit Systemintegratoren, Betreibern und Signaltechnikexperten weltweit zuverlässige und hochpräzise arbeitende Sensoren für unterschiedliche Bahnmärkte zu schaffen. Anhand von Beispielen, wie der Implementierung intelligenter Algorithmen in den Radsensor RSR123, der Optimierung des RSR180 oder der Adaptionen an der Schienenklaue SK150, soll gezeigt werden, wie die im Folgenden beschriebenen Ansätze konkret umgesetzt werden können.

### 5.1 Verbesserung der Temperaturstabilität

Mit der Umsetzung zahlreicher Projekte in unterschiedlichen Klimazonen sind die Anforderungen an den Temperaturbereich, innerhalb dessen die Frauscher Radsensoren zuverlässig funktionieren müssen, gestiegen. Die Funktionalität von in Europa eingesetzten Radsensoren muss gemäß EN 50617-2 im Rahmen von

kets all over the world, together with international system integrators, operators and signalling experts. Using examples such as the intelligent algorithms in the RSR123 wheel sensor, the optimisation of the RSR180 and adaptations to the SK150 rail claw, we will demonstrate how the approaches described below can be implemented.

#### 5.1 Improving temperature stability

The implementation of numerous projects in various climatic zones has increased the demands related to the temperature range within which Frauscher wheel sensors must be able to function reliably. According to EN 50617-2, the functionality of wheel sensors used in Europe must be guaranteed at temperatures ranging from  $-40\text{ °C}$  to  $+70\text{ °C}$ . Sensors installed worldwide must, however, function at temperatures ranging from  $-60\text{ °C}$  to  $+85\text{ °C}$ . More extreme values are also possible in some cases.

Rapid temperature changes in particular present specific challenges, as these changes often occur at varying speeds in the track and the sensor. In order to continue functioning accurately, the sensor must react correctly to the parameter changes in the rail despite the fact that its own temperature is different. The connection established between the sensor and the rail during the adjustment is thrown off balance and this is reflected in a change in the sensor signal.

It is necessary to find adequate solutions within the framework of the laws of physics. An example can be seen in the development of intelligent algorithms, such as those which have been implemented in the improved version of the Frauscher RSR123 wheel sensor. Additional adaptations to the inner workings of the sensor could also allow for further optimisation of the temperature stability.

#### 5.2 Increasing the robustness against mechanical influences

Adaptations to the used materials can improve both the robustness of the sensor and the mounting assembly. In order to achieve the appropriate outcome, the interplay of the individual factors described in section 3 must be taken into account.

-40 °C bis +70 °C garantiert sein. Weltweit installierte Sensoren müssen hingegen in einem Bereich von -60 °C bis +85 °C funktionieren. In einzelnen Fällen sind sogar noch höhere Extremwerte möglich.

Betrachtet man vor allem schnell ablaufende Temperaturänderungen, lassen sich darin spezielle Herausforderungen erkennen, da sie im Gleis und im Sensor häufig unterschiedlich rasch vorstattengehen. Um weiterhin präzise zu funktionieren, muss der Sensor trotz unterschiedlicher Eigentemperatur korrekt auf die Parameteränderungen in der Schiene reagieren. Dadurch wird der beim Abgleich hergestellte Zusammenhang zwischen Sensor und Schiene aus dem Gleichgewicht gebracht, was sich in einer Veränderung des Sensorsignals widerspiegelt.

Im Rahmen dieser physikalischen Gesetzmäßigkeiten gilt es, adäquate Lösungen zu finden. Das kann etwa die Entwicklung intelligenter Algorithmen sein, wie sie in der verbesserten Version des Frauscher Radsensors RSR123 implementiert wurden. Durch zusätzliche Adaptionen im Innenleben des Sensors konnte hierbei die Temperaturstabilität noch weiter optimiert werden.

## 5.2 Steigerung der Robustheit gegen mechanische Einflüsse

Anpassungen im Bereich der verwendeten Materialien können sowohl die Robustheit des Sensors wie auch der Montagevorrichtungen verbessern. Um entsprechende Resultate erzielen zu können, muss das Zusammenspiel der in Abschnitt 3 beschriebenen Faktoren berücksichtigt werden.

### 5.2.1 Material zur Fertigung von Radsensoren

Bei der Wahl des Werkstoffes für das Gehäuse oder die Vergussmasse eines Sensors müssen verschiedene Parameter beachtet werden. Unterschiedliche Materialien sind mehr oder weniger widerstandsfähig gegen mechanische Faktoren und können bei hochfrequenten Sensoren die Sensibilität beeinflussen. Speziell der Umgang mit häufigen und großen Temperaturschwankungen stellt für Kunststoff eine Herausforderung dar. Witterung, Sonnenbestrahlung oder chemische Belastungen tragen ebenfalls dazu bei, dass das Material über die Dauer seines Einsatzes spröde wird.

In der Weiterentwicklung des bestehenden Portfolios kombiniert Frauscher bereits bekannte Lösungen mit praktischem Know-how und umfassenden Labortests. Dort können extrem hohe mechanische Belastungen simuliert werden, die deutlich über den normativen Anforderungen, wie etwa in EN 50125-3 beschrieben, liegen. Dieses Verfahren wird beispielsweise auch zur Optimierung von Montagevorrichtungen eingesetzt, worauf im kommenden Abschnitt näher eingegangen wird. Eigene Temperaturprüfzellen geben zudem die Möglichkeit, das Verhalten der Materialien im Verbund in den in Abschnitt 5.1 genannten Temperaturbereichen zu testen. Um die unterschiedlichen Verhaltensweisen von Gehäuse- und Vergussmaterial bei verschiedenen Temperaturen zu kompensieren, wurden auf dieser Basis spezielle Lösungen in der Produktion entwickelt. So wird die Stabilität an neuralgischen Verbindungsstellen gewährleistet.

Die Kombination aus Erfahrungen aus internationalen Projekten und innovativen Entwicklungsverfahren unterstützt somit etwa die Optimierung des bewährten RSR180 zusätzlich. Dessen Zuverlässigkeit wird dadurch auch in Hinblick auf die verwendeten Materialien gesteigert, indem seine Robustheit durch den Einsatz einer hinsichtlich der oben genannten Faktoren optimierten Vergussmasse weiter verbessert wird. Auch elektronische Komponenten und deren Verarbeitung werden entsprechend optimiert. Der neue Gerätestand des RSR180 wird in der zweiten Hälfte des laufenden Jahres präsentiert.



**Bild 7:** Die Frauscher Schienenklau SK150 wurde optimiert, um selbst unter starken Schocks einen Abfall des Sensors vom Gleis zu verhindern.  
Fig. 7: The Frauscher SK150 rail claw has been optimised to be able to resist even strong impacts.

### 5.2.1 The materials used to produce wheel sensors

Various parameters must be observed when selecting the material for the sensor housing or potting compound. Different materials are more or less resistant to mechanical factors and can interfere with the sensitivity of high-frequency sensors. Dealing with frequent and large temperature fluctuations presents a particular challenge for plastics, while weather conditions, solar radiation and chemical stresses can also contribute to the brittleness of the material throughout the period of use.

When further developing its existing portfolio, Frauscher has combined existing solutions with practical knowledge and comprehensive laboratory tests. Extremely high mechanical stresses, which go far beyond the requirements described in standards such as EN 50125-3, can be simulated. This process has also been used to optimise the mounting assembly, for example, which will be explained in more detail in the next section. Frauscher's temperature test cells also make it possible to test the behaviour of materials in combination with the temperature ranges mentioned in section 5.1. Special production solutions have been developed on this basis to compensate for the varying behaviour of the housing and potting material at different temperatures. This guarantees the stability of the critical connection points.

Furthermore, the combination of experience gained from international projects and innovative development processes has also supported the optimisation of the tried-and-tested RSR180. The reliability of the sensor has also been increased with regard to the used materials by means of the use of a potting compound which has been optimised in line with the aforementioned factors in order to improve its robustness. Even the electronic components and their inner workings have been optimised accordingly. The new version of the RSR180 will be presented in the second half of this year.

### 5.2.2 The stability of the mounting assembly

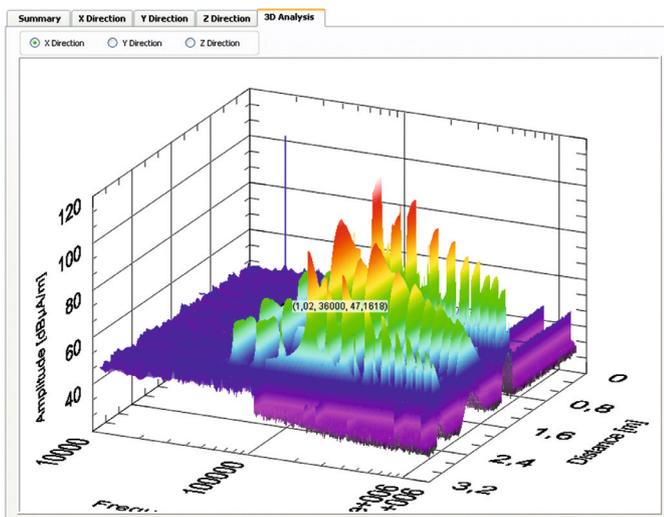
A number of options, which can have a particularly positive effect on reliability with regard to mechanical influences, are now available for mounting wheel sensors. Most drilling work on the track has now been rendered unnecessary. Not only is there no

### 5.2.2 Stabilität der Montagevorrichtungen

Zur Montage von Radsensoren am Gleis steht heute eine Reihe von Optionen zur Verfügung, die vor allem hinsichtlich mechanischer Einflüsse die Zuverlässigkeit positiv beeinflussen können. Bohrarbeiten am Gleis gehören inzwischen größtenteils der Vergangenheit an. Neben der Notwendigkeit schweren Geräts zur exakten Ausführung spricht auch die Schwächung der Schiene gegen diese Form der Montage. Aus diesem Grund kommen heute vorwiegend Schienenklauen in unterschiedlichen Ausführungen zum Einsatz. Sie erleichtern die Montage erheblich und ermöglichen eine exakte Ausrichtung des Sensors am Gleis. Seit den ersten Modellen konnten speziell in Bezug auf die Stabilität zahlreiche Optimierungen vorgenommen werden. Auch hier spielen Materialauswahl, Erfahrungen und Tests eine grundlegende Rolle.

Als Beispiel kann die Weiterentwicklung der Frauscher Schienenklaue SK150 angeführt werden (Bild 7). Die Komponenten dieser Klaue entsprachen den Anforderungen nach europäischer Norm, wonach bei einem Schock einer mittleren Beanspruchung von  $420 \text{ m/s}^2$  sowie einer Spitzenbeanspruchung von  $2500 \text{ m/s}^2$  standgehalten werden muss. Während der Evaluierung im Vorfeld der Installation dieses Modells in anderen Märkten wurden jedoch in bestimmten Regionen Belastungen von über  $50.000 \text{ m/s}^2$  gemessen. Um auch unter diesen massiv höheren Impulsen gewährleisten zu können, dass der Sensor in korrekter Position am Gleis bleibt, wurde daraufhin das Material der verwendeten Befestigungsbolzen verändert, um deren Robustheit soweit zu steigern, dass entsprechenden Schocks standgehalten werden kann.

Im weiteren Feld der von der Montage betroffenen Komponenten sind auch die Kabel und Kabelanschlüsse zu nennen. Fixe Kabelanschlüsse können unter Umständen mehr Stabilität aufweisen – steckbare Anschlüsse unterstützen dahingegen durch die Vereinfachung von Installations- und Wartungsarbeiten die Verfügbarkeit des Sensors und des daran gekoppelten Systems zusätzlich. Spezielle Anforderungen im Bereich der Sensorkabel konnten bei Frauscher etwa im indischen Markt identifiziert werden. In Zusammenarbeit mit den Ingenieuren seiner Niederlassung vor Ort entwickelte das Unternehmen spezielle Klemmen zur Befestigung des Radsensorkabels, um die Übertragung von Belastungen auf den Sensor zu minimieren.



**Bild 8: Dreidimensionale Erfassung der Messfelder mittels Frauscher Magnetic Noise Receiver MNR**

Fig. 8: Three-dimensional recording of measured fields using the Frauscher Magnetic Noise Receiver (MNR)

longer any need for heavy equipment for the precise implementation, but the weakening of the rail which this method induced can also be avoided. For this reason, various versions of rail claws are predominantly used today. They make the mounting process significantly easier and allow for the precise positioning of the sensor on the track. Numerous optimisations have been made with regard to stability since the first models were introduced. Material selection, experience and testing also play a fundamental role here.

One example of this can be seen in the further development of the Frauscher SK150 rail claw (fig. 7). The components of this claw complied with the requirements stipulated in the European standard, whereby an average stress measurement of  $420 \text{ m/s}^2$  and a peak stress measurement of  $2,500 \text{ m/s}^2$  must be able to be withstood in the event of an impact. However, during an evaluation carried out prior to the installation of this model in other markets, stress measurements of over  $50,000 \text{ m/s}^2$  were recorded in specific regions. In order to ensure that the sensor remains in the correct position on the track even when subjected to these extremely high forces, the used clamping bolt material has also been changed to increase the robustness of the bolts and to allow them to withstand the given impacts.

The cable and cable connections are also worth singling out from the further range of components which are affected by the assembly. Fixed cable connections may demonstrate increased stability under certain circumstances, whereas plug-in connections support the availability of the sensor and also the system connected to it by simplifying the installation and maintenance work. Frauscher has identified specific requirements for sensor cables, for example in the Indian market. In collaboration with the engineers at its local branch, the company has developed special clamps for securing the wheel sensor cable in order to minimise the transmission of the loads to the sensor.

### 5.3 Optimising EMC stability

The European standard for electromagnetic compatibility (EMC) (EN 50121-4) mentioned at the beginning of this article describes the electromagnetic influences under which the components mounted on the track must function reliably. Furthermore, short-circuit currents or current commutations on the rail must also be taken into account. Frauscher has tested and optimised its sensors with regard to their resilience against these types of influences. However, international projects have revealed that individual cases which require further adaptation can occur.

“Neutral sections” have been identified for example, which exhibit values outside the tested EMC influences. The influences responsible are difficult to measure in the field, as they are dependent on the vehicles deployed and the given operational situation. Frauscher has conducted comprehensive analyses and evaluations of the recorded data in order to develop suitable solutions. This has made it possible to develop a solution in close collaboration with the customer. The knowledge gained as a result has been used for the further development of the RSR123 wheel sensor, the improved version of which is now better protected against electromagnetic interference.

Moreover, fundamental data for the optimisation of products with regard to new requirements is frequently determined using the Frauscher Magnetic Noise Receiver (MNR), a mobile measuring system for analysing magnetic fields generated by vehicles. The MNR makes it possible to detect, record and evalu-

### 5.3 Optimierung der EMV-Stabilität

Die eingangs bereits erwähnte europäische Norm zur elektromagnetischen Verträglichkeit EMV (EN 50121-4) beschreibt, unter welchen elektromagnetischen Einflüssen am Gleis montierte Komponenten zuverlässig funktionieren müssen. Darüber hinaus gilt es beispielsweise auch Schienenkurzschlussströme oder Stromkommutierungen zu berücksichtigen. Frauscher hat seine Sensoren hinsichtlich ihrer Robustheit gegenüber dieser Form von Einflüssen getestet und optimiert. In internationalen Projekten zeigte sich jedoch, dass Einzelfälle auftreten können, die eine weitere Adaption erfordern.

So wurden etwa „Neutral Sections“ identifiziert, die Werte außerhalb der getesteten EMV-Belastungen aufwiesen. Die dafür verantwortlichen Einflüsse sind im Feld nur schwer messbar, da sie von den eingesetzten Fahrzeugen und der jeweiligen betrieblichen Situation abhängen. Zur Entwicklung entsprechender Lösungen nahm Frauscher daher umfassende Analysen und Auswertungen der aufgezeichneten Daten vor. In enger Zusammenarbeit mit dem Kunden konnte auf dieser Basis eine Lösung entwickelt werden. Das so gewonnene Know-how floss wiederum in die Weiterentwicklung des Radsensors RSR123 ein, dessen neuer Gerätestand nun noch besser gegen elektromagnetische Störungen geschützt ist.

Grundlegende Daten für die Optimierung von Produkten hinsichtlich neuer Anforderung werden überdies häufig mit dem Frauscher Magnetic Noise Receiver MNR, einem mobilen Messsystem zur Analyse von Fahrzeugmagnetfeldern, ermittelt. Der MNR ermöglicht es, Messkurven in Echtzeit an der Schiene aufzunehmen, aufzeichnen und auszuwerten (Bild 8). Sowohl bereits bei der Pro-

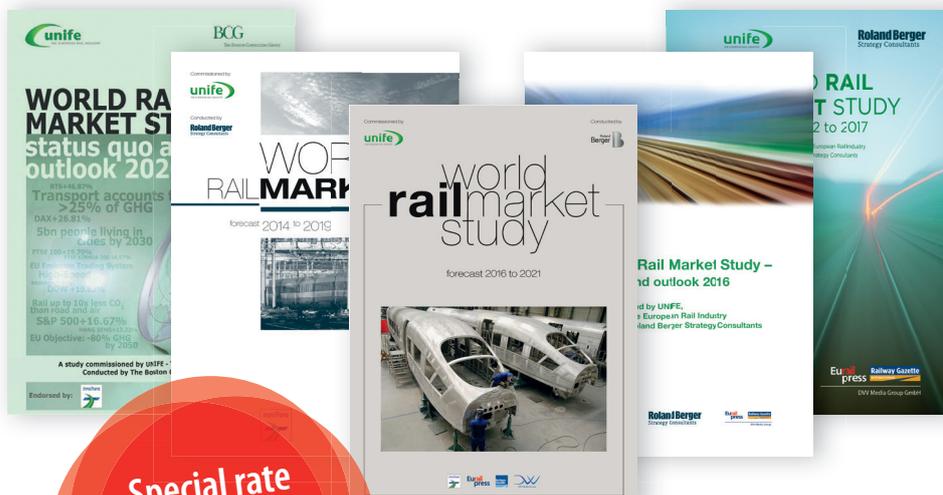
ate measurement curves on the track in real time (fig. 8). Valuable information regarding the approaches to optimisation can be obtained as a result, both at the project-planning phase and throughout the course of the project. In some places, opportunities can be identified for adapting rolling stock to bring about uniform frequency management in the sensor application area. The use of software models and the finite element method (FEM) has also proven its worth in the development of inductive sensors. Specially developed simulations make it possible to determine the behaviour of sensors with regard to complex contexts and influences at an early phase of the project. Frauscher is using these simulation models for the further development of its product portfolio, for example to optimise the RSR180 wheel sensor, as mentioned earlier. The effect of different wheel designs as they move along the track can be simulated using these models and the knowledge gained can be used to meet specific market and project requirements (fig. 9).

### 6 The conclusion

Inductive wheel sensors form a central component in numerous railway applications. Efficient and safe railway operations cannot be ensured, if they are not functioning reliably and without any errors. Ongoing development and optimised maintenance of the products and the entire infrastructure is required in order to guarantee proper functioning even under

# World Rail Market Study

Commissioned by UNIFE, conducted by Roland Berger and published by DVV | Eurailpress | Railway Gazette



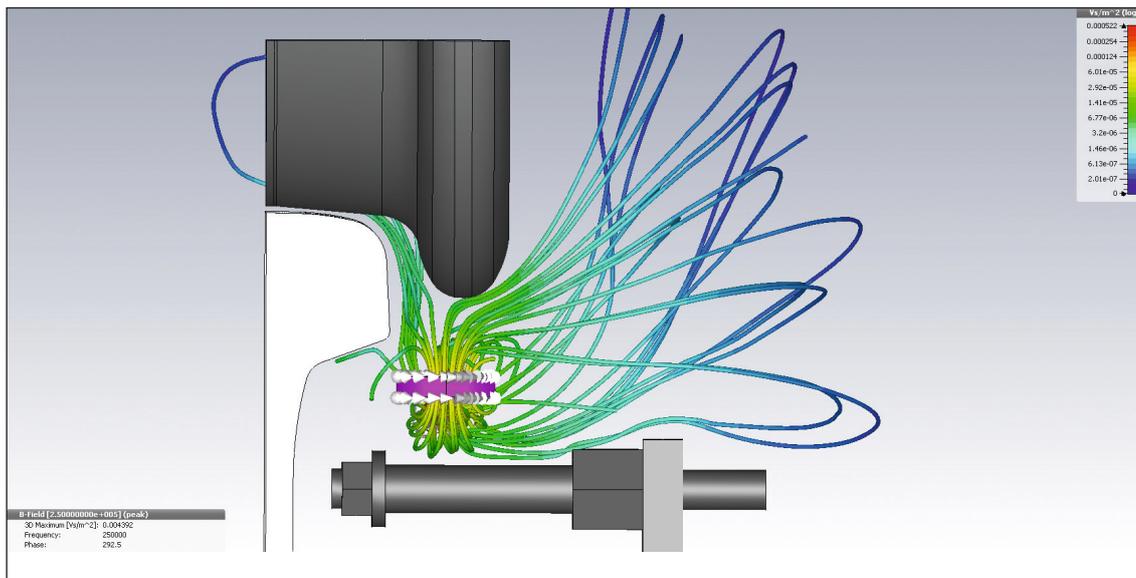
## The largest study of its kind

More information at [www.eurailpress.de/wrms17](http://www.eurailpress.de/wrms17)

### Contact:

DVV Media Group GmbH • Eurailpress  
 Email: [service@eurailpress.com](mailto:service@eurailpress.com)  
 Phone: +49 40 237 14-260 • Fax: +49 40 237 14-258  
[www.eurailpress.de](http://www.eurailpress.de) • [www.railwaygazette.com](http://www.railwaygazette.com)

Special rate  
for InnoTrans  
exhibitors!



**Bild 9: Von Frauscher entwickelte Simulationsmodelle unterstützen die Neu- und Weiterentwicklung induktiver Radsensoren.**

Fig. 9: The simulation models developed by Frauscher support the new and further development of inductive wheel sensors.

jektplanung als auch später im weiteren Projektverlauf können somit wertvolle Informationen über Ansatzpunkte zur Optimierung gewonnen werden. Mancherorts können auch Möglichkeiten zur Adaption an Schienenfahrzeugen aufgezeigt werden, um ein einheitliches Frequenzmanagement im Einsatzgebiet der Sensoren herbeizuführen.

Der Einsatz von Softwaremodellen und Finite-Element-Methoden (FEM) hat sich in der Entwicklung induktiver Sensoren ebenfalls bewährt. Speziell entwickelte Simulationen ermöglichen es schon in einer frühen Projektphase, das Verhalten von Sensoren in Bezug auf komplexe Zusammenhänge und Einflüsse zu ermitteln. Solche Simulationsmodelle werden bei Frauscher ebenfalls zur Weiterentwicklung des Portfolios, etwa zur bereits erwähnten Optimierung des Radsensors RSR180, eingesetzt. Mit ihrer Hilfe können beispielsweise Radabläufe simuliert werden, um auf Basis so gewonnener Erkenntnisse spezifischen Markt- und Projektanforderungen begegnen zu können (Bild 9).

## 6 Fazit

Induktive Radsensoren bilden eine zentrale Komponente für zahlreiche Eisenbahnanwendungen, ohne deren zuverlässige und fehlerfreie Funktion kein effizienter und sicherer Bahnbetrieb gewährleistet werden kann. Um dies selbst unter widrigsten Umständen und unterschiedlichsten lokalen und spezifischen Gegebenheiten gewährleisten zu können, sind laufende Entwicklung, aber auch die optimale Pflege der Produkte sowie der gesamten Infrastruktur notwendig.

Da selbst bei Berücksichtigung aller hier diskutierten Einflüsse und Lösungsansätze sowie trotz optimaler Instandhaltung aller Komponenten bestimmte Faktoren, wie etwa Blitzschlag, Kabelfehler oder andere unzeitige Beeinflussungen, nicht ausgeschlossen werden können, hängt die Verfügbarkeit von Signaltechniksystemen jedoch auch von der Handhabung daraus entstehender Störungen ab. Frauscher bietet in diesem Zusammenhang intelligente Funktionen, wie Supervisor Track Sections STS oder Counting Head Control CHC, deren Einsatz die Verfügbarkeit des Systems durch den Umgang mit solchen Fehlern erhöht [4]. Auf dieser Basis können mit einer Kombination aus zuverlässigen Radsensoren und intelligenten Systemen individuelle und hochverfügbare Lösungen zur Verfügung gestellt werden. ■

the most extreme conditions and in a wide range of local and specific circumstances.

After all, even taking into account all the influences and solutions discussed here and despite the optimum maintenance of all the components, certain factors, such as lightning strikes, cable faults or further inopportune influences, cannot be eliminated. Thus, the availability of the signalling systems also depends on how these faults are handled. In this regard, Frauscher offers intelligent functions such as Supervisor Track Sections (STS) or Counting Head Control (CHC), which can be used to increase the availability of the system by processing any such faults [4]. On this basis, individual solutions characterised by high availability can be provided using a combination of reliable wheel sensors and intelligent systems. ■

## LITERATUR | LITERATURE

- [1] EN 50126, 1999: Bahnanwendungen. Spezifikation und Nachweis der Zuverlässigkeit, Verfügbarkeit, Instandhaltbarkeit und Sicherheit (RAMS)
- [2] Rosenberger, M.: Die Herausforderungen an Raddetektion und Achszählung in der Zukunft; SIGNAL + DRAHT Heft 9/2011, S. 6-12
- [3] Rosenberger, M.; Hall, A.: Distributed Acoustic Sensing als Basistechnologie für Anwendungen im Bahnbereich; SIGNAL + DRAHT Heft 9/2016, S. 73-84
- [4] Rosenberger, M.; Pointner, F.: Hochverfügbarkeit: Definition, Einflussfaktoren und Lösungen; SIGNAL + DRAHT Heft 6/2015, S. 6-12

## AUTOREN | AUTHORS

**Franz Pointner**  
RAMS Management Director  
Frauscher Sensortechnik GmbH  
Anschrift / Address: Gewerbestraße 1, A-4774 St. Marienkirchen  
E-Mail: franz.pointner@frauscher.com

**Hannes Kalteis**  
Product Management Innovations  
Frauscher Sensortechnik GmbH  
Anschrift / Address: Gewerbestraße 1, A-4774 St. Marienkirchen  
E-Mail: hannes.kalteis@frauscher.com