



## SENSOREN FÜR BAHN- UND SCHIENENVERKEHR



Triaxiale Vibrationssensoren

Beschleunigungssensoren

Entgleisungsdetektion

Freifeld-Mikrofone

Komfortuntersuchung

Aeroakustische Messungen

Dehnungssensoren

Druck- und Kraftsensoren



Technologische Neuerungen, fortschrittliche Lösungen und die Entwicklung optimierter technischer Verfahren sind für Hersteller von Bahntechnik Grundlage für die Einführung neuer Produkte.

In der Entwicklung und für die Zulassung von Schienenfahrzeugen sind umfangreiche Prüfungen und Tests vorgeschrieben. Dazu zählen aufwendige Messungen, bei denen unter anderem Beschleunigungen, Drücke, Kräfte, Vibrationen, Dehnung und Schall gemessen werden.

Die Ihnen vorliegende Broschüre zeigt Anwendungen, bei denen Produkte von Synotech zum Einsatz kommen.



## EINLEITUNG

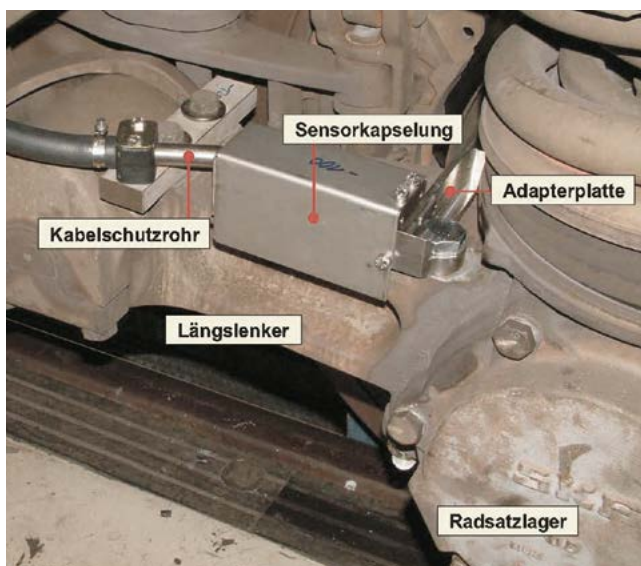
Schwingungsmessungen an Drehgestellen	3
Entgleisungsdetektion	3
Erfassung von Lauffläschäden an Eisenbahnrädern	4
Strukturuntersuchungen an Triebfahrzeugen und Wagen	4
Neigungsmessungen	5
Ermittlung des Fahrkomforts	5
Innenschallpegelmessung in Reisezugwagen	6
Aeroakustik für Hochgeschwindigkeitszüge	6
Tunnelknall	6
Schienenverkehrslärm	7
Schallquellenortung an Wagen und Komponenten	7
Untersuchung von Schienenverkehrsanlagen	8
Überwachung von Brücken und Bauwerken	8
Kurvengeräuschemessungen	9
Dehnungsmessungen an Lärmschutzwänden	9
Dynamisches Vermessen von Schienen und Weichen	10
Monitoring eines Fahrmotorenprüfstandes	10
Mechanische Beanspruchung von Transportgütern	11



## SCHWINGUNGSMESSUNGEN AN DREHGESTELLEN

Onboard-Frühwarnsysteme dienen zur Überwachung und Diagnose der Drehgestelle an Hochgeschwindigkeitszügen. Damit wird ein „Online-Monitoring“ von Einzelkomponenten der Fahrwerke mittels fahrzeugintegrierter Technik erreicht. Zu den überwachten Komponenten zählen unter anderem Räder, Radsatzwellen, Radsatzlager, Schlingerdämpfer und Wirbelstrombremsen. Hierbei liegt der Vorteil in der Erkennung von Schadensentwicklungen in einem frühen Stadium.

Neben messtechnisch vorgegebenen Qualitätsstandards existieren aufgrund der rauen Umgebungsbedingungen sehr hohe Anforderungen an die Sensorik.



Die Spezialmodelle der **Serie 625** erfüllen diese Anforderungen:

- Hohe elektrische Störfestigkeit durch die Integration der Signalaufbereitung in das Sensorgehäuse, ICP®-Technik
- Der niederohmige Spannungsausgang erlaubt die Signalübertragung bei Kabellängen von bis zu 100 m
- Mechanische Schockfestigkeit von 5.000 g
- Verwendung eines robusten, hermetisch abgeschlossenen Edelstahlgehäuses mit festem integriertem Kabel
- 3-Punkt-Schraubbefestigung
- Integrierter Temperatursensor mit einem Messbereich von -40 ... 125 °C



Serie 625

## ENTGLEISUNGSDETEKTION

Zur Entgleisungsdetektion von Schienenfahrzeugen werden Vibrationssensoren am Drehgestell oder in Vertikalrichtung in der Fahrzeugmitte montiert. Hierfür bietet PCB Piezotronics verschiedene robuste und hermetisch dichte Sensormodelle an.

Gefordert sind Sensoren mit einem großen Messbereich, die zudem einen guten Schockschutz bis 5.000 g aufweisen.



## ERFASSUNG VON LAUFFLÄCHENSCHÄDEN AN EISENBAHNRÄDERN

Die Prüfung von Radsätzen im Überrollbetrieb direkt an der Schiene stellt eine besondere Herausforderung für einen Beschleunigungssensor dar. Die Fehlererkennung beruht auf der Auswertung des hochdynamischen Beschleunigungssignals von dem an der Schiene montierten Sensor. Dabei sind die besonderen Umgebungsbedingungen im Schienenverkehr zu berücksichtigen. Die Systeme erfassen Polygonbildung und Beschädigungen am Radumfang während der Überfahrt eines Fahrzeuges über eine Gleismessstelle.

Ein geeigneter Sensor für Straßenbahnen, U-Bahnen und Güterwagen sind die ICP®-Vibrationsaufnehmer der **Serie 602D**.



Serie 602

## STRUKTURUNTERSUCHUNGEN AN TRIEBFAHRZEUGEN UND WAGEN

Der Leichtbau bei Schienenfahrzeugen wird in Zukunft immer mehr an Bedeutung zunehmen. Durch Reduktion des Gewichts werden gleichzeitig die Energiekosten im Fahrzeugbetrieb gesenkt. Dies erfordert die Untersuchung der Fahrzeugtragstrukturen auf ihre dynamischen Eigenschaften, um mittels der Ergebnisse die Konstruktion zu optimieren. Wie in anderen Fahrzeugbranchen, kommen hier Verfahren zur Strukturanalyse zum Einsatz. PCB Piezotronics hat ein umfangreiches Sortiment an ICP®-Vibrationssensoren für die Modalanalyse.

Besonders gut geeignet sind die einachsige messenden Sensoren der **Serie 333B** und die 3-Achs-Modelle **356A15**, **356A16**, **356A17** sowie **356B18**. Alle diese Modelle zeichnen sich durch ihr geringes Gewicht und hohe Empfindlichkeit aus.



Vibrationssensor  
Modell 333B32



Triaxiale Vibrationssensor  
Modell 356B18



Triaxiale Vibrationssensor  
Modell 356A15



## NEIGUNGSMESSUNG

Neigezüge werden mit ihrer aktiven oder passiven Neigungstechnik immer beliebter. Ob hydraulisch oder elektromechanisch ausgeführt, müssen die Neigung und Beschleunigung jedes Wagens zuverlässig erfasst werden. Mechanische Stöße, wie sie an Weichen und fehlerhaften Schienen auftreten können, dürfen das Messergebnis nicht beeinflussen. Für diese Anwendung ist der DC-Beschleunigungssensor der **Serie 3741** einsetzbar. Diese Sensoren basieren auf MEMS-Technologie und erfassen lineare und niederfrequente dynamische Beschleunigungen. Das besonders schockfeste **Sensormodell 3741F122G** hat einen Messbereich von

$\pm 2$  g bei einer Empfindlichkeit von 1000 mV/g. Der gedämpfte Sensor arbeitet im Frequenzbereich von 0 ... 250 Hz bei einer Auflösung von 0,25 mg. Die Serie bietet Sensoren mit Messbereichen zwischen 2 g und 200 g.



DC-Beschleunigungssensor  
Modell 3741F122G

## ERMITTLUNG DES FAHRKOMFORTS

Die Beschleunigungsamplituden der Wagenkastenschwingungen sind für die Bewertung des Fahrkomforts eine wichtige Größe. Die Anwendung erfordert einen dreiaxial messenden Beschleunigungssensor mit hoher Auflösung im unteren Frequenzbereich, wie zum Beispiel das **Modell 356A17** mit einer Empfindlichkeit von 500 mV/g erfüllt wird. Der ICP®-Beschleunigungssensor hat mit seiner Kantenlänge von 14 mm ein Gewicht von nur 7,4 Gramm.

Entscheidend für den Fahrkomfort der Passagiere ist die Wahrnehmung von Vibrationen in den Sitzen. Für Messungen auf den Sitzflächen steht ein instrumentierter Sitzkissensensor mit triaxial messendem ICP®-Vibrationssensor zur Verfügung. Das **Modell 356B41** ist konform zur Norm ISO 10326-1.



Vibrationssensor Modell 356A17



Sitzkissensensor Modell 356B41



## INNENSCHALLPEGELMESSUNG IN REISEZUGWAGEN

Ein weiterer Faktor für den Fahrkomfort ist der Geräuscheindruck, den die Passagiere innerhalb des Waggons wahrnehmen. Zur Messung des Schalls eignen sich moderne Kondensatormikrofone mit Verstärker. Diese vorpolarisierten Mikrofone bieten dem Versuchingenieur neben einer kürzeren Rüstzeit eine deutlich höhere Flexibilität bei seinen Untersuchungen. Die Vorverstärker der Prüf- und Messmikrofone verwenden die ICP®-Technik, wie sie auch bei piezoelektrischen Vibrationssensoren eingesetzt wird. Das **Modell 378B02** mit Freifeldcharakteristik ist ein Standardmikrofon für diese Anwendung. Die hervorragende Qualität dieses Mikrofons wur-

de in einem Vergleich mit ähnlichen Produkten anderer Anbieter 2013 in Schweden von einem unabhängigen, international akkreditierten Testlabor bestätigt. Die Mikrofone der **Serie 378** von PCB® gibt es ebenfalls mit Diffusfeld- oder Druckcharakteristik.



Mikrofon Modell 378B02

## AEROAKUSTIK FÜR HOCHGESCHWINDIGKEITSZÜGE

Die Drucksensoren der **Serie 103B** messen pulsierende oder transiente Effekte und Turbulenzen. Wegen ihrer geringen Einbauhöhe eignen sie sich gut für Anwendungen bei aerodynamischen Untersuchungen an Schienenfahrzeugen im Windkanal sowie zur Schallmessung im Fahrzeuginnenraum. Die Sensoren mit internem ICP®-Verstärker liefern ein rauscharmes, niederohmiges Ausgangssignal. Die Empfindlichkeiten betragen 70 oder 220 mV/kPa bei Messbereichen von 70 bzw. 22 kPa. Die Anstiegszeit ist kleiner als 25 µ-Sekunden. Hervorragend geeignet zur Messung der Oberflächenaerodynamik ist das

Oberflächenmikrofon **Modell 130B40**. Neben seiner geringen Bauhöhe von nur 3 mm zeichnet es sich durch seinen großen Dynamikbereich von 150 dB aus.



Serie 103B



Modell 130B40

## TUNNELKNALL

Im Bahnverkehr treten bei hohen Geschwindigkeiten insbesondere bei Tunnelfahrten schnelle Druckänderungen auf. An die verwendete akustische Messkette werden dadurch hohe Anforderungen gestellt. Zur Messung dieser Phänomene bietet sich das ¼"-Freifeld-Mikrofon **Modell 377C01** mit einem Dynamikbereich von 165 dB an. Das ICP®-Vorverstärker **Modell 426A10** mit integriertem Hochpassfilter mit 20 Hz Eckfrequenz erlaubt fehlerfreie Messungen bei der Tunnelleinfahrt.



Mikrofonkapsel Modell 377C01



Mikrofonvorverstärker Modell 426A10



## SCHIENENVERKEHRSLÄRM

Lärm verursacht durch Eisenbahnen und Straßenbahnen wird als Schienenverkehrslärm bezeichnet. Um Anwohner vor schädlichen Umwelteinwirkungen zu schützen, sieht das Bundes-Immissionsschutzgesetz (§ 16. BImSchV) vor, dass bei wesentlichen Änderungen am Schienensystem die Mehrbelastung erfasst wird und Gegenmaßnahmen getroffen werden. Die Mehrbelastung nehmen Anwohner insbesondere in Form eines erhöhten Lärmpegels wahr. Zur Überwachung des Lärmpegels eignet sich der Schallpegelmesser **Modell 831C SoundAdvisor** von Larson Davis.



Schallpegelmesser  
Modell 831C SoundAdvisor

## SCHALLQUELLENORTUNG AN WAGEN UND KOMPONENTEN

Zur Schallquellenortung an Wagen und Komponenten eignen sich Array-Mikrofone von PCB Piezotronics. Sie sind eine kostengünstige Alternative zu typischen Messmikrofonen und arbeiten im Bereich des menschlichen Hörvermögens. Die Mikrofone der **Serie 130** enthalten einen ICP®-Verstärker und zeichnen sich durch ihr exzellentes Phasenverhalten aus. Mit mehreren Array-Mikrofonen, die in bestimmten Abständen zueinander angeordnet sind, kann mittels geeigneter Mess- und Analysensysteme die räumliche Trans-

formation eines komplexen Schalldruckfeldes ermittelt und der akustische Energiefluss wirkungsvoll abgebildet werden. Mit dieser Technik können Entwickler die genaue Geräuschquelle bestimmen und Aussagen zu Geschwindigkeit und Richtung des Schalls machen. Die Array-Mikrofone sind eine ideale Lösung für Anwendungen wie Geräuschidentifikation, Nahfeldholografie, Sound Pressure Mapping, Beamforming und andere Aufgabenstellungen, die viele Messkanäle erfordern.



Array-Mikrofone Serie 130



## UNTERSUCHUNG VON SCHIENENVERKEHRSANLAGEN

Bei Luft- oder Körperschallmessungen an Schienenverkehrsanlagen ist ein exakter Trigger zum Start der Messung notwendig. Im Gleis montierte Schienenschalter detektieren das Überrollen jedes Radsatzes eines Zuges, und der erste Radsatz löst den Start der Messaufzeichnungen aus. Alternativ zu konventionellen Schienenschaltern bieten sich Dehnungssensoren der **Serie 240** an.



Diese kompakten, nur 46 x 17 x 15 mm großen Sensoren enthalten ein piezoelektrisches Messelement mit integriertem ICP®-Verstärker und werden an den Schienenkopf geklebt. Das Ausgangssignal von  $\pm 5$  V ist leicht zu verarbeiten und wird zur Auslösung der Messung verwendet. Dank der ICP®-Technik lässt sich der instrumentelle Aufwand reduzieren, was bei jedem Messeinsatz Zeit spart. Genau wie bei konventionellen Schienenschaltern erlaubt ein Vergleich der Überfahrtsdauer über den Dehnungssensor zu Beginn und am Ende der Messstrecke die Feststellung, ob der Zug mit gleichmäßiger Geschwindigkeit durch den Untersuchungsabschnitt gefahren ist oder ob er seine Geschwindigkeit geändert hat. Jeweils ein Dehnungssensor am Beginn und am Ende der Messstrecke ermöglicht die exakte Ermittlung der mittleren Durchfahrtsgeschwindigkeit eines Zuges.



Dehnungssensor  
Modell 240M40

## ÜBERWACHUNG VON BRÜCKEN UND BAUWERKEN

Sowohl für die permanente Überwachung neuer Brückenbauwerke als auch für die Beurteilung des allgemeinen Zustandes älterer Bauwerke müssen die auftretenden Vibrationen erfasst werden. Die in solchen Fällen einzusetzenden Sensoren müssen eine hohe Empfindlichkeit aufweisen, entsprechend den Umgebungsbedingungen äußerst robust sein und eine sichere Übertragung der Messsignale gewährleisten. Der seismische Vibrationssensor **Modell 393B05** von PCB Piezotronics bietet eine Empfindlichkeit von 10 V/g und ermöglicht die genaue Erfassung von kleinen und niederfrequenten Schwingungen. Mit seinem robusten, vollständig verschweißten Titangehäuse wiegt der Sensor nur 50 Gramm. Die hohe Empfindlichkeit wird erreicht durch ein piezokeramisches Sensorelement

in Kombination mit einem rauscharmen ICP®-Verstärker. Das niederohmige Ausgangssignal erlaubt die problemlose Übertragung des Messsignals auch über lange Messleitungen.



Vibrationssensor  
Modell 393B05





## KURVENGERÄUSCHMESSUNGEN

Die Betriebsgeräusche von Schienenfahrzeugen sind vielfältig, insbesondere die Geräusche bei Kurvenfahrten. Der Mensch nimmt diese Geräusche als Kombination von Quietschen, Singen, Kreischen, Zischen und Rumpeln wahr. Die passende Messtechnik muss sowohl bei stationären als auch bei mobilen Messungen die notwendige Genauigkeitsklasse erreichen (DIN EN ISO 3095 / DIN EN 61672-1). Die hohe Resonanzfrequenz von 70 kHz verhindert die Übersteuerung des Sensors, die durch die Überrollgeräusche in der Schiene erzeugt werden können.



Triaxialer Vibrationssensor  
Modell 356A31



Freifeld-Mikrofon  
Modell 378B02

## DEHNUNGSMESSUNGEN AN LÄRMSCHUTZWÄNDEN

Ein wesentlicher Aspekt für die Entwicklung neuer Lärmschutzelemente an Schienenverkehrsanlagen ist die Berücksichtigung des materialbedingten Reflexionsverhaltens. Außerdem sind die Reaktionsgrößen des dynamischen Wandsystems für die Identifikation des mechanischen Übertragungsverhaltens und damit für die Auslegung des Wandaufbaus von Interesse.

Neben Vibrationssensoren werden auch dynamisch messende, piezoelektrische Dehnungssensoren **Modell 240A01** mit ICP®-Technik eingesetzt.



Dehnungssensor  
Modell 240A01





## DYNAMISCHES VERMESSEN VON SCHIENEN UND WEICHEN

Objektive Informationen über Veränderungen im Gleis sind für die Instandhaltung und Erneuerung der Gleiskörper von großer Wichtigkeit. Dabei werden bei der Überfahrt Abweichungen in der Schiene registriert. Diese Ereignisse werden über triaxial messende Vibrationssensoren, die am Drehgestell in unmittelbarer Nähe der Räder montiert sind, erfasst. Die Sensoren müssen eine große Frequenzbandbreite und Amplitudendynamik aufweisen. Der dreiaxsig messende ICP®-Vibrationssensor **Modell 356A31** ist mit seinem Frequenzbereich bis 10 kHz und seinem Messbereich von 500 g optimal für diese Anwendung geeignet.



Triaxialer Vibrationssensor  
Modell 356A31

## MONITORING EINES FAHRMOTORENPRÜFSTANDES

Antriebssysteme für Schienenfahrzeuge wie Getriebe und Fahrmotoren müssen leistungsstark, energieeffizient, wartungsarm und kostengünstig sein. Aufgrund des Gewichts der Schienenfahrzeuge, langer Instandhaltungsintervalle bei Hochgeschwindigkeitszügen und der geforderten sehr hohen Zuverlässigkeit sind die Anforderungen erheblich strenger als in anderen Branchen. Während der Entwicklung sind umfangreiche Tests und Prüfungen notwendig, um die geforderten technischen Ziele zu erreichen.

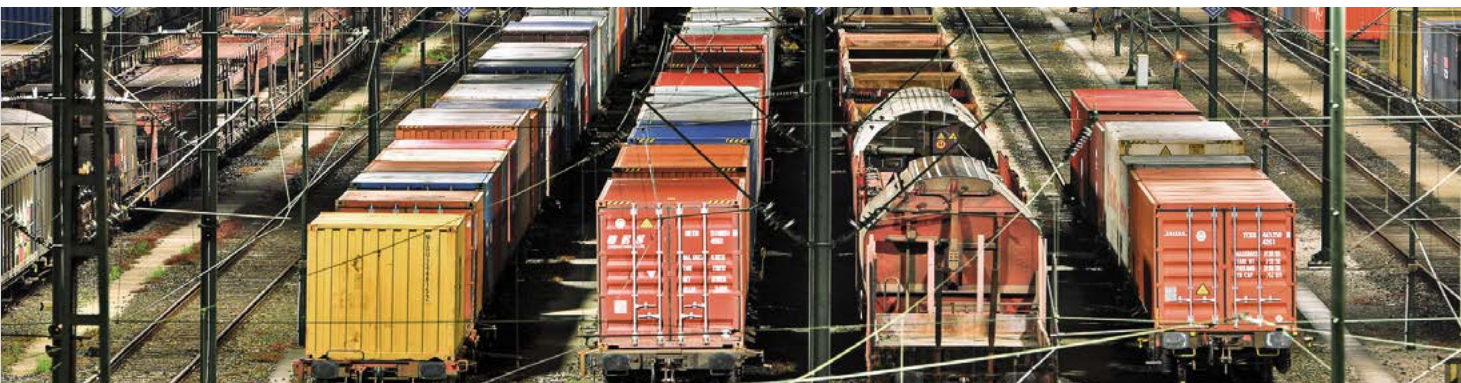
PCB Piezotronics, Inc. liefert dazu ein umfangreiches Programm an Vibrationssensoren, Mikrofonen und Zubehör. Als optimale Ergänzung zu einem Vibrationssensor **M608A11** oder **M607A11** bietet sich der Prüfstandsmonitor **CW-220C** von CANway technology GmbH an. Eine solche Kombination stellt unerlaubte Maschinenzustände ohne Verzögerung fest. Das Überwachungsmodul arbeitet vollkommen autark. Die vorhandenen Schnittstellen erlauben eine Integration des Gerätes in andere Automatisierungssysteme.



Vibrationssensoren  
Modelle 607A11 und 608A11



Prüfstandsmonitor  
CW-200



## MECHANISCHE BEANSPRUCHUNG VON TRANSPORTGÜTERN

Im Schienenverkehr wirken die unterschiedlichsten mechanischen Ereignisse auf das Transportgut ein. Das können Erschütterungen und Schwingungen, aber auch Beschleunigungen und Stöße sein, hervorgerufen durch Gleise, Weichen und Rangierverkehr. Hier können Stoßbelastungen bis zu 4 g, in Einzelfällen auch bis zu 10 g auf-

treten. Wegen der langen Stoß-Einwirkdauer und der relativ geringen Pegel sind die DC- Beschleunigungssensoren der **Serie 3711 / 3713** oder **3741** mit einem kapazitiven Messelement auf MEMS-Basis eine gute Lösung zur Messung solcher Ereignisse. Die Sensoren sind mit Messbereichen zwischen 2 g und 200 g erhältlich.



DC-Beschleunigungssensoren  
Modelle 3713 und 3741



## TIPPS

### Montagezubehör

Für die dauerhafte oder vorübergehende Montage der Beschleunigungssensoren bietet IMI eine Auswahl an Montagebolzen, Montageplättchen und Magnete an.



Modell 080A118



Modell 080A132



Modell 080A121

### TN-302: Sensorauswahl leicht gemacht

Die Auswahl des besten Beschleunigungsaufnehmers für eine vorausschauende Wartungsmaßnahme kann eine komplexe Aufgabe sein. Dieser Bericht hilft Ihnen, den passenden Sensor für Ihre Anwendung zu finden.

### TN-052: ICP®-Sensoren und lange Messleitungen

Die Signalübertragung über lange Messleitungen bedarf einer sorgfältigen Überlegung. Der Bericht schildert Aspekte, die beim Betrieb von ICP®-Sensoren mit langen Messleitungen zu beachten sind.

Diese und weitere Informationen finden Sie unter:  
[www.pcbpiezotronics.de/whitepaper](http://www.pcbpiezotronics.de/whitepaper)

