

## ■ Schneller Check mit Licht

Störungen am Schienennetz der Bahn können viele Ursachen haben – von Geröll auf den Gleisen bis zu dreisten Kabeldieben. Moderne Sensorik soll für schnelle Abhilfe sorgen.

Wie überwacht man eine Strecke von fast 34 000 Kilometern, verteilt auf ganz Deutschland und rund um die Uhr in Betrieb? Die Deutsche Bahn plant, diese Aufgabe mit Sensoren anzugehen und ihr Schienennetz unter anderem mit Hilfe von Lichtwellenleitern zu kontrollieren. Beim sogenannten „Fiber Optic Sensing“ soll Glasfasertechnik als „Ohr an der Schiene“ zum Einsatz kommen, um Hindernisse auf den Gleisen schnell zu erkennen. Nutzen lassen sich dafür die etwa 14 000 km Lichtwellenleiter, die bereits entlang der Schienen verlegt sind, um die Kommunikation des Zugpersonals mit der Leitzentrale zu garantieren.

Seit 2012 entwickelt die Bahn das Fiber Optic Sensing – ein erster Test fand 2014 zwischen Fulda und Würzburg statt. Dabei transportiert ein dünnes Glasfaserkabel die Lichtblitze einer Laserdiode. Die Faser besteht aus einem Kern und einem Mantel, der einen etwas niedrigeren Brechungsindex besitzt (Abb. 1). Dadurch wird das Licht an der Grenzfläche ab einem kritischen Winkel  $\theta_c$  totalreflektiert und breitet sich theoretisch unendlich weit in der Faser aus. Durch Absorption und herstellungsbedingte Verunreinigungen geht in der Praxis auf dem Weg immer etwas Licht verloren, sodass sich Distanzen bis etwa einhundert Kilometer ohne Zwischenverstärker erreichen lassen. Über lange



Deutsche Bahn / Uwe Miethe

Um zu vermeiden, dass Hochgeschwindigkeitszüge mit Hindernissen kollidieren, sollen faseroptische Sensoren das Schienennetz der Deutschen Bahn überwachen.

Distanzen spielt auch Dispersion eine Rolle, wodurch sich die Impulse zeitlich verbreitern. Verluste entstehen, wenn die Fasern eng gebogen werden sowie beim Ein- und Auskoppeln des Lichts. Beim Einkoppeln aus dem Laser in die Faser ist es wichtig, das Signal exakt mittig einzuspeisen und – wie beim Auskoppeln an der Fotodiode – die Lücke zur Faser möglichst gering zu lassen.

Ursprünglich kommen faseroptische Sensoren aus einem anderen Bereich: Sie dienen dazu, Längenänderungen zu detektieren, die mit bloßem Auge nicht zu erkennen sind. Denn wenn sich die Faser dehnt, staucht oder verbiegt, verändert sich das Signal.

Beispielsweise setzt die Ölindustrie die Fasern zur Überwachung von Pipelines ein. An Staudämmen oder Brücken lassen sich mit den Fasern Veränderungen im Bauwerk nachweisen. Ein Beispiel ist die Versoix-Brücke zwischen Lausanne und Genf. Dort kam es nach 1996 zu einer Erweiterung der Fahrbahn durch das Auflegen von Betonplatten. Rund hundert Fasersensoren helfen seither dabei, zu prüfen, ob es zu Verformungen zwischen dem alten und neuen Beton kommt und ob Krümmung und Torsion eine drohende Rissbildung anzeigen.

Das Fiber Optic Sensing macht sich dagegen zunutze, dass in der Faser Rayleigh-Streulicht entsteht und sich ausbreitet, wenn die Faser

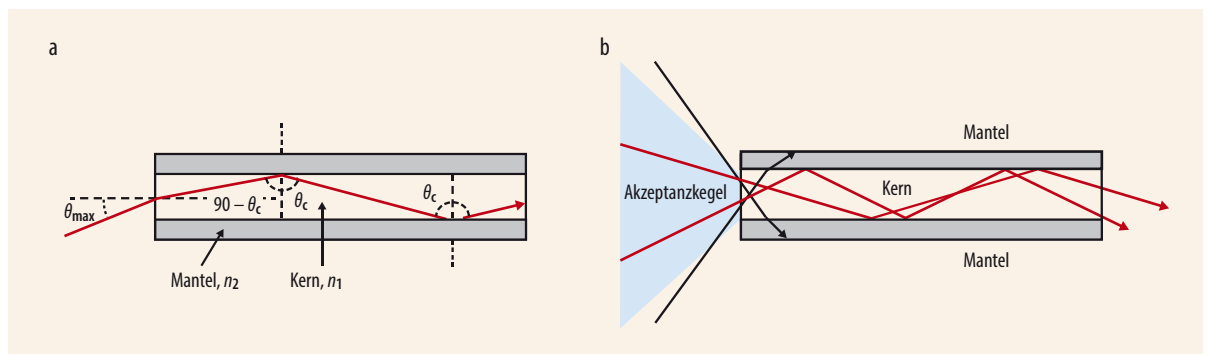


Abb. 1 In einer Glasfaser kommt es beim Transport des Lichts strahlenoptisch zur Totalreflexion an der Grenzschicht zwi-

schen Kern und Mantel (a), da der Brechungsindex  $n_2$  des Mantels etwas geringer ausfällt als derjenige des Kerns,  $n_1$ .

Nur Strahlen mit Einfallswinkeln  $\theta_{\max}$  innerhalb des Akzeptanzkegels (b, blau) werden in der Faser geführt (rot).

vibriert. Dieses Lichtecho hat je nach Quelle ein charakteristisches Muster und ermöglicht so, die Ursache der Erschütterung oder Verformung zu analysieren. Die Wellenlänge der Laserimpulse beträgt 1550 nm, bei einer Pulsbreite von 100 oder 200 ns liegt die Wiederholfrequenz bei 2500 Hz. Jeder Überwachungsabschnitt ist 40 Kilometer lang, sodass die Signale maximal 80 Kilometer in den Fasern zurücklegen – ein Kompromiss zwischen der Signaldämpfung und der Anzahl der Auslesestationen. Dort verhindert eine Absorptionseinheit Reflexionen am Faserende, die sich dem Rayleigh-Streulicht überlagern könnten. Aus der Zeit, die zwischen dem Aussenden des Lichtblitzes und dem Eintreffen des Echos vergeht, lässt sich der Ort der Geräuschquelle auf zehn Meter genau einschränken. Weil entlang der Gleise meist mehrere Fasern in den Kabeln unbenutzt sind, ermöglicht der Vergleich von Signalen in parallel verlaufenden Fasern eine höhere Messgenauigkeit.

### Muster erkannt, Gefahr gebannt

Um aus den Lichtechos zeitnah zu schließen, ob beispielsweise ein Steinschlag oder eine Tierherde auf den Gleisen die freie Fahrt behindern oder sich Diebe an den wertvollen Kupferkabeln zu schaffen machen, ist es zunächst nötig, die typischen Muster der zugehörigen Geräusche zu erkennen. Insbesondere gilt es, diese Fingerabdrücke von den Frequenzmustern eines

fahrenden Zuges zu trennen und die Auswerteelektronik damit zu füttern. Daher hat die Deutsche Bahn mittlerweile mehrere Teststrecken in Betrieb: Zwischen Fulda und Würzburg liegt das Interesse der Bahn darin, Tierherden auf den Gleisen aufzuspüren und Züge zu lokalisieren, letzteres auch für Fahrplaninformationen in Echtzeit. Entlang der rechten Rheinstrecke soll das System Hangrutsche erkennen und an einem Gleis der Berliner S-Bahn Kabeldiebe belauschen. Ziel ist es, Algorithmen zu entwickeln, die diese Ereignisse anhand der typischen Muster automatisch erkennen. Im Idealfall einer eindeutigen Zuordnung schlägt die Software nicht nur Alarm, sondern sendet direkt einen Reparaturtrupp aus oder benachrichtigt die Polizei.

Für die Deutsche Bahn ist das Fiber Optic Sensing auch deshalb interessant, weil es mit wenig zusätzlicher Infrastruktur auskommt. Ob auch die verbleibenden 20 000 Schienenkilometer in Deutschland mit Lichtwellenleitern ausgerüstet werden, entscheidet das Unternehmen voraussichtlich noch in diesem Jahr. Im Vergleich zur Infrastruktur für die Telekommunikation sind diese Zahlen aber bescheiden: Die Deutsche Telekom hat allein im vergangenen Jahr mehr als 40 000 km Lichtleiter zur Datenübertragung verlegt.

Bei den Österreichischen Bundesbahnen ist man bereits einen Schritt weiter und benutzt die Technologie, um Kurzschlüsse an Ober-

leitungen zu detektieren. Denn der Lichtbogen, der dabei entsteht, führt ähnlich wie bei Blitz und Donner zu einem Knall. Dieser erzeugt im Frequenzbereich zwischen 0 und 1250 Hz ein deutliches Signal, das sich gut von den Mustern anderer Geräusche trennen lässt.

### Weichen für die Zukunft stellen

Ganz ohne Lichtwellenleiter überwacht die Bahn die Weichen im Schienennetz. Deren Funktionsstörungen sorgen für einen Großteil der Verspätungen im Bahnverkehr. Hier soll eine „Intelligente Weiche“ Abhilfe schaffen: Ein gelbes Kästchen, vollgepackt mit Sensoren, befindet sich auf der Schwelle direkt am Verschiebemechanismus der Weiche. Unter anderem wird damit der Weichenstellstrom gemessen. Dieser zeigt an, ob der Motor das bewegliche Schienenteil, die sogenannte Zunge, tatsächlich verschiebt. Erhöhte Werte deuten darauf hin, dass Motor und Mechanik einer Wartung bedürfen. Bis Ende letzten Jahres waren bereits 15 700 Weichen im Bundesgebiet mit der neuen Technik ausgerüstet, bis 2020 sollen 30 000 der insgesamt 67 000 Weichen modernisiert sein.

So sorgt moderne Sensorik entlang der Gleise nicht nur dafür, dass das Reisen mit der Bahn sicherer wird, sondern verspricht auch weniger Verspätungen – auf dass in Zukunft das Versprechen aus den 1990er-Jahren wahr wird: Die Bahn kommt!

Bernd Müller