

# DER DIGITALE ZWILLING BEKOMMT EIN NEUES NERVENSYSTEM

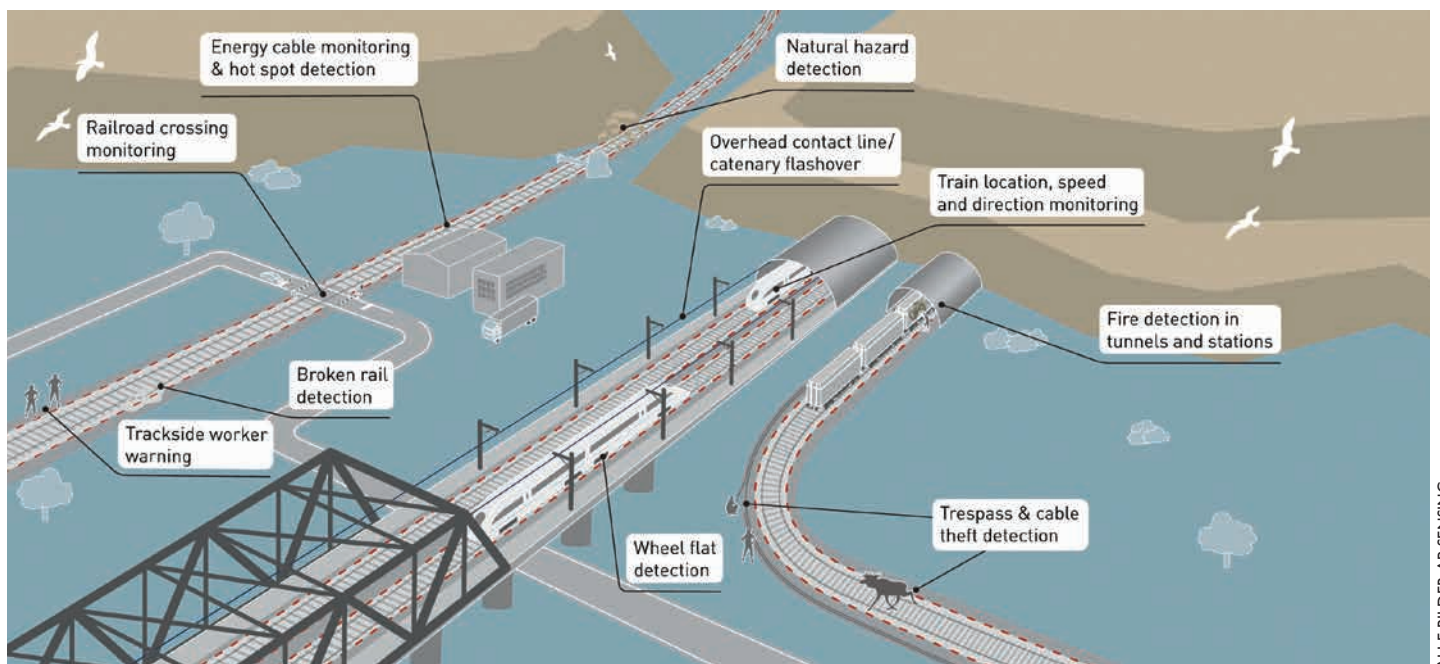
Revolution im Bahnsystem – unterwegs in die digitale Zukunft – so titelt die Website der Digitalen Schiene Deutschland (DSD). Züge, die in kürzeren Abständen fahren, die in Echtzeit intelligent und automatisiert gesteuert werden und die ihre Umwelt und ihre Position durch Sensorik erkennen – so sieht die Zukunft der Eisenbahn aus.

Sowohl eine nahezu umfassende Sensorik als auch die intelligente Steuerungslogik, die eine riesige Menge an Sensordaten aufnehmen und in intelligente Entscheidungshilfen weiterverarbeiten muss, werden ganz offensichtlich dabei eine Rolle spielen. Ein Konzept um das Zusammenspiel zwischen der realen Welt und der Optimierungs- und Steuerungssoftware zu ermöglichen, ist der Digitale Zwilling. Ein computergestütztes

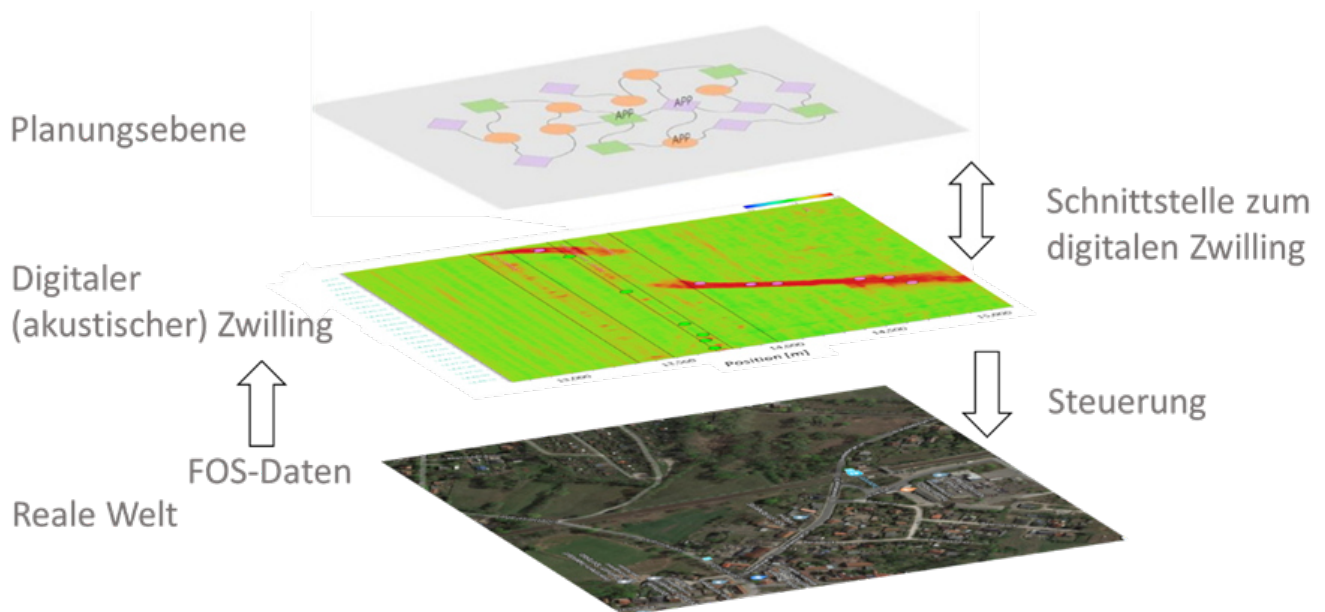
Modell eines materiellen realen Objektes, in dem die Sensordaten zusammenlaufen.

Der Digitale Zwilling ist sozusagen die Verbindung zwischen der realen Welt und dem operativen Planungssystem. Er enthält alle Daten und Informationen über das reale System, so dass mit Hilfe modernster Kommunikations-, Computer- und Softwaretechnologie eine komplette Analyse und Optimierung in Echtzeit vorgenommen werden kann. Der optimierte Digitale Zwilling kann seine Daten dann wiederum auf die reale Welt übertragen.

Mit Hilfe von Digitalen Zwillingen versuchen Betreiber große Effizienzsteigerungen zu erreichen. Die Erwartungen sind sehr hoch: Steigerung der Kapazität, vorausschauende und verkürzte Wartung sowie detaillierte Echtzeitinformationen sollen lückenlos zur Verfügung stehen. Der Digitale Zwilling



*Vorhandenes Glasfasernetz (rot gestrichelt) entlang der Infrastruktur, das zusammen mit der FOS-Technologie das Nervensystem des akustischen Digitalen Zwillings des Schienennetzes bildet.*



**Prinzip eines akustischen Digitalen Zwillings; die FOS-Sensortechnologie nutzt das ebereits vorhandene Glasfasernetz als räumlich-kontinuierlichen Sensor. So erhält der Digitale Zwilling seine akustischen Nervenbahnen, die ihre Informationen dann einer weiteren softwarebasierten Regel- und Optimierungsschicht – dem Gehirn – weiterleiten.**

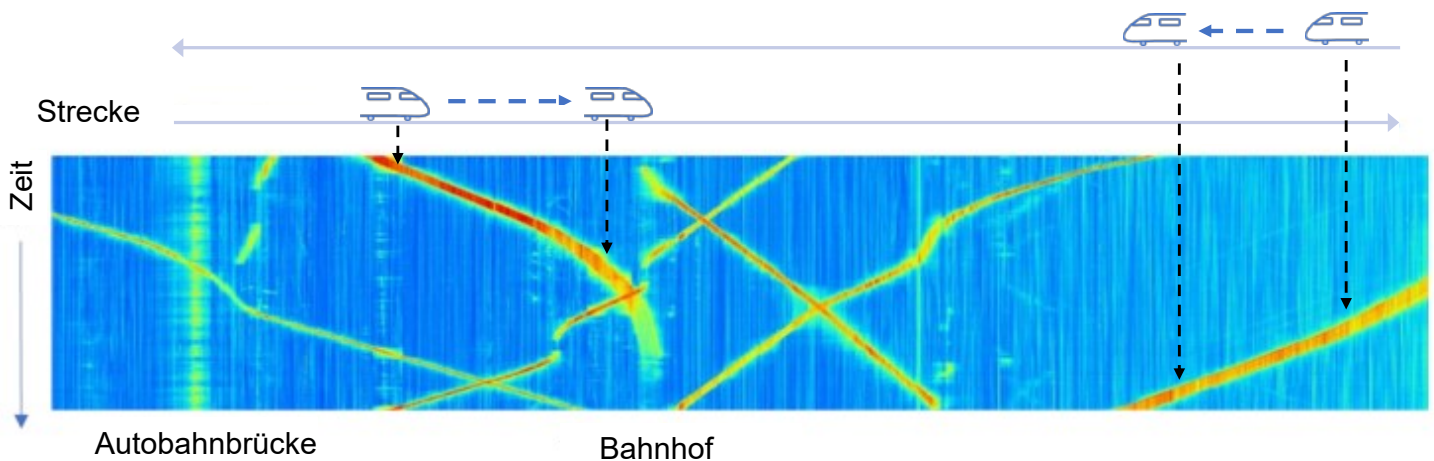
ist im Zuge von Industrie 4.0 zu einem Megatrend geworden, dessen Einsatzgebiete mittlerweile weit über die Produktions- oder Fabrikoptimierungen hinausgehen. Ein Digitaler Zwilling lässt sich nahezu für alle Objekte der realen Welt erstellen. Das Konzept des Digitalen Zwillings lässt sich auch im Bahnbetrieb für das Schienennetz anwenden. Allerdings ist der Datenhunger eines Digitalen Schienenzwillings enorm. Denn die Deutsche Bahn verfügt über das längste Schienennetz in ganz Europa und je feiner das Datennetz und je aktueller die Daten, desto besser lässt sich die Realität abbilden. Hier zeigt sich eine der Herausforderungen eines Digitalen Schienenzwillings: Ein kaum vorstellbarer Aufwand, die gesamte Republik mit einem dichten Netz einzelner Sensoren, von denen jeder einzelne ständig seine Daten sendet und eine Stromversorgung benötigt, zu überziehen. Abgesehen von der unvorstellbaren Zahl an Sensoren, die installiert werden müssten, kann man sich auch vorstellen, dass die Datenverfügbarkeit aufgrund von Störungen ein Problem darstellt.

Eine vielversprechende Alternative ist ein passives Sensornetz, das in weiten Teilen ohnehin schon vorhanden ist. Das bestehende Glasfasernetz der Deutschen Bahn soll hier einen wichtigen Beitrag liefern. Dieses Glasfasernetz ist bereits entlang der meisten Bahnstrecken verlegt und wird über die kommenden Jahre nahezu flächendeckend ausgebaut. Mit Hilfe der faseroptischen Sensortechnologie (kurz: FOS) lässt sich das vorhandene Glasfasernetz als Sensornetz nutzen. Das

Messprinzip der FOS-Technologie basiert dabei auf dem physikalischen Prinzip der intrinsischen Lichtstreuung entlang der Glasfaser. Eine Optoelektronik sendet dazu Laserpulse in das Glasfaserkabel und detektiert das zurückgestreute Licht. Ändern sich Parameter wie Temperatur oder Vibrationen, so ändert sich die intrinsische Lichtstreuung und damit auch das Sensorsignal. Mit der FOS-Technologie wird die passive Glasfaser, die bislang nur zu Datenübertragung genutzt wird, zu einer langen Kette tausender Sensoren, die je nach Auswertung die Temperatur oder Umgebungsgeräusche entlang der Schienenstrecke erfassen.

Wie wir Menschen die Umwelt mit unseren Sinnen aufnehmen und die Signale über unsere ins Gehirn leiten, so erfasst der Digitale Zwilling mit Hilfe der FOS-Technologie über die infrastrukturseitig vorhandenen Glasfasern an jedem einzelnen Punkt der Strecke die vorherrschenden Temperaturen und Vibrationen. Veränderungen entlang der Glasfaser können dabei bis auf wenige Meter genau lokalisiert werden.

Die Firma AP Sensing mit Sitz in Böblingen bei Stuttgart ist in weltweiten Projekten wie dem Eurotunnel, dem Metronetz in New Delhi, in Singapur, aber auch auf Strecken wie Berlin – Dresden mit ihrer faseroptischen Sensorik vertreten. Die rot gestrichelten Linien im ersten Bild repräsentieren das vorhandene Glasfasernetz, das AP Sensing als umfassendes Sensornetz nutzt. Zusammen mit der FOS-Technologie bildet das Glasfasernetz das Nervensystem eines akustischen, Digitalen



*Mittels der gemessenen, akustischen Daten eines fahrenden Zuges lassen sich zu jedem Zeitpunkt die Position, die Geschwindigkeit, die Fahrtrichtung und die Länge des Zuges ermitteln.*

len Zwillings des Schienennetzes. Ein gerade für den Bahnbetrieb besonders vorteilhafter Einsatz der FOS-Technologie ergibt sich aus der Verwendung der Glasfaser als Mikrofonkette, die alle Geräusche und Frequenzmuster aufnimmt, die bei der Fahrt eines Zuges über das Gleis entstehen. Das FOS-Signal korreliert zu jeder Zeit mit dem Ort, der Geschwindigkeit und der Länge des Zuges. Selbst mehrere Züge, die gleichzeitig auf einer Strecke verkehren werden – auch gleisselektiv – erfasst und können voneinander unterschieden werden.

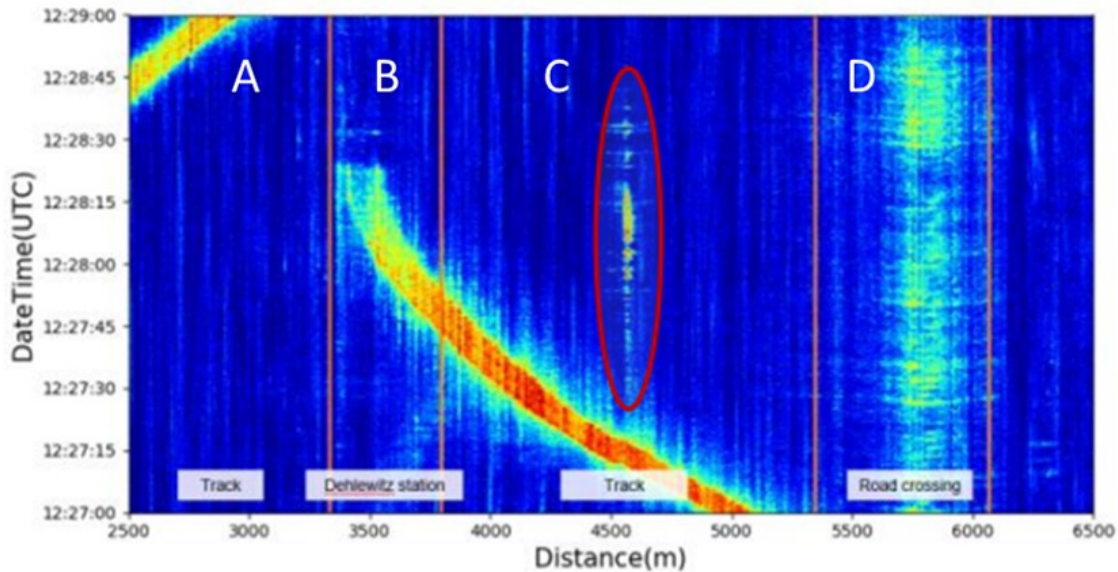
Das Glasfaser-Nervensystem der FOS-Technologie liefert ein zeitlich und räumlich kontinuierliches akustischen Abbild – einen akustischen, Digitalen Zwilling – des Schienennetzes und der darauf verkehrenden Züge. Insbesondere die Daten zur Zugposition und Zuglänge qualifizieren die FOS-Technologie für einen räumlich-kontinuierliche Zugintegritätsnachweis. Während Personenzüge ihre Integrität bzw. Vollständigkeit eigenständig sicherstellen könnten, erfolgt der sichere Integritätsnachweis beim Schienengüterverkehr derzeit noch über Punktsensoren an den statischen Blockabschnittsgrenzen. Letztere limitieren allerdings maßgeblich die Zugfolgedichte und damit die verfügbare Kapazität des Bahnnetzes. Mit der FOS-Technologie als einem räumlich-kontinuierlichen Sensor für präzise Positions- und Zustandsdaten von Zügen könnte der technische Lückenschluss für eine erhöhte Zugfolgedichte ohne weitere teure Sensorik erreicht werden. Die DB Netz AG ist hier in dem Forschungsprojekt FOSSIL 4.0 gemeinsam mit der Firma AP Sensing und der TU Darmstadt als Innovationstreiber aktiv.

Ein FOS-basierter Digitaler Zwilling ermöglicht mit Hilfe seines akustischen Nervensystems eine ganze Reihe weiterer Anwendungen: Energiesparendes Fahren, das Erkennen von Hindernissen im Gleis oder die schnelle Lokalisierung von Kurzschlüssen sind in verschiedenen Pilotversuchen bereits erprobt und viele mehr sind denkbar. Neben den genannten Anwendungen, die auf einer Auswertung der Glasfasernervensignale in Echtzeit beruhen, lässt sich für die Diagnose der Infrastruktur ein wesentlicher Vorteil des Digitalen Zwillings nutzen – sein Gedächtnis. Damit wird es möglich, die Entwicklungshistorie der akustischen Signale eines Streckenabschnittes zu analysieren oder diese mit den Signalen eines anderen Abschnittes in Relation zu setzen und zu vergleichen. Daraus lassen sich auch langsame, verschleißbedingte Veränderungen



*FOS-Optoelektronik für die faseroptische Sensorik*





*Simulierter Kabeldiebstahl (C) in Abgrenzung zu anderen Ereignissen auf der Strecke Berlin–Baruth/Mark*

im Gleiskörper sicher erkennen. Die FOS-Messtechnik von AP Sensing hat in den letzten Jahren deutliche Verbesserungen sowohl in der Sensitivität als auch in der Reichweite erzielt. So gelingt es mittlerweile, selbst geringe Variationen im akustischen Signal eines fahrenden Zuges zu erkennen und deren Ursprung zu lokalisieren. Die signaltechnische Entflechtung von Rad und Schiene zeigt an, ob die Variation durch den Zug selbst oder durch den Gleiskörper verursacht wurde.

Das akustische Gedächtnis bildet dabei die zentrale Komponente einer smarten Instandhaltung, die ihrerseits künftig einen Beitrag zur erhöhten Streckenverfügbarkeit und Kapazitätssteigerung liefern soll. Denn das Fahren im wandernden Raumabstand – dem moving block – ermöglicht zwar eine höhere Zugdichte, die aber wiederum einen höheren Verschleiß an der Infrastruktur bedeutet. Eine über die vorausschauende Instandhaltung hinausgehende smarte Instandhaltung kann auf der Basis des akustischen Digitalen Zwillinges dazu beitragen, damit die Infrastrukturverfügbarkeit einer durch den moving block erhöhten Netzkapazität nicht wieder zu kannibalisieren, sondern zusätzlich zu verstärken. Insgesamt ist ein FOS-basierter akustischer Digitaler Zwilling des Schienennetzes ein wichtiger Baustein für eine Kapazitäts- und Effizienzsteigerung in der Bereitstellung nachhaltiger Alltagsmobilität.

Eine Reihe verschiedener mit FOS-Technologie gemessener akustischer Ereignisse entlang der Bahnstrecke Berlin–Baruth/Mark sind im oberen Bild dargestellt. Das Signal, das auf einen simulierten Kabeldiebstahl hinweist (s. Markierung in Abschnitt C), unterscheidet sich deutlich von den akustischen

Signalen eines vorbeifahrenden Zuges (B) und dem einer Straßenkreuzung (D). Im Bildabschnitt B ist deutlich der Zughalt im Bahnhof Dahlewitz zu erkennen. Hier fährt um 12:07:30 Uhr ein Zug ein, verlangsamt seine Fahrt und hält. Zur gleichen Zeit wird einen Kilometer entfernt in Richtung Rangsdorf ein Kabeldiebstahl simuliert (s. rote Markierung im Abschnitt C). Die Stelle wurde mit Bedacht gewählt, denn einen Kilometer weiter überquert eine vielbefahrene Straßenbrücke der A 10 die Bahnstrecke (s. Abschnitt D). Alle drei Ereignisse fanden zur gleichen Zeit an unterschiedlichen Positionen entlang des infrastrukturseitig vorhandenen Glasfasersensors statt. Die FOS-Technologie ist in Kombination mit seinen besonders angepassten Algorithmen auf Basis des Maschinellen Lernen in der Lage, alle drei gleichzeitigen Ereignisse zu erkennen und richtig zu klassifizieren. Damit ist es AP Sensing möglich, ein außergewöhnliches Ereignis wie einen Kabeldiebstahl automatisch zu erkennen und einen Alarm auszulösen.

An das vorhandene Glasfasernetz angeschlossen, dient die passive Glasfaser als räumlich kontinuierlicher Sensor. Die Sensorsignale können über Entfernungen von bis zu 100 km an jedem einzelnen Ort entlang der Glasfaser gleichzeitig wahrgenommen und mittels modernster Auswerteverfahren einem Digitalen Zwilling des Schienennetzes in Echtzeit zur Verfügung gestellt werden. ==

Clemens Pohl, Managing Director  
 Dr. Bernd Drapp, Innovation Director  
 AP Sensing GmbH, Böblingen