SensoDIMARiS: Das Ohr an der Maschine für zustandsbasierte und vorausschauende Instandhaltung

Ziel des Projekts SensoDIMARiS ist es, an ÖPNV-Fahrzeugen die planmäßige Wartung durch eine zustandsbezogene Instandhaltung zu ergänzen und so insgesamt die Verfügbarkeit zu erhöhen. Sowohl sich langsam anbahnende als auch akute Störungen, die nicht direkt über fahrzeugeigene Sensoren abgedeckt sind, sollen so frühzeitig erkannt werden. Für eine optimale Instandhaltungsprognose sollen onlineprozessierte Daten mit offline Daten des Fahrzeugs und GPS-Daten korreliert, ausgewertet und für eine digitale Zustandsüberwachung aufbereitet werden. Durch den Einsatz von digitalen Endgeräten wie Augmented Reality Datenbrillen wird die Prozesskette weiter ergänzt. Nach einem erfolgreichen Test an einem Straßenbahnfahrzeug im Alltagsbetrieb können jetzt auch weitere Bereiche in der Bahnindustrie davon profitieren.

1. Einleitung

Ausfälle, reduzierte Fahrleistungen, Verspätungen. Das gibt es im öffentlichen Personennahverkehr (ÖPNV) durchaus – zum Unmut der Fahrgäste. Ausfälle entstehen dann, wenn fahrzeugeigene Sensoren sich anbahnende oder akute Störungen nicht rechtzeitig erkennen. Solche Störungen können durch für den Betreiber unkalkulierbare Faktoren wie Materialschäden, Designmängel, Umwelteinflüsse oder Infrastrukturänderungen eintreten. Diese unvorhergesehenen Ereignisse führen zu Störungen im Betriebsablauf und oft zu langen Stillstandzeiten. Verfügbarkeitsengpässe sind die Folge.

Um all das zu verhindern, wurde das Projekt SensoDIMARiS ins Leben gerufen. Mittels Sensorik, Echtzeit-Zustandsüberwachung und Augmented Reality sollen Mängel an Straßenbahnen frühzeitig erkannt und die planmäßige Wartung durch eine zustandsbezogene ergänzt werden.

Dank digitaler Endgeräte wie AR-Datenbrillen und kundenspezifischer Dashboards zur Zustandsüberwachung können Instandhaltungsaufträge online, verknüpft mit allen erforderlichen technischen Unterlagen, direkt an die zuständige Werkstatt erteilt werden. So wird die komplette end-to-end Prozesskette digital dargestellt.

Diese datenbasierte, digitale Anwendung ist ein Schritt in Richtung Mobilität 4.0. Das Projekt SensoDIMARiS wird deshalb durch die Forschungsinitiative „mFUND" des Bundesministeriums für Verkehr und digitale Infrastruktur gefördert.

2. Projekt-Team

Die Projektpartner sind Teil der Arbeitsgruppe PRIORI, initiiert durch das Cluster Verkehr, Mobilität und Logistik Berlin-Brandenburg. PRIORI führt die Expertise innovativer Mittelständler und agiler Startups aus der Schienenfahrzeugbranche zusammen. So entstand ein Team mit breitem Know-how in den Bereichen Hard- und Software-Analytics, Projektmanagement und Engineering. Die Arbeitsgruppe verfolgt den Ansatz, das Ausfallrisiko von Schienenfahrzeugen zu reduzieren und niederschwellig innovative Technologien zu einer kompletten Maßnahmenkette zusammenzuführen. Das Ziel ist es, die Voraussetzungen für eine

Dipl.-Ing. Ute Franke
5micron optical measuring techniques GmbH, CEO
ute.franke@5micron.de

Dipl.-Ing. Jörg Jonas-Kops
nxtBase Technologies GmbH, CEO
jjk@nxtbase.de

Dipl.-Ing. Bernd Bremer
Wätzold & Al-Zubaidi Management Consulting GmbH, Senior Consultant
bernd.bremer@consultants-berlin.de

Dipl.-Ing. Lutz Hübner
Berlin Partner für Wirtschaft und Technologie GmbH, Senior Projektmanager Verkehr I Mobilität I Logistik
lutz.huebner@berlin-partner.de

Homepageveröffentlichung unbefristet genehmigt für Wätzold & Al-Zubaidi Management Consulting GmbH / Rechte für einzelne Downloads und Ausdrucke für Besucher der Seiten genehmigt / © DVV Media Group GmbH

nachhaltige Instandhaltung von Schienenfahrzeugen zu schaffen.

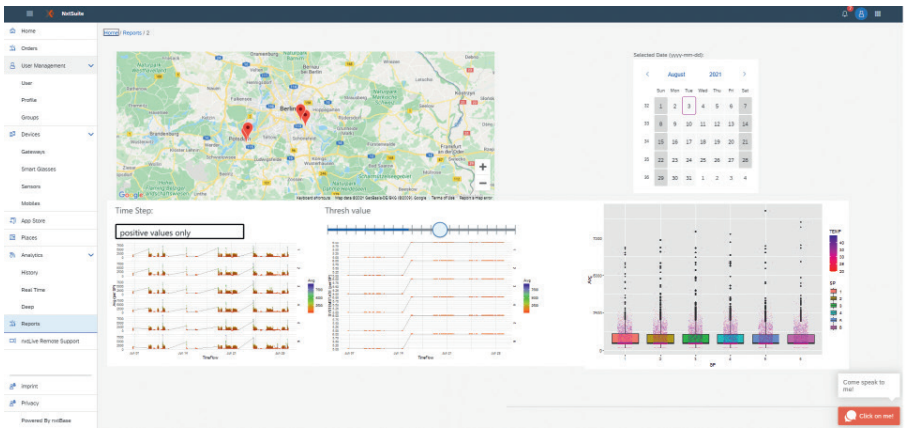
Das Zusammenspiel und die besondere Expertise der einzelnen Projekt-Partner ermöglichen eine detaillierte Analyse und Bearbeitung der kompletten Maßnahmenkette, gezielte Überwachung, Auswertung und Früherkennung bis zur Instandhaltung.

Die Spezialisierungen der einzelnen Partner umfassen:

- 5micron:
  - innovative optische und akustische Messsysteme
  - Bau von robuster und bedarfsgerechter Sensorik für schwere Umweltbedingungen
  - Anwendung von Algorithmen zur Mustererkennung
  - Kombination von KI mit Sensorfusion
- nxtBase Technologies:
  - Prozessdigitalisierung mit innovativen Endgeräten und korrespondierenden Applikationen
  - Entwicklung eines Condition Monitoring Cockpits auf Basis der selbst entwickelten AR Plattform
  - Visualisierung und Führung ganzer Prozessketten über Datenbrillen
- Wätzold & Al-Zubaidi Management Consulting:
  - Projektengineering, Projektmanagement, Softwareentwicklung, Authorization
  - Branchenexpertise Bahn, Mobility und Digitalisierung
  - Networking von Bahn- und ÖPNV-Betreibern, OEM´s

Die drei Partner bringen im Zusammenspiel ein übergreifendes Know-how zu innovativer Messtechnik für die Zustandserfassung, über Condition Based Monitoring bis zur Umsetzung von Instandhaltungsprozessen mit – und verfügen über große Erfahrung in der Schienenfahrzeugbranche.

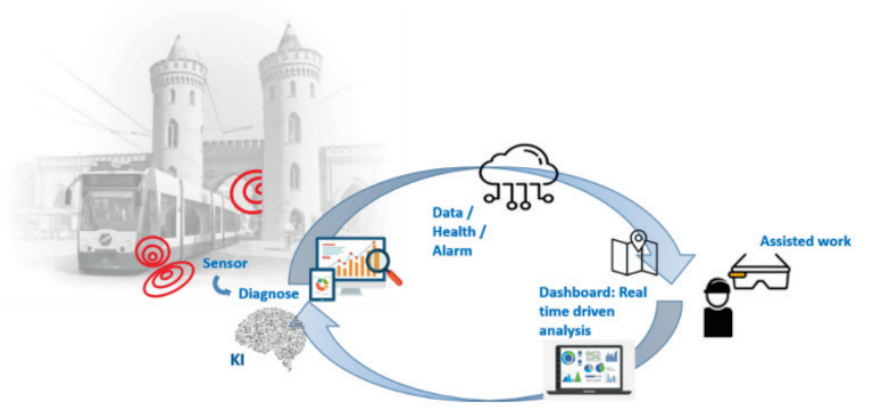
1: Combino Straßenbahn des Anwendungspartners ViP Verkehrsbetrieb Potsdam GmbH, die mit der Sensorik ausgestattet wurde



2: Beispiel einer Dashboard-Übersicht

Homepageveröffentlichung unbefristet genehmigt für Wätzold & Al-Zubaidi Management Consulting GmbH / Rechte für einzelne Downloads und Ausdrucke für Besucher der Seiten genehmigt / © DVV Media Group GmbH

Smart Maintenance
• Better visual instructions • Perfect documentations • Easy deep analyses



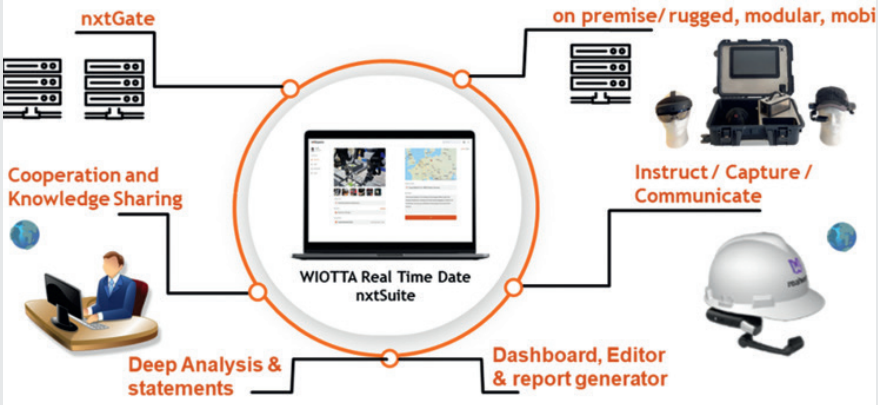
3: End-to-end Retrofit Messsystem

3. Konzeption, Spezifikation und Design

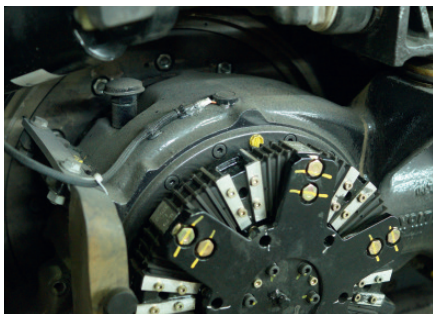
3.1. Wie trägt SensoDIMARiS zu mehr Nachhaltigkeit im ÖPNV bei?

Bei der Konzeption und dem Design der Technologie stand hauptsächlich eines im Mittelpunkt: Nachhaltigkeit & Optimierung bei niederschwelliger Implementierung in Bestandsfahrzeuge. Obwohl die Bahn als Verkehrsmittel per se bereits ressourcenschonend und nachhaltig ist, kann SensoDIMARiS zu weiteren Verbesserungen beitragen. ÖPNV- und Bahnbetreiber können noch mehr für die Optimierung der Operabilität ihrer Fahrzeuge tun, wenn sie bereit sind, in kluge digitale Technologielösungen zu investieren.

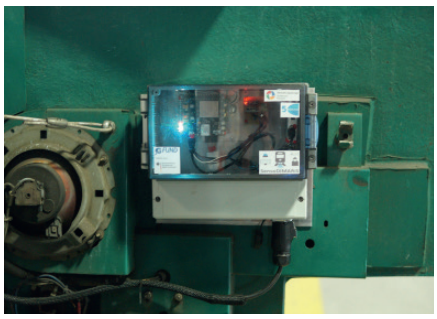
Das Projekt SensoDIMARiS verfolgt das Ziel, maximale Funktionalität und maximale Verfügbarkeit in der Mobilität bei maximaler Schonung der Ressourcen anzubieten. Dies gelingt durch die Verwendung kostengünstiger Sensorik, die mit effektiver Analysesoftware kombiniert wird. Mit Hilfe des machine learning Prinzips sind somit umfangreiche Erkenntnisse über den Zustand der Systeme möglich.



4: Schematische Darstellung der Daten-Weiterbearbeitung



5: Platzierter Sensor am Antrieb



6: Prozessoreinheit im Fahrzeug

3.2. Körperschall – das ‚Ohr an der Maschine'

Körperschallsensoren werden seit langem erfolgreich für verschiedenste Messaufgaben eingesetzt. So können z. B. über Schallanalysen der Füllstand von Tanks oder Gasflaschen ermittelt werden. Schallsensoren sind kostengünstig und bereits von Hause aus miniaturisiert.

Die Sensorik, die bei diesem Projekt zum Einsatz kommt, ersetzt ‚das menschliche Ohr an der Maschine' durch Auswertung von Frequenzbändern. Dabei wird das System kontinuierlich für die Anwendung ‚Schiene' trainiert: Die Algorithmen des maschinellen Lernens werden genutzt, um Abweichungen im Geräusch eines Verschleißteils, beispielsweise am Fahrzeugantrieb oder an der Mechanik von Türen zu erkennen.

Durch Sensorfusion von Körperschall, Beschleunigung, Temperatur und GPS ist es möglich, das Fahrzeug und gleichzeitig die umgebende Infrastruktur zu überwachen. Die lokal unspezifischen Daten des Körperschallsensors werden dabei durch Korrelation mit den geographischen Koordinaten und den Daten verdächtiger Geräusche gekoppelt. Gemeinsam können sie so der Infrastruktur oder dem Fahrzeug selbst zugeordnet werden.

Die Analysesoftware prozessiert die Daten direkt vor Ort und ist in der Lage, nicht nur die spezifischen Frequenzen zu separieren, sondern auch den möglichen Entstehungsort zu spezifizieren und zuzuordnen.

Die vor Ort vorverarbeiteten Daten werden auf einen Cloud-Server übertragen, wo sie anschließend für weiterführende Analysen zur Verfügung stehen. Auf einem Dashboard kann in Echtzeit verfolgt werden, welche Ereignisse wann und wo aufgetreten sind. Diese Ereignisse werden anschließend mit der vorhandenen Historie aus der Datenbank verglichen und korreliert. Somit können Rückschlüsse auf erfolgte Reparaturen oder anstehende Wartungsarbeiten gegeben werden. Gleichzeitig gibt das Dashboard Auskunft

Homepageveröffentlichung unbefristet genehmigt für Wätzold & Al-Zubaidi Management Consulting GmbH / Rechte für einzelne Downloads und Ausdrucke für Besucher der Seiten genehmigt / © DVV Media Group GmbH

über den Gesundheitsstatus des Systems, um den Wartungsaufwand zu kontrollieren und zu optimieren.

Durch die Erkennung kleinster Änderungen der Klangkorrelate können so frühzeitig sich anbahnende Schäden detektiert und anstehende Arbeiten optimal gebündelt werden. Die frühe Reparatur verhindert den Ausfall der Maschine oder das Materialversagen und ermöglicht eine planbare Werkstattauslastung.

Bereits mit einer überschaubaren Investition können Mobilitätsbetreiber sogar ältere Anlagen digitalisieren – dank modularem Retrofit-System. So tragen sie gleichzeitig zur Nachhaltigkeit bei und verbessern die Zuverlässigkeit ihres Systems.

Die Datengenerierung, Analyse und Anwendung sei hier nochmals exemplarisch dargestellt:

1. Datenakquirierung mit Sensoren vor Ort (z. B. Getriebe oder Tür-Mechanismus).
2. Datenbasis startet die Prozesskette und wird am Ort des Bedarfs mit spezialisierten Retrofit-Sensorsystemen erzeugt.
3. Online Auswertung Sensor- und Geodaten (Vorprozessierung)
4. Weiterverarbeitung im Cloud-Server
5. Anzeige in Real Time Driven Dashboard
6. Bereitstellung für Planung Instandhaltungsprozesse, z. B. als visualisierte Wartungsanwendung für die Instandhaltungsfachkräfte in der Werkstatt.

7: Akkueinheit mit Vorverstärker

4. Umsetzung/Integration im Reallabor und Test

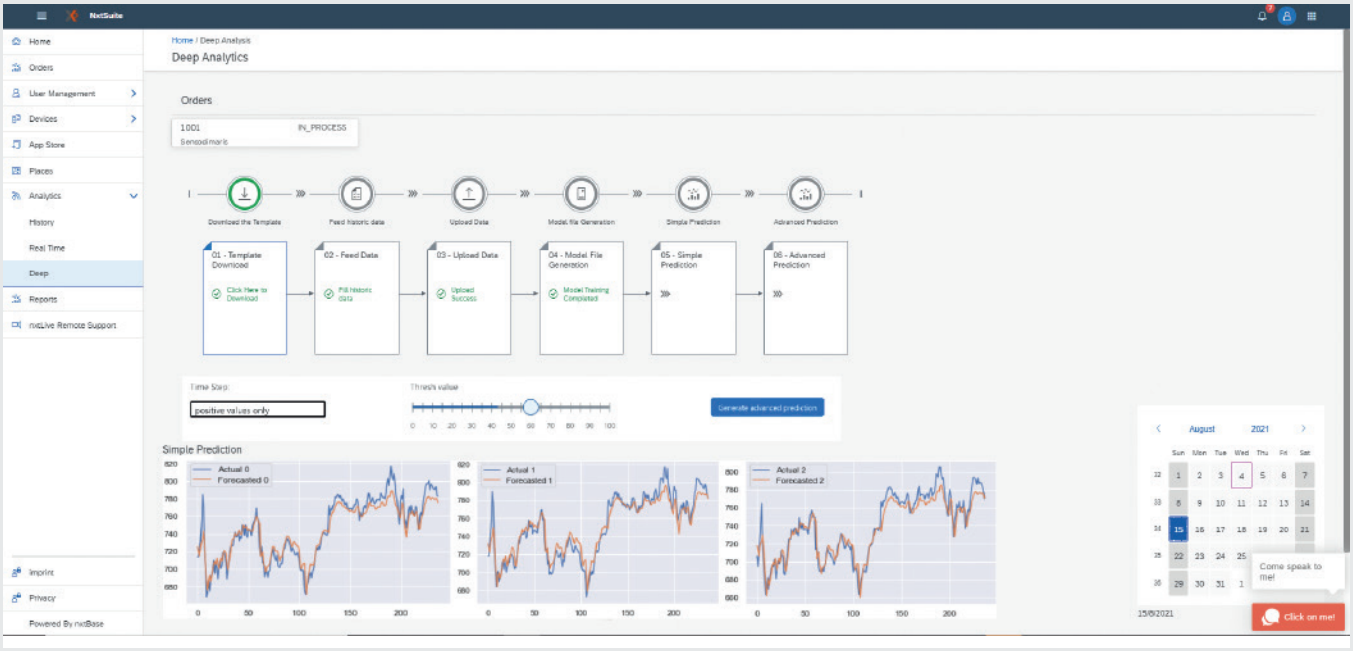
Inzwischen gibt es eine vollfunktionierende Demoversion, bei der 5micron handelsübliche robuste Sensoren mit einer selbst entwickelten Auswerteelektronik kombiniert hat.

Noch im Fahrzeug werden so die Klangspektren des platzierten Sensors analysiert und für die Übertragung per GPS aufbereitet. Dieses System garantiert eine hohe Verarbeitungsgeschwindigkeit bei gleichzeitig niedrigem Datenvolumen.

Eine weitere Box beinhaltet die autarke Stromversorgung für das ganze System sowie die Baugruppen für den Datentransfer. Sie kann an einer sicheren Stelle im Fahrzeug untergebracht sein. Sollte der Datentransfer auf Grund schlechter Netzanbindung kurzfristig nicht möglich sein, steht ein Zwischenpuffer zur Verfügung. Durch diese Systemarchitektur ist gewährleistet, dass keine Daten verloren gehen.

Homepageveröffentlichung unbefristet genehmigt für Wätzold & Al-Zubaidi Management Consulting GmbH / Rechte für einzelne Downloads und Ausdrucke für Besucher der Seiten genehmigt / © DVV Media Group GmbH

Fronius
Lange Nähte. Hohe Materialstärke.
Schweissen mit 100% Einschaltdauer.
Das Fügen großer Bauteile mit hohen Materialstärken gehört im Bereich Commercial Transportation zum Alltag. Mit den High-End-Schweißsystemen von Fronius können diese effizient und ohne Unterbrechung geschweißt werden.
Mehr Informationen finden Sie unter: www.fronius.com



8: Beispiel einer Dashboard-Darstellung

9: Fahrzeugtyp des Anwendungspartners, welches mit einem Sensor ausgestattet wurde

Alle aufgezeichneten und übertragenen Daten stehen anschließend auf dem Cloud-Server zur Verfügung. Hier geschehen die Weiterverarbeitung und die Aufbereitung für die Anzeige auf einem Dashboard. Dabei kann der Kunde zwischen verschiedenen Anzeigearten wählen.

Ein wesentlicher Kern der Auswertung besteht darin, dass auf dem Server ein Vergleich der aktuellen Daten mit bereits gespeicherten Daten aus der Vergangenheit vorgenommen wird. Gibt es hierbei Auffälligkeiten, die in der Vergangenheit bereits zu Schäden bzw. Instandhaltungsmaßnahmen geführt haben, wird ein Trigger ausgelöst. Dann werden weitere, vom Kunden definierte Aktionen eingeleitet. Auf diese Weise leistet das System eine frühzeitige Prognose und hat damit die Fähigkeit, auf bevorstehende Störungen aufmerksam zu machen, akute Schäden zu verhindern und somit Reparatur- und Kollateralkosten zu vermeiden.

Das hat viele Vorteile: Bei einem kurzfristig notwendigen Werkstattaufenthalt können verschiedene Informationen abgerufen werden. Bei einer Anbindung ans Lagerhaltungssystem kann zum Beispiel die Verfügbarkeit von Austauschteilen geprüft werden oder Serviceunterlagen können digital auf eine AR-Brille projiziert werden – optimal aufbereitet für die ausführenden Techniker.

Mit Unterstützung der ViP Verkehrsbetrieb Potsdam GmbH, die als Anwendungspartner im Rahmen des Projektes SensoDIMARiS agiert, wurde das System in eine Straßenbahn vom Typ Combino integriert und hat sich seit Juni 2021 im täglichen Einsatz bewährt. Aktuell werden dabei neben den akustischen Spektren auch GPS-, Temperatur- und Beschleunigungsdaten aus dem Fahrzeug übermittelt. Auf dem Server des Konsortialpartners nxtBase Technologies werden alle Daten ausgewertet und in einem Dashboard angezeigt.

Damit wurden bereits die einfache Nachrüstbarkeit und niederschwellige Implementierung des Systems am Antrieb des Straßenbahnzuges nachgewiesen. Die Überwachung anderer mechanischer Baugruppen eines Fahrzeugs ist durch die problemlos nachrüstbare Sensorik jederzeit gegeben.

5. Ausblick

Die Anforderungen an technische Systeme steigen in der heutigen Zeit immer rasan-

Homepageveröffentlichung unbefristet genehmigt für Wätzold & Al-Zubaidi Management Consulting GmbH / Rechte für einzelne Downloads und Ausdrucke für Besucher der Seiten genehmigt / © DVV Media Group GmbH

ter, intensive Zustandsüberwachung bzw. die frühzeitige Erkennung von Versagenskriterien werden immer wichtiger. Kriterien wie

- Zuverlässigkeit
- Effizienz
- Kostenreduktion und -transparenz
- Digitalisierung
- Nachhaltigkeit

spielen schon heute, aber erst recht in der Zukunft eine immer größere Rolle und stellen die Firmen vor neue Herausforderungen bzw. Anpassungsprobleme.

Daher wird eine niederschwellige Nachrüstung und Modernisierung über lange Nutzungszeiträume bei gutem Kosten-Nutzenverhältnis immer wichtiger. So können auch ältere Systeme effizient gehalten und Neuanschaffungen hinausgezögert werden.

Belohnt werden Unternehmen mit derartigen Technologien mit höchster Kundenzufriedenheit und guter Liefertreue. Das wiederum garantiert bessere Chancen bei einer zukünftigen Auftragsvergabe.

SensoDIMARiS hilft Betreibern konkurrenzfähig zu bleiben und dabei die Kosten im Blick zu behalten. Nach einem erfolgreichen Test in einem Straßenbahn-Fahrzeug im Alltagsbetrieb können jetzt auch weitere Bereiche in der Bahnindustrie davon profitieren.

Aber auch in anderen Industriezweigen, in denen die Zuverlässigkeit einzelner Komponenten oder auch ganzer größerer Systeme eine hohe Bedeutung hat und Ausfallrisiken minimiert werden müssen, ist die Implementierung möglich. Das gesamte Projektteam verfolgt dies nun aktiv. Sinn macht dies vor allem, wenn Unternehmen versuchen, folgende Punkte zu optimieren:

- Vermeidung von Schäden für Personen und Equipment
- Kostenreduktion durch optimierte Prozessabläufe und auch bei der Personalqualifikation
- Digitalisierung von Geschäftsprozessen

Genau diese Punkte machen die Einführung von zusätzlicher Sensorik, verknüpft mit intelligenter Auswertung und automatisierten Abläufen, zu einer wichtigen und dringenden Management-Entscheidung. •

Summary

SensoDIMARIS: the ear to the machine for condition-based and predictive maintenance

The aim of the SensoDIMARIS project is, to supplement regular maintenance by condition-based maintenance on public transport vehicles and therewith increase total availability. Both slowly developing and acute failures which are not completely covered by integrated sensors should be detected at an early stage. For an optimum maintenance forecast, online processed data should be correlated, valued and processed with the offline vehicle and GPS data for a digital condition control. By the use of digital end devices such as Augmented Reality Data glasses, the process chain will be further supplemented. After a successful test on a tram vehicle in daily operation, further sections of the rail industry may now also benefit from this.

Homepageveröffentlichung unbefristet genehmigt für Wätzold & Al-Zubaidi Management Consulting GmbH / Rechte für einzelne Downloads und Ausdrucke für Besucher der Seiten genehmigt / © DVV Media Group GmbH