



Bewährtes Fahrleitungssystem TracFeed® ALU2000/25 für das Projekt Eagle P3 in Denver

Proven Catenary System TracFeed®
ALU2000/25 for Eagle P3 Project in Denver

Einfluss der Berührflächen- und Radsatz- wellenverformung auf die äquivalente Konizität

Impact of elastic deformation of contact area and
wheelset axle on equivalent conicity



Eigenspannungen in Schienen: Vergleich zwischen Sägeschnittverfahren und Neutronendiffraktometrie

Residual Stresses in Railway Rails – Comparison
between Saw Cut Method and Neutron Diffraction

Neues LCC-optimiertes Weichensortiment für die SOB, BLS und SBB

New LCC-optimized Switches Range for SOB,
BLS and SBB



Implementierung eines Systems zur fahrzeugbasierten Zustandserfassung der Infrastruktur der Osloer Metro

Implementation of an on-board track monitoring
system in the Oslo metro

Europäische Bahnlärmforschung – das Shift2Rail Projekt DESTINATE

European railway noise research –
the Shift2Rail project DESTINATE

Implementierung eines Systems zur fahrzeugbasierten Zustandserfassung der Infrastruktur der Osloer Metro

Implementation of an on-board track monitoring system in the Oslo metro

Håkon Bartnes Line, (M.Sc.), Dipl.-Ing. Lorenz Pietsch, Graz (Österreich)

Zusammenfassung

Ein deutlicher Zuwachs an Fahrgästen bedeutet mehr Aufwand an Wartungs- und Instandhaltungsarbeiten und damit höhere Kosten. In Oslo ist der Metro-Verkehr auf Grund der stark wachsenden Fahrgastzahlen innerhalb weniger Jahre um mehr als die Hälfte gestiegen. Das norwegische, öffentliche Verkehrsunternehmen Sporveien Oslo AS hat sich deshalb für ein speziell konzipiertes System zur fahrzeugbasierten Zustandserfassung der Infrastruktur entschieden, das eine genaue Prognose und Planung künftiger Wartungsarbeiten ermöglicht. Dieses „Früh-erkennungssystem“ bedeutet für das Verkehrsunternehmen Kostenersparnis und Effizienz in der Instandhaltung. Der österreichische Schienenverkehr-Spezialist PJM konzipierte und installierte ein Monitoring System, das die Beanspruchung der Schienen-Infrastruktur mithilfe unterschiedlicher Parameter erfasst. Insgesamt umfasst die Metro-Strecke 85 km, wobei neuralgische Stellen besonders stark befahren sind. Täglich werden bis zu fünf Gigabyte Daten gesammelt, die über Nacht mit einem speziellen Programm in relevante, aussagekräftige Kennziffern umgewandelt werden. Anhand der qualitativ hochwertigen und täglich verfügbaren Daten ist es nun möglich, den künftigen Wartungsbedarf zuverlässig zu kalkulieren. So können Wartungs- und Instandhaltungsarbeiten rechtzeitig und effizient geplant werden, was wiederum eine erhebliche Kosten- und Ressourcen-Ersparnis schafft.

1 Das Metrosystem in Oslo

Das U-Bahn-Netz in Oslo besteht aus 10 Strecken mit einer Gesamtlänge von 85 km, wovon rund 20 % unterirdisch verlaufen (Bild 1). Der Verkehr ist in fünf Linien und 101 Stationen eingeteilt. Da sämtliche Linien durch den zentralen

Abstract

An increase of passengers results in higher maintenance costs. In Oslo, the metro traffic has increased by more than a half within a few years, due to a strong increase in passenger numbers. The Norwegian public transportation company Sporveien Oslo A-S decided for a specially designed on-board monitoring system which enables a reliable forecast of future maintenance work. This "predictive system" goes along with cost savings and much more efficient maintenance. PJM, an Austrian specialist for railway systems, designed and implemented a monitoring system to continuously gather information on the state of the track. The rail network consists of 10 tracks with a total length of 85 km. Every day, the sensors aboard the train generate about three to five gigabytes of raw data which is processed overnight by PJM into relevant indicators of the track quality. Due to these indicators, Sporveien is capable of reliably estimating the maintenance requirements. Thus, maintenance work is planned in time and efficiently which results in cost savings and has a positive effect on the management of resources.

Tunnel zwischen Majorstuen und Tøyen verlaufen (Bild 2), bildet dieser eine neuralgische Stelle im Netz. 2017 passierten über 378.000 Züge diesen Teil. Im Zeitraum von 2009 bis 2017 nahm das Verkehrsvolumen um 41 % zu. Das ist aber nur eine Zahl von vielen, die als Konsequenz der rasant wachsenden Einwohner-

zahl Oslos entsteht – bei weiter steigender Tendenz. Die Zahl der Passagiere erhöhte sich im gleichen Zeitraum um 59 % auf 118 Millionen im Jahr 2017. Die Osloer Metrozüge legten insgesamt 8,7 Millionen Kilometer jährlich zurück, das ist ebenfalls ein Anstieg um 53 % im Vergleich zu 2009 [1] (Bild 3).



Bild 1: Die Bahnstrecken im Osloer Metro-Netz

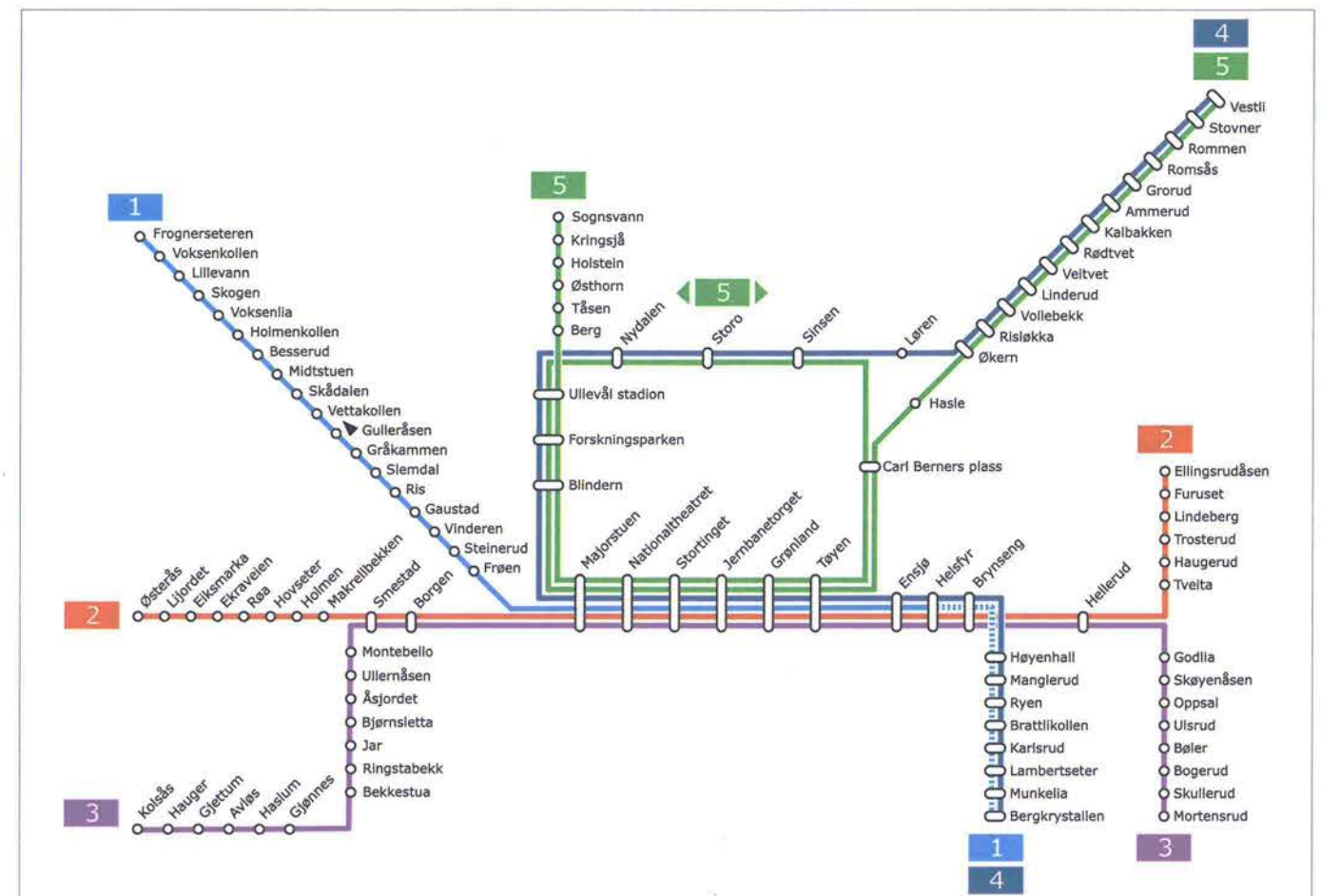


Bild 2: Schematische Darstellung des Metro-Netzes

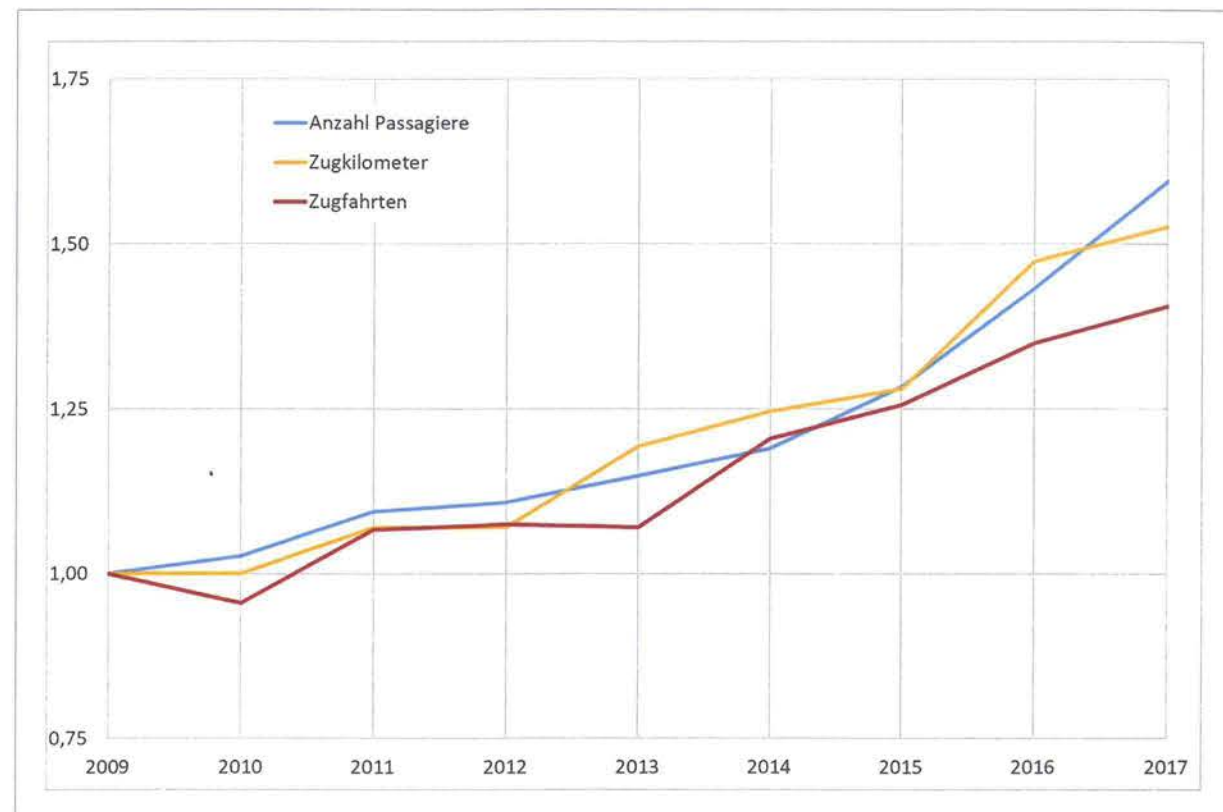


Bild 3: Entwicklung der Passagierzahlen, Abfahrten und zurückgelegte Kilometer seit 2009

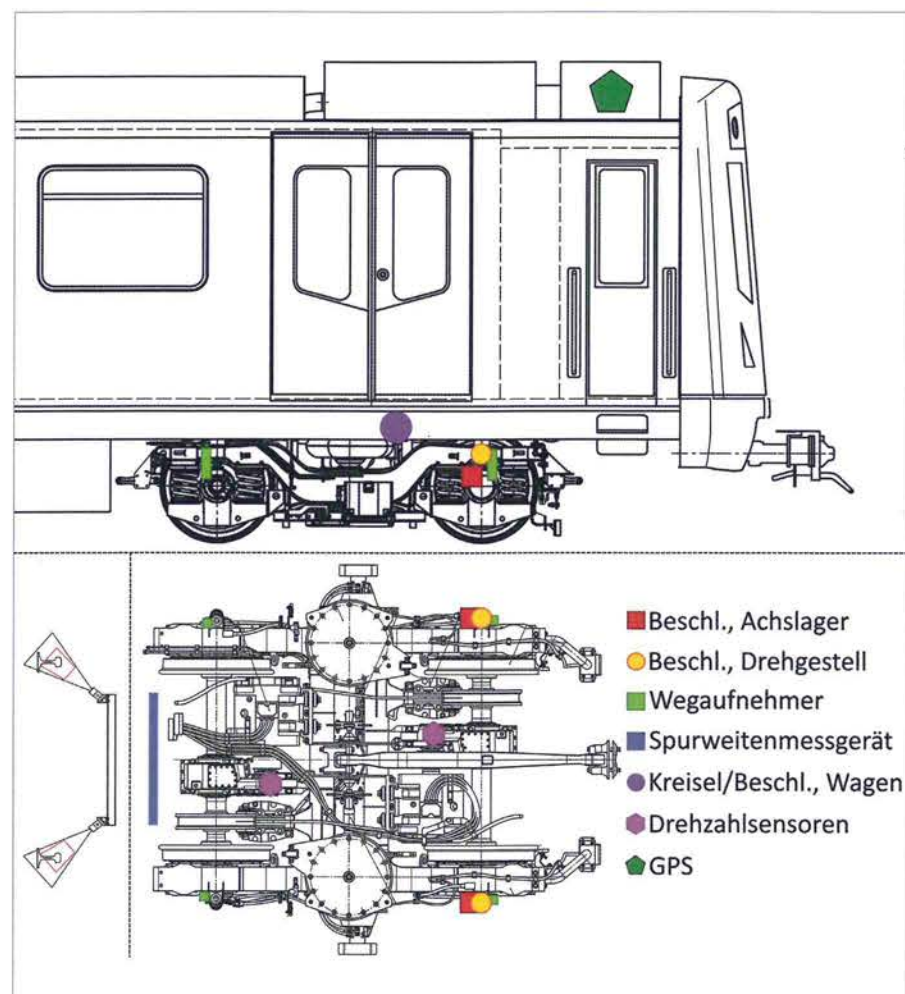


Bild 4: Einbauorte der Sensoren

2 Zustandsbasierte Wartungsstrategie

Um diesen wachsenden Herausforderungen an die Infrastruktur gerecht zu werden, hat der Osloer Metro-Betreiber Sporveien Oslo AS seine Instandhaltungsstrategie adaptiert. Dazu zählt eine kontinuierliche Informationsbeschaffung hinsichtlich des Streckenzustands im Laufe des täglichen Betriebs. So wird die Veränderung der einzelnen Messgrößen auf den Streckenteilen in einem bestimmten Zeitraum erfasst. Daraus lässt sich eine mögliche Verschlechterung des Streckenzustands erkennen. Diese präzisen Zustandsdaten ermöglichen Sporveien, die Wartungsressourcen effizienter zu planen und festzulegen. Außerdem können künftig geringfügige Schwankungen festgestellt werden, noch bevor kostenintensive Instandhaltungsmaßnahmen notwendig werden oder in weiterer Folge servicebedingte Ausfälle oder Verspätungen entstehen.

Grundpfeiler der zustandsbasierten Wartungsstrategie ist das Projekt Geometritogget, in dem einer der MX3000 Metrozüge mit einem Monitoring System ausgestattet wurde, mit dessen Hilfe kontinuierlich Daten über den Streckenzustand ge-

sammelt werden. Dieses System besteht aus verschiedenen Typen von Sensoren, die an den Fahrwerken und Wagenkästen der Wagons montiert wurde, sowie aus einem Datenerfassungssystem, das die Datenströme erfasst und synchronisiert. Ein LTE Modem überträgt die Daten zu einem externen Server zur weiteren Datenverarbeitung. Das österreichische Unternehmen PJM konzipierte, entwickelte und installierte dieses Messsystem. PJM ist außerdem – in enger Kooperation mit Sporveien – für den laufenden Betrieb, die Instandhaltung und die Weiterentwicklung dieses Messsystems zuständig.

3 Komponenten des Monitoring-Systems

Die Anordnung und Funktion der verschiedenen Sensoren, die insgesamt das Überwachungssystem ausmachen, werden im Folgenden dargestellt. Nur geringfügige mechanische Änderungen am Zug (Einbau von Halterungen für die Sensoren an den Fahrwerken sowie ein schützendes Gehäuse für die sensibleren Komponenten des Systems) waren nötig, um dieses System zu installieren.

Um die Beschleunigungen zu erfassen, die auf ungefederte Komponenten, Komponenten des Fahrwerkrahmens (primär gefedert) und den Wagenkasten des Zugs wirken, wurden drei Gruppen von Beschleunigungsaufnehmern installiert. Die erste Gruppe besteht aus zwei Einheiten, die direkt auf den rechten und linken Achslagern des führenden Radsatzes montiert sind (gekennzeichnet mit roten Vierecken in Bild 4). Diese zeichnen die vertikalen Beschleunigungen auf, die von der Schiene direkt auf das Rad übertragen werden. Damit werden Unregelmäßigkeiten in der Gleislage und Schäden des Schienenkopfs, z.B. Höhenfehler oder Verriffelung, von den Sensoren aufgezeichnet.

Zwei weitere Beschleunigungsaufnehmer sind an der rechten und linken Seite des Drehgestellrahmens, über dem führenden Radsatz befestigt (mit gelben Kreisen in Bild 4 markiert). Sie zeichnen Beschleunigungen in der Querrichtung auf und lassen somit eventuelle Richtungsfehler der Schienen oder instabilen Fahrzeuglauf, gemäß EN-14363 [2], erkennen.

Die letzte Gruppe von Beschleunigungsaufnehmern ist direkt auf der Unterseite des Wagenkastens eingebaut und

misst die Beschleunigungen in allen drei Hauptrichtungen. Da diese beinahe die gleiche Beschleunigung wie die Passagiere erfahren, kann man anhand ihrer aufgezeichneten Daten einen Komfortindex (Ride Quality Index – RQI) gemäß EN-12299 [3] bestimmen. Eine Erhöhung des RQI über die Zeit würde eine Verschlechterung der Streckenqualität bedeuten und somit eventuelle Verschlechterungen bestätigen, die von anderen Sensoren gemessen wurden.

Der Primärfederweg wird mit vier potentiometrischen Wegaufnehmern gemessen. Diese sind in allen vier Quadranten des ausgerüsteten Drehgestells jeweils am Achslager und am Rahmen befestigt, wie in Bild 4 schematisch dargestellt. Die Gleisverwindung lässt sich so anhand des Federwegs ermitteln. Hinter dem Messdrehgestell ist ein optisches Messsystem zur Erfassung der Spurweite eingebaut. Dieses System bietet auch die Möglichkeit, Schienenprofile aufzuzeichnen.

Die oben dargestellten Sensoren bilden insgesamt ein System für das Erfassen der Gleislage und die Interaktion zwischen Zug und Schiene. Um diese Daten der Infrastruktur zuordnen zu können, ist auch ein System für die genaue Lokalisierung des Fahrzeugs nötig. Dieses wird im Folgenden dargestellt.

Für das Lokalisieren im offenen Gelände ist der Zug mit einem GPS-System ausgestattet (als grünes Fünfeck in Bild 4 dargestellt). Da das U-Bahn-Netz aber Großteils unterirdisch oder durch dicht bebaute Stadtgebiete verläuft, steht der GPS-Empfang nur lückenhaft zur Verfügung. Daher lässt sich das GPS in diesem Fall nicht als zuverlässiges Hauptlokalisierungssystem nutzen.

Stattdessen wird die Verortung der Daten durch Synchronisation anhand der Streckenkrümmung sichergestellt. Dazu werden die Fahrzeuggeschwindigkeit und die Drehrate um die Fahrzeughochachse benötigt. Aus diesen Signalen lässt sich das horizontale Krümmungsprofil der Strecke ermitteln. Dieses Profil wird letztendlich mit einem Katalog von nominellen Krümmungsprofilen, den unterschiedlichen Bahnstrecken entsprechend, kreuzkorreliert, um die aktuell befahrene Bahnstrecke zu identifizieren. Die Kreuzkorrelation ergibt zudem eine „Phasenverschiebung“ Δx , mit der man die gemessenen und nominellen Krümmungssignale „synchronisieren“ und somit den Zug

im aktuellen Streckenabschnitt genau lokalisieren, bzw. die Messdaten dementsprechend verorten kann, wie in Bild 5 dargestellt.

4 Lokalisierung und Verarbeitung der Sensordaten

Wenn das Fahrzeug im Einsatz ist, generieren die eingebauten Sensoren einen stetigen Strom an Rohdaten, der einem täglichen Volumen von drei bis fünf Gigabytes entspricht, je nachdem wie lange der Zug an einem gegebenen Tag im Einsatz ist. Diese Daten werden Sporveien für die interne Weiterverarbeitung sowie das Zusammenstellen mit Daten von anderen instrumentierten Infrastrukturkomponenten direkt zur Verfügung gestellt.

Zusätzlich dazu wird der Datenstrom an die Server von PJM abgezweigt, wie schematisch dargestellt in Bild 6. Mit einem vom PJM entwickelten Algorithmus werden so jede Nacht während des Stillstands des Fahrzeugs die relevanten Qualitätsindikatoren aus den tagsüber erfassten Rohdaten bestimmt. Die prozessierten Daten liegen nach Abschluss der Aufbereitung als wegbasierte Daten vor und sind bereits den jeweils befahrenen Infrastrukturabschnitten zugeordnet. Somit lassen sich Veränderungen der Signale bzw. Qualitätsindikatoren über die Zeit einfach verfolgen und daraus auch Planungen für zukünftig notwendige Instandhaltungsmaßnahmen ableiten.

Eine Auswahl der verarbeiteten Messergebnisse ist in Bild 7 dargestellt. Die gezeigten Messgrößen sind, von oben nach unten: Die Geschwindigkeit (i), die horizontale Streckenkrümmung (ii), die Verwindung auf 2 Meter-Basis (iii), die Spurweite (iv), die vertikale Beschleunigung an den Achslagern quadratisch gemittelt auf 10 Meter-Basis (v), die Querschleunigung am Drehgestellrahmen, gefiltert und gemittelt nach EN 14363 [2] (vi) sowie die Komfortindizes in vertikaler, Quer- und Längsrichtung (vii). Die gepunkteten Linien im unteren Bereich entsprechen den Grenzwerten eines hohen, mittleren und niedrigen Passagierkomforts, in Anlehnung an EN 12299 [3].

5 Ausblick

Mit der abgeschlossenen Implementierung und Inbetriebnahme des Systems zur Überwachung des Zustands der Schie-

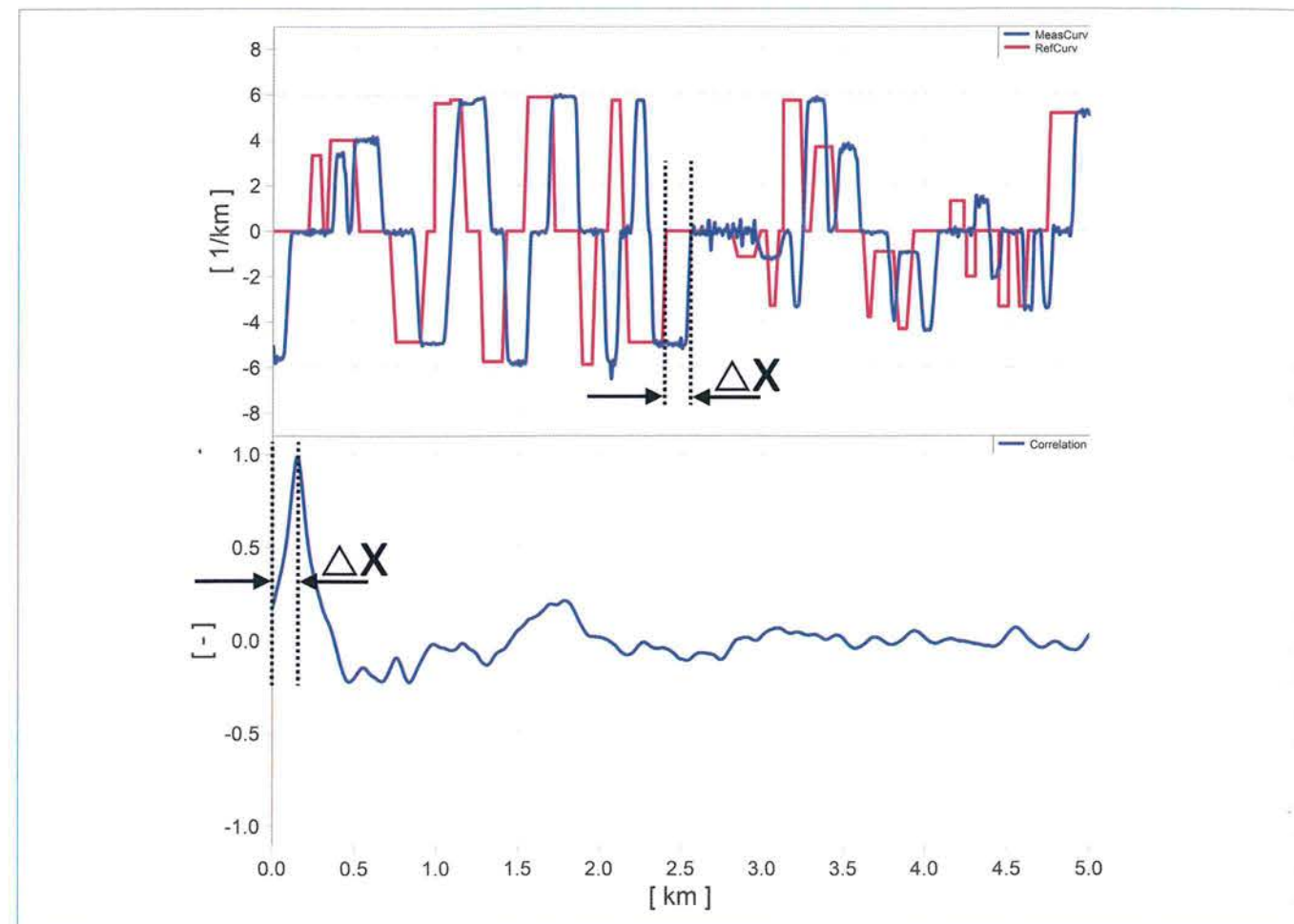


Bild 5: Nominelle und gemessene Krümmungsprofile (oben), Kreuzkorrelation der Krümmungsprofile (unten)

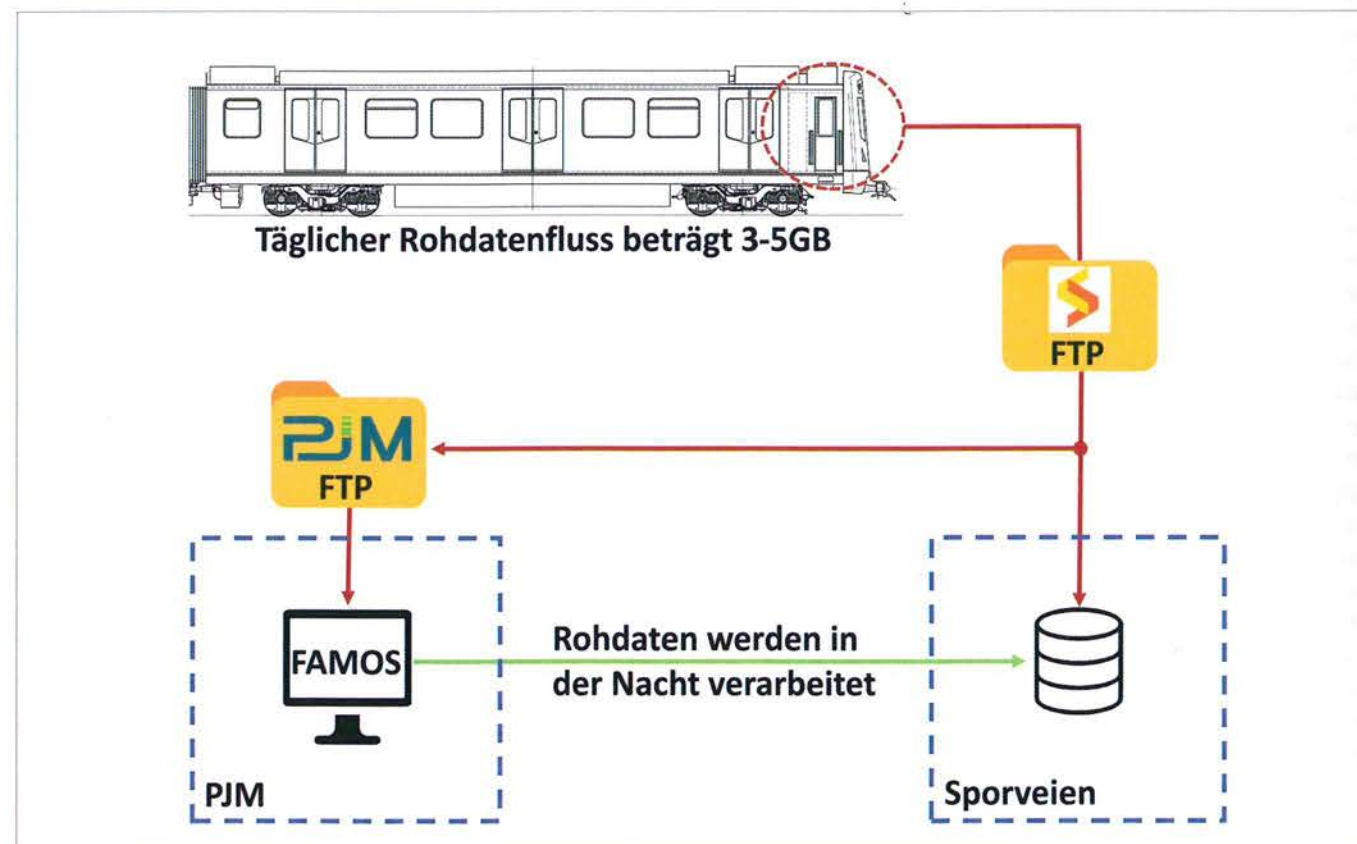


Bild 6: Schematische Darstellung des Datenflusses

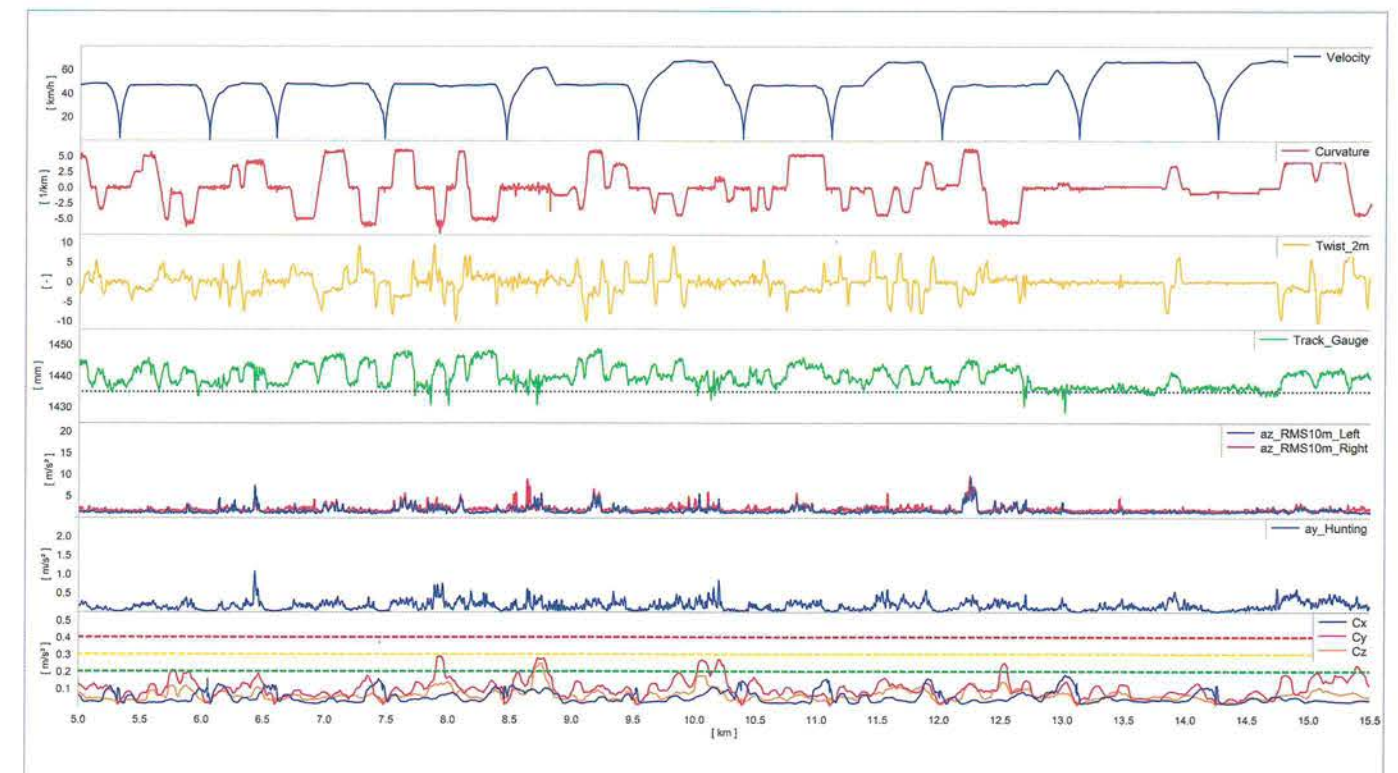


Bild 7: Auswahl der Prozessierten Dateien vom Schienenüberwachungssystem

neninfrastruktur kommen PJM und Sporveien in die nächste Projektphase. Dabei wird PJM das System weiterhin betreiben. Aufbauend auf die Erfahrungen im laufenden Betrieb, wird das System auf die Bedürfnisse von Sporveien als Metro-Betreiber noch weiter zugeschnitten. Dazu zählt die Implementierung eines automatischen Frühwarnsystems für Verschlechterungen der Streckenqualität sowie die Berechnung von weiteren Qualitätsindikatoren basierend auf bereits erfassten Daten oder neu hinzugefügten Sensoren. Vor allem die Resultate aus ständiger Analyse der kontinuierlich wachsenden Datenbasis versprechen interessante Einblicke und liefern dem Betreiber wertvolle Informationen zur Infrastruktur.

(Bildnachweis: 1, https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Oslo_Metro_Map.svg; 2, https://en.wikipedia.org/wiki/List_of_Oslo_Metro_stations; 3, 4, 5, 6 und 7, Håkon Line / PJM)



Håkon Line, (M.Sc.) (32), Studium Energie- und Umwelttechnik an der Technisch-Naturwissenschaftlichen Universität Norwegens (NTNU). Seit 2018 bei PJM Messtechnik GmbH im Bereich Simulation und Datenanalyse tätig.

#575_A2

Anschrift: PJ Messtechnik GmbH, Waagner Biro Straße 125, 8020 Graz, Österreich;
E-Mail: line@pjm.co.at



Dipl.-Ing. Lorenz Pietsch (35), Studium Wirtschaftsingenieurwesen-Maschinenbau (Schwerpunkt Energie und Umwelttechnik) an der Technischen Universität Graz. Seit 2007 bei PJ Messtechnik GmbH im Bereich Simulation und Datenanalyse tätig.

Anschrift: PJ Messtechnik GmbH, Waagner Biro Straße 125, 8020 Graz, Österreich;
E-Mail: pietsch@pjm.co.at

Literatur

- [1] <https://ruter.no/globalassets/dokumenter/aarsrapporter/ruter-arsrapport-2017-korr.pdf>
- [2] EN 14363, Bahnanwendungen – Fahrtechnische Prüfung für die fahrtechnische Zulassung von Eisenbahnfahrzeugen – Prüfung des Fahrverhaltens und stationäre Versuche (2017)
- [3] EN 12299, Bahnanwendungen – Fahrkomfort für Fahrgäste – Messung und Auswertung (2009)
- [4] <https://www.imc-tm.de/produkte/messtechnik-software/imc-famos/>