

DyMo-FL

Dynamic Monitoring of Freight Load

| | | | |
|---------------------------------|--|------------------------|---------------|
| Programm / Ausschreibung | Mobilität der Zukunft, Mobilität der Zukunft, MdZ - 18. Ausschreibung (2021) PM, System Bahn | Status | abgeschlossen |
| Projektstart | 01.09.2022 | Projektende | 31.08.2025 |
| Zeitraum | 2022 - 2025 | Projektlaufzeit | 36 Monate |
| Keywords | efficiency-improvement, load-monitoring, model-based-systems, self-calibrating | | |

Projektbeschreibung

Die Bedeutung der Bahn als umweltfreundlicher Verkehrsträger stellt das Rückgrat künftiger Mobilitätsdienste dar. Der Anteil des Schienengüterverkehrs am Gesamtgüterverkehr soll sich bis 2025 von aktuell 31 % auf 40 % steigern. Für die Schiene prädestinierte Transportmaterialien wie Holz oder Schüttgut gelten jedoch als „schwierig“, da sie aufgrund der unterschiedlichen Dichte nicht nach Volumen beladen werden können. Das Ladegewicht kann vom Ladepersonal daher aktuell gerade einmal grob geschätzt werden. Das Potential der automatischen Ladegewichtsüberwachung im Güterverkehrsbereich ist bei weitem noch nicht ausgeschöpft und es gibt lediglich eine Lösung am Markt, die jedoch eine zu hohe Ungenauigkeit aufweist und hohen Kosten in der Montage und Kalibrierung verursacht. Die vorgesehenen Forschungstätigkeiten im Projekt DyMo-FL tragen zur Schaffung eines neuartigen Konzepts zur effizienten Gewichtsbestimmung beim Ladeprozess im Schienenverkehr (speziell im Schienengüterverkehr) bei. Da der Verladeprozess am Anfang einer logistischen Prozesskette steht, kommt diesem Teil eine besondere Bedeutung zu. Der Innovationsgehalt liegt, neben der Ausstattung und Langzeiterprobung innovativer Telematik- und Sensorik-Systeme, in der Erforschung und Anwendung von physikalischen Modellen zur automatisierten Ladegewichtsbestimmung und findet hier zum ersten Mal Anwendung. Die optimale Ausnützung der maximalen Ladekapazität wird erforscht und eine automatisierten Ladegewichtsbestimmung mit einer Genauigkeit von 98 %, bei dynamischer Kalibrierung, als Ziele gesetzt. Davon profitieren das Ladepersonal, Wagenhalter und Kunden. Logistiker gewinnen dadurch Sicherheit gegenüber einer Ausreihung und können auf aktuelle Messwerte referenzieren. In Zukunft wird es ebenfalls dazu beitragen einen digitalen Frachtbrief, basierend auf Echtzeitdaten, zu generieren. Darüber hinaus trägt ein maximal beladener Zug zu einer verbesserten Effizienteren und Erhöhung der Transportleistung bei.

Abstract

Rail is an important backbone green mobility services now and in the future. The share of rail freight in total freight transport is expected to increase from the current 31 % to 40 % by 2025. This will require further incentives in the areas of digitization as well as an increase in capacity. However, transport materials that are predestined for rail, such as wood or bulk goods, are considered "difficult" because they cannot be loaded by volume due to their different densities. The loading weight can therefore currently only be roughly estimated by the loading personnel. The potential of automatic load weight monitoring in

the freight transport sector is far from being exhausted and there is only one solution on the market, which, however, is too inaccurate and incurs high costs in installation and calibration. The envisaged research activities contribute to the creation of a novel concept for efficient weight determination in the loading process in rail transport (especially in rail freight transport). Since the loading process is at the beginning of a logistic process chain, this part is of special importance. In addition to the equipment and long-term testing of innovative telematics and sensor systems, the innovative content lies in the research and application of physical models for automated load weight determination and is applied here for the first time. The optimal utilization of the maximum loading capacity is the goal, which aims at an automated load weight determination with an accuracy of 98 % under dynamic calibration. There will be a direct benefit for loading personnel, wagon owners and customers. Rail logistic companies will gain security against out-sequencing at checkpoints and will be able to refer to current loading values. In the future, it will also help generate a digital waybill based on real-time data. In addition, a maximally loaded train contributes to improved efficiency and increased transport performance.

Endberichtkurzfassung

Projekt DyMo-FL – Dynamic Monitoring of Freight Load

Im Schienengüterverkehr ist die genaue Masse der geladenen Güter oft unbekannt, insbesondere beim Holztransport, da das Gewicht stark von Holzart und Feuchtigkeitsgehalt abhängt. Die Gewährleistung der Sicherheit durch Vermeidung von Überladung ist entscheidend; zugleich soll jedoch eine möglichst hohe Auslastung erreicht werden. Derzeit hängt das Beladen von der Erfahrung des Personals ab, dessen Zahl abnimmt, während die Effizienzanforderungen steigen. Mit der zunehmenden Digitalisierung des Schienengüterverkehrs werden Ladezustandsüberwachung und Flottenmanagement immer wichtiger, um den Betrieb zu optimieren.

Die meisten Wagen verfügen über keine bordeigenen Wiegesysteme und müssen zur Verwiegung auf stationäre Brücken gefahren werden – ein zeitaufwändiger Prozess. Systeme mit Dehnungsmessstreifen an Drehgestellen werden derzeit getestet, stoßen jedoch auf Probleme wie Temperaturempfindlichkeit, Kalibrierung, Drift, begrenzte Genauigkeit und fehlende Erkennung von Lastverschiebungen während der Fahrt.

Um diesen Herausforderungen zu begegnen, sind neue Methoden zur Schätzung der Wagenmasse erforderlich. Daraus ergibt sich die Forschungsfrage im Projekt DyMo-FL – Dynamic Monitoring of Freight Load: Lässt sich die Masse eines Güterwagens aus seinem dynamischen Verhalten während der Fahrt bestimmen?

Bisherige Studien nutzen modellbasierte Parameterschätzung zur Zustandsüberwachung und Fehlererkennung, meist bei Personenwagen mit bekannten Federungsparametern. Für Güterwagen sind diese Ansätze weniger geeignet, da sie keine Luftfederung besitzen und größere Massenunterschiede aufweisen. Im Gegensatz zu Straßenfahrzeugen fehlen zudem Sensoren wie Motordrehmomentmessungen, sodass alternative Verfahren zur Massenschätzung erforderlich sind.

In dieser Arbeit wird ein modellbasierter Ansatz vorgestellt, um die beladene Masse von Güterwagen zu schätzen. Die Masse wird als Zustandsgröße betrachtet und mithilfe eines nichtlinearen Zustandsbeobachters, dem Unscented Kalman Filter (UKF), geschätzt. Der UKF ermöglicht die Bestimmung nicht gemessener Zustände durch die Kombination von Modellvorhersagen und Messdaten.

Für die Entwicklung des Schätzalgorithmus wird ein vereinfachtes Fahrzeugmodell verwendet, dessen Bewegungsgleichungen analytisch hergeleitet werden können. Zur Parametrierung und Validierung dieses Modells dient ein 3D-Mehrkörpersimulationsmodell (MKS) des Wagens, das mit Messdaten aus einem realen Versuch auf einer Teststrecke validiert wird. Diese Daten werden zudem zur Überprüfung der Massenabschätzung unter realistischen Bedingungen genutzt.

Messkampagne:

Ein Güterwagen des Typs SNPS wurde mit Sensoren zur Erfassung seines dynamischen Verhaltens ausgestattet. Dazu gehörten Beschleunigungssensoren, eine IMU im Wagenkastenzentrum, Seil- und Linearpotentiometer an der Federung sowie ein GNSS-Modul zur Positions- und Geschwindigkeitsbestimmung. Die Daten wurden über ein batteriebetriebenes Datenerfassungssystem lokal aufgezeichnet.

Validierung und Integrationskonzept:

Im Block virtuelle Messfahrt samt Massenschätzung mit realen Messdaten zeigt die Studie, dass die Wagenkastenmasse aus den Fahrzeugdynamiken während der Fahrt geschätzt werden kann. Simulationen mit idealen Daten und bekannten Parametern liefern sehr genaue Ergebnisse mit Fehlern unter 1 %. Obwohl die Konvergenz des Beobachters bei höherer Beladung abnimmt, bleiben die Schätzungen stabil und unabhängig von den Anfangsbedingungen.

Bei Anwendung auf reale Messdaten sinkt die Genauigkeit aufgrund von Rauschen, unbekannten Parametern und nicht modellierten Störeinflüssen. Längere Messzeiten erhöhen die Stabilität, dennoch können Abweichungen von bis zu 4500 kg bei halber Beladung und etwa 2000 kg ($\approx 3\%$) bei voller Beladung betragen.

Im Rahmen der Verifikation und Validierung der Forschungsergebnisse wurden ebenfalls mehrere reale Testphasen durchlaufen, um die Wirksamkeit der implementierten Verbesserungen zur Erhöhung der Genauigkeit, auch in Anbetracht wirtschaftlicher Rahmenbedingungen, zu prüfen und zu bewerten.

Weitere Forschung ist erforderlich, um ungültige Signalbereiche zu identifizieren und auszuschließen sowie Indikatoren zu entwickeln, die automatisch anzeigen, wenn die Parameterschätzung ihre Grenzen erreicht.

Abschließend wurde auf Basis der Validierungserkenntnisse ein detailliertes Integrationskonzept für die betriebliche Einführung einer automatisierten Systemlösung bei der Steiermarkbahn Transport und Logistik GmbH (StB TL) erarbeitet. Das Hauptziel ist es, die Sicherheit des Bahnbetriebs zu gewährleisten, indem die neue automatisierte Lösung in das bestehende Sicherheitsmanagementsystem (SMS) des Eisenbahnunternehmens integriert wird. Die manuelle Bedienung, die das System ersetzen soll, wird dabei nicht vollständig abgeschafft, sondern bleibt als Rückfallebene erhalten. Das neue automatisierte System soll betrieblich und technisch als gleichwertig zur manuellen Durchführung der Ladegewichtsbestimmung angesehen werden und orientiert sich an verschiedenen rechtlichen Rahmenbedingungen und Regelwerken.

Projektkoordinator

- Virtual Vehicle Research GmbH

Projektpartner

- PJ Monitoring GmbH
- Steiermarkbahn Transport und Logistik GmbH