

Nutzdauervorhersage von Leistungselektronik in Stadtbahnen

Dr. Stefan Münch, Dr. Darshankumar Bhat, Dr. Mathias Käso, Dr. Mike Röllig, Prof. Constanze Tschöpe

Motivation – ÖPNV durch Digitalisierung stärken!

Das Ziel des Projekts LRVtwin ist die Akzeptanzsteigerung des ÖPNV durch Verbesserung der Fahrzeugzuverlässigkeit bei gleichzeitiger Reduktion von Wartungskosten. Dafür wurde je ein Flottenverband in Dresden und Leipzig zur Überwachung digitalisiert. Exemplarisch für das komplexe Gesamtsystem Stadtbahn wurden die ausfallrelevanten Komponenten Rad, Türantrieb, Leistungselektronik und Schiene untersucht. Das Fraunhofer IKTS entwickelte im Projekt die Nutzdauervorhersage (Predictive Maintenance) des Inverters für die elektrischen Antriebsmotoren.

Methode – Referenzbahnprinzip

Eine Referenzbahn wurde mit umfangreicher Sensorik ausgestattet, während in weiteren 19 Standardbahnen die bereits vorhandene Sensorik zugänglich gemacht wurde. Durch Methoden des Machine Learnings (ML) erfolgten Korrelationen zwischen Referenzbahn und Standardbahn dank derer die wenigen in der Standardbahn erfassten Daten so aufbereitet werden können, als wären alle Fahrzeuge mit umfangreicher Sensorik ausgestattet. Der Weg zur Erlangung der ML-Modelle (Abb. 1) führt über (1) Datenerfassung, (2) Identifikation der kritischen Komponenten u. a. mithilfe virtueller Zwillinge, (3) beschleunigte Lebensdauerexperimente, (4) Datenanreicherung mit Beanspruchungen sowie Erzeugung synthetischer Daten und (5) Training, Test und Validierung des ML-Ansatzes bis zur (6) Ermittlung der Restnutzungsdauer aus erfassten Daten.

Für die Stadtbahn wurde eine Kaskadierung von 3 Modellen genutzt:

- Virtual Sensing über Long Short Term Memory (LSTM),
- Ermittlung des Schadensinkrements über ein Multilayer Perzeptron (MLP) und
- Ermittlung der Restnutzungsdauer (RUL) auf Basis des Coffin-Manson-Lebensdauermodells.

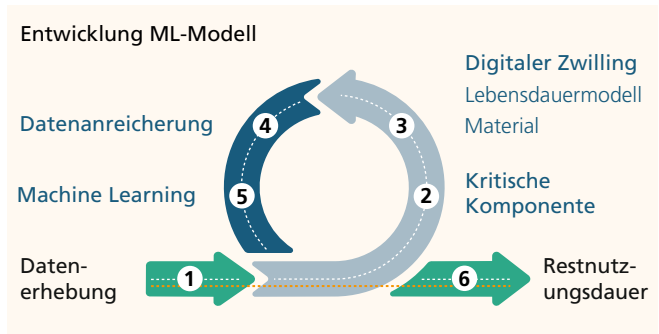


Abb. 1: Notwendige Etappen zur Entwicklung einer Nutzungsdauervorhersage für elektronische Systeme.

Ergebnisse

Im Gesamtprojekt konnte eine umfangreiche Datenverarbeitungskette von der Sensorinformation bis zum Dashboard für die Verkehrsbetriebe etabliert werden. Dabei zeigten die vom Fraunhofer IKTS für den Inverter entwickelten Modelle hohe Vorhersagegüten im Vergleich zu experimentellen Daten. Der Virtual Sensing Ansatz mittels LSTM war in der Lage, das Temperaturverhalten im Inverter mit einem quadratischen Mittelwertfehler von 1K und einem Bestimmtheitsmaß von 93 % vorherzusagen. Der gemittelte Fehler bei der Vorhersage der Schädigung der Elektronik infolge der thermischen Lasten durch das MLP betrug im Vergleich zum Referenzdatensatz lediglich ca. 5 %.

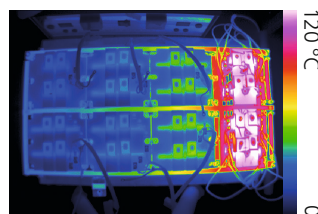


Abb. 2: Temperaturverteilung im Inverter ($T_{max} = 120 \text{ °C}$).

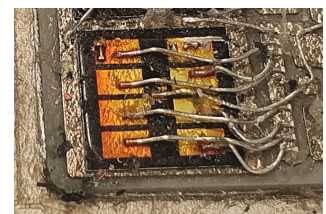


Abb. 3: Bondverdrahtung des IGBT-Moduls.

Das Projekt LRVtwin (FKZ: 19FS2012G) wurde durch das Bundesministerium für Verkehr (BMV) gefördert. Dank gilt dem Projektträger TÜV Rheinland Consulting GmbH sowie den Projektpartnern DVB AG, Estino GmbH, IFTEC GmbH, Leipziger Verkehrsbetriebe, LZS Leichtbau-Zentrum Sachsen GmbH, Robotron Datenbank-Software GmbH, SDS Schwingung Diagnose Service GmbH sowie der TU Dresden (IFKM, ILK) für die kooperative Zusammenarbeit.