



Aufrechterhaltung der Zugfahrplanstabilität durch digitalisierte Unterhaltsplanung.

Es ist eine utopische Vorstellung des zukünftigen Schienenverkehrs, eine reibungslose Beförderung der Züge und somit der Fahrgäste und Güter vom Ausgangspunkt zum Zielort zu gewährleisten. Störungen im Reiseverkehr werden durch den Einsatz von Überwachungstechnologien vorhergesehen und entweder durch die Umsetzung eines detaillierten Handlungskonzepts verhindert oder ihre Folgen durch eine reibungslose Umleitung von Zügen beseitigt. Eingriffe in die Infrastruktur, sei es die Erneuerung von Gleisen oder der Ausbau von Bahnhöfen, werden in genau zugewiesenen Zeitfenstern in den Zugfahrplänen durchgeführt. Die Fahrpläne werden stabil sein und die Nutzung der Fahrplanreserven maximiert. Das ETH Forschungsprojekt STABILITY unter der Leitung von Prof. Dr. Bryan Adey entwickelt Tools, die einen kleinen Schritt zur Verwirklichung des letzten Teils dieser Zukunft durch die Digitalisierung des Unterhaltsplanungsprozesses beitragen.

Ziel des ETH Forschungsprojekts STABILITY.

Das Forschungsprojekt STABILITY hat als Hauptziel, den Stand der Technik und die Praxis durch den Vorschlag eines angepassten Unterhaltsplanungsprozesses zu verbessern, der auf massgeschneiderten digitalen Tools aufbaut. Bei der Entwicklung des Prozesses wird darauf geachtet, wie und wann Ideen für mögliche Änderungen am Schienennetz, anlagenspezifische Instandhaltungsmassnahmen, Bau- und Unterhaltspläne sowie spezifische Projektpläne entwickelt werden. Eine besondere Aufmerksamkeit wird der Tatsache gewidmet, dass sich der Planungsprozess in der Regel über 20 Jahre erstreckt. Dies beinhaltet zahlreiche Interaktionen zwischen verschiedenen Akteuren und erfordert die Fähigkeit, Entscheidungen auf der Grundlage von Informationen zu treffen, die anfangs unsicher sind und im Laufe der Zeit immer sicherer werden.

Verbesserung in drei Schritten.

Um das Ziel zu erreichen, versucht STABILITY den Prozess der Unterhaltsplanung in drei wesentlichen Punkten zu verbessern.

- Der erste Punkt besteht darin, die Fähigkeit des Anlagenmanagers zu optimieren.
 - Dies soll erreicht werden, indem die Instandhaltungsmassnahmen, die in bestimmten Zeitfenstern erforderlich sind, schnell und genau abgeschätzt werden können. Dabei gilt es zu berücksichtigen, dass die unterschiedlichen Anlagentypen mit all ihren verschiedenen Informationen des Anlagen-LifeCycle einkalkuliert werden sowie dem Risiko, die Massnahmen nicht in den vorgegebenen Zeiträumen durchzuführen. Der Lösungsansatz basiert auf der Verwendung der wahrscheinlichkeitstheoretischen Methode von Bayes'schen Netzen. Die grösste Herausforderung besteht darin, die verfügbaren heterogenen Informationen optimal zu nutzen und sie mit Expertenmeinungen zu kombinieren, um möglichst genaue Vorhersagen treffen zu können.
- Der zweite Punkt besteht darin, eine solide Grundlage zu entwickeln und das unter dem ersten Punkt genannte Modell weiterzuentwickeln, indem es möglich werden soll,
 - Vorhersagen für alle Anlagen zu treffen. Zudem soll es möglich werden, die räumliche und zeitliche Korrelation der Datenwerte auszunutzen und die erforderlichen Eingriffe so genau wie möglich schätzen zu können. Hierzu wird die Verwendung von multivariaten Kriging-Verfahren angewendet. Die grösste Herausforderung besteht darin, die zeitlichen und räumlichen Korrelationen zu ermitteln, um die fehlenden Werte zu ersetzen, die für die Schätzung künftiger Eingriffe erforderlich sind.
- Der dritte Punkt soll die Fähigkeit verbessern, effizient und effektiv Bau- und Unterhaltspläne für anstehende Arbeiten zu entwickeln, und zwar von frühen Plänen, bei denen erst
 - allgemeine Vorstellungen über erforderliche Eingriffe und Intervalle existieren, bis hin zu fortgeschrittenen Plänen, bei denen genaue Vorstellungen über erforderlichen Eingriffen und Intervalle bestehen. Ein wichtiger Bestandteil dieser Lösung ist die Verwendung von gemischt-ganzzahligen linearen Programmiermodellen oder Heuristiken. Die grösste Herausforderung ist der Umgang mit der Dynamik und der zunehmenden Gewissheit, die mit den Informationen im Laufe der Zeit verbunden ist.

Zum Abschluss von STABILITY wird aufgezeigt, wie der angepasste Unterhaltsplanungsprozess funktionieren könnte, indem er zur Planung von Eingriffen in bestimmten Zeitfenstern auf der Bahnstrecke zwischen Zollikofen und Brugg eingesetzt wird. Es wird erwartet, dass der angepasste Prozess sowohl in Bezug auf die Effektivität als auch auf die Effizienz Vorteile bringt. Die Effektivität wird dabei anhand der Unterhaltskosten und der Betriebsstörungen gemessen, die Effizienz anhand der für die Planung erforderlichen Personenstunden. Bei erfolgreichem Projektabschluss soll es für die SBB Infrastruktur möglich werden, effizientere und genauere Abschätzungen der erforderlichen Eingriffe auf Bahnstrecken für Brücken und Gleise vornehmen zu können sowie effizientere und genauere Vorschläge für die Abfolge der Eingriffe in bestimmten Zeiträumen auszuarbeiten, welche die Abwägung zwischen Unterhaltskosten und Auswirkungen auf den Betrieb verdeutlichen. Diese Änderungen sollen dazu beitragen, dass die SBB ihren Kunden weiterhin einen hervorragenden Service zu niedrigen Kosten bieten kann.

STABILITY ist im Januar 2021 gestartet und wurde im Rahmen der Mobilitätsinitiative lanciert. Im ersten Jahr hat das Forschungsteam der ETH Fortschritte beim Verständnis des SBB-Unterhaltsplanungsprozesses, bei der Ermittlung der Situation, in der die vorgeschlagenen Modelle am besten eingesetzt werden können und bei der Entwicklung aller drei Modelle erzielt. Die Imputation fehlender Werte in Zustandsdaten wurden anhand von Strassendaten und aggregierten Eisenbahndaten durchgeführt. Die Vorhersage des zukünftigen Zustands von Infrastrukturanlagen wurde durch die Verwendung verfügbarer Daten für Brücken und Brückenkomponten vorangetrieben. Die Entwicklung eines geeigneten Modells zur Bestimmung der Abfolge der Eingriffe und der Intervalle, die in festen Zeitfenstern zu verwenden sind, erfolgte unter der Annahme, dass die erforderlichen Informationen verfügbar und homogen sind. Darüber hinaus hat das Forschungsteam dieses Modell verwendet, um die Auswirkungen von Streckensperrzeiten auf die Kosten und den Service auf einer Eisenbahnverbindung zu demonstrieren.

Die Meilensteine von STABILITY sind wie folgt:

31.12.2021

1. Demonstration der Verwendung des multivariaten Kriging-Verfahrens zur Vervollständigung fehlender Werte in Daten über den Zustand des

- Name des Projekts:
"Maintaining train schedule STABILITY and managing time table reserves via digitalized railway intervention planning".
- Programm Start: 01.01.2021
- Programm Ende: 31.12.2023

- Schieneverkehrs unter Ausnutzung räumlicher und zeitlicher Korrelationen.
2. Demonstration des Modells Vorhersage der künftig erforderlichen Eingriffe an der Aarebrücke mit Hilfe von Monte-Carlo-Simulationen.
- 30.06.2022
3. Entwicklung des Modells mit Bayes'schen Netzen zur Vorhersage der Verschlechterung der Bauteile der Aarebrücke anhand einer Reihe von möglichen Indikatoren.
 4. Demonstration des Einsatzes der Benders-Zerlegung Methode zur Beschleunigung der Optimierungsalgorithmen, die für die Suche nach optimalen Eingriffssätzen in einer statischen Datenumgebung verwendet werden.
 5. Demonstration eines Modells zur Vorhersage der künftig erforderlichen Eingriffe auf einem Streckenabschnitt zwischen Zollikofen und Brugg.
- 31.12.2022
6. Demonstration der Imputation fehlender Werte in Brückenzustandsdaten unter Ausnutzung räumlicher und zeitlicher Korrelationen.
 7. Ermittlung des optimalen Interventionsprogramms für die Bahnlinie Zollikofen - Brugg in einer statischen Datenumgebung.
 8. Demonstration des Modells mit Bayes'schen Netzen zur Vorhersage der Verschlechterung von Gleiskomponenten.
- 30.06.2023
9. Demonstration des Einsatzes eines Algorithmus zur dynamischen Planung von Eingriffen auf der Bahnstrecke zwischen Zollikofen und Brugg, einschliesslich der Neuberechnung der genauen Aktivitäten zur Gewährleistung der Fahrplanstabilität zwischen den festgelegten Zeitfenstern.
- 31.12.2023
10. Demonstration des vorgeschlagenen Unterhaltungsprozesses, einschliesslich der erforderlichen Datenbanken, der erwarteten Informationsübermittlung und der Verwendung der entwickelten Modelle.

ETH-Team:

- Prof. Dr. Bryan T. Adey,
- Prof. Dr. Francesco Corman,
- Dr. Marcel Burkhalter,
- Dr. Saviz Moghtadernejad,
- Steven Chuo,
- Hamed Mehranfar,

SBB Support:

- Thomas Wüthrich (I-NAT-LMZ),
- Christoph Natz (I-FUB-GST),
- Sven Frei (I-AEP-GST),
- Bruno Gärtner (UE-IFI-FTO1),
- Stephan Osterwald (UE-IFI-FTO1),
- Benjamin Kuch (UE-CSG-CT1)
- Karim Daouk (I-VU-UEW-RWT),
- Urs Röthlisberger (I-NAT-LMZ),
- Mariana Roca (I-FUB-GST),
- Christof Roggli (I-NAT-KBN-SAMM),
- Markus Bertschy (I-NAT-FW-EHS),
- Raimund Helfenberger (I-NAT-FW-DMR),
- Dorothea Winklehner (I-NAT-FW-DMR),
- Manuel Grossmann (I-NAT-FW-DMR),

Kontakt für Feedbacks

- [Thomas Wüthrich](#) (I-NAT-LMZ)

Wichtige Links

- [Internetseite Institut für Bau- und Infrastrukturmanagement ETH](#)