



## **STOPFPLANUNG IM KONTEXT EINES NACHHALTIGEN ANLAGENMANAGEMENTS FÜR DEN EISENBAHNFahrweg**

### **Einleitung**

Bei Stopfmaßnahmen handelt es sich um die wichtigsten Instandhaltungstätigkeiten für Gleise mit Schotteroberbau. Dabei wird die gewünschte horizontale und vertikale Gleislage wiederhergestellt und ein tragfähiges und möglichst dauerhaftes Auflager für die Schwellen geschaffen. Da sich Stopfmaßnahmen nicht nur auf die Gleislagequalität, sondern auch auf die erreichbare Nutzungsdauer auswirken, kommt deren Planung essentielle Bedeutung zu. In der Konzeption von Stopfprogrammen steigt die Bedeutung von Gleisgeometriemessdaten zwar, eine detaillierte Prognose aufgrund objektiver Messdaten wird jedoch selten vorgenommen. Zudem fehlt die Betrachtung der Auswirkung von Stopfeinsätzen auf das langfristige Gleislageverhalten sowie die Nutzungsdauer zumeist ganz. In der gegenständlichen Arbeit wird daher eine Methodik entwickelt, die eine automatisierte Stopfplanung aufgrund von Messdaten ermöglicht und dabei die Lebenszykluskosten der Gleisanlage optimiert.

### **Gleislage**

Im Rahmen der Arbeit wird eine intensive Analyse der Möglichkeiten zur Beschreibung der Gleislagequalität durchgeführt. Dabei hat sich herausgestellt, dass sich die modifizierte Standardabweichung der Längshöhe sehr gut eignet, um die Gleislage hinsichtlich einer nachhaltigen Stopfplanung zu beschreiben.

Neben der Beschreibung ist auch die Prognose der Gleislagequalität von essentieller Bedeutung, um den richtigen Zeitpunkt für eine Stopfmaßnahme zu bestimmen. Zur Prognose wurden ein lineares, ein logarithmisches sowie ein exponentielles Verschlechterungsmodell getestet, da diese in der Literatur häufig Anwendung finden. Dabei kann gezeigt werden, dass ein lineares Verschlechterungsmodell zur Prognose des nächsten Stopfeinsatzes die zuverlässigsten Ergebnisse liefert. Zudem wird ein Modell entwickelt, das es erlaubt die Gleislageparameter nach einer Maßnahme aufgrund der

wesentlichsten Einflussparameter zu bestimmen. Dabei spielen die Eingriffsqualität, die Verschlechterungsrate sowie die Anfangsqualität vor der Maßnahme sowie das Gleisalter und die Oberbauform eine essentielle Rolle. Die Ergebnisse werden in entsprechenden Tabellen geclustert und stehen für alle weiteren Auswertungen zur Verfügung.

### **Stopfstrategie**

Das Modell eröffnet in der Folge die Möglichkeit allgemeine Stopfstrategien festzulegen, sowie die optimale Eingriffsschwelle für jede spezifische Situation im Streckennetz zu berechnen. Aus den detaillierten Auswertungen lassen sich einige grundsätzliche Aussagen ableiten. Zuallererst ist anzuführen, dass die Gleislagequalität selbst kein Optimierungskriterium, sondern vielmehr eine fundamentale Eingangsgröße ist und die Anfangsqualität eine elementare Rolle spielt. Für Gleise mit schlechter Gleislagequalität ist ein korrektives Instandhaltungsregime mit konstanter Eingriffsschwelle die sinnvollste Variante. Es wäre zwar möglich die Gleislage zu verbessern, der Aufwand dafür ist jedoch unverhältnismäßig hoch. Nach oben hin wird die zu wählende Eingriffsschwelle vom schlechtesten Qualitätsniveau, das noch akzeptiert werden kann, begrenzt. Im Gegensatz dazu ist es bei Gleisen mit guter Gleislagequalität sinnvoller, ein präventives Instandhaltungsregime mit konformer Eingriffsschwelle zu etablieren. Gleise mit guter Anfangsqualität stellen in Österreich den Standardfall dar und es besteht hohes Optimierungspotenzial hinsichtlich der Wahl der Eingriffsschwelle. Hierbei ist jedoch darauf zu achten, dass es in erster Linie nicht darum geht die Gleislagequalität zu optimieren, sondern eine möglichst lange Nutzungsdauer zu generieren.

### **Algorithmus 4tamp<sup>ing</sup>**

Im Rahmen der Arbeit wird weiters der Algorithmus 4tamp<sup>ing</sup> entwickelt, der den optimalen Eingriffszeitpunkt in jedem Querschnitt ermittelt und in der Folge automatisch sinnvolle Instandhaltungslängen erarbeitet.

Der erste Schritt bei der Anwendung des Algorithmus besteht darin, entsprechende Input-Parameter wie Strecke, Gleis und gewünschter Betrachtungszeitraum zu definieren. Danach werden die benötigten Daten gefiltert und entsprechend aufbereitet. Im nächsten Schritt wird schließlich die optimale Eingriffsschwelle aufgrund der gegebenen Rahmenbedingungen für jeden einzelnen Querschnitt berechnet. Als nächstes wird eine Regressionsrechnung durchgeführt, um zu ermitteln, wann die optimale Eingriffsschwelle erreicht wird. Damit wird für jeden Querschnitt im Betrachtungsbereich der optimale Eingriffszeitpunkt für den nächsten Stopfeinsatz bestimmt. Die Berechnung wird für jeden Querschnitt separat

durchgeführt und es ergeben sich somit auch für jeden Querschnitt separate, punktuelle Ergebnisse. Da der Fahrweg der Eisenbahn jedoch ein linienförmiges Bauwerk ist und es sich bei Streckenstopfungen um linienförmige Instandhaltungstätigkeiten handelt, können aufgrund querschnittsspezifischer Ergebnisse alleine noch keine sinnvollen Maßnahmen abgeleitet werden. Vielmehr ist es notwendig die punktuellen Ergebnisse je Querschnitt zu sinnvollen Instandhaltungslängen zusammenzufassen.

Dabei werden wesentliche Randbedingungen wie technische Zwangspunkte (z.B. Brücken, Weichen, etc.), die minimale Einsatzlänge sowie die minimale Lücke zwischen zwei Einsätzen berücksichtigt. Weitere Parameter wie Kosten, Ressourcen, Sperrpausen, Trassierung oder die Eigenschaften der Stopfmaschine können zukünftig auch in das Modell einfließen.

### **Ergebnisse und Ausblick**

Die Anwendung von *4tamp<sup>ing</sup>* auf Testabschnitten und der Vergleich mit tatsächlich ausgeführten Einsätzen zeigt, dass durch die optimierte Stopfplanung eine deutliche Verlängerung der erreichbaren Nutzungsdauer und damit eine Reduktion der Lebenszykluskosten von 20% erreicht werden kann.

Die entwickelte Methodik kann in Zukunft auf weitere Instandhaltungstätigkeiten sowie die Gleiserneuerung ausgeweitet werden. Somit kann die vorliegende Arbeit als Basis für ein umfassendes Life-Cycle-Management-Tool fungieren, das verschiedenste Tätigkeiten am Eisenbahnfahrweg optimal plant und untereinander koordiniert.