

# End-to-End-Prozesse im Gleisbau

*Jan Mys*

## 1 Das Schottergleis: Lösung mit Zukunft

Das Schottergleis mit seiner langen Tradition hat sich über die Jahre als äußerst kostengünstige Lösung im Bahntransport erwiesen. In den letzten Jahrzehnten wurden zwar einige neue Bahnstrecken als schotterlose Gleise gebaut, dennoch ist der Einsatz von Gleisschotter – insbesondere bei neuen Strecken und Gleisen in Tunneln – nach wie vor aktuell und wird im Großteil des europäischen Bahnnetzwerks eingesetzt. Die Gleistechnologie wurde stetig weiterentwickelt und verbessert. Durch diesen Wissenszuwachs kann der wirtschaftliche Vorteil noch weiter ausgebaut werden.

In vielen Fällen ist das Schottergleis immer noch Standard. Einer der vielen Aspekte des Schottergleises ist seine Flexibilität, denn Gleisposition und Gleisgeometrie können leicht angepasst werden. Bahnanwendungen stellen hohe Anforderungen an die Geometrie. Dies gilt insbesondere für Hochgeschwindigkeitsstrecken, da eine adäquate und sichere Rad-Schiene-Interaktion gewährleistet sein muss. Diesen hohen geometrischen Standard zu halten, ist nicht nur für die Fahrsicherheit essenziell, sondern dadurch kann auch die dynamische Belastung am Gleis und im Unterbau kontrolliert werden. Aber sogar bei optimierter Gleiskonstruktion und akzeptablen dynamischen Belastungen führt die Flexibilität des Schottergleises und des Untergrunds zu lokalen Setzungen und einer Verschlechterung der Geometrie, die von Zeit zu Zeit korrigiert werden müssen.

Schottergleise können sich lokalen Setzungen anpassen, daher müssen keine hohen Summen in Untergrundkonstruktionen investiert werden, die Setzungen verhindern. Dies bedeutet jedoch auch, dass die Erhaltung der Gleisgeometrie bei Schottergleisen unerlässlich bleibt. Die jahrelange Erfahrung in diesem Bereich brachte effektive und effiziente Methoden für die Instandhaltung hervor. Dennoch ist klar, dass in Zukunft noch Spielraum für Optimierung und Kostensenkung besteht.

Je mehr Instandhaltungsarbeiten durchgeführt werden, umso mehr verschlechtert sich das Gleis. Eine effiziente Gleisinstandhaltung führt daher zu einer längeren Gleislebensdauer bei optimalen Lebenszykluskosten. Unser oberstes Ziel ist daher Zugbetrieb bei möglichst geringen Kosten.

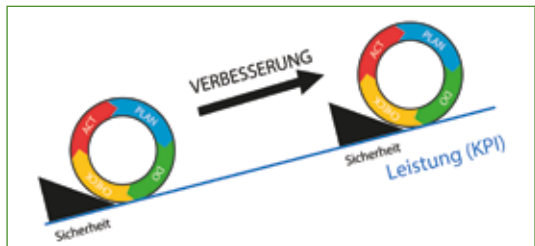
Der Lebenszyklus wird durch Verbesserungen des gesamten Instandhaltungsprozesses optimiert, nicht durch den Fokus auf einzelne Aspekte innerhalb des Prozesses.

## 2 Gleisstandhaltung als kontinuierlicher Demingkreis

### 2.1 Große und kleine Kreise

Die meisten Strecken im europäischen Eisenbahnnetz sind über 100 Jahre alt. Die Gleise wurden zwar adaptiert und erneuert, in Teilen des Unterbaus sind jedoch noch Elemente der historischen Konstruktion erhalten. Werden die Gleise am Ende ihres Lebenszyklus erneuert, geschieht dies nach dem letzten Technologie- und Wissensstand. Dadurch sind die aktuellen Gleise viel leistungsfähiger und wirtschaftlicher als die historischen Strecken. Der Fortschritt hört nie auf. Darin erkennen wir einen kontinuierlichen Verbesserungsprozess, den Deming entwickelt und auf die Autoindustrie angewandt hat. Die Grundidee liegt in der kontinuierlichen Verbesserung jedes am Prozess beteiligten Schritts (Abb. 1).

Die Verbesserungen können geringfügig sein und auf die Optimierung eines kleinen Prozessschritts abzielen. Gleichzeitig sollte man den ganzen Prozess betrachten und nach Möglichkeiten suchen, um den gesamten Lebenszyklus zu verbessern. Dabei spricht man vom großen Kreis und den kleinen Kreisen. Deming unterstreicht die Bedeutung eines systematischen Ansatzes: Verbesserungen werden im Laufe der Zeit erreicht, um konstante Qualitätssteigerungen über die Zeit hinweg zu gewährleisten.



**Abb. 1:** Der Demingprozess – kleine und große Kreise

Quelle: Plasser & Theurer

### 2.2 Verbesserung des traditionellen Gleisstandhaltungsprozesses

Dasselbe Prinzip gilt für den Gleisstandhaltungsprozess und hat sich in der Vergangenheit als erfolgreich erwiesen. Dessen Optimierung erlaubt es, die Gleisleistung durch die Reduktion von Instandhaltungszyklen zu steigern. Ein Überblick über die Zahl des an der Gleisstandhaltung des belgischen Bahnnetzes beteiligten Gleispersonals veranschaulicht den kontinuierlichen Verbesserungsprozess. Die Instandhaltungskosten konnten nachhaltig gesenkt werden.

Neben dem Schwerpunkt Kostensenkung wurde auch die Gleisqualität nachhaltig verbessert. Der Graph in Abb. 2 zeigt die Entwicklung der Gleisgeometrie im belgischen Bahnnetz über die letzten Jahrzehnte.

Verschiedene Aspekte liegen dieser Entwicklung zugrunde. Die Netzwerkgestaltung wurde nachhaltig optimiert. Die Anzahl an Fahrgästen blieb nach einem Rückgang am Ende des letzten Jahrhunderts weitgehend konstant (Abb. 3).

Prozesse wurden im großen Maßstab automatisiert. Durch die Einführung von Großmaschinen für die Schwerarbeit wurde die Qualität im Stopfprozess und bei Gleiserneuerungen verbessert.

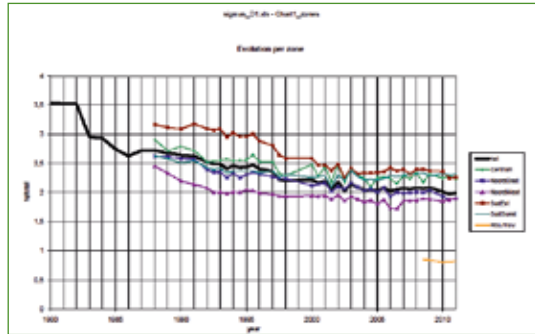
Die technologische Entwicklung bei Gleiskomponenten ist auch eine der Triebkräfte für die Optimierung des Lebenszyklus. Langverschweißte Schienen haben die Instandhaltungsanforderungen in der Vergangenheit drastisch verringert. Doch auch heute erfordern moderne Weichen weniger Instandhaltungsarbeit als althergebrachte Technologien und haben sich auch als zuverlässiger erwiesen. In jüngster Zeit hat die Einführung von Schwellenbesohlungen den Gleisinstandhaltungsbedarf gesenkt und die Lebensdauer des Gleises insgesamt verlängert.

All diese Verbesserungen haben eines gemeinsam: Sie optimieren den End-to-End-Prozess, indem sie unterschiedliche Aspekte des Prozesses fokussieren, ganz im Sinne des Grundgedankens des Demingkreises.

### 2.3 Asset-Management als großer Demingkreis

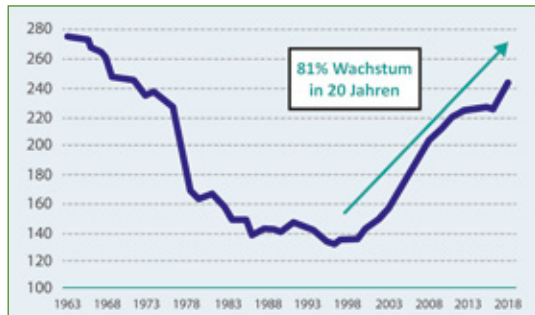
Ein kurzer Blick in die Geschichte zeigt, dass alle Aspekte des Lebenszyklus verbessert wurden. Ähnlich dazu zielen die Prinzipien des Asset-Managements auf den gesamten Systemprozess ab. Instandhaltungsmanagement optimiert eher den betriebsmäßigen Teil des Systemlebenszyklus, während das Asset-Management auf die Optimierung des End-to-End-Prozesses abzielt. Dies reicht von den Systemanforderungen bis hin zum Aus- und Abbau des Systems (Abb. 4).

Schon die altgedienten Gleisbauexperten wussten, dass man die beste Gleisinstandhaltung durch eine optimale Gleiskonstruktion erhält. Alle Aspekte der Qua-



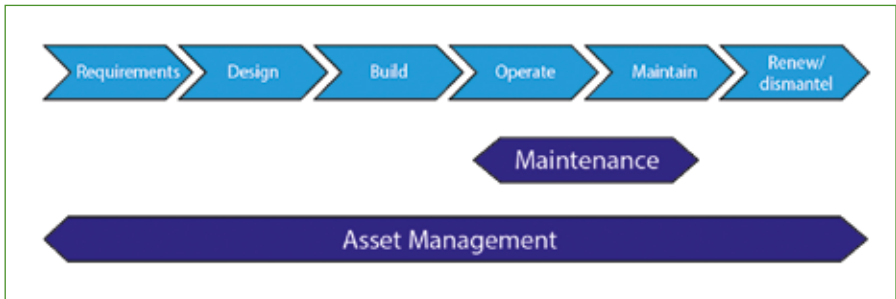
**Abb. 2:** Die Entwicklung der Gleisqualität im Laufe der Zeit

Quelle: Infrabel



**Abb. 3:** Die Entwicklung der Fahrgastzahl in Belgien

Quelle: Plasser & Theurer


**Abb. 4:** Instandhaltungsmanagement vs. Asset-Management

Quelle: Plasser &amp; Theurer

lität sind wichtig, um einen optimalen Lebenszyklus zu erreichen. Dies beginnt beim Entwurf einer kraftbegrenzenden Konstruktion, indem die Grenzwerte für Streckenkonstruktionen berücksichtigt werden. Eine sogenannte konservative Konstruktion sorgt nicht nur für ein angenehmes Fahrerlebnis, sondern reduziert auch die dynamischen Kräfte, die ins Gleis geleitet werden, sowie die Verschlechterung der Gleisgeometrie und der Gleiskomponenten. Auf diesem optimalen Lebenszyklusmanagement im altbewährten Sinn baut der Ausgangspunkt für das Asset-Management auf: gutes Anforderungsmanagement und Systemdesign, die den gesamten Systemlebenszyklus betrachten. Dies ist die Basis eines professionellen Gleis-Asset-Managements.

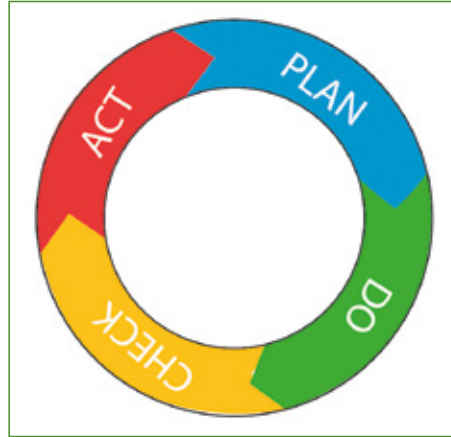
Der gesamte End-to-End-Prozess für das Gleis wird durch die Prinzipien des Asset-Managements definiert. Er entspricht dem großen Demingkreis, wie er für das professionelle Asset-Management gefordert wird.

## 2.4 Die PDCA-Schritte innerhalb des Demingkreises

Der Erneuerungsprozess kann als der große Kreis gesehen werden, der die Verbesserung darstellt. Die kleineren Demingkreise stehen für den Instandhaltungsprozess und entwickeln sich schneller weiter. Betrachtet man den Instandhaltungsprozess im Detail, erkennt man in jedem Kreis dieselben „PDCA-Schritte“. PDCA steht für Plan – Do – Check – Act (Abb. 5).

In der Gleisinstandhaltung beginnt der PDCA-Prozess meist mit dem „Check“, der Überprüfung. Gleisvorschriften geben gemeinhin an, dass das Gleis regelmäßig und in definierten Intervallen überprüft werden muss. Dies ist notwendig, um Verschlechterungen des Gleises zu überwachen, die durch Gleissetzungen hervorgerufen werden. Diese sind bei Gleisen und insbesondere Schottergleisen unvermeidlich. Dieser erste Schritt ist gleichzeitig der Beginn des nächsten Instandhaltungszyklus.

Der „Act“-Schritt ist besser bekannt als „Analyse“, wie sich die Verschlechterung der Gleiskomponenten und der Setzungen entwickelt, um den richtigen Zeitpunkt für Gegenmaßnahmen zu identifizieren. Dieser Schritt erlaubt die Entwicklung hin zu einer effizienten prädiktiven Instandhaltung und resultiert in Arbeitsaufträgen. Dabei kann es sich um Instandhaltungsmaßnahmen oder sogar um Erneuerungen handeln, falls die Verschlechterung des Gleises weiter fortgeschritten ist.



**Abb. 5:** PDCA

Quelle: Plasser & Theurer

Der dritte Schritt ist der Planungsprozess, in dem viel Optimierungspotenzial steckt. Der richtige Zeitpunkt für eine Maßnahme kann durch den Optimierungsprozess des Lebenszyklus bestimmt werden. Dabei wird der Moment festgelegt, wann ein Gleichgewicht zwischen Gleisverschlechterung und Instandhaltungskosten erreicht werden kann. Eine zweite Möglichkeit ist die Optimierung von Sperrpausen für die Gleisinstandhaltung, wobei am Gleis Kapazitäten für den Betrieb nutzbar bleiben.

Der letzte Schritt ist die Durchführung der Maßnahmen zur Gleisinstandhaltung oder Gleiserneuerung. Jetzt treten Maschinen und Personal in Aktion, um das Gleis in einen optimalen Zustand zu versetzen.

Mit der Darstellung der Gleisinstandhaltung als zyklisches Konzept lässt sich feststellen, wo Potenzial für zukünftige Verbesserungen und Optimierungen besteht. Jeder Schritt erfordert einen anderen Ansatz, dennoch sollten sie integriert und abgestimmt bleiben, um ein effizientes Asset-Management erzielen zu können.

## 3 Digitale Transformation: Anwendung der jüngsten industriellen Revolution in der Gleisinstandhaltung

### 3.1 Ein Blick in die Geschichte der Industrialisierung

Mehr als ein halbes Jahrhundert lang suchte die Industrie nach Lösungen, um die Wirtschaftlichkeit der Gleisinstandhaltung zu verbessern. Die Automatisierung von Fabriken war in anderen Sektoren wie der Autoindustrie naheliegend, nicht so bei Bahnanwendungen. Die Bahnindustrie wandte diese Mechanisierung und Automatisierung jedoch auch in der Gleisinstandhaltung und Gleiserneuerung



**Abb. 6** (Links und rechts): Mechanisierung der Instandhaltung und Gleiserneuerung

Quelle: Plasser & Theurer

erfolgreich an. Stopfmaschinen machten die Arbeit nicht nur günstiger, sondern auch effizienter. Es wurden Gleiserneuerungsmaschinen entwickelt, die es erlaubten, Erneuerungen wirtschaftlich effizienter zu gestalten, aber auch eine höhere Qualität bei Gleiserneuerungen in kurzen Instandhaltungsfenstern zu liefern. Dank der Mechanisierung von Gleismaschinen konnte man mit der industriellen Revolution Schritt halten. So war die Gleisindustrie in der Lage, die Industrialisierung erfolgreich umzusetzen (Abb. 6).

### 3.2 Digitale Transformation im Bahnwesen? Schon geschehen!

Die Digitalisierung der Wirtschaft ist voll im Gange, und von dieser Transformation kann die Infrastruktur und somit die Bahnindustrie durchaus profitieren. Auch wenn die Kerntätigkeiten nicht von Computern übernommen werden können, kann die Digitalisierung den gesamten Asset-Management-Prozess unterstützen und dadurch die Effizienz steigern.

Die Digitalisierung der Bahnindustrie ist nichts wirklich Neues. Einer der wichtigsten Entwicklungsschritte der belgischen Bahn begann vor etwa 25 Jahren. Der Zugbetrieb wurde erst digital unterstützt und später automatisiert. Die Einführung elektronischer Stellwerke eröffnete neue Möglichkeiten bei der digitalen Prozessunterstützung: Der Bahnbetrieb kann nun vom Bildschirm aus gesteuert werden anstatt mit Blick aus dem Stellwerk. Diese Digitalisierung wurde jedoch nicht nur mit den elektronischen Stellwerksystemen eingeführt, sondern auch elektrische Relais-Technologie war mit dieser digitalen Plattform vernetzt.

Diese Entwicklung ist die Basis für die weitere Automatisierung der Verkehrsregulierung. Beispielsweise werden Funktionen wie automatische Zuglenkung eingeführt, wobei die Bediener nur in Ausnahmefällen intervenieren müssen. Die Zugführer selbst profitieren von Driver-Assistance-Systemen (DAS). Mit deren Hilfe können sie die optimale Geschwindigkeit bestimmen, um das Anhalten an Halt zeigenden Signalen zu vermeiden und den Energieverbrauch um bis zu 25 % zu verringern.

Dies beweist, dass die digitale Transformation in der Bahnindustrie sehr erfolgreich sein kann und enorme Vorteile bietet.

### 3.3 Digitale Transformation in der Gleisstandhaltung

Seit vielen Jahren wird die Digitalisierung auch in der Gleisstandhaltung gelebt. Zwei typische, allgemeine Entwicklungen sind Messfahrzeuge und Instandhaltungseinrichtungen.

Messfahrzeuge sind jahrzehntelang im Einsatz, voll ausgestattet mit elektronischen Messeinrichtungen, mit denen Gleisexperten die Verschlechterung der Gleisgeometrie und die Fahrsicherheit evaluieren. Viel zu oft werden diese Daten jedoch nicht für Instandhaltungsmaßnahmen verwendet. Selbst wenn damit der Zeitpunkt für eine Maßnahme bestimmt werden kann, nutzt man die Ergebnisse oft nicht als Input für die Instandhaltungsmaßnahme, die durchgeführt werden muss (Abb. 7).



**Abb. 7:** Messfahrzeug EM 130 von Infrabel

Quelle: Plasser & Theurer

Instandhaltungsmaschinen werden von digitalen Einrichtungen unterstützt. Diese erleichtern dem Bedienpersonal die Arbeit, indem sie notwendige Vormessungen durchführen. Am Ende kann oft über das System ein Zertifikat erstellt werden, als Bestätigung für die korrekte Durchführung der Maßnahme.

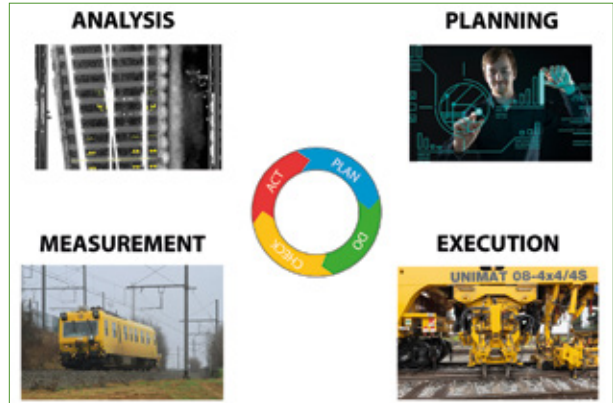
Obwohl beiden Systemen derselbe Instandhaltungsprozess zugrunde liegt, sind sie viel zu oft nicht vernetzt, und die Daten werden nicht auf einer gemeinsamen Plattform konsolidiert. Die Daten unterstützen einzelne Aufgaben, treiben jedoch nicht den gesamten End-to-End-Prozess voran. Hierin liegt die Herausforderung für zukünftige Entwicklungen. Die verschiedenen Subsysteme müssen miteinander vernetzt werden und in einem übergreifenden System zusammenarbeiten.

### 3.4 Digitaler Übergang und Organisation

Angesichts der zuvor beschriebenen Situation ist zu beachten, dass die Durchführung einer digitalen Transformation immer mit einer Veränderung auf der Organisationsebene verbunden sein muss. Sehr oft gehen die Verantwortlichkeiten von Menschen auf Systeme über. Die Erfahrung hingegen verlagert sich von Fachexperten auf intelligente Algorithmen und Systeme.

Traditionellerweise lag der Großteil der Verantwortung im Bereich der Instandhaltung bei den lokalen Bahnmeistern. Diese sorgten für die vorschriftsgemäße Durchführung von Messungen und Überprüfungen. Auf Basis dieser Messun-

gen und ihrer eigenen Pflichten entscheiden sie, wann Instandhaltungsarbeiten notwendig sind und wie diese durchgeführt werden sollen. Legt man dies auf die PDCA-Kreise um, sind Bahnmeister verantwortlich für die Überprüfung, Analyse, Planung und sehr oft auch für die Durchführung. Bei einer solchen



**Abb. 8:** Digitalisierte PDCA-Schritte

Quelle: Plasser & Theurer

Aufgabenverteilung ist ihre Erfahrung essenziell, um die Sicherheit und den guten Zustand des Gleises zu gewährleisten. Die Digitalisierung der Messvorrichtungen macht es möglich, die Ergebnisse allgemein verfügbar zu machen, doch der gesamte Demingprozess basiert auf der Funktion der Bahnmeister.

Nach der Digitalisierung wird der Prozess in neue Systeme integriert, und die Verantwortung geht auf Algorithmen und andere Teile in der Organisation über (Abb. 8).

Nach der digitalen Transformation werden die Überprüfungen von Messsystemen wie dem in Abb. 7 gezeigten EM 130 durchgeführt. Übernimmt das Fahrzeug jedoch Überprüfungen, die bisher vom Anlagenverantwortlichen durchgeführt wurden, sollte überprüft werden, ob alle notwendigen Messungen korrekt erfolgen. Früher wurde eine fehlende Messung von den Instandhaltungsverantwortlichen vor Ort nachgeholt. Heute würde der betreffende Gleisabschnitt nicht instandgehalten werden, und dadurch wäre die Sicherheit nicht mehr garantiert. Oft sind neue Messeinrichtungen notwendig, um alle Parameter zu überprüfen – solche hat Infrabel (Infrastrukturunternehmen der Belgischen Bahn) vor einigen Jahren zur Messung aller erforderlichen Daten an Weichen eingeführt.

Es sollten alle von den Messsystemen ausgegebenen Daten gesammelt und in einem übergreifenden System konsolidiert werden, wo sie mit allen anderen im herkömmlichen End-to-End-Prozess durchgeführten Messungen kombiniert werden. Stand-alone-Systeme erlauben nur noch das Abwickeln eines lokalen Prozesses.

Die Datenevaluierung erfolgt nicht mehr lokal. Einige Datenanalysten und zentrale Experten bestimmen die notwendigen Instandhaltungsmaßnahmen und entwickeln die Instandhaltungsalgorithmen.

Nun gelangen die Maßnahmen in die Durchführungsphase, was eine zentrale oder lokale Planungseinheit übernimmt. Aber auch wenn lokale Planung und



Durchführung im Vordergrund stehen, sollte sichergestellt sein, dass die PDCA-Schleife zu Ende gebracht wird, indem die Daten zwecks Analyse und Algorithmusentwicklung ins System rückgespeist werden.

Diese Prozessänderung kann erst erfolgen, wenn die anderen Schritte in Kraft treten können. Dazu sollten die Messungen vollständig und zuverlässig und die Analyse ausreichend vollständig und zuverlässig sein. Sehr oft wird diese Prozessänderung schrittweise implementiert.

## 4 End-to-End-Weicheninstandhaltung

### 4.1 Weichenüberprüfungen

Infrabel hat begonnen, eine neue Weichenmesseinrichtung zu implementieren. Gemessen wird mittels eines optischen Lasersystems, das alle geometrischen Daten der Weiche erfasst. Die Messfahrzeuge messen beide Zweige der Weiche, sodass man ein vollständiges Messblatt erhält. Fertiggestellt werden die Messungen mit einem Videosystem (Abb. 9).

Messgraphen vervollständigen die Messung. Diese sind mit Streckengeometriegraphen vergleichbar und erlauben die vollständige Analyse des Weichenzustands (Abb. 10).

Eines sei zum ALD-System angemerkt: Die periodischen Überprüfungen können oft noch nicht von außen mit den oben beschriebenen Messsystemen durchgeführt werden, daher verändert sich der ALD-Instandhaltungsprozess nicht.

### 4.2 Weichenanalyse

Alle Weichendaten werden in einer zentralen Datenbank gesammelt. Dort werden sie mit den Messungen zusammengeführt, die im Zuge von ergänzenden Messungen

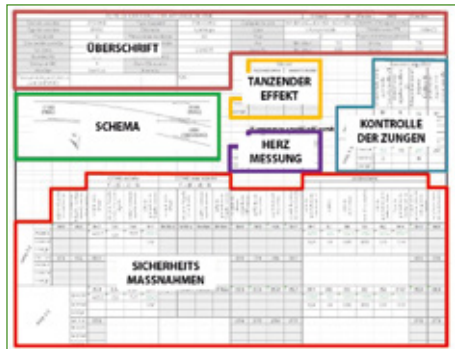


Abb. 9: Weichenmessblatt

Quelle: Plasser & Theurer

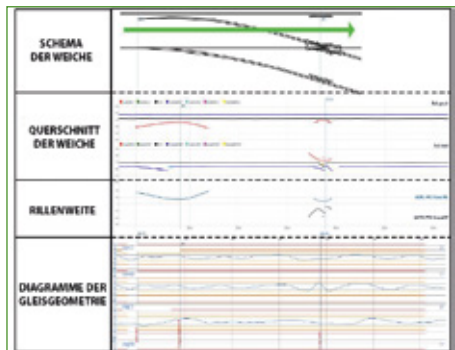


Abb. 10: Weichenmessgraphen

Quelle: Infrabel

bei Überprüfungen oder Instandhaltungsmaßnahmen von lokalen Teams durchgeführt werden. So sind für eine vollständige Evaluierung der Weichensituation alle Daten vorhanden. Es können unterschiedliche Evaluierungen durchgeführt werden.

Basierend auf Videodaten, ist eine schnelle Analyse der Fahrsicherheit möglich. Das Bedienpersonal kann beurteilen, ob dringende Interventionen an der Schiene erforderlich sind oder ob andere Defekte vorliegen. Diese Evaluierung ähnelt der periodischen Inspektion.

Mit den Messergebnissen kann die Sicherheit der Weiche vorschriftsgemäß überprüft werden. Da die Messungen unter Belastung erfolgen, sind sie realitätsgetreuer als die Messungen, die von lokalen Messteams in Sperrpausen durchgeführt werden. Auf dieser Basis kann beurteilt werden, ob sicherheitsrelevante Korrekturmaßnahmen oder jene zur Geometrie erforderlich sind oder ob Schalt- oder Kreuzungskomponenten ersetzt werden müssen.

Diese Evaluierung erfolgt durch die Experten in der sogenannten Gleisdatenzelle. Die Datenanalysten entwickeln Algorithmen, um die Evaluierungen schrittweise zu automatisieren.

Fällt die Entscheidung für Korrekturmaßnahmen, kann eine detaillierte Analyse als Vorbereitung für das Weicheninstandhaltungsteam erstellt werden.

### 4.3 Planung

Die Planung der unterschiedlichen Instandhaltungsarbeiten unterliegt oft lokalen Teams. Eine detaillierte Beschreibung des Prozesses würde zu weit führen. Die Digitalisierung ist im Planungsprozess jedoch von großer Bedeutung, und es besteht großes Optimierungspotenzial.

### 4.4 Durchführung der Weicheninstandhaltung

Die Durchführung der Instandhaltung bleibt ein physischer Arbeitsschritt, den eine Maschine übernimmt. Er wird jedoch digital unterstützt werden, wodurch die Effizienz steigen wird. Wenden wir uns dem Beispiel des Stopfens zu, einer der wichtigsten Instandhaltungs-Korrekturmaßnahmen. Betritt man eine moderne Stopfmaschine, so wird klar, inwiefern digitale Systeme in die Aufzeichnung und den elektromechanischen Betrieb der Maschine Einzug gehalten



**Abb. 11:** Der neue Unimat 08-4x4/45 von Infrabel

Quelle: Infrabel

haben. Mit den neuesten Maschinen wurden auch große Fortschritte im Bereich der Fahrassistenz, der Messsysteme und des Flottenmanagements erzielt (Abb. 11).

#### 4.4.1 Stopfmaschine oder Messwagen

Die neuesten Stopfmaschinen sind wie die Messwagen mit Hauptmesssystemen ausgestattet. Es ist nicht das Ziel, die Aufgabe dieses Messwagens zu übernehmen. Stattdessen soll die Stopfmaschine in den End-to-End-Instandhaltungsprozess integriert werden. Jedes Mal, wenn eine gelbe Maschine über eine Weiche fährt, misst sie die Hauptdaten für die Gleisevaluierung. Mit Messwagen kann die Gleisqualität über die Zeit zwischen Instandhaltungsmaßnahmen gemessen werden, und sie liefern die erforderlichen Daten, um den geeigneten Moment für eine Intervention zu bestimmen. Ein typischer Qualitätsverschlechterungsgraph zeigt diese Entwicklung. Auf dem Graph fehlt größtenteils die Gleisqualität vor und nach der Intervention, da sie zwischen den Inspektionsfahrten gemessen wird. Sie ist jedoch essenziell für eine gründliche Evaluierung. Diese Daten erlauben es, das Gleisverschlechterungsverhalten auszuwerten und helfen Algorithmen bei der Optimierung der Gleisinstandhaltung.

Der neue Unimat 08-4x4/45 ist mit einem modernen IMU-Drehgestell, Video- und Laserscannern ausgestattet. Die Messsysteme erlauben es, die Korrekturmaßnahmen wie Messwagen optimal zu bestimmen.

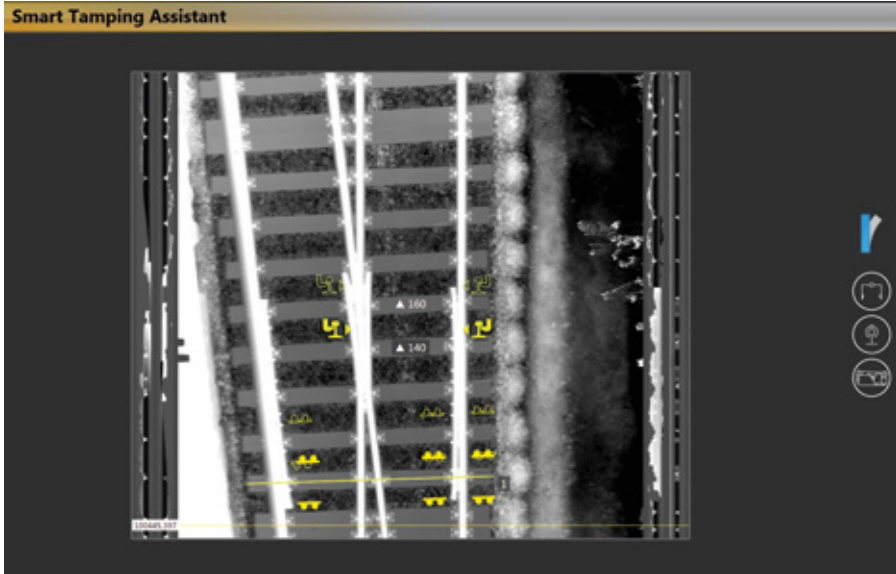
Nach jedem Stopfvorgang endet ein Instandhaltungszyklus und ein neuer beginnt. So schließt sich der PDCA-Zyklus, und alle Daten werden gesammelt, um die nächste Instandhaltungsschleife mit den Erfahrungen und Informationen aus den vorherigen Zyklen zu beginnen.

Das Wissen über die Gleisqualität liefert in Verbindung mit den Stopfcharakteristika viel Information für weitere Prozessverbesserungen. Eine Korrelation zwischen den beiden zu entwickeln, bringt weitere Verbesserungen und Informationen, die in das System integriert werden können.

#### 4.4.2 Fahrassistenz

Fahrassistenz ist kein neues Konzept im Bereich der Stopfmaschinen, denn schon ältere Systeme zielten auf die Unterstützung des Fahrers und bessere Messaufzeichnungen für Zertifizierungen ab. Die neuesten Systeme hingegen sind vergleichbar mit Fahrassistenzsystemen in den meisten modernen Autos. Die Rolle des Fahrers wird vereinfacht, Fehler während der Arbeiten werden vermieden. Die neueste Weichenstopfmaschine, der Unimat 08-4x4/45 von Plasser & Theurer, führt die neueste Technologie in diesem Bereich ein.

Dabei misst ein Laser die Umgebung mit Schwellen, Schienen und Hindernissen auf. Das auf Künstlicher Intelligenz (KI) beruhende System liefert Handlungsempfeh-



**Abb. 12:** Stopfassistant

Quelle: Plasser & Theurer

lungen auf Basis der gängigen Richtlinien und Vorgaben, die der Bediener vor der Ausführung bestätigt oder manuell korrigiert (Abb. 12).

Die Messeinrichtungen verleihen den Stopfmaschinen zusätzliches Potenzial. Der Fahrer erhält durch das mit KI kombinierte Videosystem ein zweites Paar Augen. Das System unterstützt das Bedienpersonal, das insbesondere in Weichen eine wichtige Rolle einnimmt, denn es entscheidet, welche Stopfmaschine wann zum Einsatz kommen soll. Aufgrund der sich ständig verändernden Lage von Schienen und sensiblen Hilfseinrichtungen wie z.B. ALD-Systemen ist dies maßgeblich. Jede nicht gestopfte Schwelle reduziert die Stopfqualität und schlussendlich auch die Lebensdauer der Weiche. Jedoch können falsch positionierte Stopfhämmer Weichenkomponenten beschädigen, was zeitaufwendige und teure Reparaturen an den Weichen nach sich zieht. Das Bedienpersonal muss also an Ort und Stelle schwierige Entscheidungen treffen.

#### 4.4.3 Flottenmanagement

All diese Maschinen sind sehr wertvoll und müssen optimal verwaltet werden. Adäquates Maschinenmanagement bedeutet optimale Maschinenverfügbarkeit und macht Instandhaltungsarbeiten effizienter. Dies ist ein wichtiger Punkt in einem End-to-End-Ansatz.

## 4.5 Zukünftige Entwicklungen

Zur Optimierung der Instandhaltungsplanung benötigt der Infrastrukturbetreiber ein vollständiges Bild des Weichenzustands. In diesem Sinne wird es notwendig sein, ein abgestimmtes, ganzheitliches Monitoringkonzept unter Nutzung verschiedener Technologien anzuwenden. Beispielsweise werden Georadarsysteme, Unattended Messsysteme, Systeme zur Risserkennung von Schienen sowie Drohnen weitere, wichtige Informationsquellen sein. All diesen Überlegungen liegt die Optimierung der Belegungszeiten zugrunde.

## 5 Gleiserneuerung: End-to-End-Prozess

### 5.1 Allgemein

Instandhaltung ist der kleine PDCA-Kreis, der Erneuerungskreis ein größerer, der den Großteil des Asset-Management-Prozesses umfasst. In diesem End-to-End-Prozess wird der gesamte Lebenszyklus des Assets berücksichtigt. Zusammen mit der tatsächlichen Lebensdauer des Assets werden auch die Gleisnutzung und die Netzkonfiguration evaluiert. Dadurch werden eine aktualisierte und optimierte Gestaltung und Zusammensetzung erzielt.

Der Erneuerungszyklus wird heute grundsätzlich von theoretischen Überlegungen zur Lebensdauer bestimmt. Auf Basis einer theoretischen Lebenszeit wird der optimale Zeitpunkt für eine Erneuerung errechnet. Der tatsächliche Erneuerungszeitpunkt wird allerdings häufig von anderen Kriterien bestimmt. Hierzu zählen die Verfügbarkeit von Geldern, Sperrpausen oder neue Netzanforderungen. Da die Entscheidung auf mehreren Kriterien beruht, ist es oftmals schwierig, den Erneuerungsprozess nur im Hinblick auf die Asset-Zusammensetzung zu optimieren.

Das Fehlen objektiver Daten und Kriterien ist oft der Grund für das Abweichen vom optimalen Prozess. Jedoch sind viele Daten bereits verfügbar, und so lässt sich viel Potenzial zur weiteren Optimierung des Erneuerungsprozesses erschließen.

### 5.2 Kontinuierliche Gleisevaluierung

Wie bei der Instandhaltung ist die Überwachung des Gleissystems und seine Nutzung essenziell für ein optimales Lebenszyklusmanagement. Dies umfasst die Evaluierung der Verschlechterung von Gleiskomponenten und des Gleissystems. Unterschiedliche Technologien sind verfügbar, um diese Aufgabe des lokalen Anlagenverantwortlichen zu übernehmen.

Es sind bereits viele Systeme im Einsatz, die den Verschleiß des Gleises und seiner Komponenten überwachen. Verschiedene neue Systeme werden gerade entwickelt. Diese stellen zunehmend mehr Informationen bereit, die in den Erneuerungsprozess eingespeist werden können.

Dank der Messfahrzeuge kann eine Verschlechterung der Gleisgeometrie seit vielen Jahrzehnten erkannt werden. Eine umfassende Gleisverschlechterung reduziert immer wieder die Effizienz der Gleisinstandhaltung. Eine Verschlechterung des Schotters führt oft zu einer reduzierten Stopfeffizienz, was wiederum eine Schottererneuerung erfordert. Zudem helfen Georadarsysteme dabei, den Zustand des Untergrunds und des Schotters zu evaluieren und den Zeitpunkt für eine Erneuerung festzulegen.

Die Schienen werden regelmäßig von Ultraschall- und Wirbelstrommessgeräten überwacht, wodurch Schieneninstandhaltungsmaßnahmen und die Schienenverschlechterung bestimmt werden können. Lebenszyklusberechnungen erlauben es, den richtigen Zeitpunkt für eine Schienenerneuerung zu definieren.

Früher wurde die Verschlechterung der anderen Gleiskomponenten wie z. B. Schwellen oder Kleineisen gemeinhin durch eine Sichtprüfung und die Erfahrung der lokalen Instandhaltungsteams bestimmt. Da diese Informationen schwer fassbar sind, werden andere Maßnahmen benötigt, um eine objektive Evaluierung zu erhalten. Bei Infrabel wird derzeit ein Gleisvideosystem entwickelt, das die Messung und Überwachung der Verschlechterung von Gleiskomponenten erlaubt. Die Schwellenverschlechterung und die Funktionsfähigkeit der Kleineisen sollen damit regelmäßig überprüft werden.

Ein wichtiger Parameter zur Bestimmung der Gleisverschlechterung ist jedenfalls die Information über Zugbelastungen. Heute werden Schätzungen erhoben, wobei die Integration von Echtzeitdaten wertvolle Unterstützung leisten kann. Das derzeit bei Infrabel eingesetzte Zugbelastungsmesssystem kann die notwendigen Informationen liefern.

Kombiniert man all diese Systeme, lässt sich der optimale Zeitpunkt für eine Erneuerung bestimmen. Die Evaluierung der Lebenszykluskosten erlaubt es, eine optimale Erneuerungsstrategie zu wählen.

### 5.3 Gleiserneuerungsanalyse

Bis jetzt wurde die Erneuerungsstrategie oft an grundlegenden theoretischen Überlegungen sowie an praktischen und organisatorischen Bedingungen festgemacht. Infrabel nutzt das integrierte „TrackPro“-System, um seine Assets zu überwachen und den Entscheidungsprozess für Erneuerungen zu unterstützen.

Die Integration aller von Messsystemen ausgegebenen Informationen ist in der Entwicklungsphase. Die Intelligenz des Entscheidungstools kann verbessert werden, indem Algorithmen zugespielt werden, die auf Lebenszyklus-Kostenbetrachtungen basieren. Hierin liegt großes Potenzial für zukünftige Verbesserungen.

## 5.4 Erneuerungsplanung

Die Erneuerungsplanung ist weitaus komplexer als die Instandhaltungsplanung. Die jüngsten Änderungen der Sicherheitsbestimmungen während der Arbeiten haben den Planungsprozess komplexer gemacht. Für die meisten Arbeiten müssen beide Gleise außer Betrieb gesetzt und muss der gesamte Verkehr auf andere Strecken umgeleitet werden. Die Planung von Sperrpausen folgt den Vorschriften, z. B. der RNE, laut denen Sperrpausen bereits einige Jahre im Voraus geplant werden sollen. Infrabel hat ein integriertes Planungstool entwickelt, mit dem die Interaktion zwischen Sperrpausen evaluiert werden kann. Dies ist der erste Schritt, um einen alternativen Fahrweg für jeden Zug bereitzustellen, dessen Strecke von Infrastrukturarbeiten betroffen ist.

## 5.5 Erneuerungsdurchführung

Für die Erneuerung von Gleisen und Weichen nutzt Infrabel eine Maschinenserie wie z. B. seine P 93-Erneuerungszüge oder den neuen Kirow-Kran, der bei Lieferung und Erneuerung moderner Betonweichen zum Einsatz kommt. Die meisten Arbeiten werden jedoch von Bauunternehmen durchgeführt, die auch ihre eigenen Maschinen verwenden. Dies ist lokalen Arbeitsbeschränkungen geschuldet und führt dazu, dass viele Maschinen nur schwer in einen allgemeinen Prozess integriert werden können, wie es beim Instandhaltungsprozess erfolgt ist (Abb. 13).



**Abb. 13:** Weichenerneuerung: Infrabels Kirow-Kran im Einsatz

Quelle: Plasser & Theurer

Dennoch ist der Einbau der Ausgangspunkt für den Betriebs- und Instandhaltungsprozess. Die Anfangsqualität ist ausschlaggebend für eine optimale Lebensdauer. Daher möchte Infrabel nach jeder Erneuerung eine erste Qualitätsmessung mit einem Messwagen durchführen, um den Instandhaltungsprozess mit sauberen Daten beginnen zu können.

## 6 Schlussfolgerungen

Der Schienenverkehr gilt heute als die Zukunft der Mobilität. Das Bahnsystem soll in den nächsten Jahrzehnten mehr Menschen und Güter transportieren können. Neue Infrastruktur zu errichten, ist jedoch extrem kostspielig. Es dauert Jahre, bis Bauentscheidungen getroffen und umgesetzt werden. Daher kann im Personen- und Güterverkehr eine Verkehrsverlagerung hin zur Schiene nur durch erhöhte Kapazitäten des bestehenden Netzwerks erzielt werden. Als Asset-Manager müssen wir auch die Effizienz weiter steigern.

Ein End-to-End-Ansatz ist essenziell für eine weitere Optimierung des Asset-Management-Prozesses. Die heute stattfindende digitale Transformation ist eine große Chance für die Bahnindustrie, die Effizienzsteigerung zu erzielen, die wir anstreben. Die Digitalisierung dreht sich jedoch nicht nur um Tools, sondern umfasst eine ganzheitliche Umgestaltung unserer End-to-End-Prozesse. Neue Tools und die neuesten Technologien bieten die entsprechenden Möglichkeiten. Nun liegt es an uns, diese in unsere Abläufe zu integrieren.

Die Neugestaltung der Instandhaltungsorganisation bei Infrabel unter Einsatz der neuesten Technologie zeigt, wie dieses Ziel erreicht werden kann. Die neue Stopftechnologie von Plasser & Theurer wurde eingeführt, um die Instandhaltungseffizienz weiter zu optimieren, und macht es möglich, den Kreis dieses End-to-End-Prozesses zu schließen.

Ebenso profitiert der Erneuerungsprozess von den unterschiedlichen technologischen Entwicklungen.



**Jan Mys**  
Managing Director  
Global Rail Consulting, AT-Wien  
jmys@globalrailconsulting.com