

# Automatisierte Weicheninstandhaltung für einen hochverfügbaren Fahrweg

Robotergestützte Weichenreparaturschweißung zur Erhöhung der Liegezeiten mit weniger Personaleinsatz und reproduzierbaren Ergebnissen

ENGELBERT KOCH | MICHAEL REITER | THOMAS WEIS

Ein vollautomatisches System zum Auftrags- und Reparaturschweißen von Weichen stellt eine ressourcenschonende und zuverlässige Alternative zu den derzeit manuell durchgeführten Arbeiten dar. Dabei kommt ein robotergestützter Gesamtprozess zum Einsatz, der von der Inspektions- und Messtechnik über die Schweiß- und Bearbeitungstechnologie bis hin zur vollständigen digitalen Integration über alle notwendigen Funktionalitäten verfügt. Eingebettet in einen präventiven Instandhaltungsansatz des Betreibers können so die Liegezeiten und die Leistungsfähigkeit der Weiche in einem zunehmend von Fachkräftemangel geprägten Umfeld gesteigert werden.

## Das System Weiche ist unter Druck

Die Eisenbahnsysteme in Europa und weltweit stehen vor der enormen Herausforderung, die aggressiven Wachstumsziele mit einer steigenden Anzahl von Instandhaltungs- und Neubauprojekten bei sinkenden Personalzahlen bewältigen zu müssen [1, 2].

Die oberste Priorität beim Instandhaltungsmanagement der Betreiber liegt darin, die Netze verfügbar, zuverlässig und sicher zu halten. Ungeplante Ausfälle sind ein wesentlicher Kostentreiber und wirken sich negativ auf die Kundenzufriedenheit aus [3]. Durch geplante, präventive Maßnahmen können diese Kosten deutlich gesenkt und kann die Kundenzufriedenheit signifikant gesteigert werden.

Bauunternehmen verpflichten sich durch konkrete Instandhaltungsleistungen oder Rahmenverträge zur Einhaltung von Terminen, Kosten und Qualitäten. Sie müssen dabei selbst immer das wirtschaftliche Arbeiten sicherstellen. Für die Durchführung der Arbeiten stehen die Unternehmen jedoch vor der Herausforderung, Arbeitskräfte zu halten bzw. zu gewinnen. Zudem beschleunigt der demographische Wandel den Verlust von Erfahrung und Know-how durch das altersbedingte Ausscheiden der bestehenden Belegschaft ohne konsequenten Wissens- und Erfahrungstransfer. Die Sicherheit der Mitarbeiter ist ebenfalls eine zentrale Aufgabe. Verkürzte Sperrpausen

	Deutsche Bahn	ÖBB	SBB	ProRail
Anzahl Weichen	65 550 [4]	13 163 [5]	10 350 [6]	6 220 [7]

Tab. 1: Weichenbestand DACH und Niederlande

für Wartungsarbeiten führen zu einer zusätzlichen physischen und psychischen Belastung des Personals.

Für das System Weiche als kritischem Teil der Infrastruktur bedeutet die steigende Auslastung, dass mehr Überfahrten mit höheren Belastungen (mehr Züge mit mehr Achsen, höheren Geschwindigkeiten und höherer Tonnage) zu bewältigen sind.

Allein in den Verantwortungsbereichen der DACH-Länder und der Niederlande sind über 95 000 Weichen in der Infrastruktur verbaut (Tab. 1). Der Instandhaltungsbedarf dieser Weichen zeigt sich beispielsweise in der Bewertung des Weichenzustandes im Netz der Deutschen Bahn AG (DB) mit der Note 3,15 („umfangreiche Instandhaltung nötig“) [8].

Regelmäßige Messungen und Überwachungen der Infrastruktur liefern eine fundierte Datenbasis über den aktuellen Zustand des Oberbaus. Es entsteht ein digitales Abbild der Ist-Situation und damit eine hohe Klarheit der durchzuführenden Instandhaltungsarbeiten. Die nötigen Arbeiten sind jedoch aufgrund des Fachkräftemangels immer schwerer ins Gleis zu bringen. Aktuell hat oftmals das unplanmäßige Reparieren hohe Priorität und verhindert die notwendige präventive, d.h. vorbeugende Instandhaltung.

Mechanisierung und Automatisierung haben den Weg „Von der Spitzhacke zur Gleisbaumaschine“ ermöglicht und damit die Arbeit am Gleis sicherer und effektiver gemacht. Mit Robotik und Automatisierungstechnik gilt es nun, konsequent den nächsten Schritt in der Weicheninstandhaltung zu gehen.

## Konzept für einen robotergestützten Gesamtprozess zur präventiven Wartung und Reparaturschweißung an der Weiche

Unterschiedliche Vorhaben und Initiativen haben sich in den letzten Jahren weltweit der Reparaturschweißung und Auftragsschweißung an Weichen mit sehr vielversprechenden robotergestützten Ansätzen verschrieben.

Robotik gestützte, automatisierte Prozesse sind in anderen Industrien bereits gut erprobt

und lassen sich auf Instandhaltungsaufgaben an der Weiche mit folgenden Vorteilen durchführen:

- Verbesserte Präzision der Instandhaltungsaufgaben
- Erhöhte Effizienz und Effektivität der Instandhaltungsarbeiten
- Minimierung von Fehlern, die durch unzureichende Qualifikation des Personals verursacht werden
- Vermeidung menschlicher Eingriffe im Gefahrenbereich und somit erheblicher Sicherheitsgewinn



Abb. 1: Die Weicheninstandhaltung ist eines der ersten Anwendungsgebiete der Automatisierungstechnik am Gleis.

Quelle aller Abb.: Robel Rail Automation GmbH



**Abb. 2:** Der Prototyp eines Instandhaltungscontainers mit vollautomatisierten Robotern wurde auf der iaF 2022 vorgestellt.

- Erhöhung der Schichtzahlen um ca. 25 % bei deutlich reduzierter Anzahl von Mitarbeitern und damit geringerer Personalausfallzeiten
  - Objektive Beurteilung der Schadhstellen durch Messungen mit Vorschlag von standardisierten Eingriffsroutinen (Fräsen, Schleifen, Schweißen)
  - Minimierung von Schulungsaufwänden: Systembediener ist in drei Monaten qualifiziert, mit dem System selbstständig zu operieren.
- Um den maximalen Nutzen für den Betreiber oder die ausführende Firma zu generieren, wurde 2022 mit dem [ro'bot] Container (Abb. 1 u. 2) der weltweit erste Prototyp zur Reparatur von lokalen Schienendefekten durch zwei zusammenarbeitende, vollautomatisierte Roboter vorgestellt.

Mit dieser Plattform werden unterschiedliche Einzelprozesse wie Messen und Inspizieren, Entfernen der Schadhstellen, Vorwärmen der Bearbeitungsstelle, Auftragsschweißen und nachträgliches Reprofilieren in einem mobilen, vollautomatischen Technologieträger demonstriert. Es wurden bereits erfolgreiche Tests im Gleis durchgeführt und damit die Umsetzbarkeit einer robotergestützten, mobilen Lösung nachgewiesen.

Aufgrund der hohen Kosten und des hohen Instandhaltungsbedarfs am System Weiche werden die eingesetzten Module und Komponenten der Technologieplattform nun weiterentwickelt, um den Gesamtprozess des Auftrags- und Reparaturschweißens vollautomatisch auch für Weichen zu ermöglichen.

Der Fokus des Prozesses zur Weichenbearbeitung liegt auf folgenden Elementen (Abb. 3):

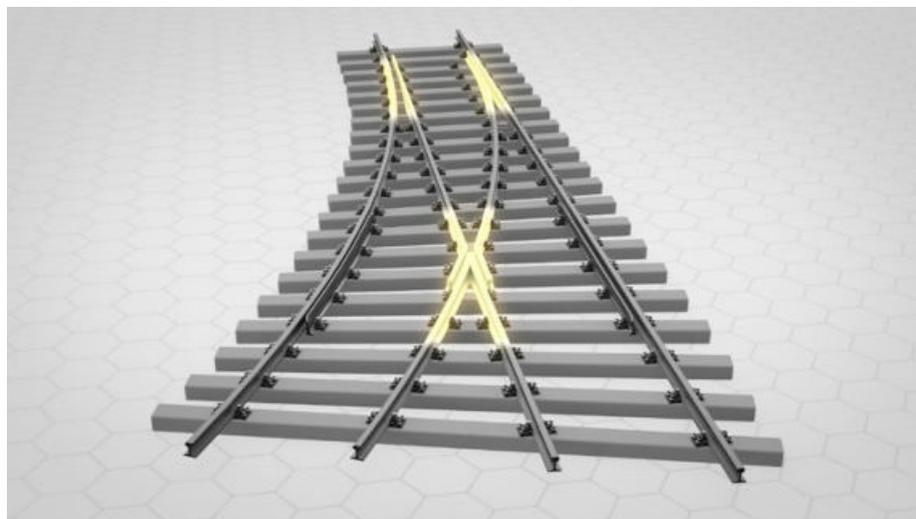
- Weichenherz
- Flügelschiene
- Zungenvorrichtung.

Vorwiegend an diesen Elementen kommt es zu Schäden wie Ausbrüchen, Rissen oder Gratbildung (Abb. 4). Diese werden durch hohe Belastungen, Abweichungen von der Solllage der Weiche, nicht durchgeführte präventive Instandhaltungsarbeiten, unzureichende bzw. fehlerhafte Reparaturen oder verschlissene Räder hervorgerufen.

Der modulare Ansatz des automatisierten Gesamtprozesses ermöglicht eine flexible Anpassung an die Gegebenheiten und Anforderungen der auftretenden Schäden und anzuwendenden Instandhaltungsstrategien. Zur Umsetzung der nachfolgend beschriebenen Schritte werden erprobte Industriekomponenten eingesetzt.

#### Detektieren und Messen

Um alle Daten für die weiteren Bearbeitungsschritte zu generieren, wird zunächst die Geometrie der relevanten Bereiche im Weichensystem vermessen. Besonderes Augenmerk



**Abb. 3:** Der Fokus für vollautomatisches Reparaturschweißen liegt auf Weichenherz, Flügel- und Zungenschienen.



**Abb. 4:** Weichenschäden, die automatisiert behoben werden können: Abnutzung an Flügelschiene und Weichenherz sowie Ausbruch an Herzstückspitze auf bereits repariertem Abschnitt | Ausbrüche an Herzstückspitze aufgrund zu niedriger Flügelschiene / einseitiger Belastung | Risse und Ausbrüche an Flügelschiene und Herzstückspitze | wasserstoffinduzierter Riss durch fehlerhaftes Vorwärmen

liegt auf dem Übergangsbereich des Rades zwischen Flügelschiene und Herzstück sowie auf der Zungenvorrichtung. Auf dieser Datenbasis erfolgt eine geometrische Modellierung (Abb. 5) dieser relevanten Elemente.

Zusätzlich zur geometrischen Messung ist eine korrekte Erfassung innenliegender Fehler, d.h. Fehler unterhalb der Oberfläche, und deren Abmessungen erforderlich. Dazu werden unterschiedliche Messverfahren in einem robotergestützten Werkzeug kombiniert. Auch die Gratbildung an der Weichenzunge wird geometrisch erfasst und bewertet.

#### Zielgeometrie berechnen (Rad / Schiene-Übergang)

Mithilfe spezieller Software-Algorithmen wird der Materialabtrag auf Grundlage der Zielgeometrie für die optimale Radübergabe vom Weichenherz auf die Flügelschiene und der Defektanmessungen berechnet. Der Schwerpunkt liegt dabei auf der geometrischen Modellierung des Herzstückes und der Flügelschiene der Weiche.

#### Schadstelle ausarbeiten (Fräsen, Schleifen)

Basierend auf der Zielgeometrie, wird die Fehlerbeseitigung am Weichensystem mit

hilfe eines Fräsverfahrens durchgeführt. Die Frässtrategie sowie deren Parameter werden automatisch an den Werkstoff angepasst. Schienen- und Weichenwerkstoffe in den Güten R260, R260Mn, R350HT, R400HT und Mn13 wurden bereits in sehr guter Qualität und mit akzeptabler Standzeit der Werkzeuge zerspannt.

#### Flügelschienen- und Herzstückschweißen

Um die Weichen anschließend optimal aufzuarbeiten, sind das passende Schweißverfahren und die vorgelagerten Prozesse entscheidend. Je nach Schadstelle und Grundwerkstoff werden die Schweißparameter und die Vorschubgeschwindigkeit automatisch gewählt. Abhängig von der wiederherzustellenden Geometrie wird, ebenfalls softwaregestützt, eine passende Schweißstrategie berechnet, welche eine optimale Anbindung und Temperaturführung ermöglicht (z.B. lagenweiser Wechsel zwischen Flügel und Herzstückspitze). Der gesamte Schweißvorgang ist temperaturüberwacht, um das Weichglühen zu vermeiden. Bei allen Kohlenstoffstählen (R260–R400HT) wird ein Vorwärmprozess mit variablen Parametern eingesetzt. Dies ermöglicht eine, abhängig vom Grundmaterial, konstant gute Anbindung des Schweißgutes. Selbiges gilt für die Härte

des aufgetragenen Materials. Manganstähle erfordern zur Realisierung gleicher Ergebnisse ein angepasstes Vorgehen. Einerseits wird auf das Vorwärmen verzichtet. Andererseits wird ein Schweißverfahren mit deutlich geringem Wärmeeintrag verwendet und zusätzlich das Manganherz aktiv gekühlt.

#### Reprofilieren (Fräsen, Schleifen)

Zur Reprofilierung der Weiche kommt eine Kombination von Fräs- und Schleifprozessen zum Einsatz. Die Bahnen, in denen die Werkzeuge geführt werden, basieren auf 3D-Software-Algorithmen. Diese Algorithmen berücksichtigen die robotertypischen Eigenschaften mit dem Gesamtziel, die geforderte Genauigkeit zu erreichen. Nachdem der Überstand der Schweißnaht detektiert wurde, startet die Reprofilierung durch Fräsen. Hierbei wird sich durch grobes Schruppfräsen der angestrebten Schienenoberfläche bis auf wenige zehntel Millimeter genähert. Im Fräsprozess werden weiterhin optimale Facetten der Schienenoberfläche erzeugt, um eine möglichst gute Grundlage für den nachgelagerten Schleifprozess zu bieten. Anschließend wird der Feinschliff von der Schleifmaschine in wenigen Zyklen durchgeführt (Abb. 6).

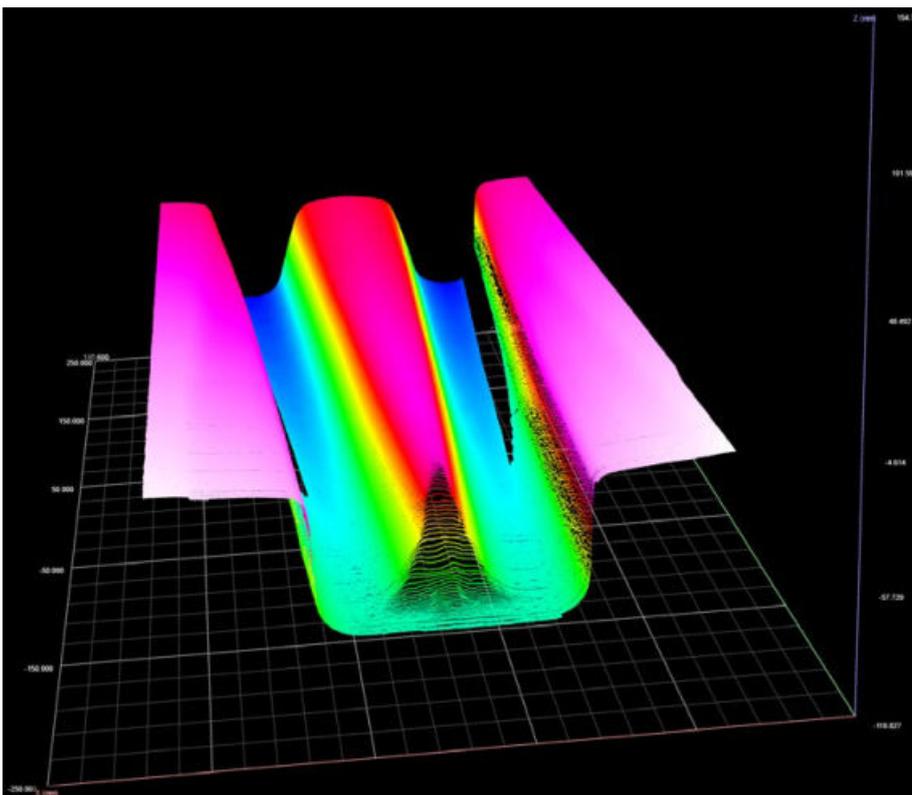


Abb. 5: Visualisierung der Messdaten des robotergeführten 3D-Scans einer Weichenherzspitze

#### Qualitätscheck:

##### Messen und digital bereitstellen

Neben der Ausgangssituation und den Maschinendaten der eingesetzten Technologien ist auch das abschließende Erfassen des Ergebnisses der durchgeführten Arbeiten zur Nachweisführung und Dokumentation erforderlich. Die Daten werden lokal von der Maschine erfasst und können in definierte Systeme (z.B. Cloud-Lösungen) transferiert werden.

##### Kontinuierliche Instandhaltungsprozesse vermeiden ungeplante Einsätze

Betreiber von gut entwickelten und organisierten Eisenbahninfrastrukturen setzen häufig auf vorbeugende Instandhaltungsstrategien, um die Zuverlässigkeit und Sicherheit der Eisenbahninfrastruktur sicherzustellen. Durch kontinuierliche Inspektionen von Schotter, Schwelle, Schiene und Weiche stehen umfangreiche Daten und Informationen zur Verfügung. Darauf aufbauend können potenzielle Störungen frühzeitig erkannt und geeignete Maßnahmen zur Störungsvermeidung ergriffen werden.

Das im vorherigen Abschnitt beschriebene Automatisierungskonzept wurde entwickelt, um vorbeugende Instandhaltungsarbeiten an der Weiche systematisch zu planen und in reproduzierbarer Qualität durchzuführen zu können. Die Vorteile präventiver Instandhaltungsstrategien liegen in

- der Erhöhung der Arbeitsqualität durch Beseitigung der Unsicherheiten und Belastungen der Mitarbeiter, die mit ungeplanten

Eingriffen verbunden sind, und dadurch Erhöhung der Qualität und Lebensdauer der Instandsetzung

- der verbesserten Nutzung von Ressourcen, wie Arbeitskräften, Material und Maschinen, durch geplante Reparaturschweißarbeiten an Weichen und Gleisen
- der Einsparung von Kosten, die durch zu spätes Eingreifen entstehen
- den niedrigeren Gesamtkosten im Vergleich zu ungeplanten Reparaturschweißungen an Weichen und Gleisen
- der Möglichkeit der nahtlosen Integration in Systeme, die bereits im kontinuierlichen Mess- und Instandhaltungsprozess arbeiten, wie z.B. mobile Instandhaltungssysteme, Weichenmesszüge oder automatische Weichenstopfmaschinen.

Die Digitalisierung ist eine Grundvoraussetzung für die vorbeugende Instandhaltung und die reibungslose Zusammenarbeit aller Beteiligten. Automatisierte Systeme erzeugen im Betrieb eine Vielzahl von Daten und Informationen. Zum einen sind dies Inspektions- und Messdaten, z.B. die geometrische Lage und die Abmessungen der vorliegenden Weiche. Zum anderen sind es wichtige Maschinen- und Prozessdaten, wie z.B. die Messung der Zwischenlagentemperatur beim Auftragsschweißen oder die Daten zur Kontrolle der vollständigen Riss- oder Fehlerentfernung.

Ebenso wichtig ist die Einbindung von Vorinformationen durch auftragsbezogene Daten der geplanten Einsatzstelle, z.B. die exakte Positionierung von präventiven Arbeitsposi-

# SEKISUI

## FFU™ Kunstholzschwelle

Funktioniert. Einfach. Sicher.



Wir halten  
die Spur\*  
Sicher Reisen



BAHNTECHNIK  
State  
of the Art

GLOBAL100  
THE WORLD'S MOST SUSTAINABLE CORPORATIONS

SEKISUI CHEMICAL GmbH  
Roßstraße 92 • D-40476 Düsseldorf  
T: +49-(0)211-36977-0  
E-Mail: contact@sekisui-rail.com  
www.sekisui-rail.com



\*Temperaturausdehnungskoeffizient  
FFU74 =  $7,8 \times 10^{-6} / ^\circ\text{K}$



**Abb. 6:** Feinschliff der bereits im Fräsprozess erzeugten Facetten der Schienenoberfläche

onen an der Weiche oder bekannte Vorschädigungen, die zu beheben sind. Dadurch erhält der Betreiber, aber auch der Anwender, wertvolle Zusatzinformationen über das Weichensystem, dessen Zustand und die Historie der durchgeführten Arbeiten.

#### Innovation braucht Zusammenarbeit

„Aus der Sicht des Bisherigen ist das Neue immer falsch“ [9]. Nicht zuletzt, weil die Renaissance der Schiene längst begonnen hat, braucht es mutige Ansätze und eine unbürokratische Herangehensweise, um mit neuen Lösungen schnell, effizient und sicher ins Gleis zu kommen. Dazu muss die Zusammenarbeit neu gedacht und erprobt sowie der finanzielle Rahmen gesteckt werden.

Auf einer breiten Basis der Zusammenarbeit können die nächsten Entwicklungs- und Realisierungsschritte in Richtung eines vollautomatischen Auftrags- und Reparaturschweißens von Weichen vorangebracht werden. Dazu sind folgende Maßnahmen notwendig, um die technisch möglichen Verbesserungen schnell und effizient zu realisieren:

- die Erprobung und Validierung der erforderlichen Mess- und Prüfverfahren an der Weiche zum Nachweis einer rissfreien Ausgangslage und geeigneter Überlaufgeometrie

- die Erprobung und Validierung des Schweißprozesses für Stahl- und Manganherzen
- die Entwicklung und Implementierung einer Mensch-Maschine-Schnittstelle mit einfacher und sicherer Bedienung des Gesamtsystems
- der Test und die Abnahme der Einzelschritte und des Gesamtprozesses für den Einsatz im Gleis
- die gemeinsame Entwicklung und Implementierung der Digitalisierungskomponenten mit den Nutzern und Infrastrukturbetreibern
- die Vorbereitung eines lernenden Systems, das sich laufend, auf Basis des Technologieeinsatzes, weiterentwickelt.

Die Mechanisierung und Automatisierung hat in den letzten Jahrzehnten in der Eisenbahnwelt in verschiedenen Arbeitssystemen und Maschinen weitgehend Einzug gehalten. Dadurch wurde die Sicherheit des Personals im Gleisbereich erhöht und dessen schwere körperliche Arbeit reduziert.

Angesichts der bereits heute spürbaren Auswirkungen des demografischen Wandels und der damit verbundenen Belastungen für Bauunternehmen und Infrastrukturbetreiber ist eine weitere Automatisierung der Gleisstandhaltungsarbeiten unumgänglich.

Der vorgestellte Gesamtprozess für das Auftrags- und Reparaturschweißen von Weichen wird dazu beitragen, die Vorteile automatisierter Lösungen für die präventive Instandhaltung zu nutzen und so die ambitionierten Wachstumsziele sowie die Verfügbarkeit, Zuverlässigkeit und Sicherheit der Netze sicherzustellen. ■

#### QUELLEN

- [1] [https://www.deutschebahn.com/de/konzern/starke\\_schiene-6899544](https://www.deutschebahn.com/de/konzern/starke_schiene-6899544), 29.05.2023 um 08:00
- [2] <https://infrastruktur.oebb.at/de/unternehmen/fuer-oesterreich/zukunftsbahn-zielnetz>, 29.05.2023 um 08:15
- [3] Oprandi, S.: Der Wert der Verfügbarkeit, SBB, Vortrag auf ÖVG-Tagung 2023 (Salzburg), 08.05.2023
- [4] Deutsche Bahn: Daten & Fakten 2021, 2022, Deutsche Bahn AG, S. 27
- [5] ÖBB Holding AG: Zahlen Daten Fakten 2022/23, 2023, ÖBB Holding AG, S. 14
- [6] Krebs, N.; Brunner, M.; Geiser, P.; Hunn, S.; Wiedmer, B.: Neues LCC-optimiertes Weichensortiment für die SOB, BLS und SBB, ZEVrail 05/2023, S. 185
- [7] ProRail: Jaarverslag 2022, 2023, ProRail, S. 4
- [8] jgf: DB benotet ihr Netz – hoher Nachholbedarf, DER EISENBAHNINGENIEUR 5/2023, S. 67
- [9] Weichselbaum, E.: In jedem Unternehmen steckt ein Besseres, 2020, Verlag Franz Vahlen, S. 25

Alle Autoren:  
Robel Rail Automation, Freilassing



**Engelbert Koch, M.Sc.**  
Produktmanagement  
engelbert.koch@railautomation.com



**Dr. Michael Reiter**  
Geschäftsführer  
michael.reiter@railautomation.com



**Thomas Weis, M.Eng.**  
Leitung Forschung & Entwicklung  
thomas.weis@railautomation.com