



AUTOMATION MYTH BUSTING SERIES



Deutsches Zentrum für
Schienenverkehrsforschung beim



Eisenbahn-Bundesamt

AUTOMATISIERUNGSMYTHOS #5

Ein Güterbahnhof ist unkompliziert und kann ohne nutzerzentriertes Design automatisiert werden.

Automatisierung bei kognitiven, organisatorischen und physischen Anwendungsfällen im Güterbahnhof

ZUSAMMENFASSUNG

Automatisierung und intelligente Systeme haben das Potenzial, die Arbeit im Güterverkehr sicherer und einfacher zu machen sowie die Effizienz des Betriebs zu verbessern. Gleichzeitig können sie jedoch neue Herausforderungen für das Personal in den Güterbahnhöfen mit sich bringen. Die Automatisierung von Güterbahnhöfen wird oft als simpler Prozess betrachtet, der keine Berücksichtigung der Nutzenden erfordert. Dieser Beitrag räumt mit dem Mythos auf und zeigt auf, wie wichtig es ist, die Ergonomie des Güterbahnhofs - die physischen, kognitiven und organisatorischen Aspekte der Arbeit - zu berücksichtigen, um eine optimale Kombination menschlicher Fähigkeiten, Kenntnisse und Leistungen mit Automatisierung zu gewährleisten. Wir betrachten diese ergonomischen Faktoren anhand von drei relevanten Anwendungsfällen der Automatisierung - Planungstools, digitale Instandhaltung und Robotik.

AUTOR

Dr. David Golightly

ist Dozent für Mensch-System-Integration bei der Future Mobility Group an der Universität Newcastle, Großbritannien. David hat sich mit menschlichen Faktoren in allen Bereichen des Schienenverkehrs und in Sektoren wie dem Gesundheitswesen, dem Baugewerbe und dem Produktdesign beschäftigt. David ist anerkanntes Mitglied des CIEHF und Psychologe.
david.golightly@newcastle.ac.uk

EINFÜHRUNG

Der Schienengüterverkehr ist in ganz Europa im Wandel. Die Gewährleistung eines effektiven und pünktlichen Güterverkehrs ist von signifikanter Relevanz, insbesondere in Anbetracht der Notwendigkeit, die Rentabilität und Umweltverträglichkeit des Schienenverkehrs zu gewährleisten. Dies ist von entscheidender Bedeutung, wenn die Schiene eine rentable, emissionsarme Alternative zum Straßenverkehr darstellen oder eine intermodale Verbindung mit dem Straßen-, Luft- und Seeverkehr etablieren soll. Die Konsequenz ist nicht nur eine erhöhte Anzahl an Zügen, die mit höherer Effizienz betrieben werden, sondern auch längere Züge und komplexere Ladungen, um den vielfältigen Kundenanforderungen zu entsprechen.

Diese Veränderung der Nachfrage vollzieht sich parallel zum Potenzial für eine verstärkte Automatisierung des Schienengüterverkehrs und des Eisenbahnsektors im Allgemeinen. (Gerken et al., 2022). Es gibt neue Instrumente und Möglichkeiten zur Optimierung der Beladung und Planung von Güterzügen, neue Traktionsarten, die CO₂-ärmere Alternativen bieten, sowie die Einführung der digitalen Kopplung. Des Weiteren wird eine verstärkte Überwachung und Erkennung von transportiertem Material sowie anderen Frachtgütern erfolgen. Ferner besteht die Möglichkeit, dass die Beladung von Zügen sowie Wartungsarbeiten mithilfe von Exoskeletten und Robotern ausgeführt werden. Die Automatisierung im Güterbahnhof hat das Potenzial, dem Bahnpersonal signifikante Vorteile zu bieten. Sie kann dazu beitragen, den Bedarf an physisch anspruchsvollen Aufgaben zu reduzieren, die Notwendigkeit zu verringern, sich in der Nähe von Waggons

und Lokomotiven aufzuhalten, bessere Entscheidungen zu ermöglichen und insgesamt die Leistung zu steigern (Pollehn et al., 2021).

Ein weit verbreiteter Mythos in Bezug auf Automatisierungsprozesse ist die Annahme, dass ein Güterbahnhof lediglich eine Ansammlung einfacher physischer Tätigkeiten ist, die klar voneinander getrennt sind. Daher könnten neue Technologien ohne jegliche Auswirkungen eingeführt werden, möglicherweise in Verbindung mit einigen grundlegenden Schulungen. In der Praxis ist der Güterbahnhof jedoch ein komplexes und flexibles Umfeld, das mit anspruchsvollen Tätigkeiten einhergeht. Um den Bedürfnissen der Kundschaft sowie den betrieblichen Anforderungen gerecht zu werden, ist eine agile Umsetzung der Tätigkeiten erforderlich (Golightly et al., 2024). Wenn die Automatisierung nicht auf eine Weise konzipiert und eingesetzt wird, die sich an der Realität der Arbeit und deren Umsetzung orientiert, besteht die Gefahr, dass neue technische Lösungen eigene Herausforderungen mit sich bringen, die zu Leistungseinbußen, Ablehnung durch das Personal oder, im schlimmsten Fall, zu unerwarteten Sicherheitsrisiken im Umfeld des Güterbahnhofs führen (Vaghi et al., 2016).

Zentral für die erfolgreiche Umsetzung des betrieblichen und technologischen Wandels ist die Rolle der Menschen im Güterbahnhof (Golightly et al., 2024). Dazu gehört das operative Personal, das dafür sorgt, dass die Güterzüge sicher abgestellt, vorbereitet, gewartet und für den Einsatz überprüft werden. Außerdem gibt es Rangierer, die Wagen innerhalb des Bahnhofs bewegen, um Züge vorzubereiten, oder Wagen zur Wartung oder zum Ein- und Auslagern bewegen. Personen mit Führungsverantwortung und Disponenten organisieren die Bewegungen innerhalb des Bahnhofs und die Planung von Personal und Ressourcen. Schließlich gibt es noch diejenigen, die mit der Planung und Durchführung der Instandhaltung von Rollmaterial betraut sind.

Trotz der entscheidenden Bedeutung des Güterbahnhofs für den Bahnbetrieb wurde diesem Bereich bisher sehr wenig Aufmerksamkeit geschenkt. Auch bei der Betrachtung der Auswirkungen von technischen Veränderungen liegt der Güterbahnhof häufig nicht im Fokus. Die Möglichkeit der Automatisierung ist gegeben, jedoch ist eine Implementierung erforderlich, die den spezifischen Arbeitsanforderungen des Güterbahnhofs gerecht wird. Wir betrachten dies ausführlicher im Hinblick auf die physischen, kognitiven und organisatorischen Aspekte der Arbeit (IEA, N.D.) im Güterbahnhof (siehe Abb. 1), wobei wir uns auf drei Beispiele für Automatisierung beziehen - Planungstools, digitale Instandhaltung und Robotik.

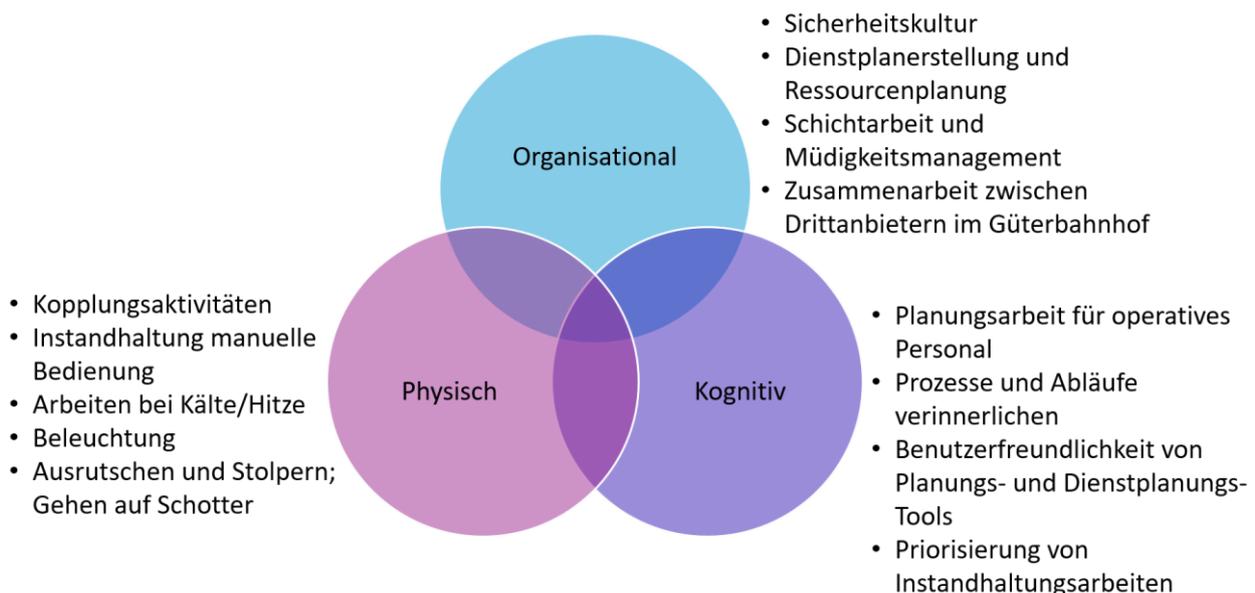


Abb. 1: Physische, kognitive und organisatorische Ergonomie mit Beispielen aus dem Güterbahnhof

KOGNITIVE FAKTOREN UND DER ANWENDUNGSFALL PLANUNGSTOOLS

Der Güterbahnhof ist ein komplexes Arbeitsumfeld, in dem Pläne mit zahlreichen Einschränkungen (Wagenladungen, Zugzusammenstellung, Verfügbarkeit von Rollmaterial, Kundenfahrplan, Netzverfügbarkeit) mit praktischen Erwägungen, wie der Verfügbarkeit des Bodenpersonals, oder die Außerbetriebnahme von Triebfahrzeugen und Waggons für Wartungsarbeiten, in Einklang gebracht werden müssen.

Automatisierte Tools können bei der Planung des Rangierbetriebs helfen, indem sie Ankunftszeiten vorhersagen (Minbashi et al., 2021), Züge den Gleisen innerhalb des Bahnhofs zuweisen und Bewegungen innerhalb im Bahnhof konzipieren (z. B. Wabtec, N. D.), auf Änderungen reagieren (Licciardello et al., 2020) und Ressourcen wie Personal planen (Preis et al., 2023).

Automatisierte Tools können zwar von großem Nutzen sein, müssen aber die Dynamik der Verhaltensweisen und Aktivitäten auf dem Güterbahnhof berücksichtigen. Aufgaben werden möglicherweise nicht nacheinander ausgeführt, sondern kombiniert bearbeitet, um die Effizienz des operativen Personals zu maximieren und die Anzahl der Rangierbewegungen im Bahnhof zu minimieren (Golightly et al., 2024). Jedes Optimierungstool muss diese Kombination von Aufgaben entweder direkt in den geplanten Abläufen abbilden oder Entscheidungsunterstützung bieten, die eine flexible, widerstandsfähige Arbeitsweise ermöglicht und gleichzeitig die Verfügbarkeit und Qualifikationen des Personals berücksichtigt (Preis et al., 2023).

Darüber hinaus sollte eine Optimierungssoftware Anpassungen und die einfache Eingabe kurzfristiger Einschränkungen ermöglichen (z. B. wenn ein Gleis oder eine Straße im Bahnhof nicht benutzt werden kann), und der betriebliche Einsatz der Tools muss auf kurzfristige Änderungen reagieren können - z. B. wenn kurzfristig keine Triebfahrzeuge zur Verfügung stehen, wenn Züge verspätet eintreffen und eine schnelle Umkehr erforderlich ist oder wenn nur bestimmte Mitarbeiter für bestimmte Aufgaben zuständig sind. Idealerweise sollte jedes Tool eine schnelle Neuplanung erleichtern, ebenso wie es einen optimalen Plan im Voraus für den jeweiligen Betriebstag liefern kann. Je mehr ein Tool mit anderen Systemen verknüpft werden kann (z. B. für die Verwaltung von Waggonbeständen, Dienstplänen, Fahrplänen), desto mehr wird die Arbeitsbelastung des Bedienpersonals und die Möglichkeit von Eingabefehlern reduziert.

Alle diese Punkte deuten darauf hin, dass die Mensch-Maschine-Schnittstelle (HMI) eines jeden Tools von grundlegender Bedeutung ist. Dazu gehört die Darstellung von Informationen in einer Weise, die für den Bediener oder die Bedienerin sinnvoll ist, aber auch die flexible (und idealerweise automatische) Dateneingabe sowie die Möglichkeit, Kriterien und Einschränkungen innerhalb des Planungstools anzupassen. Ein Schlüsselement für die Gewährleistung von Vertrauen ist die Erklärbarkeit der Ergebnisse von Planungstools, so dass die Nutzenden verstehen können, wie die Entscheidungen zustande gekommen sind, z. B. indem die Gründe für eine Entscheidung klar angegeben werden oder die Nutzenden sie abfragen kann. Konzepte aus dem Human-Automation Teaming sollten in die Konfiguration von Optimierungstools einfließen, um sicherzustellen, dass Automatisierung und Bediener geteiltes Wissen für gemeinsame Ziele entwickeln können (siehe AMBP#4). Die HMI sollte auch übergreifend genutzt werden können - eine der größten Herausforderungen bei der aktuellen IT im Güterbahnhof besteht darin, dass verschiedene Personen unterschiedliche Software verwenden, sowie zusätzlich Whiteboards und Papier. Mit einer flexiblen, gemeinsam nutzbaren HMI kann das Aufsichtspersonal im Güterbahnhof seine Pläne mit dem Bodenpersonal (z. B. mit einer maßgeschneiderten HMI für mobile Endgeräte) und den kaufmännischen und leitenden Angestellten (z. B. über ein Web-Dashboard) teilen.

ORGANISATORISCHE FAKTOREN UND DER ANWENDUNGSFALL DIGITALER INSTANDHALTUNG

Eine der großen Chancen der Automatisierung und Digitalisierung im Güterbahnhof ist der Bereich der digitalen Instandhaltung. Diese umfasst die Erfassung von Daten aus betrieblichen Anlagen, die mit historischen, nutzungsbezogenen und umweltbedingten Daten kombiniert werden können, um den zukünftigen Zustand und mögliche Ausfallmodi vorherzusagen. In seiner fortgeschrittensten Form kann es nicht nur den Wartungsbedarf prognostizieren, sondern auch Wartungspläne automatisch erstellen. Im Güterbahnhof betrifft dies in erster Linie Waggons und Triebfahrzeuge, kann jedoch auch auf die Infrastruktur des Bahnhofs selbst angewendet werden (z. B. den Zustand von Weichen). Relevante Beispiele für den Güterbahnhof sind etwa die Überwachung und vorausschauende Instandhaltung von Triebfahrzeugen, wie auf der Kiruna-Erzbahn in Schweden (H-Nia et al., 2024), sowie Waggon-Telematiksysteme (TIS, 2020).

Der menschliche Nutzen dieser Automatisierung liegt darin, ungeplante Ausfälle zu reduzieren, die den Betrieb stören könnten. Zudem stellt sie sicher, dass Betriebsmittel wie Waggons stets in optimalem Zustand sind und jederzeit einsatzbereit bleiben. Aus menschlicher Perspektive reduziert diese Form der Automatisierung außerdem die Notwendigkeit routinemäßiger, aber unnötiger Wartungsarbeiten. Dadurch verringert sich der Bedarf an nicht zwingend erforderlichen Rangierbewegungen im Bahnhof sowie an körperlich belastenden Tätigkeiten.

Während viele technische Herausforderungen bei der Implementierung der digitalen Instandhaltung mittlerweile verstanden sind, bestehen weiterhin erhebliche Herausforderungen im Bereich der menschlichen Faktoren, die überwunden werden müssen, damit die Technologie ihren vorgesehenen Zweck erfüllt. Ein solches System muss die grundlegenden Prinzipien einer menschenzentrierten Automatisierung berücksichtigen, wie bereits beschrieben (z. B. benutzerfreundliche HMI, Erklärbarkeit und Anpassung an die Entscheidungsbedürfnisse der Nutzer). Dadashi et al. (2023) haben zentrale Gestaltungsprinzipien definiert, die eine benutzerzentrierte Entwicklung und Implementierung von Technologien zur Fernüberwachung des Anlagenzustands ermöglichen.

Auch organisatorische Herausforderungen, insbesondere im Hinblick auf die Koordination zwischen verschiedenen Akteuren und Stakeholdern müssen berücksichtigt werden. Jede digitale Instandhaltungslösung umfasst in der Regel eine vorgelagerte Prozesskette, die Softwareentwickler, Eigentümer der Betriebsmittel, Komponentenlieferanten und Sensorhersteller einbezieht. Die HMI sollte so gestaltet sein, dass sie diese organisatorischen Komplexitäten minimiert oder – wenn angemessen – ausblendet. Zudem arbeiten Instandhaltungsfachkräfte oft mit mehreren Anbietern von Überwachungslösungen zusammen. Eine konsistente Gestaltung der HMI ist daher essenziell, damit unterschiedliche Systeme nicht mit widersprüchlicher Terminologie, Symbolik oder abweichenden Schwellenwerten arbeiten (Golightly et al., 2018).

Digitale Instandhaltung bringt auch direkte organisationale Veränderungen für Wartungspersonal mit sich, das sich bisher vor allem mit routinemäßigen Wartungsarbeiten beschäftigt hat. Die Arbeit erfolgt nun zunehmend als Reaktion auf durch digitale Instandhaltung getroffene Entscheidungen. Dies erfordert Anpassungen in den Schichtmodellen, zudem muss der zunehmende Bedarf an Fernwartung und Rufbereitschaft bewusst organisiert werden. Schließlich müssen klassische Wartungs- und Ingenieurskompetenzen nun mit digitalen Fähigkeiten kombiniert werden. Ältere Mitarbeitende benötigen dafür gezielte Schulungen. Gleichzeitig bietet der „digitale Waggon“ die Chance, neue Mitarbeitende für den Güterbahnhof zu gewinnen, die diesen als fortschrittlichen Arbeitsplatz wahrnehmen.

PHYSIKALISCHE FAKTOREN UND DER ANWENDUNGSFALL ROBOTIK

Für das Personal stellt der Güterbahnhof eine herausfordernde Arbeitsumgebung dar. Körperlich anspruchsvolle Aufgaben müssen bei jeder Witterung und häufig im 24/7-Betrieb ausgeführt werden. Zudem bergen viele dieser Tätigkeiten ein erhebliches Risiko für Muskeln und Skelett, bedingt durch die dabei auftretenden Gewichte, Kräfte und Körperhaltungen. Zu den typischen Aufgaben im Güterbahnhof gehören das Kuppeln von Waggons und Triebfahrzeugen, das Anlegen und Lösen von Handbremsen, das Hinzufügen und Entfernen von Haltevorrichtungen (für Ladungen wie Stahl oder Holz), das Öffnen und Schließen von Waggontüren sowie das Entfernen und Wiederbeladen von Komponenten während der Wartung. Diese Tätigkeiten können insbesondere bei häufiger Wiederholung innerhalb einer Schicht eine hohe körperliche Belastung darstellen. Zudem können Leistungsausfälle schnell zu Sicherheitsrisiken führen, etwa wenn Handbremsen nicht gelöst werden, bevor ein Zug in das Streckennetz einfährt (Golightly et al., 2024). Robotik wird bereits im Personenverkehr (Atherton, 2020) oder auch in Häfen (McKinsey, 2016) eingesetzt. Auch für den Güterbahnhof gibt es erste Beispiele für den Einsatz von Robotik, etwa für automatisiertes Rangieren (Hansen, 2004) oder robotergestützte Inspektionen (Anybotics, 2023).

Nicht alle Tätigkeiten eignen sich unmittelbar für die Automatisierung, doch Routineaufgaben könnten von einem erhöhten Automatisierungsgrad profitieren. Zudem könnte die Reduzierung körperlicher Belastungen die Tätigkeit im Güterbahnhof für eine breitere Zielgruppe zugänglich machen – etwa mehr Frauen ansprechen oder älteren Mitarbeitenden ermöglichen, länger aktiv im Beruf zu bleiben.

Die zentrale Herausforderung besteht darin, diese Form der physischen Automatisierung praxisnah und flexibel genug für potenzielle Nutzer zu gestalten. Im Gegensatz zur Fertigung oder innerbetrieblichen Logistik erfordern sowohl die Dynamik als auch die Umweltbedingungen des Güterbahnhofs eine sorgfältige Aufgabenanalyse, um Tätigkeiten zu identifizieren, bei denen Automatisierung tatsächlich nahtlos in die Arbeitsabläufe integriert werden kann. Darüber hinaus erfordert die Vielfalt und Flexibilität der Aufgaben im Güterbahnhof, dass Benutzeroberflächen für die Robotik so gestaltet werden, dass eine schnelle Neukonfiguration der Roboter zur Anpassung an wechselnde Anforderungen möglich ist.

Der Bereich der menschlichen Faktoren bietet eine Vielzahl von Methoden, um zu verstehen, wie Automatisierung auf eine angemessene und benutzerfreundliche Weise gestaltet und implementiert werden kann. Im Bereich der Robotik gibt es mittlerweile Standards für das kollaboratives Robotikdesign, die es ermöglichen, dass Mitarbeitende und Automatisierungssysteme sicher zusammenarbeiten (ISO/TS 15066). Dennoch ist weitere Forschung erforderlich, um zu verstehen, wie diese Standards auf die besonders anspruchsvollen Aspekte des Güterbahnhofs übertragen werden können (z. B. das Bewegen auf Schotter). Es ist jedoch denkbar, dass Aufgaben im Wartungsbereich durch Robotik bald optimiert werden könnten. Darüber hinaus haben Charalambous et al. (2017) einen Prozess vorgestellt, der den nutzerzentrierten Entwurf und die Einführung von Robotern von der ersten Idee bis zur aktiven Nutzung begleitet.

Andere Formen der Automatisierung, wie Exoskelette, könnten ebenfalls die Durchführung körperlicher Aufgaben unterstützen. In diesem Fall müssen Entwickler und Beschaffungsverantwortliche die flexible Natur der Arbeit und der Personalstruktur im Güterbahnhof berücksichtigen, da womöglich mehrere Bediener das Exoskelett schnell an- und ablegen müssen. Zudem muss es an unterschiedliche anthropometrische Merkmale der Nutzer angepasst werden können.

DER WEG ZUM ZIEL

Wir haben Automatisierung in kognitiven, organisatorischen und physischen Anwendungsfällen betrachtet und es zeigen sich übergreifende Prinzipien, die für alle relevant sind. Jede Automatisierungsgestaltung und -einführung muss nutzerzentriert erfolgen, wie es beispielsweise die Norm ISO 9241-210 empfiehlt. Durch die aktive Einbindung der Nutzer in die Entwicklung oder Beschaffung von

Produkten können wir sicherstellen, dass diese reale Bedürfnisse erfüllen, gut in die Arbeitsprozesse integriert sind und Entwicklungskosten sowie das Risiko teurer, aber ungenutzter Geräte minimiert werden. Dies ist besonders wichtig in einem Sektor mit geringen Gewinnmargen, in dem Investitionen optimal genutzt werden müssen. Darüber hinaus fördert ein nutzerzentrierter Ansatz die Akzeptanz der Mitarbeitenden, stärkt ihr Vertrauen und sichert ihr langfristiges Engagement als Teil eines strukturierten Einführungsprozesses.

Wir haben uns auf die Aspekte Optimierungstools, digitale Instandhaltung und Robotik konzentriert, doch die menschlichen Herausforderungen – die körperliche Belastung der Aufgaben, die Notwendigkeit von Resilienz und die Auswirkungen einer anspruchsvollen Umgebung – sind ebenso relevant für andere Technologien wie die digitale Kupplung oder das ferngesteuerte und autonome Rangieren. Nutzerzentrierte Ansätze und eine prinzipiengeleitete, menschenzentrierte Automatisierung sollten daher das Fundament all dieser komplexen Entwicklungen bilden. Durch das Verständnis der Arbeitsrealität im Güterbahnhof und die Zusammenarbeit mit den Endnutzern kann der Irrglaube ausgeräumt werden, dass Technologie ohne Auswirkungen eingeführt werden kann. Eine nutzerzentrierte Automatisierungsgestaltung und -einführung führt letztlich zu einem sichereren, leistungsfähigeren Güterbahnhof, in dem eine qualifizierte und diverse Belegschaft die Logistik des 21. Jahrhunderts erfolgreich gestaltet.

LITERATUR

- Anybotics (2023). *Transforming Rail Operations Through Automated Robotic Inspection*. Available from <https://www.anybotics.com/news/transforming-rail-operations-through-automated-robotic-inspection/#:~:text=railCare%20Enhances%20Safety%20and%20Efficiency,the%20limitations%20of%20human%20inspection>
- Atherton, M., Hill, S., Harrison, D., & Ajovalasit, M. (2020). Economic and technical feasibility of a robotic autonomous system for train fluid servicing. *Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part F: Journal of Rail and Rapid Transit*, 234(3), 338-350. <https://doi.org/10.1177/0954409719830520>
- Charalambous, G., Fletcher, S. R., & Webb, P. (2017). The development of a Human Factors Readiness Level tool for implementing industrial human-robot collaboration. *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 91, 2465-2475. <https://doi.org/10.1007/s00170-016-9876-6>
- Dadashi, N., Golightly, D., Sharples, S., & Bye, R. (2023). *Intelligent Infrastructure: User-centred Remote Condition Monitoring*. CRC Press.
- Gerken, P., Kotzab, H., Blumenstein, L., Buse, F., von Euen, N., Mucker, K., & Zöllner, L. (2022). Digitalization of rail freight transport. In W. Kersten, C. Jahn, T. Blecker, & C. M. Ringle (Eds.), *Changing Tides: The New Role of Resilience and Sustainability in Logistics and Supply Chain Management – Innovative Approaches for the Shift to a New* (pp. 403–435). doi:10.15480/882.4710
- Golightly, D., Kefalidou, G., & Sharples, S. (2018). A cross-sector analysis of human and organisational factors in the deployment of data-driven predictive maintenance. *Information Systems and e-Business Management*, 16(3), 627-648. <https://doi.org/10.1007/s10257-017-0343-1>
- Golightly, D., Lonergan, J., & Ethell, D. (2024). Human performance in the rail freight yard. *Ergonomics*, 1–11. <https://doi.org/10.1080/00140139.2024.2375013>
- H-Nia, S., Flodin, J., Casanueva, C., Asplund, M., & Stichel, S. (2023). Predictive maintenance in railway systems: MBS-based wheel and rail life prediction exemplified for the Swedish Iron-Ore line. *Vehicle System Dynamics*, 62(1), 3–20. <https://doi.org/10.1080/00423114.2022.2161920>
- Hansen, I. (2004). Automated shunting of rail container wagons in ports and terminal areas. *Transportation Planning and Technology*, 27(5), 385–401. <https://doi.org/10.1080/0308106042000280501>
- International Ergonomics Association (N. D.) *What is Ergonomics?* Available from <https://iea.cc/about/what-is-ergonomics/>
- Licciardello, R., Adamko, N., Deleplanque, S., Hosteins, P., Liu, R., Peterson, A., ... & Pellegrini, P. (2020). Integrating yard, network and optimisation models towards real-time optimisation of rail freight yard operations. *Ingegneria Ferroviaria*, (6), 21p.
- McKinsey (2016) *The future of automated ports*. Available from <https://www.mckinsey.com/~media/McKinsey/Industries/Travel%20Transport%20and%20Logistics/Our%20Insights/The%20future%20of%20automated%20ports/The-future-of-automated-ports-final.pdf>

- Minbashi, N., Bohlin, M., Palmqvist, C.-W., & Kordnejad, B. (2021). The Application of Tree-Based Algorithms on Classifying Shunting Yard Departure Status. *Journal of Advanced Transportation*, 2021(1), 3538462. doi:10.1155/2021/3538462
- Pollehn, T., Ruf, M., & König, R. (2021). Evaluating the effects of automation components in service networks of rail freight. *Journal of Rail Transport Planning & Management*, 20, 100267. doi:10.1016/j.jrtpm.2021.100267
- Preis, H., Pollehn, T., & Ruf, M. (2023). Optimal resource rescheduling in classification yards considering flexible skill patterns. *Journal of Rail Transport Planning & Management*, 26, 100390. doi:10.1016/j.jrtpm.2023.100390
- ITS (2019) *The Intelligent Freight Train white paper*. Available from <https://tis.ag/en/download/tis-white-paper-intelligent-freight-train-2019-06/?wpdmdl=652&refresh=66df1743692661725896515>
- Vaghi, C., Wheat, P., Österle, I., Milottia, A., & Nellthorp, J. (2016). The Role of Human Factors in Rail Freight Innovation. In *Towards Innovative Freight and Logistics* (pp. 245–258). doi:10.1002/9781119307785.ch17
- Wabtec (N. D.) *Yardplanner*. Available from <https://www.wabteccorp.com/digital-intelligence/scheduling-planning-and-optimization/yard-planner>