UIC-RAIL SYSTEM ABTEILUNG

Künstliche Intelligenz
Auswirkungen auf den europäischen Bahnsektor, aktueller Stand und Perspektiven

März 2021

INTERNATIONAL UNION
OF RAILWAYS

ISBN 978-2-7461-3067-8

Hinweis
Die vollständige oder auszugsweise Wiedergabe, der Nachdruck sowie die Verteilung jeglicher, einschließlich elektronischer Art, zu anderen als rein privaten und eigenen Zwecken ohne die ausdrückliche vorherige Zustimmung des Internationalen Eisenbahnverbandes, sind untersagt. Die Übersetzung, Anpassung oder das Umschreiben bzw. die Umgestaltung oder Vervielfältigung durch technische oder sonstige Verfahren sind ebenfalls urheberrechtlich geschützt.
Lediglich zugelassen sind, unter Nennung der Autoren und der Quelle, „Analysen und kurze Zitate, die durch den kritischen, polemischen, pädagogischen, wissenschaftlichen oder informativen Charakter des Werkes, aus dem sie stammen, gerechtfertigt sind“. (Art. L 122-4 und L 122-5 des Gesetzes über geistiges Eigentum).

© Internationaler Eisenbahnverband (UIC) - Paris, 2021

Inhaltsangabe

1. Was ist Künstliche Intelligenz? ... 3
1.1. Maschinelles Lernen (ML) ... 4
1.2. Natürliche Sprachverarbeitung (NLP) ... 7
1.3. Robotik ... 8
1.4. KI aus Anwendersicht ... 8

2. Aktueller Stand im europäischen Bahnsektor und Perspektiven ... 10
2.1. EU-politischer Kontext ... 10
2.2. Umsetzung von KI-Technologien im Bahnsektor - Perspektiven ... 11
2.2.1. Bilderkennung in der Terrorbekämpfung ... 11
2.2.2. Chatbots und virtuelle Assistenten für Reisende ... 11
2.2.3. Verkaufsprognosen mit ML ... 12
2.2.4. Roboter in Bahnhöfen ... 12
2.2.5. Roboter in Zügen ... 12
2.2.6. Roboter in Lagern ... 12
2.3. Vorausschauende Instandhaltung ... 13
2.3.1. Definition und Vorteile der vorausschauenden Instandhaltung ... 13
2.3.2. Vorausschauende Instandhaltung von Fahrzeugen ... 13
2.3.3. Vorausschauende Instandhaltung für die Infrastruktur ... 14
2.3.4. Andere betriebliche System als Entscheidungshilfen ... 15

3. Erfolgsfaktoren und Rolle der UIC ... 16
3.1. Bahnexperten der UIC in allen Ebenen eingebunden ... 16
3.2. Interpretierbarkeit und Entscheidungsfindung ... 16
3.3. Veränderung herbeiführen ... 16
3.3.1. Dringlichkeit aufzeigen ... 17
3.3.2. Führungskoalition aufbauen ... 17
3.3.3. Vision und Strategie entwickeln ... 17
3.3.4. Vision kommunizieren ... 18
3.3.5. Hindernisse aus dem Weg räumen ... 18
3.3.6. Kurzfristige Erfolge anstreben ... 18
3.3.7. Veränderungen weiter antreiben ... 19
3.3.8. Veränderungen verankern ... 19

4. Nächste Schritte ... 20

Literaturhinweise ... 21

Schlagwörter

Künstliche Intelligenz (KI) - Maschinelles Lernen (ML) - Deep Learning - Natürliche Sprachverarbeitung (NLP) - Robotik - Daten - Gesichtserkennung - Chatbot - Verkaufsprognose - Prädiktive Instandhaltung - Bahn - UIC

Zusammenfassung

Diese Abhandlung beschreibt den aktuellen Stand und die Perspektiven für die Implementierung von KI im europäischen Bahnsektor.

Zunächst wird erklärt, was unter Künstlicher Intelligenz (KI) zu verstehen ist.

Der Schwerpunkt wird dabei insbesondere auf maschinellem Lernen, natürlicher Sprachverarbeitung und Robotik gesetzt.

Anschließend wird das EU-politische Umfeld des Bahnsektors in Bezug auf KI betrachtet (Strategien für nachhaltige und intelligente Mobilität, durch KI und Daten) sowie die Strategie der Kostensteuerung der Bahnunternehmen in Bezug auf den zunehmenden Wettbewerb.

Der Bericht beschreibt, wie KI-Technologien derzeit im Bahnsektor eingesetzt werden und wie sie in Zukunft eingesetzt werden sollten. Beispielhaft werden die Möglichkeiten der KI für die Gesichtserkennung bei der Terrorbekämpfung, Chatbots und virtuelle Assistenten für Fahrgäste, Umsatzvorhersagen durch maschinelles Lernen, Robotik in Bahnhöfen, in Zügen, in den Lagern der Logistikbranche sowie der vorausschauende Wartung von rollendem Material und der Eisenbahninfrastruktur angesprochen.

Ferner werden die wichtigsten Erfolgsfaktoren und die Rolle der UIC bei der Förderung einer erfolgreichen Implementierung von KI im Bahnsektor erörtert.

UIC - Internationaler Eisenbahnverband

Die UIC ist der weltweite Eisenbahnverband mit 200 Mitgliedern (UIC, 2020a), die insgesamt 2.783 Milliarden Personenkilometer, 8.991 Tonnenkilometer, 801.357 Streckenkilometer und 6,013 Millionen Bahnmitarbeiter repräsentieren (UIC, 2020b).

Die überwiegende Mehrheit der europäischen Bahnbetreiber sowie Bahnbetreiber aus anderen Kontinenten sind in der UIC vertreten. Außerdem kooperiert der Verband mit namhaften Forschungsinstituten. Darüber hinaus hat die UIC Synergien mit rund 100 führenden Institutionen (Weltbank, ISO, etc.) aufgebaut und ist eine bei den Vereinten Nationen zugelassene Nichtregierungsorganisation.

Die strategischen Schwerpunkte der UIC liegen auf der Förderung der Bahn als weltweit nachhaltigster und kohlenstoffärmster Verkehrsträger und auf der Unterstützung ihrer Mitglieder im technischen Bereich, vor allem durch die Entwicklung von Innovationsprojekten. Hierzu veröffentlichte die UIC das Dokument *'Technical Solutions For the Operational Railway'* (UIC 2020c), das einen Überblick über zielführende Maßnahmen gibt.

Autor

Christian Chavanel ist Leiter der Abteilung Rail System des Internationalen Eisenbahnverbands (UIC) in Paris, Frankreich. Er blickt auf über 30 Jahre Erfahrung bei der Bahn zurück und war in den Bereichen internationale Entwicklung, Projektmanagement, Betrieb, Instandhaltung, Sicherheit, Standardisierung und Zulassung tätig. Er hat ein Diplom des MIT im Bereich „Künstliche Intelligenz und ihrer Auswirkungen auf die Unternehmensstrategien".

1. Was ist Künstliche Intelligenz?

Künstliche Intelligenz (KI) ist ein Wort, das die schlimmsten Fantasien und Ängste in uns weckt, aber auch Hoffnungen, die zum Teil berechtigt sind, zum Teil aber auch überschätzt werden.

Fantasien, Hoffnungen oder Ängste… insbesondere wenn Menschen bzw. menschliche Experten durch Maschinen ersetzt werden sollen (Wired, 2018): Eliza, der erste Chatbot, der sich im Jahr 1965 als Psychotherapeutin ausgab; ein mit zwei Kameras und Computern ausgestatteter Mercedes-Transporter, der 1987 mit mehr als 55 km/h autonom 20 Kilometer weit über eine deutsche Autobahn fuhr; der IBM-Computer Deep Blue, der 1997 den Schachweltmeister Garri Kasparow besiegte; AlphaGo von Google, der 2016 einen Weltmeister im Brettspiel Go schlug.

Mitte der 1980er-Jahre brach der „Winter" der künstlichen Intelligenz an: Von Experten selbstbewusst gemachte Prognosen gingen nicht in Erfüllung. Nur wenige Programme waren in der Lage, menschliche Experten zu ersetzen und die wagemutigen Versuche vieler Start-up-Unternehmen, menschliches Fachwissen zu ersetzen, scheiterten.

Ein Rennen für unbemannte Landfahrzeuge in der Mojave-Wüste, die Darpa Grand Challenge, gab 2004 dann jedoch den Startschuss für den **Wettlauf zur KI** und kurbelte die Industrie der autonomen Fahrzeuge an (Wired, 2018). In den Jahren ab 2010 lebte die KI wieder auf: 2010 kam Siri, und wir konnten mit unseren Telefonen sprechen; 2011 spielte IBM's Watson „Jeopardy!" und schlug die menschlichen Champions.

2012 beflügelten die Forscher des Deep Learning das Interesse der Unternehmen an KI, indem sie nachwiesen, dass Deep Learning eine wesentlich präzisere Sprach- und Bilderkennung ermöglicht (Wired, 2018).

Heute stehen wir am Beginn einer **neue KI-Welle**, die auf **massiver Datenverarbeitung und enormen Datenvolumina** basiert und an der **große Unternehmen** wie Google, Amazon, Facebook, Apple und Microsoft beteiligt sind.

Künstliche Intelligenz (KI) ist ein nicht leicht zu definierender, zusammengesetzter Begriff:

„Es gibt nichts Künstliches daran", sagt Fei-Fei Li, Chefwissenschaftlerin bei Google und Professorin in Stanford. *„KI wird von Menschen gemacht, soll das menschliche Verhalten abbilden und letztlich das Leben der Menschen und menschlichen Gesellschaft beeinflussen"*. (The New York Times, 2018)

Massive Rechenleistung, die nur Routineaufgaben ausführt, die Schritt für Schritt nach einem klassischen analytischen Ansatz von Softwareprogrammierern gesteuert werden, ist keine KI. Ein klassischer Algorithmus, wie kompliziert er auch sein mag, der nicht von der durch einen Softwareprogrammierer programmierten Problemlösungsmethode abweicht, ist **nicht lernfähig. Das ist keine KI**.

‚Ein großer Teil der künstlichen Intelligenz basiert heute auf autonomem Lernen.' (LeCun, 2018a)

Bis heute sind alle KI-Anwendungen Beispiele für sogenannte „schwache KI". Die „allgemeine KI", die Maschinen mit verallgemeinerten menschlichen kognitiven Fähigkeiten bezeichnet (Wikipedia, 2021a) und die Probleme auf Augenhöhe mit dem Menschen eigenständig lösen kann, ist bisher noch keine Realität (LeCun, 2020), genauso wenig wie die „starke KI", die viele Aufgaben sogar besser ist als ein Mensch erledigen kann.

Die schwache KI beruht also nicht auf klassischen Algorithmen, die Schritt für Schritt von Software-Programmierern gesteuert werden und deren Ergebnisse schwer zu interpretieren sind. Außerdem verfügt sie noch nicht über die kognitiven Fähigkeiten des Menschen. Aus diesen Gründen darf KI, insbesondere für Sicherheitsnachweise, **nur dann in Verkehr gebracht werden, wenn das Mensch-Maschine-System als Ganzes betrachtet wird**. Auf diese Frage wird am Ende dieses Artikels nochmals eingegangen.

Im weiteren Verlauf dieser Abhandlung werden wir die **schwache KI im Rahmen der drei wichtigsten Untergruppen und deren Auswirkungen auf die Wirtschaft und die Bahn beschreiben: Maschinelles Lernen, natürliche Sprachverarbeitung und Robotik**.

1.1. Maschinelles Lernen (ML)

Maschinelles Lernen ist ein Teilbereich der KI.

Maschinelles Lernen ist *„die Verwendung von Beispieldaten oder Erfahrungen, um zu vertiefen, wie Computer prädiktive Analysen erstellen oder Aufgaben erledigen“* (Wired, 2018).

Es gibt **verschiedene ML-Ansätze**:

- **Überwachtes Lernen:** Es werden sowohl die Daten als auch eindeutige Ergebnisse - auch Zielvariablen oder Label genannt - vorgegeben. So wird die Software trainiert, indem eine Eingabe (z. B. Fotos) mit der vorherzusagenden Zielvariablen erfasst wird.
- **Unüberwachtes Lernen:** Der Computer lernt ohne Labels nur auf Basis der Datenerfahrung oder der Umgebung. *„Es wird versucht, aufgrund von Beobachtungen zu verstehen, wie die Dinge funktionieren“*, genau wie bei der Modellierung von Daten, *„ohne explizites Feedback darüber, was mit diesen Daten geschehen soll“* (Jaakkola, 2020). Ein banaler Vorgang für Menschen, nicht aber für Computer und Software.
- **Halb-überwachtes Lernen:** Kombination aus überwachtem und unüberwachtem Lernen.
- **Bestärkendes Lernen:** Typischer Vorgang zum Erlernen von Handlungen. Wenn beispielsweise ein Roboter ein Objekt greift oder verschiebt, ändert sich der Zustand seiner Umgebung. Der Roboter muss lernen, mit welcher Handlung er welches Ziel erreicht. Im Gegensatz zu überwachtem und unüberwachtem Lernen erfordert das bestärkende Lernen nur begrenzte Daten (Venturebeat, 2020).

Der typische Prozess des Maschinellen Lernens (ML) erfordert Daten und Algorithmen.

Ein dreistufiger Prozess maximiert die Chancen auf Lernerfolg (Towards Data Science, 2018):

- Training: *„Dem Datenwissenschaftler wird eine Teilmenge von realen Daten bereitgestellt. Diese Daten enthalten eine ausreichende Anzahl positiver und negativer Beispiele, damit jeder potenzielle Algorithmus lernen kann. Der Datenwissenschaftler experimentiert mit einer Reihe von Algorithmen, bevor er sich für diejenigen entscheidet, die am besten zu den Trainingsdaten passen.“*
- Validierung: *„Der Datenwissenschaftler prüft die ausgewählten Algorithmen anhand des Validierungsdatensatzes und misst die Fehler. Der Algorithmus, der die wenigsten Fehler produziert, gilt als der beste. Es ist möglich, dass selbst der beste Algorithmus die Daten über- oder unteranpasst, was zu einer inakzeptablen Fehlerquote führt.“*
- Test: *„Um Fehler genau und zuverlässig messen zu können, sollte ein dritter, sogenannter Testdatensatz verwendet werden, anhand dessen der Algorithmus geprüft und die Fehler berechnet werden.“*

Im Zuge dieses Lernprozesses muss der Datenwissenschaftler **den besten Algorithmus** aus einer Vielzahl von Algorithmen auswählen.

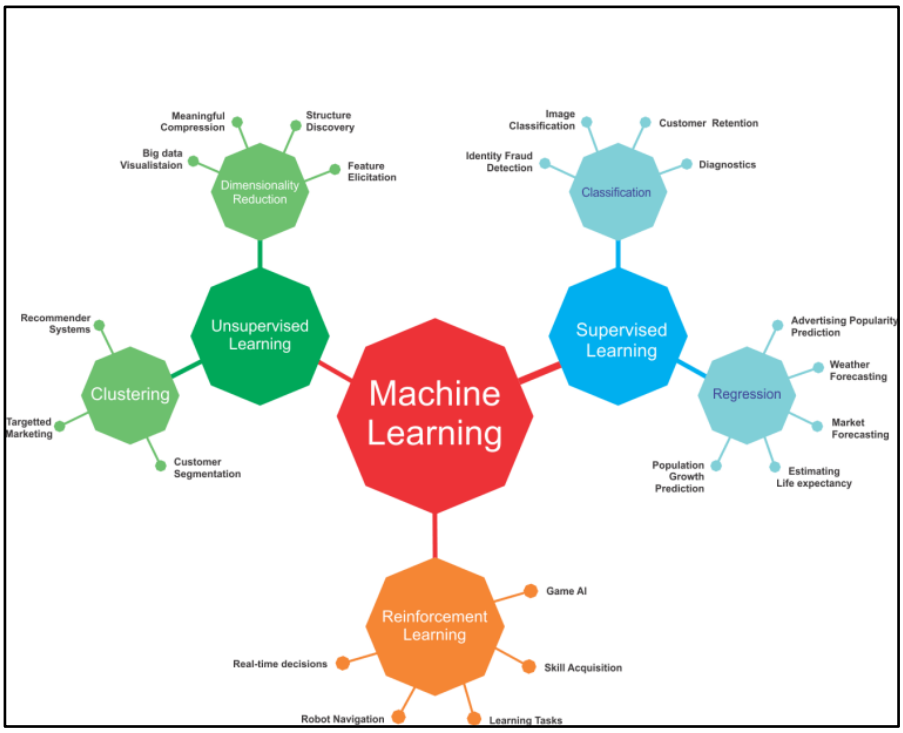

Abb. 1: Liste der Algorithmen für Maschinelles Lernen (Skilllx, 2020)

Die **Qualität der ausgewählten Daten** ist ebenfalls ein ganz entscheidender Faktor.

„Wenn nicht sorgfältig gearbeitet wird, können in jeder Phase, von der Definition und Erfassung des Datensatzes bis zur Überprüfung der Analysen bzw. KI/ML-Systeme (maschinelles Lernen), Verzerrungen auftreten“ (Search Business Analytics, 2020).

Es wurden acht Arten der algorithmischen Voreingenommenheit identifiziert: historische Verzerrung, Training eines falschen Sachverhalts, Unterrepräsentation von Datenmengen, fehlerhafte Interpretation, kognitive Verzerrungen, Verzerrungen bei der Analyse, Verzerrungen bei der Bestätigung, Verzerrungen durch Ausreißer (Search Business Analytics, 2020).

Um Verzerrungen zu vermeiden, muss zunächst erkannt werden, dass eine Voreingenommenheit der Daten existiert, sowohl in den Daten selbst als auch bei den Menschen, die sie analysieren oder nutzen.

Daraus ergeben sich eine Reihe negativer und ethischer Auswirkungen, von schlechten Entscheidungen bis hin zur Benachteiligung bestimmter analysierter Personengruppen.

Eine der Hauptursachen für diese Verzerrungen ist die Art und Weise, wie ein Sachverhalt in einen Sachverhalt für maschinelles Lernen umgewandelt wird, und die Art und Weise, wie die Daten für diesen Sachverhalt erhoben werden. Daher ist eine enge Zusammenarbeit zwischen Datenwissenschaftlern und Experten auf den betroffenen Fachgebieten von ausschlaggebender Bedeutung.

‚Es gibt im Wesentlichen zwei Möglichkeiten, maschinelles Lernen in der Wirtschaft einzusetzen: Erkennung und Vorhersage‘ (Malone, 2020).

Erkennungssysteme sind nützlich bei Bildern. Anwendungsfälle sind vorstellbarbar in Bereichen wie:

- Mode,
- Feststellung von Hautkrebs,
- Gesichtserkennung, Iris-Scan, Fingerabdrucksysteme, kommerzielle Zwecke oder Terrorbekämpfung,
- Bildanalyse zur Steuerung von Roboterbewegungen, Erkennung von Objekten, Vermeidung gefährlicher

Situationen,

- Bildanalyse zur Hinderniserkennung: selbstfahrende Autos, automatischer Zugbetrieb (ATO),
- Bildanalyse zur Unterstützung der Fehlererkennung: Brücken, Tunnel, Schwellen, Schienen usw.,
- Bildanalyse von Satelliten oder Drohnen zur Unterstützung der Wartung von Gebäuden, Gleisen, Brücken, Tunneln usw.,
- und vieles mehr.

Auch im Zusammenhang mit **Geräuschen und Vibrationen** sind Erkennungssysteme nützlich. Anwendungsfälle kann es in der vorausschauenden Wartung sowohl von Schienenfahrzeugen als auch von Gleisen und Weichen geben.

Die Anwendung von **Techniken vorausschauender Analyse** ist vorstellbar in Bereichen wie:

- Krankheitsprognose basierend auf Symptomen und Labortests,
- Wettervorhersagen,
- Finanzbetrug,
- Umsatzprognosen und daraus resultierende Kundenbindung,
- Verhalten von Geräten (und vorausschauende Wartung),
- usw.

Im konkreten Fall der vorausschauenden Wartung gäbe es beispielsweise einen zweistufigen Ansatz: Ein ML-Algorithmus erkennt und erfasst den Zustand der Geräte. Danach hilft ein weiterer ML-Algorithmus, den zukünftigen Zustand des Geräts vorherzusagen.

Eine Technik namens **Deep Learning** hat ML noch leistungsfähiger gemacht.

In der traditionellen ML-Technik werden verschiedene Arten von Algorithmen verwendet, die lernen, Funktionen zu modellieren und künftige Maßnahmen aus Daten abzuleiten. Sie liefern numerische Werte aus Tausenden von Datenpunkten (Search Enterprise AI, 2020).

Deep Learning ist ein Teilbereich von ML. Es ist *„eine Technik des maschinellen Lernens, bei der Daten in mathematischen Netzwerken gefiltert werden, die sich selbst anpassen und im weitesten Sinne von den Neuronen im Gehirn inspiriert sind“* (Wired, 2018). Auch hier lernt die Maschine immer noch aus Daten, basierend auf unserem Verständnis von neuronalen Netzwerken. Aber sie nutzt *„Schichten der Informationsverarbeitung und lernt schrittweise immer komplexere Daten darzustellen“* (Search Enterprise AI, 2020). Daher erfordert Deep Learning wesentlich mehr Daten als traditionelle ML-Algorithmen.

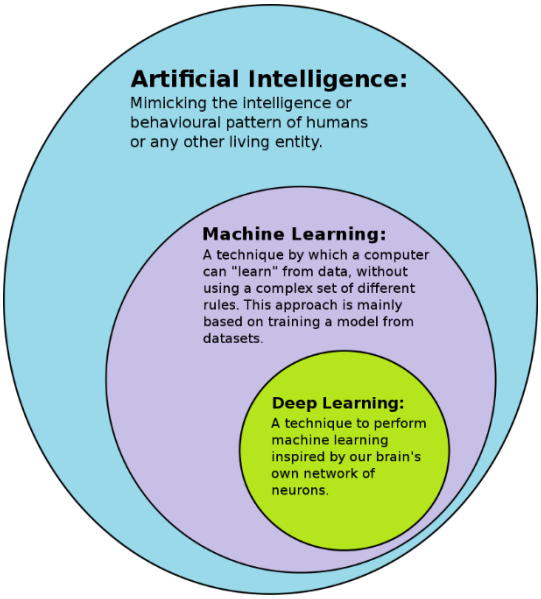

Abb. 2: Deep Learning als Teilmenge maschinellen Lernens und maschinelles Lernen als Teilmenge Künstlicher Intelligenz (KI) (Wikipedia, 2021b)

Bei der Bilderkennung kann das gleiche Objekt in vielen verschiedenen Positionen erscheinen. Dies macht es für Computer sehr schwierig, das Bild in all seinen möglichen Formen zu erkennen. Zu diesem Zweck werden Algorithmen von *Convolutional Neural Networks* (also „faltende neuronale Netzwerke“) zur Strukturierung von Deep Learning-Systemen verwendet. Mithilfe mehrerer Detektoren, die jeweils einen bestimmten Teil des Bildes erkennen, können Computer die Bildfelder „falten“ und so besser erkennen. Diese Technik funktioniert auch bei der Texterkennung, Spracherkennung oder Übersetzung und ist Bestandteil vieler selbstfahrender Autos (Facebook Engineering, 2016).

Die Kehrseite dieser Techniken ist ihre Komplexität. Es steht außer Frage, dass sie Probleme löst, unklar ist jedoch bisher, wie genau sie dies tut. Ihre Interpretierbarkeit ist daher eine Frage von grundlegender Bedeutung.

1.2. Natürliche Sprachverarbeitung (NLP)

Die Verarbeitung natürlicher Sprache (Natural Language Processing, NLP) befindet sich an der Schnittstelle zwischen Linguistik, Informatik und künstlicher Intelligenz. Sie befasst sich mit der Interaktion von Rechnern und menschlicher Sprache (schriftlich und mündlich). Das Ergebnis ist ein Computer, der in der Lage ist, den Inhalt von Dokumenten oder Reden einschließlich der enthaltenen kontextbedingten Nuancen zu „verstehen“. Die Technik ist in der Lage, den Texten oder Reden alle Informationen und Erkenntnisse zu entnehmen und die Dokumente eigenständig zu kategorisieren und zu organisieren.

Beispiele aus dem Alltag sind OK Google, Alexa von Amazon, Siri, Collins Übersetzer, Google translate oder Chatbots. NLP kann Texte zusammenzufassen, Texte in natürlicher Sprache generieren, Reden in natürlicher Sprache erkennen und verstehen.

Die fünf NLP-Anwendungsbereiche in der Wirtschaft sind (Emerj, 2019):

- **Kundenservice:** Viele Unternehmen transkribieren und analysieren Aufnahmen von Kundengesprächen. Sie setzen auch Chatbots und automatisierte Online-Assistenten ein, um direkt auf einfache Bedürfnisse zu reagieren und so die Kundendienste zu entlasten.
- **Reputationsmanagement:** Unternehmen können jetzt das gesamte Internet nach der Erwähnung ihrer Marken oder Produkte durchkämmen und eventuellen Handlungsbedarf erkennen.
- **Platzierung von Werbung:** NLP kann durch die Prüfung einer Vielzahl von Texten, insbesondere aus Webforen, dabei helfen, den genauen Wortlaut und die exakten Inhalte einer Werbung zu finden.

- **Marktintelligenz:** „Was läuft bei meinen Wettbewerbern?“
- **Erfüllung gesetzlicher Auflagen:** NLP kann zum Beispiel bei der Arzneimittelüberwachung im Rahmen von Studien nach der Inverkehrbringung von Medikamenten helfen. Viele Informationen über unerwünschte Arzneimittelereignisse sind in Form sogenannter unstrukturierter klinischer Berichte oder in Patientenrückmeldungen über ihren Gesundheitszustand in elektronischen Krankenakten oder Webforen zu finden.

1.3. Robotik

*‚Roboter setzen **Berechnungen in Gang**. „Sie sind programmierbare, mechanische Geräte, die über Sensoren Input aus ihrer Umwelt aufnehmen und diese Umwelt dann über ihre Aktoren beeinflussen. Roboter denken über den Input der Sensoren nach, denken über die Aufgabe nach, die sie erledigen müssen, und geben dann Befehle an ihre Motoren, um sich in ihrem Umfeld zu bewegen. Roboter gibt es in vielen verschiedenen Formen. Sie können humanoide Formen haben, dies ist jedoch nicht zwangsläufig die einzig vorstellbare Möglichkeit.“* (Rus, 2020). Abfalltransporter, selbstfahrende Autos und autonome Züge könnten Roboter sein.

Natürlich können Roboter ML zur Erkennung ihrer Umgebung oder zu behandelnder Objekte nutzen.

Dabei steht die Robotik aktuell jedoch zusätzlich vor **folgenden Herausforderungen**:

- Roboter auf Rädern sind einfacher zu bedienen als **Roboter mit Beinen**, die mit einer außergewöhnlichen Wahrnehmung ihrer Umgebung ausgestattet sein müssen.
- **Bewegliche Roboter** sind einfacher als Manipulatoren: Leistungsstarke Sensoren vermitteln Robotern ein gutes Bewusstsein über Situationen und räumliche Abstände. Algorithmen ermöglichen es den Maschinen, verschiedene Arten von Objekten um sie herum zu kartieren, zu lokalisieren und zu identifizieren.
- **Manipulatoren**: Roboter haben sehr harte und starre Endeffektoren mit begrenzter Kapazität. Ziel der **Soft-Robotik** ist es, Maschinen mit weichem Gewebe und verträglicher Grifffestigkeit zu erschaffen.

Anwendungsbereiche der Robotik:

- **Industrieroboter**, die Kommissionierungs- und Verpackungsprozesse in Lagern rationalisieren (Wired, 2011). Bei Amazon waren 2017 beispielsweise 45 000 Roboter in 20 Lagern im Einsatz.
- **Roboter unter Menschen**: Roboter, die in der Fast-Food-Industrie arbeiten (Fortune, 2016), die Medikamente in Krankenhäusern ausliefern (Panasonic, 2010), die kranke Menschen in Krankenhäusern in Japan begleiten (NSK, 2015), die Flughäfen (F. Robo Clean, 2013) oder Bahnhöfe (France Bleu, 2017) in Anwesenheit der Reisenden reinigen (Le Petit Journal, 2020) oder Passagiere informieren (Easy Voyage, 2015).
- **Kollaborative Roboter**, die speziell für die Zusammenarbeit mit menschlichen Mitarbeitern entwickelt wurden, sind im Kommen. Sie sind billiger, zur Kooperation mit Menschen gebaut und daher leichter zu programmieren.

Die **künftige Herausforderung** wird darin bestehen, Roboter zu entwickeln, die sowohl **besser untereinander** als auch **in einer auf den Menschen ausgerichteten Umgebung besser mit den Menschen interagieren** können, wie z. B. in Bahnhöfen und Lagerhallen. Der Fokus wird künftig auf einer besseren Kooperation in Mensch/Roboter-Teams liegen, um jeweils auszunutzen, was Maschinen besser können als Menschen, und was Menschen besser können als Maschinen.

1.4. KI aus Anwendersicht

KI kann an ihrer Fähigkeit, **die kollektive Intelligenz eines Mensch-Computer-Systems zu steigern**, gemessen werden. Mit anderen Worten: **„Wie können Menschen und Computer so miteinander verbunden werden, dass sie zusammen intelligenter sind als jeweils ein Mensch, eine Gruppe oder ein Computer allein.?“** (Malone, 2020).

Zu diesem Zweck könnten KI-Programme konkret Werkzeuge, Assistenten, Gleichrangige oder sogar Manager für den Mitarbeiter sein:

- Als Werkzeug erfüllen Computer Aufgaben, die ihnen gestellt werden, der Mensch überwacht jedoch fast jeden Schritt.
- Als Assistent kann KI im Unterschied zum Werkzeug ohne direkte Überwachung arbeiten. KI kann aktiver bei der Problemformulierung und -lösung agieren (z. B. teilautonome Autos, medizinische Diagnosen, Chatbots).
- Als Gleichrangige können KI-Systeme Aufgaben automatisch erledigen und dem Menschen ungewöhnliche Vorkommnisse melden. Im Fall von prädiktiven Analysen führt diese Art der Zusammenarbeit von Mensch und Maschine zu besseren Ergebnissen, als sie von Menschen oder Maschinen jeweils allein hätten erzielt werden können (Malone, 2020).
- Als Manager von Menschen können Maschinen Telefonvertretern helfen, effizienter mit Kunden zu kommunizieren, indem sie Emotionen erkennen und rückmelden. So helfen sie den Mitarbeitern, ihre interpersonellen Fertigkeiten zu verbessern.

Kurz gesagt, das Mensch-Maschine-System kann sich mit der Zeit verbessern: Menschen finden heraus, wie sie die Dinge, die sie bereits tun, besser machen können; Programmierer verbessern ihre Maschinen; und Maschinen lernen dank des maschinellen Lernens aus ihren eigenen Erfahrungen.

2. Aktueller Stand im europäischen Bahnsektor und Perspektiven

2.1. EU-politischer Kontext

Der **europäische Eisenbahnsektor erhält in der Tat immer mehr Unterstützung**:

- **Europäisches Jahr der Schiene 2021**, „Einen Blick auf Europas nachhaltigsten, innovativsten und sichersten Verkehrsträger werfen' (Europäische Kommission, 2020a),
- **‚Strategie für nachhaltige und intelligente Mobilität'** der Europäischen Kommission (Europäische Kommission, 2020b), im Rahmen derer der Hochgeschwindigkeitsverkehr auf der Schiene bis 2030 und der Schienengüterverkehr bis 2050 verdoppelt und auch der öffentliche Verkehr allgemein gefördert werden sollen. Darüber hinaus betont die Europäische Kommission nachdrücklich, dass Innovationen sowie die Nutzung von Daten und KI im Hinblick auf eine intelligentere Mobilität gefördert werden müssen.
- Dieser Impuls steht im Einklang mit der **europäischen Strategie für KI und Daten** (Europäische Kommission, 2020c), die darauf abzielt, Europa eine Vorreiterrolle in der vertrauenswürdigen KI und Datenwirtschaft zu verschaffen.
  In diesem Sinne wird die Europäische Kommission insbesondere für den Verkehr Regeln und einen rechtlichen Rahmen definieren:
  - Für Fälle mit hohem Risiko sollen KI-Systeme transparent und nachvollziehbar sein und menschliche Überwachung gewährleisten. Behörden sollten in der Lage sein, die von Algorithmen verwendeten Daten zu überprüfen und zu zertifizieren. Um das ordnungsgemäße Funktionieren und die Einhaltung der Grundrechte, insbesondere die Diskriminierungsfreiheit von Systemen mit hohem Risiko zu gewährleisten, sollten unverzerrte Daten für ihr Training verwendet werden.
  - Die EU-Kommission wird einen echten **europäischen Datenraum** einrichten. Erstens wird sie einen Rechtsrahmen für die **Datenverwaltung** (Zugang und Wiederverwendung zwischen Unternehmen, zwischen Unternehmen und Regierungen sowie innerhalb von Behörden) schaffen. Zweitens wird sie die Entwicklung technologischer Systeme und der nächsten Infrastrukturgeneration wie **Clouds** fördern. Schließlich wird die EK **sektorspezifische Maßnahmen** zur Schaffung europäischer Datenräume einleiten, beispielsweise in den Bereichen industrielle Fertigung, Green Deal, Mobilität oder Gesundheit.

Die Akteure des europäischen Bahnsektors müssen diesen neuen europäischen Kontext berücksichtigen und nutzen.

Nichtsdestotrotz **stehen** die europäischen Eisenbahnverkehrsunternehmen (**EVU**) und folglich auch die Eisenbahninfrastrukturbetreiber (**EIU**) **vor zahlreichen Herausforderungen**, die bereits vor der Corona-Pandemie vorhanden waren, seither jedoch noch gewachsen sind:

- die starke Konkurrenz zwischen den Personenverkehrs-EVU, Fernbussen und Carsharing,
- die aufkommende Konkurrenz zwischen den im Personenverkehr tätigen EVU,
- der starke Wettbewerb zwischen Schienengüterverkehrsunternehmen und LKW,
- der bereits starke Wettbewerb zwischen den Schienengüterverkehrsunternehmen.

2018 betrug der Anteil der EVU im europäischen Binnenpersonenverkehr nur 7,9% (Eurostat, 2020a) und 17,9 % im Güterverkehrsmarkt (Eurostat, 2020b). Hinzu kommt der ständige Preisdruck: Der Preis ist der bestimmende negative Faktor der Güterzüge im Vergleich zum Lkw (Europäischer Rechnungshof, 2016). Im Personenverkehr sinkt der Erlös pro Kilometer kontinuierlich (ARAFER, 2019).

Insofern muss der europäische Bahnsektor eine Strategie der Kostensteuerung verfolgen, ohne die Qualität der Dienstleistung zu beeinträchtigen. Diese Strategie muss durch KI unterstützt werden.

2.2. Umsetzung von KI-Technologien im Bahnsektor - Perspektiven

In Europa richtete die EU-Kommission 2016 das Gemeinschaftsunternehmen Shift2Rail ein, das Forschung und Innovation im Schienenverkehr fördert. Es zielt darauf ab, die *„Kapazität des europäischen Bahnsystems zu verdoppeln, seine Zuverlässigkeit und Servicequalität um 50 % zu erhöhen und gleichzeitig die Lebenszykluskosten zu halbieren“* (Shift2Rail JU, 2021a). Zu entwickeln waren der automatisierter Zugbetrieb, Mobility as a Service (MaaS), Logistik auf Abruf, mehr Wert aus Daten, optimale Energienutzung, sekundengenauer Service, kostengünstige Bahnlösungen, Investitionssicherheit und -verfügbarkeit, intelligente Züge, Bahnhöfe und Smart-City-Mobilität, Umweltschutz und soziale Nachhaltigkeit, schnelle und zuverlässige F&I-Bereitstellung (Shift2Rail JU, 2021b).

Mittlerweile haben Vorreiter zwar innovative Lösungen realisiert, KI ist jedoch in Europa noch nicht auf breiter Basis implementiert.

2.2.1. Bilderkennung in der Terrorbekämpfung

Terrorattacken im Zug: das war das Thema des Films *„The 15:17 to Paris"* unter der Regie von Clint Eastwood. Abgesehen von speziellen Fällen wie dem Eurostar im Ärmelkanaltunnel erwies sich das klassische Flughafen-Gepäck-Scanning beim Einsatz in Bahnhöfen als unwirksam. Deshalb sind alternative Lösungen gefragt, die ungewöhnliche Verhaltensweisen von Passagieren oder gefährliche Situationen in Bahnhöfen und Zügen erkennen können, um die Sicherheit des Bahnpersonals und der Reisenden zu erhöhen.

In China werden bereits Gesichtserkennungssysteme in Bahnhöfen (Global Times 2017) und beim Eurostar an der Zollabfertigung (RFI 2017) vor dem Einsteigen in den Zug eingesetzt. Sie können den nationalen Behörden große Mengen an Daten liefern.

ML ist besonders effektiv bei der Bildanalyse. Sollten die bestehenden nationalen Regelwerke und das künftige europäische Regelwerk die Speicherung solcher Daten erlauben, können genaue Algorithmen dabei helfen, ungewöhnliche Verhaltensweisen von Reisenden vorherzusagen. Dies erfordert eine Zusammenarbeit zwischen Polizei, EVU und EIU.

2.2.2. Chatbots und virtuelle Assistenten für Reisende

Chatbots für die Reservierung und Fahrscheinausgabe oder als virtuelle Assistenten

Seit 2017 hilft ein Chatbot beim Kauf von SNCF-Reservierungen und Fahrscheinen über verschiedene Kanäle (OUI.sncf, 2020a, 2020b): per Text über die Website und Messenger, mündlich über Google Assistant und Amazon Alexa. Das Kundenerlebnis ist allerdings verbesserungswürdig: Bisher ist nur französisch verfügbar, die französische Stimmerkennung ist noch nicht optimal und es kann kein Reklamationsformular ausgefüllt werden. Die Erfahrungsrückmeldung eines französischen Journalisten (France Inter, 2019) über Alexa ist ebenfalls ernüchternd: kein Mehrwert im Vergleich zur üblichen Website und es gibt auch datenschutzrechtliche Bedenken.

Von **Julie, der virtuellen Assistentin von Amtrack**, berichten die Kunden über viel bessere Erfahrungen (Amtrack, 2020). Sie hilft Kunden bei der Reservierung, bei der Urlaubsplanung und beim Surfen auf der Website. Sie beantwortet häufig gestellte Fragen, gibt Informationen über das Treueprogramm, Bahnhöfe und Strecken. Sie schreibt ihre Antworten oder Fragen und spricht sie gleichzeitig aus, was das Erlebnis für behinderte Personen oder ausländische Reisende verbessert. Ihre Stimme ist verständlich.

Doch die entscheidenden Vorteile von Natural Language Processing (NLP) könnten noch viel besser genutzt werden:

- Die Spracherkennung könnte auf Fremdsprachen ausgedehnt werden.
- Dem emeritierten Professor Frank Levy (Levy, 2020) zufolge könnte NLP Call-Center dabei helfen, die Bedeutung aus Kundenaussagen in Chatbots zu extrahieren, um so Reklamationen zu vermeiden.

- Das Konzept der Wissensgraphen, das im IBM-Programm Watson umgesetzt wurde (Malone und Gil, 2020), könnte, dank einer gut strukturierten, auf Kundengesprächen mit Chatbots basierenden Datenbank genutzt werden, um die Emotionen der Kunden besser zu erfassen und so ihre Erfahrungen zu optimieren.
- Eine potenzielle und wünschenswerte Verbesserung könnte durch die Verwendung der künstlichen Stimme Wavenet von Google erzielt werden (Forbes, 2017), die virtuellen Assistenten zu Sprachklängen verhelfen könnte, die von denen eines Menschen kaum zu unterscheiden sind.

Basierend auf diesen Erfahrungsrückflüssen **sollten Chatbots und virtuelle Assistenten für Fahrgäste in größerem Umfang implementiert werden und sowohl die Strategie der Kostensteuerung** (Entlastung der Call-Center) als auch eine **Differenzierungsstrategie** (besseres Kundenerlebnis) unterstützen.

2.2.3. Verkaufsprognosen mit ML

Die EVU verkaufen immer mehr elektronische Fahrkarten und verfügen über eine Vielzahl annotierter Daten ihrer Kunden. Dadurch wird es einfacher, Verkäufe durch überwachte ML vorherzusagen, wenn *„historische Daten vorliegen, um zu sehen, wie Kunden auftreten, und was die Folgen daraus sind“* (Jaakkola, 2020). Zu diesem Zweck müssen Verkäufer die Daten annotieren und Datenwissenschaftler die Algorithmen trainieren, validieren und testen (Towards Data Science, 2018). Danach müssen Manager entscheiden, welcher Handlungsbedarf aus den Vorhersagen der Maschinen abzuleiten ist.

Die Umsatzvorhersage durch überwachtes ML ist ein vielversprechendes Feld für EVU.

2.2.4. Roboter in Bahnhöfen

Wenn Reisende in **Bahnhöfen** wie ‚Gäste‘ betrachtet werden, die auf ihre Züge warten und Informationen einholen wollen, dann könnte die Robotik in Hotels, Flughäfen oder Krankenhäusern an den Bedarf in Bahnhöfen angepasst werden, um die Servicequalität und Kosteneffizienz zu verbessern.

- Panasonic entwickelte beispielsweise Roboter (Panasonic, 2010), die Medikamente in Krankenhäusern ausgeben, ohne direkte Begegnung mit Menschen. NSK entwickelte den Führungsroboter Lightbot (NSK, 2015). Solche Roboter **können Personen mit eingeschränkter Mobilität oder sehbehinderte Menschen vom Bahnsteig zum Zug führen** und beispielsweise während der Corona-Krise den Kontakt zwischen ihnen und dem Bahnhofspersonal vermeiden.
- Humanoide Pepper-Roboter versorgen Kunden in Geschäften bereits mit Informationen (Softbank, 2021). Dieses Konzept wurde 2016 in SNCF-**Bahnhöfen getestet (France 3, 2016) und könnte erweitert werden, um Fahrgäste** auch in anderen Bahnhöfen zu informieren.
- Vithanage, Harrison und DeSilva (2019) beschreiben automatisierte **Reinigungsroboter** in Bahnhöfen. In Flughäfen sind sie bereits im Einsatz (F.Robo Clean, 2013). Infolge der Corona-Pandemie könnten Roboter sich sogar als noch nützlicher erweisen, um sowohl die Reinigung in Bahnhöfen zu verbessern als auch den Kontakt zwischen Reisenden und Reinigungspersonal zu vermeiden. Das jüngste Beispiel ist der Bahnhof St. Pancras International, die Endstation des Eurostar-Zuges, der Desinfektionsroboter eingesetzt hat, um die Verbreitung des neuen Coronavirus mit UV-Licht zu bekämpfen (Le Petit Journal, 2020).

2.2.5. Roboter in Zügen

Die gleichen **Reinigungsroboter könnten auch in Zügen** eingesetzt werden. Ein Prototyp wurde 2015 für Flugzeuge entwickelt (Germfalcon, 2015).

2.2.6. Roboter in Lagern

Für die Instandhaltung von Schienenfahrzeugen werden tausende von Ersatzteilen benötigt, die gelagert werden müssen. Die organisatorischen Abläufe sollten auf Grundlage der neuesten robotergestützten Lager wie bei Amazon (Mountz, 2011) oder dem britischen Supermarkt Okado (The Verge, 2018) optimiert werden.

2.3. Vorausschauende Instandhaltung

2.3.1. Definition und Vorteile der vorausschauenden Instandhaltung

Es gibt **verschiedene Arten der Instandhaltung** (ISO, 2012):

- störungsbedingte Instandhaltung, die *„nach Ausfall der Maschine erfolgt“*,
- vorbeugende Instandhaltung, die *„nach einem festen Zeitplan oder einem vorgeschriebenen Kriterium erfolgt, das die Verschlechterung einer funktionalen Struktur, eines Systems oder einer Komponente erkennt oder verhindert, um deren Nutzungsdauer zu erhalten oder zu verlängern“*,
- zustandsorientierte Instandhaltung, die einen präventiven Ansatz darstellt und *„gemäß Zustandsüberwachungsprogrammen durchgeführt wird“*.

Dank fortschrittlicher statistischer Methoden, wie dem maschinellen Lernen, ist es heute möglich, mit Methoden der vorausschauenden Instandhaltung zu arbeiten, die *„dynamisch bestimmen können, wann eine Maschine in Ordnung ist oder gewartet werden muss“*. Somit *„sagt die vorausschauende Wartung zukünftige Ausfälle unter Angabe einer bestimmten Wahrscheinlichkeit voraus, während die zustandsorientierte Wartung zusätzliche Ausfallkosten verhindert, indem sie meldet, dass zum aktuellen Zeitpunkt etwas nicht in Ordnung ist“* (Neurospace, 2019).

Daher kann die **vorausschauende Instandhaltung vorbehaltlich erheblicher Anpassungen der Planung von Instandhaltungsaktivitäten, die Verfügbarkeit, Zuverlässigkeit, Pünktlichkeit und Sicherheit verbessern und gleichzeitig die Strategie der Kostensteuerung** unterstützen. Darüber hinaus kann sie **den Erfahrungsrückfluss** optimieren und den Weg für **zukünftige Innovationen** in der Instandhaltung ebnen.

Im Gegenzug benötigt die vorausschauende Wartung aufgrund ihrer **statistischen Methoden** wesentlich **mehr Daten**.

2.3.2. Vorausschauende Instandhaltung von Fahrzeugen

Zurzeit laufen nur wenige Forschungsaktivitäten zu KI und vorausschauender Wartung von Schienenfahrzeugen. Auf dem weltweiten Bahnforschungskongress 2019 in Tokio (WCRR, 2019) wurden beispielsweise nur fünf Studien[1] zu diesem Thema vorgestellt.

Die Instandhaltung von rollendem Material hat einen erheblichen Einfluss auf die Verfügbarkeit, Zuverlässigkeit, Pünktlichkeit und Kosten des Zugbetriebs. Darüber hinaus sehen die Fahrzeughersteller die Instandhaltung als neues Betätigungsfeld. Dies ist der Grund dafür, dass EVU und Hersteller die Fahrzeuginstandhaltung als Wettbewerbsvorteil betrachten, was die Zusammenarbeit in diesem Bereich erschwert.

Die für die Instandhaltung zuständigen Stellen und die Fahrzeughersteller sammeln enorme Datenmengen. Der künftige europäische Rechtsrahmen für Daten-Governance (Europäische Kommission, 2020c) wird den Zugang zu und die Wiederverwendung von Daten zwischen Unternehmen ermöglichen. Infolgedessen wird der unterschiedliche Gesamtkontext der Daten, und damit auch der KI, eine verstärkte Zusammenarbeit zwischen den verschiedenen Akteuren der KI-basierten vorausschauenden Instandhaltung von Schienenfahrzeugen erfordern.

In diesem Sinne wäre es sinnvoll, mit Hilfe von Instandhaltungsexperten und Datenwissenschaftlern an ersten Anwendungsfällen zu arbeiten: Erkennungssysteme für Radlaufflächenfehler, Heißläufererkennung usw.

[1] *‘Development of rolling stock under floor visual inspection system by image processing technique’*, *‘A modular Computer Vision Based Solution for Condition-Based Maintenance of Passenger Rolling Stock’*, *‘Decision Support Model for Rolling Stock Assignment and Predictive Maintenance Scheduling’*, *‘Condition Based Maintenance applied on Railways Compressed Air Generators (rotary screw) for the application of Dynamic Maintenance Management System’*, *‘Utilizing Deep Learning to Manage Warning Signs of Air Conditioning Unit Malfunctions’*

2.3.3. Vorausschauende Instandhaltung für die Infrastruktur

Die Pünktlichkeit und Sicherheit von Zügen hängen insbesondere von der Verfügbarkeit und Zuverlässigkeit der Infrastruktur (Gleise, Tunnel, Brücken, Dämme usw.) ab, was **die vorausschauende Instandhaltung der Infrastruktur zu einem wichtigen Thema macht**.

Anders als beim rollenden Material ist die vorrauschauende Instandhaltung auf Basis der KI in der Infrastruktur aufgrund der vorhandenen Rahmenbedingungen leichter umsetzbar.

Erstens gibt es keinen Wettbewerb zwischen den verschiedenen EIU, was die Zusammenarbeit erleichtert.

Und zweitens werden die für **KI erforderlichen Daten** bereits **massiv von den EIU erfasst**.

Heute hängen Verfügbarkeit, Zuverlässigkeit und Sicherheit hauptsächlich von regelmäßigen präventiven Instandhaltungsarbeiten ab, die auf Basis von Daten durchgeführt werden, die bei Begehungen und regelmäßigen Inspektionen zusammengetragen werden. Die Herausforderungen sind enorm: Konux (2020) stellt beispielsweise fest, dass *„Weichen das kritischste Element der Bahninfrastruktur sind und etwa 20 % der infrastrukturbedingten Verspätungsminuten [der Züge] verursachen und deren Instandhaltung und Erneuerung weltweit 12 Mrd. € pro Jahr kosten“*. Hinzu kommt, dass Sicherheitsfragen heute aufgrund mangelnder Daten nicht sachgerecht gelöst werden können - man denke an die letzten beiden Unfälle in Straßburg und in Zentralchina im März 2020 aufgrund von unerwarteten Erdrutschen in Troglagen (IRJ, 2020 und Xinhuanet, 2020).

Hauptziel ist der Ersatz von Begehungen und manuellen periodischen Inspektionen durch häufigere, automatisierte und standardisierte Inspektionen. So könnten nicht nur die Verfügbarkeit, Zuverlässigkeit und Sicherheit, sondern auch die Wiederholbarkeit und Konsistenz der für KI erforderlichen Big Data ermöglicht werden.

Erfreulicherweise sind **Innovationen in Sicht**:

- Das von Network Rail implementierte ORBIS-Programm hat bereits die Menge hochwertiger Informationen für die Arbeiter erhöht (Network Rail Consulting, 2021).
- Der Ersatz von Begehungen und manuellen periodischen Inspektionen ist ein vielversprechendes Feld: automatisierte Tunnelinspektionen (Network Rail, 2019), Bildverarbeitungssysteme für Gleise (Japanese Railway, 2019), Roboterinspektionen (Catapult Transport Systems, 2021), Inspektionen von Flussbrückenpfeilern durch amphibische Schlangenroboter (HiBot, 2020), Inspektion von Rohren durch biegsame Roboter, beispielsweise in engen Aquädukten (HiBot, 2015).
- Laut Mark Gaddes (Gaddes, 2019) ist Robotik ein Muss für die Automatisierung von Inspektionen. Gewisse Arbeiten sind bereits robotisiert: Roboterarme auf Instandhaltungsfahrzeugen, die Schienenfehler erkennen und reparieren; Roboterplattform mit fortschrittlicher Sensorik für enge Räume.
- Felix (Loccioni, 2018) ist *„der erste zertifizierte mobile Roboter für die automatische Inspektion von Eisenbahnweichen und -kreuzungen“*, der mit einem Vision-System ausgestattet ist und der die Zeit für die Messung und Datenübertragung von Daten halbiert sowie die Instandhaltungsleistung erhöht und die Kosten reduziert.
- Vithanage, Harrison und DeSilva (2019) berichteten über die Forschung zu **Robotik und autonomen Systemen im Bereich der Bahninstandhaltung**: Brückeninspektionsroboter (vollautomatischer Betrieb oder ferngesteuert), automatisches System zur Überwachung der Verschlechterung von Tunnelwänden.
- Das Projekt Erevos (Esmera, 2017) *„wird eine neuartige, vollwertige Lösung für das Vegetationsmanagement an Bahnstrecken und in gleisnahen Bereichen **mit Hilfe von Drohnen** liefern“*.
- Die Indischen Bahnen setzen auf intelligente Instandhaltung, die auf Datenanalyse beruht (Global Railway Review, 2020a).
- Infrabel verwendet digitale Daten für die vorausschauende Wartung von **Gleisen, Weichen und Kreuzungen** (Global Railway Review, 2020b).

Die **prädiktive Instandhaltung mit ML ist bestens für die Bahninfrastruktur geeignet**.

Laut Lecun (2018b) ist ML besonders effektiv für die Bildanalyse. Daher könnte ML helfen, Fehler oder Schäden an Weichen, Schienen oder in Tunneln oder Einschnitten besser zu erkennen. Dank dieser neuen Datenbanken und der Zusammenarbeit von Datenwissenschaftlern und Infrastrukturinstandhaltungsexperten könnten präzise Algorithmen erstellt werden, die gezielte Orientierungshilfen für zusätzliche Instandhaltungsaufgaben zur Vermeidung von infrastrukturbedingten Störungen im Bahnbetrieb oder Unfällen liefern.

In jedem Fall wird die **Implementierung von ML-Vision-Systemen und automatisierten Inspektionen den Zeitaufwand für die Durchführung von Inspektionen reduzieren** und vor allem die **Verfügbarkeit und Wiederholbarkeit von Daten erhöhen** (tägliche statt vierteljährliche Inspektionen), was die **Strategie der Kostensteuerung von EIU unterstützt und gleichzeitig Pünktlichkeit, Sicherheit, Verfügbarkeit und Zuverlässigkeit der Infrastrukturen verbessert**.

2.3.4. Andere betriebliche System als Entscheidungshilfen

Andere betriebliche Systeme als Entscheidungshilfen könnten ebenfalls von KI profitieren.

Beispielsweise kann **maschinelles Lernen Anwendungsfälle** wie die Zuweisung von Zugtrassen, das Verkehrsmanagement, das Management von Fahrgastströmen in Bahnhöfen, die Erkennung herrenloser Gepäckstücke, Gleisbelegungsdiagramme in Rangierbahnhöfen und in Bahnhöfen und vieles mehr **erleichtern**.

Beim Einsatz im Bereich der Cybersicherheit sind Roboter in der Lage, Systeme zur Erkennung und Prävention von Bedrohungen zu automatisieren (Automation Anywhere, 2018).

3. Erfolgsfaktoren und Rolle der UIC

3.1. Bahnexperten der UIC in allen Ebenen eingebunden

Eine der Hauptaufgaben der Experten wird darin bestehen, bei der Auswahl der zu erhebenden Daten zu helfen, die Datenwissenschaftler und Dateningenieure bei der Umwandlung in geeignete Informationen zu unterstützen und die richtigen Werkzeuge für die Mitarbeiter zur korrekten Analyse und Behandlung dieser Informationen bereitzustellen.

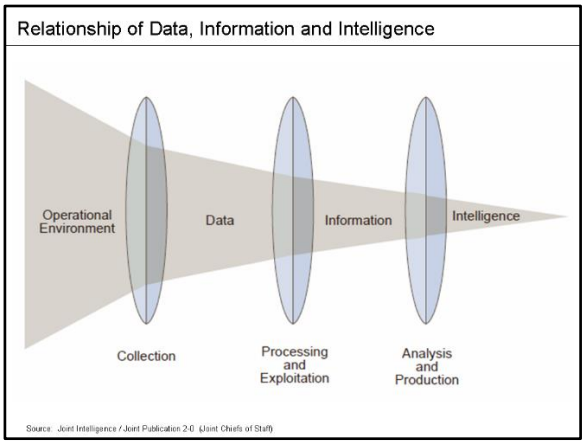

Abb. 3: Beziehung zwischen Daten, Information und Intelligenz (US Defense, 2020)

3.2. Interpretierbarkeit und Entscheidungsfindung

KI-Technologien lösen Probleme, bleiben aber eher undurchsichtig (ML, Deep Learning, Convolutional Neural Networks, NLP usw.). Daher ist ihre **Interpretierbarkeit ein wesentlicher Punkt**. Allerdings gibt es derzeit kein System zur Interpretation der von ML gelieferten Ergebnisse auf dem Markt (Jaakkola, 2020). Von daher wird den **Experten** noch auf Jahre hinaus eine **entscheidende Rolle** zukommen.

In der Medizin sind bildgebende Verfahren heute in der Lage, Hautkrebs zuverlässiger zu diagnostizieren als ein Arzt. Allerdings bedurfte es jahrelanger Forschung, um dies zu erreichen. Im Bahnsektor ist an dieser Stelle noch viel Entwicklungsarbeit zu leisten. Deshalb werden die Entscheidungen, insbesondere im Bereich der Eisenbahnsicherheit, vorerst weiterhin **von Menschen getroffen werden müssen**, auch wenn die KI den Entscheidungsträgern wertvolle Informationen und Vorhersagen liefern kann.

Die Genehmigung für das Inverkehrbringen von KI, insbesondere für Sicherheitsnachweise, wird nur dann erteilt werden, wenn das Mensch-Maschine-System als Ganzes betrachtet wird.

3.3. Veränderung herbeiführen

Es wird Zeit und Mühe kosten, einen tiefgreifenden Wandel der KI im Bahnsektor herbeizuführen.

„Die Erkenntnisse aus Erfolgsgeschichten haben gezeigt, dass der Veränderungsprozess eine Reihe von Phasen durchläuft, die zusammen genommen meist sehr viel Zeit in Anspruch nehmen. Schritte zu überspringen erzeugt nur die vorübergehende Illusion von Geschwindigkeit und führt nie zu einem zufriedenstellenden Ergebnis. Eine zweite sehr allgemeine Lektion ist, dass kritische Fehler in einer der Phasen verheerende Auswirkungen haben können, die Dynamik verlangsamen und hart erkämpfte Gewinne zunichtemachen.“ (Kotter, 2014).

Die Anwendung des achtstufigen Prozesses von John Kotter in der richtigen Reihenfolge und ohne Abkürzungen zu nehmen, könnte die Implementierung von KI im Bahnsektor erleichtern: 1) Dringlichkeit aufzeigen; 2) Führungskoalition aufbauen; 3) Vision und Strategie entwickeln; 4) Vision kommunizieren; 5) Hindernisse aus dem Weg räumen; 6) Kurzfristige Erfolge anstreben; 7) Veränderung weiter antreiben; 8) Veränderung verankern.

Die Rolle der UIC besteht darin, ihre Mitglieder bei der Implementierung dieses achtstufigen Prozesses zu unterstützen.

3.3.1. Dringlichkeit aufzeigen

Mit Hilfe von Experten der UIC-Mitglieder wird die UIC Konferenzen, Webinare und Workshops organisieren, um CEOs, Führungskräfte, Projektmanager und IT-Abteilungen der UIC-Mitglieder mit Argumenten zugunsten von KI zu versorgen: Markt- und Wettbewerbssituation, politisches Umfeld, Stand der Technik im Bereich der KI, Best Practices, Liste potenzielle Anwendungsfälle im Bahnsektor und in anderen Sektoren, Liste potenzieller Fördermittel.

Über das Bahnfachwissen der UIC und ihrer Mitglieder hinaus wird die UIC KI-Fachwissen (Datenwissenschaftler und Dateningenieure) außerhalb des Bahnsektors (bei Herstellern oder Hochschulen) akquirieren müssen.

3.3.2. Führungskoalition aufbauen

Die UIC wird Führungskräfte, Projektmanager, IT-Abteilungen und Experten von UIC-Mitgliedern und Herstellern sowie Zulieferern durch gemeinsame Projekte einbinden.

Das erste gemeinsame **KI-Projekt** wird auf **die vorausschauende Instandhaltung von Schienenfahrzeugen und Infrastruktur** fokussieren. In diesem Schritt wird es darum gehen, die erforderlichen Daten zu analysieren und zu definieren, die besten KI-Algorithmen für die Umwandlung der Daten in geeignete Informationen zu überwachen und auszuwählen. Zu diesem Zweck wird eine umfassende Bestandsaufnahme bestehender und potenzieller KI-Anwendungsfälle erstellt. Ferner werden die Auswirkungen jeder Lösung auf das regulatorische Umfeld, den Telekommunikationsrahmen, die Lebenszykluskosten, die Asset-Management-Systeme, die Betriebsvorschriften und die Sicherheitsmodelle bewertet. Außerdem fließen die Inhalte folgender UIC-Projekte mit ein: „RFID tagging for Track Components + Automated Video Railway Inspection System", „Drone4Rail" für die Inspektionen von Kunstbauten und Infrastrukturen durch Drohnen, „ „Maximising the benefits of Big Data for Asset Management", „Asset Management Whole System Decision Making", "DYNMEASURE" zur Bestimmung des bestgeeignetsten Rahmens für die verschiedenen streckenseitigen und fahrzeugseitigen Messsysteme sowie die IRS 70712-1 zur Erkennung von Schienenbrüchen, das die Klassifizierung spezifischer Schienenfehler durch Deep Learning fördert. Auch die Erkenntnisse aus den UIC-Projekten zum Thema „Digital Railway Modelling" werden genutzt, insbesondere für die Datenerfassung.

Die UIC wird dann technische Berichte und Implementierungsleitfäden veröffentlichen.

3.3.3. Vision und Strategie entwickeln

Die CEOs der Bahnunternehmen werden Strategien zur Verwirklichung dieser Vision entwickeln müssen:

- McKinsey veröffentlichte (2015) *„An executive's guide to machine learning"*, der alle Aspekte der KI umfasst: Einstellung von KI-Experten, die Führungskräfte bei der Erstellung strategischer Vision unterstützen, Rekrutierung von Datenwissenschaftlern und Dateningenieuren, Rekrutierung von „Übersetzern", die Brücken zwischen Daten, KI und Entscheidungsfindung schlagen können, um Erkenntnisse zu liefern, die von Generalisten umgesetzt werden können, Implementierung einer Datenstrategie mit Hilfe von IT-Abteilungen, Geschäftsbereichen und Fachleuten, um Datenlücken zu füllen, und Abbau von Hindernissen des Informationsflusses.
  In diesem frühen Schritt wird es wichtig sein, einerseits Datenwissenschaftler zu verpflichten, die entsprechende KI-Algorithmen implementieren, spezialisierte Modelle erstellen und bereinigte Teilmengen von Trainingsdaten erstellen können, und andererseits Dateningenieure, die in der Lage sind, Datenpipelines, Datenbanken und Verarbeitungssysteme aufzubauen und zu pflegen (Tech Target, 2020).

- CEOs müssen die **Kombination von Mensch und Maschine fördern**, um die Akzeptanz der Vision durch Mitarbeiter und Manager zu erhöhen. Zum Beispiel könnten Roboter als „kooperativ" betrachtet werden, wenn sie erst einmal *„die langweiligen und schmutzigen Aufgaben"* erledigen (Acorn, 2017). Darüber hinaus könnte laut Tessa Lau (Malone und Lau, 2020) die Anthropomorphisierung von Robotern „die Chancen der Roboterakzeptanz" in einer Umgebung, in der das Zusammenwirken von Mensch und Roboter wichtig ist (z. B. Bahnhöfe oder Lagerhäuser), erhöhen.
- Die CEOs müssen sich auf die **IT-Abteilungen stützen**, die eine zentrale Rolle beim Re-Engineering des gesamten Prozesses ihrer Organisation spielen werden: zum Beispiel in den Instandhaltungszentren für Schienenfahrzeuge. *„Die Bots sind nicht intelligent; sie treffen keine eigenen Entscheidungen. Aber ihre Aktionen werden alle von einem zentralen Rechner koordiniert"* (The Verge, 2018).
- CEOs müssen alle **ethischen Bedenken im Zusammenhang mit KI antizipieren - einschließlich der Auswirkungen auf Mitarbeiter, Management und Arbeitsplätze sowie mögliche Fehler von Maschinen, Voreingenommenheit in Algorithmen und Datenschutz**.
  In der Tat können
  - KI repetitive Aufgaben sowohl für Mitarbeiter als auch für Manager drastisch reduzieren. Darüber hinaus wird KI die Arbeitsplätze tiefgreifend verändern und neue Rollen und Verantwortlichkeiten schaffen. Die Verfügbarkeit und Genauigkeit von Informationen wird erhöht, wobei den Mitarbeitern und ihren Managern die Aufgaben mit der höchsten Wertschöpfung einschließlich der Entscheidung über die zu erledigenden Aufgaben überlassen werden. 2016 kam es in Großbritannien zum größten Streik der letzten zwanzig Jahre - Schuld war die Automatisierung (Rail Technology Magazine, 2020). Daher müssen CEOs jede drastische Veränderung, insbesondere die Weiterbildung und Umschulung von Mitarbeitern und Managern, sorgfältig mit den Gewerkschaften aushandeln;
  - komplexe Systeme wie Deep Learning, die eine Black Box' bleiben, potenziell Fehler machen (Nehme, 2018). In solchen Fällen müssen die CEOs dafür sorgen, dass Menschen die Maschinen überwachen;
  - *‚Trainingsdaten* [von ML-Algorithmen]', laut Nehme (Nehme, 2018) *„oft voreingenommen, verzerrt, unvollständig oder ungenau sein können"*. CEOs werden strenge Prozesse implementieren müssen, um diese Unzulänglichkeiten abzumildern;
  - Chatbots und virtuelle Assistenten private Daten von Kunden sammeln.
    Seit 2018 erlegt die Datenschutz-Grundverordnung (DSGVO) Organisationen Pflichten auf, insofern personenbezogene Daten in der EU betroffen sind oder erhoben werden, um die Privatsphäre der europäischen Bürger zu schützen (DSGVO, 2020). CEOs müssen die Auflagen dieser Verordnung erfüllen.

Durch die Organisation von Workshops wird die **UIC ihre Mitglieder** (CEOs, Führungskräfte, Projektmanager, IT-Abteilungen, Geschäftsbereiche, Experten) **dabei unterstützen**, KI zu entmystifizieren, Datenwissenschaftler anzuwerben, den anderen Sektoren und der Europäischen Kommission diese Roadmap zu vermitteln und den Informationsfluss zu fördern. Dank ihrer **Kooperationsprojekte** wird die UIC Implementierungsleitfäden mit Fokus auf ethischen Belangen und Sicherheits- bzw. betrieblichen Fragen veröffentlichen.

3.3.4. Vision kommunizieren

Die UIC wird die Kommunikation der CEOs unterstützen.

3.3.5. Hindernisse aus dem Weg räumen

3.3.6. Kurzfristige Erfolge anstreben

Die UIC wird Anwendungsfälle liefern.

3.3.7. Veränderungen weiter antreiben

Die UIC wird Leitlinien und Spezifikationen für die einzelnen technischen Lösungen und ihre betrieblichen Auswirkungen herausgeben, um die Marktfähigkeit der Innovationen aus dem Bereich der KI im Bahnsektor zu fördern.

3.3.8. Veränderungen verankern

Für die letzten vier Schritte wird die **UIC** das Bewusstsein für kurzfristige Verbesserungen und Erfolge erhöhen, indem sie diese unter den UIC-Mitgliedern in Europa und weltweit verbreitet.

4. Nächste Schritte

Künstliche Intelligenz ist im europäischen Bahnsektor noch nicht sehr weit verbreitet.

Das politische Umfeld und die rasante Entwicklung im Bereich der KI eröffnen den Bahnunternehmen jedoch große Chancen und werden zu einem tiefgreifenden Wandel führen.

Die UIC wird ihre Mitglieder und den Bahnsektor in dieser chancenreichen Zeit unterstützen.

Literaturhinweise

Acorn (2017), *'Customer Success Story - Acorn Sales Company'*, [Online], verfügbar unter: https://youtu.be/vbzm9IyFsSE?t=37 (Zugriff: 18 May 2017)

Arafer (2019), *'Le marché français du transport ferroviaire de voyageurs 2017'*, page 40, Figure 3, [Online], verfügbar unter: https://www.autorite-transports.fr/wp-content/uploads/2019/03/bilan_ferroviaire_2017_internet.pdf (Zugriff: 15 March 2019)

Amtrack (2020), *'Meet Julie, Your Virtual Assistant'*, [Online], verfügbar unter: https://www.amtrak.com/about-julie-amtrak-virtual-travel-assistant# (Zugriff: 19 April 2020)

Automation Anywhere (2018), *'What Is Cognitive Automation? A Primer'*, [Online], verfügbar unter: https://www.automationanywhere.com/company/blog/product-insights/what-is-cognitive-automation-a-primer (Zugriff: 9 April 2018)

Catapult Transport Systems (2021), *'Robotic Inspection and Repair System'*, [Online], verfügbar unter: https://ts.catapult.org.uk/current-projects/robotic-inspection-repair-system/ (Zugriff: 26 January 2021)

Emerj (2019), *'Natural Language Processing - Business Applications'*, [Online], verfügbar unter: https://emerj.com/ai-sector-overviews/natural-language-processing-business-applications/ (Zugriff: 13 December 2019)

Easy Voyage (2015), *'Les robots intelligents au service des voyageurs'*, [Online], verfügbar unter: https://www.easyvoyage.com/actualite/les-robots-intelligents-aident-les-voyageurs-66028 (Zugriff: 17 December 2015)

Esmera (2017), *'Project Name: EREVOS'*, [Online], verfügbar unter: http://www.esmera-project.eu/erevos/ (Zugriff: 2017)

Europäische Kommission (2020a), *'EUROPEAN YEAR OF RAIL'*, [Online], verfügbar unter: https://europa.eu/year-of-rail/index_en (Zugriff: 30 December 2020)

Europäische Kommission (2020b), *'Mobility Strategy - A fundamental transport transformation: Commission presents its plan for green, smart and affordable mobility'* [Online], verfügbar unter: https://ec.europa.eu/transport/themes/mobilitystrategy_en (Zugriff: 9 December 2020)

Europäische Kommission (2020c), *'Shaping Europe's digital future: Commission presents strategies for data and Artificial Intelligence'*, [Online], verfügbar unter: https://ec.europa.eu/commission/presscorner/detail/en/ip_20_273 (Zugriff: 19 February 2020)

Eurostat (2020a), *'Modal split of passenger transport'*, [Online], verfügbar unter: https://appsso.eurostat.ec.europa.eu/nui/show.do?dataset=tran_hv_psmod&lang=en (Zugriff: 1 September 2020)

Eurostat (2020b), *'Unitisation in the different modes of transport - tonne-kilometre for gross weight of goods'*, [Online], verfügbar unter: https://appsso.eurostat.ec.europa.eu/nui/show.do?dataset=tran_im_umod&lang=en (Zugriff: 24 February 2020)

F.Robo Clean (2013), *'F. ROBO CLEAN'*, [Online], verfügbar unter: https://www.youtube.com/watch?v=40wsGCtVTYw&t=1m42s (Zugriff: 20 February 2013)

Facebook Engineering (2016), *'Artificial intelligence, revealed'*, [Online], verfügbar unter: https://engineering.fb.com/2016/05/10/ai-research/ai-revealed/ (Zugriff: 10 May 2016)

Forbes (2017), *This Start-up's Artificial Voice Sounds Almost Indistinguishable from A Human's*, [Online], verfügbar unter: https://www.forbes.com/sites/parmyolson/2017/11/03/this-startups-artificial-voice-sounds-almost-indistinguishable-from-a-humans/#49f20256388c (Zugriff: 3 November 2017)

Fortune (2016), *'This Robot-Made Pizza Is Baked in the Van on the Way to Your Door'*, [Online], verfügbar unter: https://fortune.com/2016/09/29/this-robot-made-pizza-is-baked-in-the-van-on-the-way-to-your-front-door/ (Zugriff: 29 September 2016)

France 3 (2016), *'Pepper, le robot qui vous sort du train-train de la SNCF'*, [Online], verfügbar unter: https://france3-regions.francetvinfo.fr/pays-de-la-loire/pepper-le-robot-qui-vous-sort-du-train-train-de-la-sncf-946290.html (Zugriff: 7 March 2016)

France Bleu (2017), *'Baryl, le robot-poubelle de la SNCF, débarque à la gare de Nantes'*, [Online], verfügbar unter: https://www.francebleu.fr/infos/insolite/baryl-le-robot-poubelle-de-la-sncf-debarque-la-gare-de-nantes-1486478998 (Zugriff: 7 February 2017)

France Inter (2019), *On a testé le robot de réservation Facebook de la SNCF (c'est bien, mais un peu flippant)*, [Online], verfügbar unter: https://www.franceinter.fr/societe/on-a-teste-le-robot-de-reservation-facebook-de-la-sncf-c-est-bien-mais-un-peu-flippant (Zugriff: 19 April 2020)

Gaddes (2019), *'Network Rail needs for Robotic Inspection & Maintenance - RIMA Seminar 5th February 2019'*, pages 9, 13 and 14, [Online], verfügbar unter: https://www.sprintrobotics.org/wp-content/uploads/RIMA-Seminar-050219.pdf (Zugriff: February 2019)

GDPR (2020), *'What is GDPR, the EU's new data protection law?'*, [Online], verfügbar unter: https://gdpr.eu/what-is-gdpr/ (Zugriff: 3 May 2020)

Germfalcon (2015), *'Germs Don't Fly With Us'*, [Online], verfügbar unter: https://youtu.be/qPzRg2S8tPw (Zugriff: 23 March 2015)

Global Railway Review (2020a), *'The power of big data: Smart maintenance using data analytics - Priya Agrawal'*, [Online], verfügbar unter: https://www.globalrailwayreview.com/article/113415/big-data-smart-maintenance-data-analytics/ (Zugriff: 4 January 2021)

Global Railway Review (2020b), *'Infrabel focuses on digital data as it moves towards predictive maintenance - Annelies Stevens'*, [Online], verfügbar unter: https://www.globalrailwayreview.com/article/113411/infrabel-digital-data-predictive-maintenance/ (Zugriff: 5 January 2021)

Global Times (2017), *Facial recognition devices installed in central China's Wuhan Railway Station*, [Online], verfügbar unter: http://www.globaltimes.cn/content/1062574.shtml (Zugriff: 22 August 2017)

HiBot (2015), *'HiBot THESBOT 3'*, [Online], verfügbar unter: https://www.youtube.com/watch?v=6s9fcta6cqc&t=1m15s (Zugriff: 3 December 2015)

HiBot (2020), *'This is HiBot'*, [Online], verfügbar unter: https://youtu.be/6iB0YOhTY-I?t=91 (Zugriff: 26 March 2020)

IRJ (2020), *Major landslide derails Strasbourg - Paris TGV service*, [Online], verfügbar unter: https://www.railjournal.com/passenger/high-speed/major-landslide-derails-strasbourg-paris-tgv-service/ (Zugriff: 5 March 2020)

ISO (2012) *'ISO 13372:2012(en) - Condition monitoring and diagnostics of machines - Vocabulary'*, [Online], verfügbar unter: https://www.iso.org/obp/ui/#iso:std:iso:13372:ed-2:v1:en (Zugriff: 2012)

Jaakkola (2020), *'Artificial Intelligence - Implications for Business Strategy'*, MIT Sloan School of management - MIT Computer Science and Artificial Intelligence Laboratory (CSAIL)

Japanese Railway (2019), *Introduction of Track Machine Vision Systems in Japanese Railway*, [Online], verfügbar unter: http://www.railknowledgebank.com/Presto/content/Detail.aspx?ctID=Y3RDb3B5X29mX1RoZXNlcw==&rID=OTIwMg==&ssid=c2NyZWVuSURfMTc2MzM= (Zugriff: November 2019)

Konux (2020), *The switch is the most critical asset of the railway infrastructure*, [Online], verfügbar unter: https://www.konux.com/solutions/ (Zugriff: 13 April 2020)

Kotter (2014), *'Leading Change: Why Transformation Effort Fail'*, [Online], verfügbar unter: http://leadership4lawyers.com/wp-content/uploads/2014-12-23-LAW-Article-Summary02-Leading-Change-Why-Transformation-Effort-Fail-by-John-P.-Kotter-FIN.pdf (Zugriff: 23 December 2014)

Le Petit Journal (2020), *'Des robots tueurs de virus à la gare de St Pancras !'*, [Online], verfügbar unter: https://lepetitjournal.com/londres/des-robots-tueurs-de-virus-la-gare-de-st-pancras-288793 (Zugriff: 25 September 2020)

LeCun (2018a), *'La prochaine révolution de l'Intelligence artificielle - Yann LeCun, à l'USI'*, [Online], verfügbar unter: https://youtu.be/2WiPx6thH2E?t=37 (Zugriff: 5 July 2018)

LeCun (2018b), *Facebook's Head of AI Research - Yann Lecun - Explains AI*, [Online], verfügbar unter: https://www.youtube.com/watch?v=n94QIYb7cJM (Zugriff: 2 February 2018)

LeCun (2020), *'The mystery of intelligence'*, [Online], verfügbar unter: https://youtu.be/9NWcR14fXEo?t=155 (Zugriff: 22 October 2020)

Levy (2020), *'Artificial Intelligence - Implications for Business Strategy'*, MIT Sloan School of management - MIT Computer Science and Artificial Intelligence Laboratory (CSAIL)

Loccioni (2018), *'Felix - Robotic Inspection of Railway Switches and Crossings - Overview'*, [Online], verfügbar unter: https://www.youtube.com/watch?v=cOLf9qMRN4A (Zugriff: 9 August 2018)

Malone (2020), *'Artificial Intelligence - Implications for Business Strategy'*, MIT Sloan School of management - MIT Computer Science and Artificial Intelligence Laboratory (CSAIL)

Malone and Gil (2020), *'Artificial Intelligence - Implications for Business Strategy'*, MIT Sloan School of management - MIT Computer Science and Artificial Intelligence Laboratory (CSAIL)

Malone and Lau (2020), *'Artificial Intelligence - Implications for Business Strategy'*, MIT Sloan School of management - MIT Computer Science and Artificial Intelligence Laboratory (CSAIL)

McKinsey (2015), *'An executive's guide to machine learning'*, [Online], verfügbar unter: https://www.mckinsey.com/industries/technology-media-and-telecommunications/our-insights/an-executives-guide-to-machine-learning (Accessed 1 June 2015)

Mountz (2011), *'A Day in the Life of a Kiva Robot'*, [Online], verfügbar unter: https://www.youtube.com/watch?v=6KRjuuEVEZs&feature=youtu.be (Zugriff:11 May 2011)

Nehme (2018), *'The Short-Term Ethical Concerns of AI'*, [Online], verfügbar unter: https://towardsdatascience.com/the-short-term-ethical-concerns-of-ai-c201c03bc0ac (Zugriff: 6 June 2018)

Network Rail (2019), *Innovation in Automated Tunnel Examination*, [Online], verfügbar unter: https://www.i3p.org.uk/2019/09/04/innovation-automated-tunnel-examination-sbri-competition/ (Zugriff: 4 September 2019)

Network Rail Consulting (2021), *'Orbis Programme'*, [Online], verfügbar unter: https://www.networkrailconsulting.com/our-capabilities/network-rail-projects/orbis/ (Zugriff: 24 January 2021)

Neurospace (2019), *'Condition-Based Maintenance vs Predictive Maintenance'*, [Online], verfügbar unter: https://neurospace.io/blog/2019/08/condition-based-maintenance-vs-predictive-maintenance/ (Zugriff: 2 August 2019)

NSK (2015), *'2015 International Robot Exhibition'*, [Online], verfügbar unter: https://www.youtube.com/watch?t=21&v=lcn2QYUL61I&feature=youtu.be (Zugriff: 3 December 2015)

OUI.sncf (2020a), *L'assistant OUI.sncf va vous faire voyager*, [Online], verfügbar unter: https://www.oui.sncf/outils/assistant (Zugriff: 19 April 2020)

OUI.sncf (2020b), *Choisissez le meilleur moyen de voyager*, [Online], verfügbar unter: https://www.oui.sncf/transporteurs (Zugriff: 19 April 2020)

Panasonic (2010), *'Panasonic Medication Dispensing and Delivery Robots: Dingo'*, [Online], verfügbar unter: https://www.youtube.com/watch?t=172&v=g63WUCUuCD0&feature=youtu.be (Zugriff: 30 November 2010)

Railway Technology magazine (2016), *'Biggest disruption in 20 years as latest Southern strike kicks off'*,

[Online], verfügbar unter: http://www.railtechnologymagazine.com/Rail-News/biggest-disruption-in-20-years-as-latest-southern-strike-kicks-off (Zugriff: 13 December 2016)

RFI (2017), *Eurostar implements facial recognition for Paris passengers*, [Online], verfügbar unter: http://www.rfi.fr/en/france/20170215-eurostar-implements-facial-recognition-paris-passengers (Zugriff: 15 February 2017)

Rus (2020), *'Artificial Intelligence - Implications for Business Strategy'*, MIT Sloan School of management - MIT Computer Science and Artificial Intelligence Laboratory (CSAIL)

Search Business Analytics (2020), *'8 types of bias in data analysis and how to avoid them'*, [Online], verfügbar unter: https://searchbusinessanalytics.techtarget.com/feature/8-types-of-bias-in-data-analysis-and-how-to-avoid-them?src=6806157&asrc=EM_ERU_141048441&utm_medium=EM&utm_source=ERU&utm_campaign=20201127_ERU%2520Transmission%2520for%252011/27/2020%2520(UserUniverse:%2520337856)&utm_content=eru-rd2-rcpB (Zugriff: 26 October 2020)

Search Enterprise AI (2020), *Enterprise AI 'AI vs. machine learning vs. deep learning: Key differences'*, [Online], verfügbar unter: https://searchenterpriseai.techtarget.com/tip/AI-vs-machine-learning-vs-deep-learning-Key-differences (Zugriff: 22 April 2020)

Shift2Rail JU (2021a), *'About'*, [Online], verfügbar unter: https://shift2rail.org/about-shift2rail/ (Zugriff: 24 January 2021)

Shift2Rail (2021b), *'Available'*, [Online], verfügbar unter: https://shift2rail.org/capability/ (Zugriff: 24 January 2021)

Skilllx (2020) *'List of Machine Learning Algorithms'*, [Online], verfügbar unter: https://skilllx.com/list-of-machine-learning-algorithms/ (Zugriff: 20 July 2020)

Softbank (2021), *'Retail - Robots, improving 'Phygital' experience for today's empowered shoppers'*, [Online], verfügbar unter: https://www.softbankrobotics.com/emea/en/industries/retail (Zugriff: 24 January 2021)

Tech Target (2020), *'Key differences of a data scientist vs. data engineer'*, [Online], verfügbar unter: https://searchbusinessanalytics.techtarget.com/feature/Key-differences-of-a-data-scientist-vs-data-engineer?src=6156946&asrc=EM_ERU_127136536&utm_medium=EM&utm_source=ERU&utm_campaign=20200504_ERU%20Transmission%20for%2005/04/2020%20(UserUniverse:%20762525)&utm_content=eru-rd2-rcpB (Zugriff: 7 April 2020)

The New York Times (2018), *'How Artificial Intelligence Is Edging Its Way into Our Lives'*, [Online], verfügbar unter: https://www.nytimes.com/2018/02/12/technology/artificial-intelligence-new-work-summit.html (Zugriff: 12 February 2018)

The Verge (2018), *'Welcome to the automated warehouse of the future - How British supermarket Ocado is using robots to make online grocery shopping faster'*, [Online], verfügbar unter: https://www.theverge.com/2018/5/8/17331250/automated-warehouses-jobs-ocado-andover-amazon (Zugriff: 8 May 2018)

Towards Data Science (2018), *'How does Machine Learning work?'*, [Online], verfügbar unter: https://towardsdatascience.com/how-does-machine-learning-work-6dd97f2be46c (Zugriff: 13 August 2018)

UIC (2020a), *'Vademecum, List of UIC members'*, [Online], verfügbar unter: https://vademecum.uic.org/en/ (Zugriff: 26 January 2021)

UIC (2020b), *'Facts and figures - 2017'*, [Online], verfügbar unter: https://uic.org/about/about-uic/ (Zugriff: 26 January 2021)

UIC (2020c), *'Technical Solutions for the Operational Railway'*, [Online], verfügbar unter: https://uic.org/IMG/pdf/20201126_uic_technical_solutions.pdf (Zugriff: 23 November 2020)

US Defense (2020), *'Relationship of Data, Information and Intelligence'*, [Online], verfügbar unter: https://media.defense.gov/2020/Jun/03/2002310219/-1/-1/0/200602-F-YT915-010.PNG (Zugriff: 3 June 2020)

Venturebeat (2020), *'Google's AI learns how to navigate environments from limited data'*, [Online], verfügbar unter: https://venturebeat.com/2020/04/07/googles-ai-learns-how-to-navigate-environments-from-limited-data/?utm_source=AMI_Innovation+%26+Technology+-+Mobility+%26+Logistics&utm_campaign=24a15addb2-EMAIL_CAMPAIGN_2020_04_08_01_00&utm_medium=email&utm_term=0_ed59667176-24a15addb2-450656765 (Zugriff: 7 April 2020)

Vithanage, Harrison and DeSilva (2019), *'Importance and Applications of Robotic and Autonomous Systems (RAS) in Railway Maintenance Sector: A Review'*, pages 9 to 11, [Online], verfügbar unter: https://www.researchgate.net/publication/334779963_Importance_and_Applications_of_Robotic_and_Autonomous_Systems_RAS_in_Railway_Maintenance_Sector_A_Review (Zugriff: 30 July 2019)

WCRR (2019), *'WCRR 2019 Tokyo - Railway Research to Enhance the Customer Experience - Program'*, pages 41 and 60, [Online], verfügbar unter: https://wcrr2019.org/common/data/pdf/WCRR_2019_PROGRAM_1028.pdf (Zugriff: 2019)

Wikipedia (2021a), *'Commonsense knowledge (artificial intelligence)'*, [Online], verfügbar unter: https://en.wikipedia.org/wiki/Commonsense_knowledge_(artificial_intelligence) (Zugriff: 26 January 2021)

Wikipedia (2021b), *'How deep learning is a subset of machine learning and how machine learning is a subset of artificial intelligence (AI)'*, [Online], verfügbar unter: https://en.wikipedia.org/wiki/Deep_learning#/media/File:AI-ML-DL.svg (Zugriff: 3 February 2021)

Wired (2011), *'A day in the life of a Kiva Robot'*, [Online], verfügbar unter: https://www.youtube.com/watch?v=6KRjuuEVEZs&feature=youtu.be (Zugriff: 11 May 2011)

Wired (2018), *'The WIRED Guide to Artificial Intelligence'*, [Online], verfügbar unter: https://www.wired.com/story/guide-artificial-intelligence/ (Zugriff: 2 January 2018)

Xinhuanet (2020), *'1 dead, 127 injured after train derails in central China'*, [Online], verfügbar unter: http://www.xinhuanet.com/english/2020-03/30/c_138931263.htm (Zugriff: 30 March 2020)

INTERNATIONALE EISENBAHNVERBAND
16, rue Jean Rey - 75015 Paris - Frankreich
Tel. +33 (0)1 44 49 20 20
Fax +33 (0)1 44 49 20 29
Email: info@uic.org

Veröffentlicht bei: UIC-Rail System Abteilung
Direktor der Veröffentlichung: Christian Chavanel
Cover und Layout: Ludovic Wattignies
Fotokredit: Adobe Stock

ISBN 978-2-7461-3067-8
Copyright-Hinterlegung: März 2021

www.uic.org

#UICrail