

## Revolution der Logistik: Künstliche Intelligenz ante portas

Prof. Dr. Sabina Jeschke, Prof. Dr.-Ing. Klaus Henning

Autonomes Fahren, Roboter-Teams in der Lagerung, intelligente Maschinen und „Smarte“ Häuser oder Fabriken – Digitalisierung und künstliche Intelligenz setzen neue Maßstäbe in allen. Die Etablierung eines umfassenden Online-Handels, autonome Trucks oder die Benutzung von Transportdrohnen sind Beispiele für grundlegende Paradigmenwechsel in der Logistik. Und die Entwicklungen im Rahmen der vierten industriellen Revolution haben gerade erst begonnen.

Neue technische Entwicklungen haben stets zu tiefgreifenden Veränderungen in der Industrie geführt, angefangen mit der ersten industriellen Revolution um 1750 unter Einführung der Dampfmaschine über die Fließbandproduktion um 1900 und die digitale Revolution um 1970 bis zur gegenwärtigen vierten Revolution, die getrieben ist von einem durchgehenden Datenmanagement und dem Einsatz künstlicher Intelligenz. Eine revolutionäre Umstrukturierung der Logistik steht unmittelbar vor der Tür und wird durch Globalisierungsprozesse noch beschleunigt. Die klare Aufteilung von Branchen, Kompetenzen und Unternehmen verschwimmt, und Innovationen werden in vielen Bereichen von Informatikspezialisten wie Amazon, Google, Apple und Uber getrieben.

Scheiterte der Einsatz künstlicher Intelligenz bis in die 90er-Jahre an mangelnder Rechnerleistung, sind moderne Systeme nicht nur in der Lage, mit dem menschlichen Gehirn zu „konkurrieren“, sondern ermöglichen auch die vollständige Vernetzung einzelner Maschinen zu einem Gesamtsystem, einem Multiagenten-System oder einem Internet der Dinge etwa. Der entscheidende Faktor liegt hierbei im Austausch von Sensorinformationen und deren Verarbeitung *in Echtzeit* – dieser Aspekt kann gar nicht stark genug betont werden, weil gerade er die technischen von den biologischen Intelligenzen unterscheidet. Moderne technische Systeme wie Robotern oder Agenten lernen eigenständig auf Basis eigener Erfahrungen sowie der der „Teammitglieder“, - und sie lernen schnell! Am Cybernetics Lab IMA/ZLW & IfU der RWTH Aachen nutzen Wissenschaftler diese Verarbeitung gesammelter Daten (data-driven learning) etwa für die Optimierung intralogistischer Prozesse eines Roboterteams oder für industrielle automatisierte Färbeprozesses von Stoffen. Der Trend geht jedoch zu noch stärkerer Eigenständigkeit von maschinellen Verhalten.

Dürfen sich Maschinen Fehler leisten und kann man ihnen „vertrauen“? Das ist eine zentrale Frage im Einsatz von künstlicher Intelligenz in der Praxis. Sichere Systeme müssen lernfähig sein. Daraus aber resultiert ein Paradigmenwechsel weg von Top-down-Kontrolle durch den Entwickler hin zu Bottom-up-getriebenen situativen Entscheidungen durch das technische System selbst. Offensichtlich ist, dass Lernprozesse etwa beim Menschen nicht immer sofort die gewünschten Resultate liefern - unbestritten ist allerdings, dass aus Fehlern am allermeisten gelernt wird. Die Übertragung dieses Prinzips auf technische Intelligenzen liegt nahe: Sie ist unproblematisch solange eine künstliche Intelligenz etwa Go spielt – weil konsequenzlos. Sie wird jedoch zu einer zentralen Herausforderung für real-weltliche Systeme, also solche, die in unmittelbarer physischer Wechselwirkung mit Menschen stehen.

Ein Beispiel ist das Szenario der in den RoboCup integrierten Logistics League, bei der Roboterteams koordinierte Transportaufgaben lösen müssen. Im Gegensatz zu anderen Mannschaften setzt das Team Carologistics (siehe Box) auf eine vollständig dezentrale Multi-Agenten-Strategie mit intensiver Kooperation der Transportroboter untereinander, mit der drei Mal in Folge der Weltmeistertitel errungen werden konnte. Der Trend in der Industrie hin zu individueller Fertigung erfordert genau solche Ansätze: Roboter, die sich je nach Auftragslage und gewünschtem Produkt selbstständig reorganisieren und gleichzeitig die Verfügbarkeit von Material, Bestellungen und Liefereingänge „im Auge behalten“.

Klassische datengetriebene Lernverfahren der KI wie etwa die Methoden des supervised learning haben zum Ziel, eine dem Menschen vergleichbare Entscheidung eines Prozesses herbeizuführen. Verfahren des unsupervised learning etwa gehen darüber hinaus, indem sie versuchen, optimale Lösungen zu finden und dabei gegebenenfalls den „menschlicher Bias“ zu reduzieren. Dieser Trend setzt sich in der Entwicklung von Trial-and-Error-getriebenen Verfahren wie dem Reinforcement-Learning weiter fort: Hier lernen Maschinen durch eigene Experimente, welche Aktionen erfolgreich sind und welche eher einen Rückschritt darstellen. Hierbei bleibt der menschliche Einfluss begrenzt auf die Rahmenbedingungen des Systems (z.B. erwünschte Ziele). Insgesamt gilt, dass in den mächtigsten Verfahren der KI der menschliche Einfluss immer weiter reduziert wird, bei gleichzeitiger Reduktion der

Transparenz und Nachvollziehbarkeit der Prozesse – künstliche Intelligenzen ticken eben anders.

Einer der umfassendsten Durchbrüche der modernen KI basiert auf Ergebnissen aus den 80er Jahren: Die „alte“ Theorie der neuronalen Netze findet heute im Deep learning immer mehr beeindruckende Anwendungen. Ein zentrales Element stellt die eigenständige Wahrnehmung der Umgebung durch die technischen Systeme selbst dar. Dieser Bereich der KI, die kognitive Erweiterung von Maschinen, spielt auch für die Zusammenarbeit von Mensch und Roboter eine entscheidende Rolle. Wenn Roboter z.B. Wegbahnen von Menschen kreuzen oder Werkstücke an Menschen weiterreichen, dann müssen sie die Situation und Intentionen korrekt einschätzen und ihre Aktionen entsprechend anpassen können. Mensch und Roboter arbeiten in diesem Szenario „auf Augenhöhe“ miteinander. Im Projekt CENSE (“Cognition Enhanced Self-Optimization”) des RWTH Exzellenzclusters „Integrative Produktionstechnik für Hochlohnländer“ lernte ein Industrieroboter durch Algorithmen der künstlichen Intelligenz, an jeder Stelle eines „Heißen Drahts“ seine nächste Bewegung zu entscheiden – basierend auf seiner Umgebungswahrnehmung mittels einer Kamera und den gespeicherten Erfahrungen aus früheren Versuchen. Diese Kontexterkenntnis ermöglicht in der Weiterentwicklung die Interaktion mit Menschen, die für den Roboter unerwartete und nicht planbare Aktionen durchführen, die in Echtzeit bewertet werden müssen.

Die künstliche Intelligenz ist *der* zentrale Treiber der vierten industriellen Revolution. Sie trifft jedoch auf weitere „Kinder der Digitalisierung“: Zum einen erlaubt der Einsatz von Virtual und Augmented Reality völlig neue Formen des Produktdesigns insbesondere im Zusammenspiel mit künstlichen Intelligenzen, die ihre Kreationen quasi virtuell testen können. Zum anderen ermöglicht die Kombination mit Additive Manufacturing (3-D Druck) die sofortige Generierung und Erprobung der so entwickelten Produkte oder ihrer Komponenten. In diesem Dreieck also – AI (artificial intelligence), AR (augmented reality) und AM (Additive manufacturing) - entstehend völlig neue Modelle des Produktdesigns, und die Möglichkeit umfassender Individualisierung.

Die Auswirkungen dieses Dreiecks auf die Logistik sind offensichtlich: Sie wird einerseits selber KI-getrieben, Lieferwege und -ketten und Quantitäten verändern sich

in Folge der Individualisierung, und Lagerprozesse einer durch 3D-Druck getriebenen Produktion unterscheiden sich massiv von den bestehenden. In der Konsequenz steht die Logistik heute möglicherweise vor ihrem umfassendsten Umbruch!

### Infoboxen zur Teilnahme am RoboCup

Der RoboCup entwickelte sich aus einem Projekt zu fußballspielenden Robotern verschiedener Forschungseinrichtungen, federführend aus Japan, mit dem Ziel der Förderung von Robotik und künstlicher Intelligenz. Erkenntnisse aus den RoboCup-Wettkämpfen fließen in einer parallel stattfindenden Konferenz, wissenschaftlichen Publikationen und der Bereitstellung von Software-Lösungen in die Forschung ein.

Die Weltmeisterschaft zieht jährlich internationale Teams aus Wissenschaftlern und Studenten an. Am RoboCup 2016 in Leipzig nahmen 3.500 Teilnehmer aus über 45 Ländern und Regionen teil. Mit über 1.200 Roboter traten sie in den Disziplinen Fußball, Pflege/Service, Rettung und Industrie sowie den Junior-Ligen gegeneinander an.

<http://www.robocup.org/>

<http://www.robocup2016.org/de/>

Das Team Carologistics, eine Kooperation des Cybernetics Lab (RWTH Aachen University, Maschinenbau, Prof. Sabina Jeschke) mit dem Lehr- und Forschungsgebiet Wissensbasierte Systeme (RWTH Aachen University, Informatik, Prof. Gerhard Lakemeyer und dem MASKOR Institut (FH Aachen, Elektrotechnik und Informationstechnologie, Prof. Alexander Ferrein) tritt in der Kategorie RoboCup Logistics League an. Im Gegensatz zu anderen Teilnehmern setzte das Team auf einen Ansatz mit individuellen autonomen Agenten, die sich selbst koordinieren, indem sie ihre Umweltwahrnehmungen und ihre Handlungsabsichten kommunizieren. Mit dieser dezentralen und auf Flexibilität ausgerichteten Strategie steigerte sich die Leistung der Roboter nach einer erfolglosen Erstteilnahme in 2012 von Jahr zu Jahr, bis sie seit 2014 drei Mal in Folge den Weltmeistertitel sowie diverse weitere Preise erringen konnten.

<https://www.carologistics.org/>