

## Künstliche Intelligenz II

# Wie KI Logistikprozesse vorantreibt

Künstliche Intelligenz revolutioniert auch die Logistikbranche. Auch wenn ihre Verbreitung noch nicht flächendeckend ist, werden ihre vielfältigen Einsatzmöglichkeiten zunehmend von Unternehmen genutzt. Der Beitrag zeigt, wie KI in den Logistikprozessen eingesetzt wird.

› Prof. Dr. Jana Koehler

Die Hauptprozesse der Logistik lassen sich in zwei Bereiche unterteilen. Die Intra-Logistik umfasst Aufgaben innerhalb des Unternehmens, wie den Eingang, die Lagerung und den Ausgang von Waren. Die Extra-Logistik – meist einfach als Logistik bezeichnet – umfasst den Warentransport zwischen Unternehmen und Endkunden. Künstliche Intelligenz optimiert die vielfältigen Aufgaben und Prozesse in beiden Bereichen zunehmend und revolutioniert die Logistik damit grundlegend.

### KI in der Intra-Logistik

Künstliche Intelligenz ist in der Intra-Logistik längst Realität. Die Warehouse-Roboter von Amazon, die als intelligenter Schwarm in völliger Dunkelheit die Regale zu den Picking-Stationen bringen, haben die Warenlagerung revolutioniert. Beim Rücktransport optimieren sie die Regalpositionen fortlaufend. Häufig benötigte Regale platzieren die Roboter so, dass die Transportwege und der benötigte Platz minimiert werden. Aktuell untersucht Amazon, inwiefern sich auch die Kommissionierung, also das heute noch weitgehend manuelle Picking und Verpacken, durch Roboter automatisieren lässt.

In den letzten Jahren wurden die Prozesse beim Wareneingang hauptsächlich digitalisiert und an die betrieblichen Informationssysteme wie SAP oder Microsoft Dynamics angebunden. KI-Systeme, die unstrukturierte Texte und Bilder analysieren können, eröffnen heute neue Automatisierungsmöglichkeiten.



#### kurz & bündig

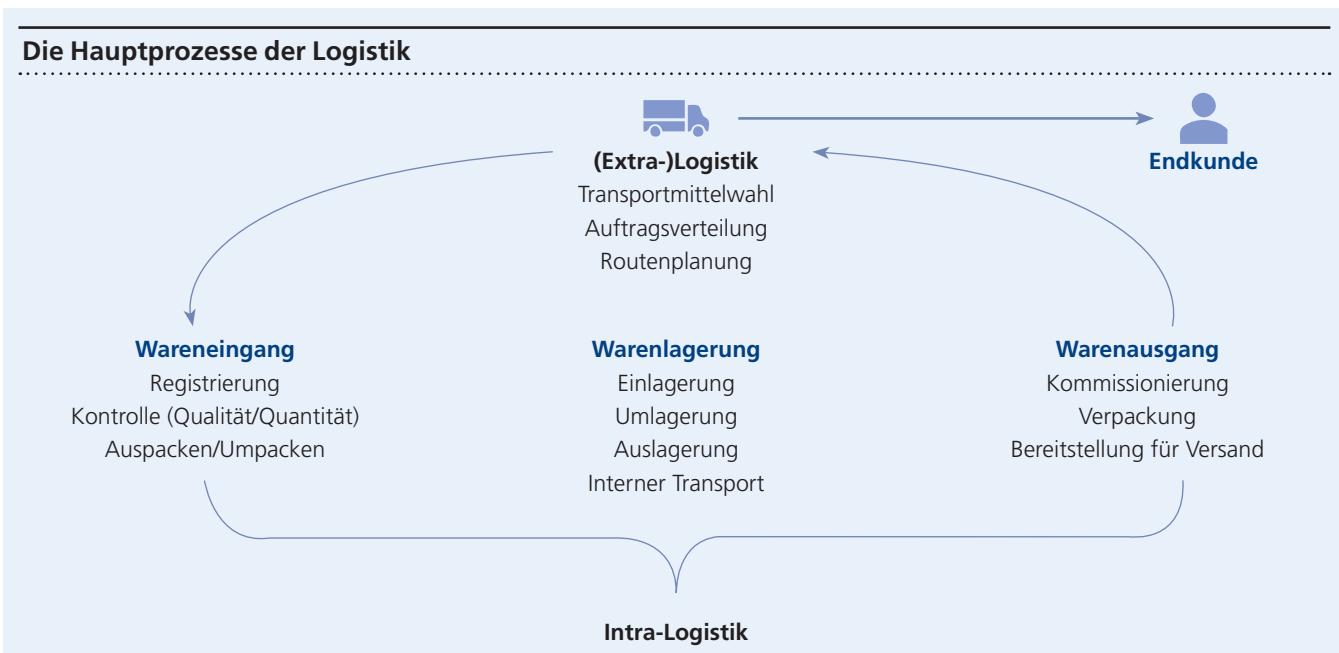
- › KI ist in der Intra-Logistik längst Realität. KI kann etwa Pakete zählen, beschädigte Pakete erkennen oder den Wareninhalt automatisch klassifizieren und den Bestellungen zuordnen.
- › In der Extra-Logistik stehen die Auswahl geeigneter Transportmittel, die Verteilung der Aufträge auf die jeweiligen Transportmittel und deren optimale Routenplanung im Mittelpunkt. Diese Probleme sind gründlich erforscht: Unter dem Stichwort AI Optimization stehen heute zahlreiche algorithmische Verfahren zur Verfügung, die in einfach einsetzbaren Lösungen integriert sind. Damit lassen sich Paletten optimal bepacken und Lkws kompakt beladen.
- › Der Beruf des Logistikers wird sich grundlegend wandeln. Der Fokus wird sich von der Ausarbeitung der Lösung hin zur Zusammenarbeit mit KI und der Spezifikation der Anforderungen verschieben.

So ist es beispielsweise möglich, Quantität und Qualität zu überprüfen und zu kontrollieren. KI kann Pakete zählen, beschädigte Pakete erkennen oder den Wareninhalt automatisch klassifizieren und den Bestellungen zuordnen.

### KI in der Extra-Logistik

In der Extra-Logistik stehen die Auswahl geeigneter Transportmittel, die Verteilung der Aufträge auf die jeweiligen Transportmittel und deren optimale Routenplanung im Mittelpunkt. Diese Probleme sind gründlich erforscht: Unter dem Stichwort AI Optimization stehen heute zahlreiche algorithmische Verfahren zur Verfügung, die in einfach einsetzbaren Lösungen integriert sind. Damit lassen sich Paletten optimal bepacken und Lkws kompakt beladen.

KI hilft auch dabei, das benötigte Transportvolumen durch maschinelles Lernen präziser vorherzusagen. Die Verteilung der Aufträge auf Fahrzeuge und die optimale Routenplanung werden seit Jahrhunderten unter den Stichwörter «Traveling Salesman Problem» und später auch «Vehicle Routing Problem» erforscht.



Beim Traveling Salesman Problem (TSP) wird als Eingabe eine Liste von Orten mit Entfernung- oder Zeitangaben übergeben, die von einem Fahrzeug besucht werden sollen. Am Ende der Tour kehrt das Fahrzeug wieder zum Ausgangspunkt zurück. Gesucht ist entweder die kürzeste Strecke oder die Tour, die in der kürzesten Zeit zurückgelegt werden kann. Auch andere Zielfunktionen sind möglich. Werden mehrere Fahrzeuge betrachtet, spricht man von multipltem TSP (mTSP) oder auch von Vehicle-Routing-Problemen (VRP).

Neben dem «Standard»-TSP/VRP wurden viele weitere Varianten des Routingproblems erforscht. Beim Clustered TSP werden Orte in Gruppen besucht, beim Generalized TSP hingegen jeweils nur ein Ort aus einer Gruppe. Beim Profitable-Tour-Problem wird nach einer Lösung gesucht, die bei einem beschränkten Reisebudget möglichst viele Orte besucht. Von besonderem Interesse sind auch Varianten mit zeitlichen Anforderungen, wie zum Beispiel das TSP with Time Windows, bei dem Orte innerhalb bestimmter Zeitfenster besucht werden müssen.

In der Praxis hält sich hartnäckig der Glaube, dass sich solche Probleme nicht optimal lösen lassen. Tatsächlich sind die

meisten TSP- und VRP-Varianten aufwendig, jedoch stellen sie für moderne Algorithmen schon lange keine Herausforderung mehr dar. Große Tech-Konzerne bieten spezielle Bibliotheken mit Algorithmen zur Lösung solcher Probleme an, siehe zum Beispiel Google OR-Tools.

Algorithmen mit konsistenten erfahrungsbasierten Funktionen, die optimale Lösungen garantieren. Bei über 100 Orten bieten sich polynomiale Approximationsverfahren (PTAS) an. Diese berechnen nahezu optimale Lösungen in sehr kurzer Zeit.

### Algorithmen für die Logistik

Heute werden TSP/VRP-Probleme meist manuell anhand der Erfahrung und Intuition menschlicher Logistiker gelöst. Teilweise kommen auch problemspezifische Verfahren und Algorithmen zum Einsatz, die zwar gute Lösungen finden, aber meist das Optimum verfehlten und keinerlei Lösungsgarantien bieten. Solche Ansätze sind aus heutiger Sicht veraltet. Für Problemstellungen mit weniger als 100 zu besuchenden Orten gibt es KI-

Allgemeinere Optimierungsalgorithmen setzen auf die lineare, dynamische und gemischt-ganzzahlige Programmierung aus der Mathematik oder Constraint-Solver und CP-SAT-Solver aus der KI. Diese Ansätze liefern korrekte und optimale Lösungen und finden potenziell alle möglichen Lösungen. Diese Algorithmen arbeiten auch als sogenannte Anytime-Verfahren: Innerhalb beschränkter Rechenressourcen liefern sie schnell sehr gute Lösungen, die fortlaufend verbessert werden, bis das Rechenbudget aufgebraucht ist.

Abb. 2: Steuerung der Algorithmen durch Zielfunktionen

Fokus der Zielfunktion	Optimierungspotenzial
Mitarbeitende	Gesundheit, Sicherheit, Gewinnung und Fluktuation von Fachkräften
Kunde	Genauigkeit, Schadensfälle/Fehllieferungen, Termintreue
Lager/Flotte	Auslastung, Produktivität, Nachhaltigkeit

Interessanterweise wissen diese Algorithmen auch genau, wie weit ihre Lösung vom Optimum entfernt ist. Da die Modellierung von Anwendungsproblemen sehr anspruchsvoll ist und viel Expertise erfordert, werden aktuell grosse Sprachmodelle (LLM) verwendet, um Experten und Fachanwender zu unterstützen. Ein Beispiel hierfür ist der Gurobi AI Modeling Assistant auf der Basis von ChatGPT.

In der Forschung wird derzeit auch intensiv an Deep (Reinforcement-)Learning und quantenbasierten Verfahren zur Lösung von Optimierungsproblemen gearbeitet. Ansätze mit maschinellem Lernen sehen sich hier jedoch mit der Herausforderung konfrontiert, dass ähnliche Logistikprobleme oft ganz unterschiedliche Lösungen erfordern. Für diese Probleme ist die zugrunde liegende Mustererkennung weniger gut geeignet.

## Erfolgsmessung in der Logistik

Für die Steuerung der Algorithmen durch Zielfunktionen bieten sich unterschiedlichste Leistungskennzahlen (KPI) an. Dabei sollte der Fokus nicht nur auf dem geringsten Platzbedarf oder den kürzesten Wegen liegen, wie die Kurzübersicht in Abbildung 2 zeigt.

## Fazit

KI in der Logistik ist gekommen, um zu bleiben. Die Technologien sind ausgereift und fliessen als Komponenten in innovative Lösungen ein. So können sie von Unternehmen einfacher eingesetzt werden. Der Beruf des Logistikers wird sich grundlegend wandeln. Der Fokus wird sich von der Ausarbeitung der Lösung hin zur Zusammenarbeit mit KI und der Spezifikation der Anforderungen verschieben.

Damit dies gelingt, müssen Unternehmen ihre Netzwerke, Daten, Kommunikation, Algorithmen, Lösungen und das zugrunde liegende Geschäftsmodell vernetzt denken. «



## Literatur

- Frazelle, E. H. (2016).** World-Class Warehousing and Material Handling (Second Edition). McGraw-Hill Education.
- Dhaliwal, A. (2020).** The Rise of Automation and Robotics in Warehouse Management. In: Transforming Management Using Artificial Intelligence Techniques, Taylor & Francis.
- Drissi Elbouzidi, A., Ait El Cadi, A., Pellerin, R., Lamouri, S., Tobon Valencia, E., & Bélanger, M.-J. (2023).** The Role of AI in Warehouse Digital Twins: Literature Review. *Applied Sciences*, 13(11), 6746.
- Simone, F., Nakhal Akel, A. J., & Patriarca, R. (2022).** Supporting warehouse management through Machine Learning. Proc. 27. Summer School Francesco Turco, University of Roma.



## Porträt



### Prof. Dr. Jana Koehler

Dozentin, Hochschule Luzern

Prof. Dr. habil. Jana Koehler ist Professorin für Informatik an der Hochschule Luzern. Sie beschäftigt sich in Lehre und Forschung mit Methoden der künstlichen Intelligenz, insbesondere Such- und Optimierungsverfahren, sowie den Themen Software-Architektur und Geschäftsprozessmanagement.

Ihre aktuelle Forschung fokussiert auf Methoden der KI für die Entwicklung digitaler Zwillinge und die Unterstützung dynamischer Prozesse. Neben dem Einsatz von KI-basierten Planungs- und Schedulingalgorithmen steht die Frage der Qualität der zugrunde liegenden digitalen Modelle im Fokus. Frühere berufliche Stationen waren das Deutsche Forschungszentrum für Künstliche Intelligenz (DFKI) in Saarbrücken, die Universitäten Linköping (S), Maryland (USA), Berkley (USA), Freiburg (D), die Firma Schindler und das IBM-Forschungslabor in Rüschlikon/Schweiz.

Die Autorin ist SAIROP-Partner. Mit der Swiss Artificial Intelligence Research Overview Platform SAIROP bringt die Schweizerische Akademie der Technischen Wissenschaften SATW wichtige Akteure des Schweizer KI-Ökosystems zusammen und bietet einen Überblick über KI-Dienstleistungen, Forschungsprojekte und Kooperationspartner. SAIROP soll die Zusammenarbeit zwischen Forschung, Industrie und Verwaltung fördern und den Wissenstransfer in der Schweiz unterstützen. Die Schweizerische Akademie der Technischen Wissenschaften SATW ist das Expertennetzwerk im Bereich Technikwissenschaften in der Schweiz und im Kontakt mit den massgeblichen Schweizer Gremien für Wissenschaft, Politik und Industrie. Die SATW ist politisch unabhängig und nicht kommerziell.



## Kontakt

jana.koehler@hslu.ch  
[www.hslu.ch](http://www.hslu.ch), [www.sairop.swiss](http://www.sairop.swiss), [www.satw.ch](http://www.satw.ch)