

Anwendungspotenziale von maschinellem Lernen in der Produktion und Logistik

Application potential of machine learning in production and logistics

Nina Vojdani
Björn Erichsen

Lehrstuhl für Produktionsorganisation und Logistik
Fakultät für Maschinenbau und Schiffstechnik
Universität Rostock

Im Vergleich zu anderen Anwendungsdomänen ist bislang der Einsatz von Methoden der künstlichen Intelligenz wie zum Beispiel maschinellen Lernverfahren in Produktion und Logistik weniger stark verbreitet. Mit fortschreitender Vernetzung durch neu entwickelte Informations- und Kommunikationstechnologien sowie dem Einsatz von Sensortechniken und cyberphysischen Systemen können Daten von produktionstechnischen und logistischen Prozessen jedoch vermehrt hochauflösend erfasst werden. Die Verfügbarkeit von umfangreichen Betriebs- und Sensordaten birgt große Optimierungspotenziale, die durch moderne Datenanalysemethoden erschlossen werden können. In jüngster Vergangenheit ist daher ein stetig wachsendes Interesse an Methoden der künstlichen Intelligenz insbesondere dem maschinellen Lernen in den Bereichen Produktion und Logistik zu beobachten. Diesbezüglich besteht die Herausforderung darin, für diese Anwendungsbereiche die passenden Machine Learning-Algorithmen auszuwählen. Dieser Beitrag gibt einen Überblick über die Anwendungsmöglichkeiten von maschinellem Lernen und untersucht im Rahmen eines Literature Reviews die Anwendungsintensitäten von verschiedenen Machine Learning-Algorithmen in Produktion und Logistik. Aus den gewonnenen Erkenntnissen wird weiterer Forschungsbedarf abgeleitet.

[Schlüsselwörter: Maschinelles Lernen, Produktion, Logistik Literaturübersicht, Künstliche Intelligenz]

Compared to other application domains, the use of artificial intelligence methods such as machine learning processes in production and logistics has so far been less widespread. With increasing networking through newly developed information and communication technologies as well as the use of sensor technologies and cyber-physical systems, however, data from production-related and logistics processes can increasingly be recorded in high resolution. The availability of extensive operating and sensor data

holds great potential for optimization, which can be tapped using modern data analysis methods. In the recent past, therefore, a steadily growing interest in methods of artificial intelligence, especially machine learning, can be observed in the areas of production and logistics. In this regard, the challenge is to select the right machine learning algorithms for these application areas. This article gives an overview of the possible applications of machine learning and examines the application intensities of various machine learning algorithms in production and logistics as part of a literature review. Further research needs are derived from the knowledge gained.

[Keywords: machine learning, production, logistics, literature review, artificial intelligence]

1 EINLEITUNG

Künstliche Intelligenz ist ein Thema, dessen Bedeutung in den letzten Jahren rasant gestiegen ist. Die Präsenz in den Medien, Forschung und Entwicklung als auch in der praktischen Anwendung ist unübersehbar. Künstliche Intelligenz ist mittlerweile auf globaler Ebene zu einem Faktor mit hoher wirtschaftlicher und strategischer Bedeutung geworden. Für Unternehmen stellt sie somit eine wichtige Stellschraube für zukünftige Wettbewerbsstärke und Profitabilität dar. [BKV18], [DLV+19]

Eine zentrale Schlüsseltechnologie der künstlichen Intelligenz ist das sogenannte maschinelle Lernen. Dabei handelt es sich um eine Klasse von Verfahren, die Wissen aus Erfahrung generieren, indem lernende Algorithmen Muster in vorhandenen Datenbeständen erkennen, Vorhersagen treffen oder Daten klassifizieren. [BKV18] Solche Datenbestände können beispielsweise Prozesse repräsentieren, die zu komplex sind, um sie analytisch beschreiben zu können. [DLV+19] Trotz aller Aktualität ist anzumerken, dass das maschinelle Lernen keine Erfindung dieses Jahrtausends ist. Bereits in den 1940er Jahren entstanden in Anlehnung am Verständnis verteilter neuro-

naler Prozesse im menschlichen Gehirn die ersten Konzepte von künstlichen neuronalen Netzen. In den 1950er Jahre fanden erste Implementierungen statt. [DLV+19]

Die rasante Entwicklung des maschinellen Lernens, wie wir sie heute beobachten können, liegt in mehreren Faktoren begründet. Die Fortschritte in der Computertechnologie sowie der erweiterte Sensoreinsatz ermöglichen es, dass immer größere Datenmengen generiert, gespeichert und performant verarbeitet werden können. Ein hohes Maß an Rechenleistung ist notwendig, damit die lernenden Algorithmen in einem vertretbaren Zeitraum anwendertauglich eingesetzt werden können. [FKA+15] Des Weiteren gibt es immer mehr Anbieter von Machine Learning-Diensten, die einen nutzungsbasierten Zugang via Cloud Computing anbieten. [BKV18] Auch die Verbreitung von Frameworks zur Entwicklung und Anwendung von Machine Learning-Algorithmen trägt zu dessen Innovationsleistung bei. Insbesondere die Nutzung von Plattformen und Bibliotheken im Rahmen von Open-Source-Lösungen nimmt innerhalb der Forschung weiter zu. [DLV+18]

Laut Expertenaussagen hat maschinelles Lernen das Potenzial in nahezu jeder Branche nutzbringend angewendet zu werden. [DLV+19] Bereits heute existieren vielfältige Einsatzbereiche beispielsweise in der Spracherkennung, dem autonomen Fahren oder der medizinischen Diagnostik. [BKV18] Das Gesundheitswesen wird als großes Innovationsfeld für maschinelles Lernen gesehen und stellt bereits heute eines der zentralen Anwendungsbranchen dar. [DLV+19] Mittels speziellen Algorithmen können z.B. Analysen von medizinischen Bildern und anderen komplexen, unstrukturierten Daten vorgenommen werden.

Dem Bereich der Produktion und Logistik wird reichlich Potenzial für die Anwendung von maschinellem Lernen zugesprochen, welches in den kommenden Jahren unternehmensweit erschlossen wird. Laut einer Studie von CRISP Research [BKV18] gaben 34 Prozent der befragten Entscheider an, sich bereits mit der Anwendung von maschinellem Lernen zur Optimierung und Automatisierung von unternehmensinternen Fertigungs-, Qualitätsmanagement- und Logistikprozessen zu beschäftigen. Im Kontext der digitalen Transformation und Industrie 4.0 werden Produktion und Logistik als zentrale Treiber für den Einsatz von maschinellen Lernen gesehen. Laut PricewaterhouseCoopers [PwC17] wird bis zum Jahr 2030 eine Vervielfachung der Umsätze durch KI-gestützte Optimierungsvorhaben vor allem in den Bereichen Produktion und Logistik prognostiziert.

Den Einsatzmöglichkeiten auf der einen Seite stehen jedoch gewisse Herausforderungen auf der anderen Seite gegenüber. Damit eine erfolgreiche Einführung von Machine Learning im Unternehmen gelingt, müssen Entscheidungen bezüglich der Use Cases, Technologien, Al-

gorithmen und IT-Betriebskonzepte getroffen werden. Diese Entscheidungsfelder unterliegen einer hohen Komplexität und verlangen viel spezifisches Know-how. [BKV18] Für die Konzipierung und Umsetzung der oft heterogenen Use Cases in Unternehmen steht eine Vielfalt bei der Algorithmenauswahl zur Verfügung. Im Rahmen dieses Beitrags werden folgende Fragen adressiert:

- Welche Use Cases ergeben sich im Unternehmen bzw. in welchen Gebieten kann maschinelles Lernen angewendet werden?
- Welche Machine Learning-Algorithmen können dafür eingesetzt werden?

Die Untersuchungen konzentrierten sich auf Anwendungen in Produktion und Logistik. Im folgenden Kapitel wird der generelle Aufbau eines Machine Learning-Use Cases vorgestellt und auf die gängigsten Verfahren eingegangen.

2 MASCHINELLES LERNEN

Im Kontext dieses Beitrags beschreibt ein Use Case das Anwendungsszenario in dem maschinelles Lernen potenziell eingesetzt werden kann. Ob die Anwendung von maschinellem Lernen prinzipiell nutzbringend ist, ist vom jeweiligen Anwendungskontext abhängig und muss daher individuell geprüft werden. Als nächstes wird die Funktionalität bestimmt, die im Rahmen des Use Case zu erfüllen ist. Die gewünschte Funktionalität bestimmt wiederum, welcher Lernstil zum Einsatz kommt. Grundsätzlich kann dabei zwischen überwachten, unüberwachten und bestärkenden Lernen unterschieden werden. Jedem Lernstil sind mehrere Algorithmen zugeordnet. Es kann vorkommen, dass eine gewünschte Funktionalität von verschiedenen Algorithmen ausgeführt werden kann. Auch hier muss im Einzelfall geprüft werden, welcher Algorithmus am besten für die jeweilige Aufgabe geeignet ist. In Abbildung 1 ist das beschriebene Schema dargestellt.

Beim maschinellen Lernen handelt es sich um Lernalgorithmen, mit denen ein datengetriebener Ansatz verfolgt wird. [FKA+15] Daher ist die zentrale Grundvoraussetzung zur Anwendung solcher Verfahren die Verfügbarkeit von ausreichend Trainingsdaten. Dies können z.B. Sensor- oder Logdaten aus komplexen produktionslogistischen Prozessen sein. Auf Grundlage der vorliegenden Daten erzeugt ein Lernalgorithmus ein Modell.

Die Modellparameter werden solange sukzessiv angepasst, bis dieses die Trainingsdaten ausreichend generalisiert hat. Je mehr Daten der Lernalgorithmus erhält, umso mehr kann das Modell verbessert werden. [DLV+18] Ein fertig trainiertes Modell kann anschließend z.B. auf neue ungesehene Prozessdaten angewendet werden und so das Systemverhalten vorhersagen.

Use Case: Anwendungsszenario für ein oder mehrere Machine-Learning-Verfahren	Vorausschauendes Störungsmanagement (Frühwarnsystem)
Funktion: Spezifische Aufgabe, die ein Verfahren erfüllen soll	Identifikation von Störungswirkungen
Lernstil: Klasse mit bestimmten Eigenschaften, der ein Algorithmus zugeordnet wird	Überwachtes Lernen
Algorithmus: Konkrete Funktionsweise des eingesetzten Algorithmus	Support Vector Regression

Abbildung 1. Aufbau Machine Learning-Use Case [in Anlehnung an [BKV18], [VE19]]

Wie bereits oben erwähnt, gibt es eine Vielzahl unterschiedlicher Machine Learning-Algorithmen, die anhand des Lernstils klassifiziert werden. Beim überwachten Lernen bzw. supervised learning liegen Trainingsdaten vor, die aus Eingabe- und Ausgabewerte bestehen. Solche Lernverfahren werden dazu verwendet, um Objekte einer bestimmten Kategorie bzw. Klasse zuzuordnen, was als Klassifikationsaufgabe bezeichnet wird. Praktisch kann es

sich dabei um das Erkennen von Objekten (Gegenstände oder Personen) in Bildern handeln. [DLV+18] Des Weiteren werden bei Regressionsaufgaben überwachte Lernverfahren angewendet, z.B. um anhand bestimmter Eingabedaten einen Prognosewert zu bestimmten. Beim unüberwachten bzw. unsupervised learning gibt es bezüglich der Trainingsdaten keine Unterscheidung zwischen Eingabe- und Ausgabewerte. Die Daten liegen in diesem Fall in unstrukturierter Form vor. Die Aufgabe von Machine Learning-Algorithmen ist es hierbei, Strukturen und Unterschiede in den Daten zu erkennen und ähnliche Datenpunkte zu Clustern zusammenzufassen. Das bestärkende Lernen bzw. reinforcement learning im Vergleich zu den vorher beschriebenen Lernstilen unterscheidet sich dahingehend, dass keine Trainingsdaten direkt zur Verfügung stehen, aus denen gelernt werden kann. Beim reinforcement learning interagiert eine Maschine oder auch Agent genant mit der Umgebung. Dabei kann es sich um eine digitale oder reale Umgebung handeln. Gelernt wird aus dem Feedback, welches der Agent durch Aktionen mit seiner Umgebung erhält. Dies erfolgt dadurch, dass erfolgreiche Aktionen belohnt und nicht erfolgreiche Aktionen bestraft werden. Aus mathematischer Perspektive geht es darum, eine Nutzenfunktion möglichst zu maximieren. [DLV+18] Neben den bereits genannten Lernstilen gibt es noch semi-überwachte lernen, welches eine Kombination aus dem überwachten- und unüberwachten Lernen darstellt. In Abbildung 2 ist eine Übersicht über häufig verwendete Machine Learning-Algorithmen dargestellt. Diese bilden die Grundlage für die im folgenden Abschnitt vorgestellte Literaturanalyse.

Lernstil:	Modelltyp:	Algorithmus:	Lernaufgabe:
Supervised	Regressionsmodelle	Lineare Regression	Regression
		Logistische Regression	Klassifikation
	Entscheidungsbäume	Random Forests	Regression oder Klassifikation
	Kernmethoden	Support Vector Machine	Klassifikation
		Support Vector Regression	Regression
	Künstliche Neuronale Netze	Feed-forward Network	Regression oder Klassifikation
Bayessche Modelle	Bayessches Netz	Klassifikation	
Unsupervised	Cluster	k-means clustering	Clustering
Reinforcement	Sequentielle Entscheidungsmodelle	Q-Lernen	Sequentielles Entscheiden

Abbildung 2. Übersicht Machine Learning-Algorithmen

3 METHODIK UND FORSCHUNGSDESIGN

Im Rahmen einer Literaturanalyse wird ein Überblick über die Forschungsaktivitäten im Bereich des maschinellen Lernens gegeben. Der Fokus der Analyse liegt dabei auf Anwendungen von maschinellem Lernen in Produktion und Logistik. Für die bibliometrische Analyse von

wissenschaftlichen Publikationen wird die Elsevier-Scopus-Datenbank verwendet. Als etablierte Publikationsdatenbank bildet sie eine repräsentative Datenbasis für die Analyse von Forschungsaktivitäten. Die Vorgehensweise für die Literaturanalyse wird im Folgenden kurz vorgestellt. Die Datenbankabfrage erfolgt nach wissenschaftlichen Publikationen, bei denen es sich um Artikel in Fachzeitschriften bzw. Journals und Konferenzbeiträge

handelt. Dafür werden relevante Suchbegriffe in Englisch definiert und anschließend Suchstrings gebildet. Es werden die Datenbankfelder zu Artikeltitel, Abstract und Keywords durchsucht. Anschließend erfolgt eine Disziplinenfokussierung, indem Suchergebnisse aus nicht relevanten Themenfeldern herausgefiltert werden.

Aus der ersten Datenbankabfrage mit dem Suchstring „*machine learning*“ AND (*production OR manufacturing OR {logistics}*) ergeben sich für den Zeitraum vom Jahr 2011 bis 2020 insgesamt 2793 Suchergebnisse. Eine Eingrenzung des Suchzeitraums auf die Jahre von 2015 bis 2020 ergeben 2451 Suchergebnisse. Damit eine genauere Analyse der Suchergebnisse möglich ist, wird im Folgenden eine detailliertere Datenbankabfrage vorgestellt.

Die Datenbankabfrage erfolgt mit Suchstrings der Form „*Machine Learning-Algorithmus*“ AND (*production OR manufacturing OR {logistics}*) AND „*Anwendungsgebiet*“). In Abbildung 3 und 4 sind die verschiedenen Machine Learning-Algorithmen und Anwendungsgebiete, welche für die Suche verwendet werden, dargestellt.

- Linear regression
- Logistic regression
- Decision Trees
- Support Vector Machine
- Support Vector Regression
- Neural Networks OR Deep Learning
- Bayesian Networks
- K-means OR clustering
- Q-Learning OR Reinforcement learning

Abbildung 3. Suchbegriffe Machine Learning-Algorithmus

- Line feeding OR line stocking OR kitting OR part feeding
- Production planning
- Production control
- Inventory / warehouse
- Production scheduling OR production sequencing
- Transport

Abbildung 4. Suchbegriffe Anwendungsgebiet

Dadurch, dass jeder Machine Learning-Algorithmus mit jedem Anwendungsgebiet kombiniert wird, ergeben sich 54 unterschiedliche Suchstrings. Der Untersuchungszeitraum erstreckt sich vom Jahr 2015 bis August des Jahres 2020.

4 ERGEBNISSE

Abbildung 5 zeigt die Suchergebnisse in aggregierter Form für den angegebenen Untersuchungszeitraum. Insgesamt wurden 419 Publikationen gefunden. Es ist deutlich zu erkennen, dass die Anzahl der Publikationen vom Jahr 2017 bis 2019 deutlich ansteigt. Da das Jahr 2020 noch nicht abgeschlossen ist, verzeichnet die Abbildung einen Knick am Ende des ansteigenden Trends.

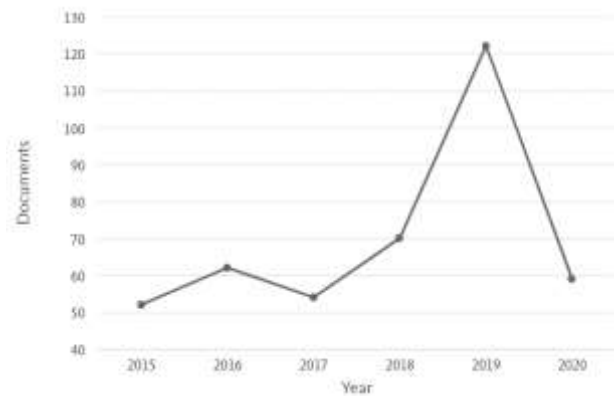


Abbildung 5. Anzahl von Publikationen bezüglich Machine Learning in Produktion und Logistik

Abbildung 6 zeigt die Anzahl der gefundenen Publikationen, welche nach den verschiedenen Anwendungsgebieten aufgeteilt sind. Die meisten Publikationen wurden bezüglich Production Control mit einem Anteil von 30 % (169 Publikationen) und Inventory / Warehouse mit einem Anteil von 31 % (175 Publikationen) gefunden. Im Bereich Materialbereitstellung wurde mit den Suchbegriffen line feeding / line stocking / kitting / part feeding eine vergleichsweise geringe Anzahl an Publikationen gefunden.

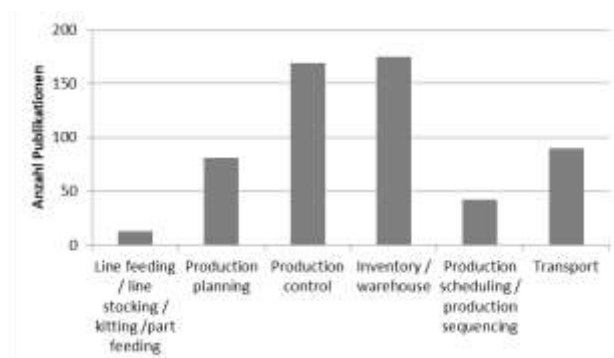


Abbildung 6. Suchergebnisse nach Anwendungsgebiet

Eine genauere Untersuchung der Forschungsaktivitäten bezüglich Machine Learning-Algorithmen im Bereich Materialbereitstellung zeigt, dass ohne Zeitraumbeschränkung bei der Datenbankabfrage 9 Publikationen zu finden sind, die vor dem Jahr 2015 veröffentlicht wurden. Für den Zeitraum vom Jahr 2015 bis 2020 konnten insgesamt 13 Publikationen gefunden werden. Im Kontext einer zunehmend steigenden Datenverfügbarkeit in Produktion

und Logistik wird daher weiteres Anwendungspotenzial von Machine Learning-Algorithmen im Bereich Materialbereitstellung gesehen.

Abbildung 7 zeigt die Anzahl der gefundenen Publikationen, welche nach den verschiedenen Machine Learning-Algorithmen aufgeteilt sind. Dabei wurden 41 % (235 Publikationen) der Publikationen mit den Suchbegriffen „Neural Network“ OR „Deep Learning“ gefunden. Abbildung 8 zeigt, dass die meisten Publikationen mit Neuronalen Netzen bzw. Deep Learning bezüglich der Anwendung im Bereiche Production Control mit einem Anteil von 32 % (76 Publikationen) sowie Inventory / Warehouse mit einem Anteil von 26 % (62 Publikationen) gefunden wurden.

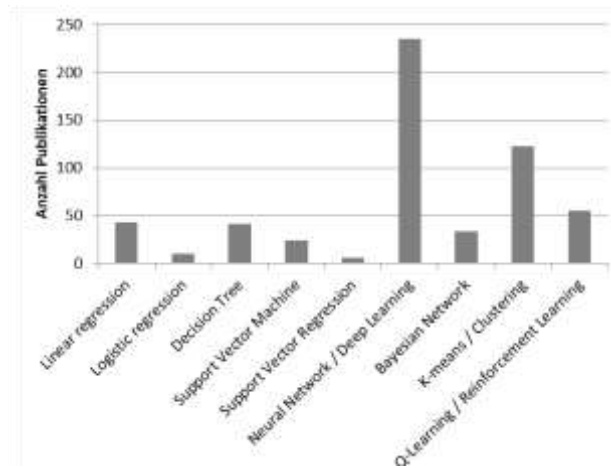


Abbildung 7. Suchergebnisse nach Machine Learning-Algorithmus

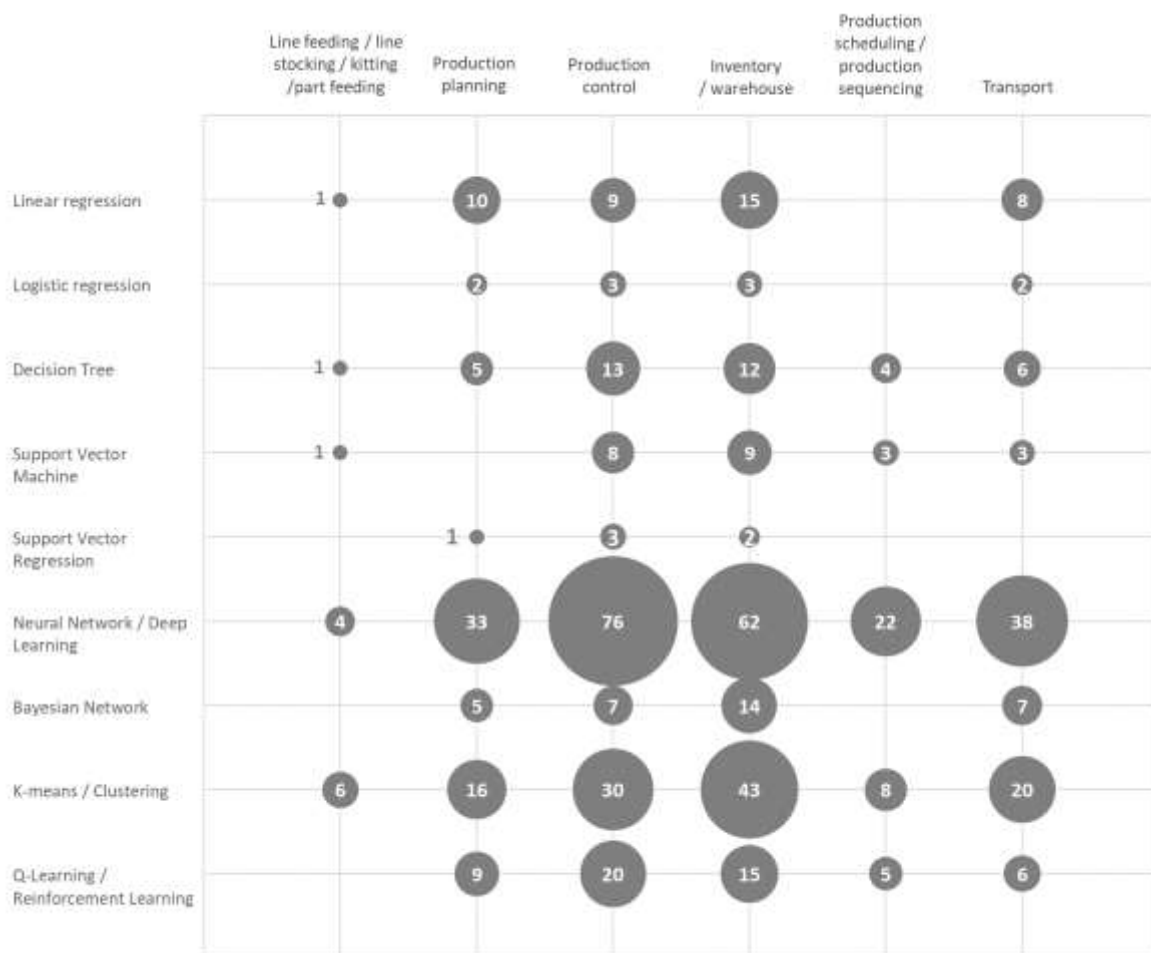


Abbildung 8. Suchergebnisse nach Machine Learning-Algorithmus und Anwendungsgebiet

Auch K-means bzw. Clustering findet am meisten in diesen Bereichen Anwendung. Dabei finden die Anwendungen zu 24 % (30 Publikationen) im Bereich Production Control und 35 % (43 Publikationen) bei Inventory / Warehouse statt. Auffällig ist, dass im Vergleich zu Neuronalen Netzen bzw. Deep Learning vergleichsweise wenige

Publikationen mit Support Vector Machine und Support Vector Regression gefunden wurden. Jedoch sind sowohl Neuronale Netze bzw. Deep Learning als auch Support Vector Machine / Regression für komplexe, nicht-lineare Klassifikations- bzw. Regressionsaufgaben geeignet. [VE18], [VE19] Bezüglich der Ergebnisdarstellungen in

Abbildung 6 und 7 ist anzumerken, dass einige der 570 gefundenen Publikationen mehreren Kategorien zugeordnet werden können.

Da die bisherigen Untersuchungen auf sechs Anwendungsgebiete beschränkt sind, wird eine erweiterte Untersuchung bezüglich der Anwendung von Neuronalen Netzen bzw. Deep Learning und Support Vector Machine / Regression vorgenommen. Folgende Begriffe werden in die weiterführende Untersuchung und damit im Feld „Anwendungsgebiet“ des Suchstrings miteinbezogen: Predictive analytics, Smart Factory, Predictive maintenance, Industry 4.0, cyber physical system, Embedded Systems, Internet Of Things, Internet Of Thing (IOT), Logistics Planning, Material Handling, Prediction Model, Shop Floor, Swarm Control, Processing Time.

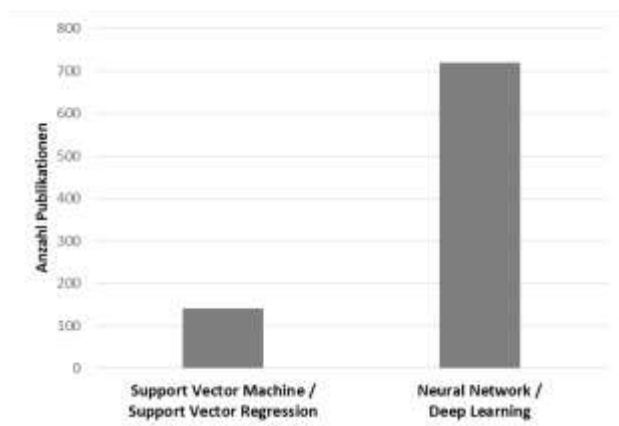


Abbildung 9. Suchergebnisse nach Erweiterung der Anwendungsgebiete

Im Rahmen der Erweiterung der Anwendungsgebiete wurden bei der Datenbankabfrage 719 Publikationen zu Neuronalen Netzen / Deep Learning gefunden. Demgegenüber stehen 142 gefundene Publikationen zu Support Vector Machine / Regression.

Die vergleichsweise geringe Anwendung von Support Vector Machine / Regression lässt noch nicht ausgeschöpftes Anwendungspotenzial vermuteten. Daher ist es empfehlenswert, im Rahmen von komplexen Klassifikations- bzw. Regressionsaufgaben bei denen ausreichend Trainingsdaten für die Anwendung von maschinellem Lernen vorliegen, die genannten Algorithmen parallel zueinander anzuwenden und hinsichtlich der besseren Einsatzfähigkeit zu vergleichen (vgl. [YWY+19]).

5 ZUSAMMENFASSUNG UND AUSBLICK

Die Analyse von wissenschaftlichen Publikationen bezüglich der Anwendung von maschinellem Lernen in der Produktion und Logistik hat gezeigt, dass generell eine Zunahme der Forschungsaktivität zu erkennen ist. Jedoch unterscheidet sich die Intensität der Forschungsaktivitäten bezüglich der untersuchten Anwendungsgebiete und Machine Learning-Algorithmen teilweise erheblich.

Im Rahmen der vorgestellten Untersuchung wurden die meisten wissenschaftlichen Publikationen zu Neuronalen Netzen / Deep Learning im Kontext von Produktionssteuerung und Lagerhaltung gefunden. Bei Machine Learning-Algorithmen werden noch nicht erschlossene Anwendungspotenziale bei Support Vector Machine und Support Vector Regression gesehen. Bezüglich der Anwendungsgebiete wird eine tiefergehende Untersuchung für das Gebiet Materialbereitstellung empfohlen, um Anwendungspotenzial von maschinellem Lernen zu erschließen.

LITERATUR

- [BKV18] Böttcher, B., Klemm, D., Velten, C. (2017). *Machine Learning im Unternehmensinsatz*. CRISP Research
- [DLV+18] Döbel, I., et al. *Maschinelles Lernen – Kompetenzen, Anwendungen und Forschungsbedarf*. Fraunhofer-Gesellschaft Result Report, Munich (2018).
- [DLV+19] Döbel, I., et al. *Maschinelles lernen: Eine Analyse zu Kompetenzen, Forschung und Anwendung*. Fraunhofer-Gesellschaft zur Förderung der angewandten Forschung e. V." (2019).
- [FKA+15] Freitag, M., Kück, M., Ait Alla, A., Lütjen, M. (2015). *Potenziale von Data Science in Produktion und Logistik*
- [PwC17] PricewaterhouseCoopers Deutschland: <https://www.pwc.de/de/digitale-transformation/business-analytics/kuenstliche-intelligenz-sorgt-fuer-wachstumsschub.html>, Zugriff 01.06.2020
- [VE18] Vojdani, N., Erichsen, B. (2018) *Ein Ansatz für ein Predictive-Monitoring-System zur Identifikation von Störungswirkungen in der Produktionslogistik mittels künstlichen neuronalen Netzen*. Logistics Journal: Proceedings 2018
- [VE19] Vojdani, N., Erichsen, B. (2019) *Anwendung von Support Vector Regression zur vorausschauenden Identifikation von Störungswirkungen in der Produktionslogistik*. Logistics Journal: Proceedings 2019

- [YWY+19] VYu, B., Wang, Y. T., Yao, J. B., & Wang, J. Y. (2016). *A comparison of the performance of ANN and SVM for the prediction of traffic accident duration*. *Neural Network World*, 26(3), 271.
-

Prof. Dr.-Ing. Nina Vojdani ist Lehrstuhlinhaberin des Lehrstuhls für Produktionsorganisation und Logistik an der Universität Rostock.

Björn Erichsen, M.Sc. ist wissenschaftlicher Mitarbeiter am Lehrstuhl für Produktionsorganisation und Logistik an der Universität Rostock.

Adresse: Lehrstuhl Produktionsorganisation und Logistik, Universität Rostock, Richard-Wagner-Str. 31, 18119 Rostock, Deutschland, Tel: +49 381 498-9250, Fax: +49 381 498-9252, E-Mail: lpl@uni-rostock.de