

Informationsmodellierung zur Beschreibung manueller Tätigkeiten an Handarbeitsplätzen

Patrick Bertram¹, Max Birtel¹, Fabian Quint², Martin Ruskowski²

Technologie-Initiative SmartFactory^{KL} e.V.¹

Deutsches Forschungszentrum für künstliche Intelligenz, Innovative Fabriksysteme²

Zusammenfassung

Manuelle Arbeitsplätze sind trotz fortschreitender Automatisierung und Digitalisierung weiterhin ein wichtiger Bestandteil der Produktion. Die steigende Nachfrage nach kundenindividuellen Produkten und die Flexibilität des Menschen machen sie unersetzlich. Trotzdem sind diese weitestgehend von der Digitalisierung ausgeschlossen. Assistenzsysteme versuchen diese Lücke zwar zu schließen, dennoch weisen kommerzielle als auch Forschungsprototypen Lücken auf, die eine breite Anwendung in der Praxis behindern. In dieser Veröffentlichung werden diese Lücken und relevante Ansätze gesammelt, die Lösungen versprechen. Darauf basierend erfolgt die Schlussfolgerung, die den Forschungsbedarf nach einer maschinen-lesbaren Erfassung und Interpretation von manuellen Tätigkeiten motiviert.

1 Einleitung und Motivation

Die Digitalisierung nimmt Einzug in alle Bereichen der Produktion. Maschinen, IT-Systeme und Produkte werden miteinander vernetzt, um den Produktionsprozess transparent und flexibel zu gestalten. So erlaubt die Vernetzung aller am Produktionsprozess beteiligten Systeme, dass der jeweilige Status eines Produkts und einer Produktionsanlage (Digital Twin) zu jeder Zeit einsehbar ist. Hierbei können automatisierte Anlagen relevante Informationen selbstständig erfassen und diese, bei geeigneter Schnittstelle, an übergeordnete IT-Systeme übertragen. Arbeitsplätze zur manuellen Montage sind in vielen produzierenden Unternehmen vorzufinden und ermöglichen eine flexible Produktion in kleinen Losgrößen. Trotz deren Bedeutung für das Unternehmen sind die heutigen Arbeitsplätze jedoch weitestgehend von der Digitalisierung und Automatisierung ausgeschlossen (Lotter & Wiendahl, 2012). In den meisten Fällen besteht nur eine rudimentäre Vernetzung mit anderen Systemen, beispielsweise einem ERP System, das die Aufträge am Arbeitsplatz anzeigt und sonst keine weitere Funktionalität bietet. Dadurch entsteht eine Lücke zu übergeordneten Systemen in der digitalen Abbildung des Prozesses. Assistenzsysteme zur Unterstützung des Wer-

kers können diese Lücke schließen sowie den Anforderungen der Vernetzung Rechnung tragen (Aehnelt et al., 2014). Der Markt bietet bereits erste kommerziell verfügbare Assistenzsysteme (Walter, 2017), die über Bildschirme oder Projektion die durchzuführenden Arbeitsschritte darstellen und die Tätigkeiten des Arbeiters über Sensorik erfassen (Beste, 2015; Korn et al., 2015). Größtes Problem aktueller Lösungen ist der hohe Aufwand für die Erstellung der Montageanleitung sowie der Sensorverarbeitung, die durch eine große Variantenvielfalt und immer kürzeren Produktlebenszyklen entsteht. Zwar vereinfacht sich die Bedienung der Werkzeuge (z. B. Editoren) zur Erstellung von neuen Arbeitsplänen immer weiter, doch bleibt deren händische Erstellung und Anpassung an veränderte Fertigungsprozesse durch Experten sehr aufwändig und kostenintensiv (Lachenmaier et al., 2015). Diese Entwicklung ermöglicht nur eine begrenzte Reduzierung des Aufwandes, weshalb der Wunsch nach selbstlernenden Systemen besteht. Diese Systeme beobachten die Montagetätigkeit des Werkers und leiten Zusammenhänge zwischen Objekten und Montageschritten, wie z. B. das Eindrehen einer Schraube, ab. Grundlage für eine Selbstlern-Fähigkeit bildet die digitale Erfassung der Tätigkeit. Die Einbindung verschiedenster Sensoren und die Interpretation der sehr heterogenen Daten bereitet jedoch einen hohen Aufwand. Dieser darf die potentiellen Vorteile eines selbstlernenden Systems nicht übersteigen. Das Ziel ist somit ein automatisiertes Interpretieren und Einbinden der Sensorik. Hierfür ist das Bereitstellen von abstrakten Informationen anstelle von sensorspezifischen Werten, die von allen Systemen interpretiert werden können, essentiell. Basis hierfür ist die semantische Modellierung, der Sensorik und der Arbeitsanweisungen für Assistenzsysteme, nach einer einheitlichen Methodik. In diesem Beitrag wird weiterer Forschungsbedarf nach einer semantischen Modellierung bei Handarbeitsplätzen herausgearbeitet. Hierdurch soll die Grundlage für ein flexibles Einbinden und Anpassen der Sensorik gelegt werden.

2 Stand der Technik

Die Aufarbeitung des Standes der Technik unterteilt sich in die Themengebiete „Assistenzsysteme in der manuellen Fertigung“, „Machine Learning und Deep Learning in Assistenzsystemen“ sowie „Semantische Informationsmodellierung“.

2.1 Assistenzsysteme in der manuellen Fertigung

Als Assistenzsysteme in der manuellen Montage werden technische Lösungen bezeichnet, die den Menschen bei der Bearbeitung seiner Aufgabe unterstützen. Bei der kognitiven Unterstützung werden dem Mitarbeiter Informationen zu dem zu fertigenden Produkt und den notwendigen Bearbeitungsschritten zur Verfügung gestellt, sodass er die richtigen Entscheidungen bei der Montage treffen kann. Häufig sind diese Systeme mit verschiedenen Sensoren wie z. B. Tiefenbildkameras ausgestattet, um Teile des Produktionskontextes zu erfassen und die Assistenz an den Kontext anzupassen. In (Bannat et al., 2008) sowie (Funk et al., 2015) wird z. B. die Position der Hände des Arbeiters erfasst. Befinden sich diese in einem definierten Arbeitsbereich wertet das System die Position aus und passt die Anweisungen des Assistenzsystems entsprechend an. Darüber hinaus ermöglichen Biosensoren die Erfassung

der kognitiven Belastung des Nutzers und reduzieren die Informationsdichte, um eine auf den Bediener zentrierte Assistenz zu erreichen (ElKomy et al., 2017).

Ogleich eine Kontexterfassung (z. B. Handtracking) vereinzelt durchgeführt wird, ist diese häufig spezifisch für das Assistenzsystem umgesetzt und dient der Anpassung an den Montageprozess und den Werker. Konkrete Tätigkeiten, wie z. B. das Eindrehen einer Schraube, werden nicht erfasst. Die digitale Abbildung des Montageprozesses und die Vernetzung mit einem IT-System wie z. B. ERP (Enterprise Resource Planning) finden sich selten. Die Vorteile einer solchen Vernetzung, zur Ableitung von Arbeitsanleitungen, werden durch (Aehnelt, 2017) indes näher erläutern. Konzepte zur automatisierten Datenerfassung an Montageplätzen, die eine Bereitstellung von Produktionsdaten und Prozessdaten für übergeordnete Systeme bieten, konnten nicht gefunden werden.

2.2 Machine Learning und Deep Learning in Assistenzsystemen

Große Herausforderungen bei der Erstellung von Anleitungen der Assistenzsysteme sind einerseits die vielen heterogenen Sensordaten, die mit den Anweisungen verknüpft werden müssen und andererseits die händische Erstellung oder Programmierung der Arbeitsanweisung. *Machine Learning* (ML) und *Deep Learning* (DL), als Unterbereich des ML, gehören zum Forschungsbereich der künstlichen Intelligenz (KI). Ziel von ML und DL ist es die Fähigkeiten des menschlichen Gehirns zu simulieren. Computersysteme werden in die Lage versetzt unstrukturierte Sensordaten interpretieren zu können und somit bei der Erstellung von Montageanleitungen zu unterstützen. (Han et al., 2014) nutzt einen ML-Ansatz zur Auswertung von Arbeitsabläufen von erfahrenen und unerfahrenen Arbeitern. Die Montagetätigkeiten werden dabei durch Gestenerkennung aufgezeichnet. Die Erstellung von Arbeitsplänen anhand der dabei ausgewerteten Daten wird in diesem Konzept zwar angesprochen, jedoch nicht weiter vertieft. Dies gilt ebenso für das Konzept von (Wallis et al., 2014), welches vorhandene Informationen wie CAD- und Produktlebenszyklus-Daten nutzt. Mithilfe von ML werden hierbei einzelne Bewegungsabläufe und deren Häufigkeit erfasst, ausgewertet und zusammengefasst, sodass Produktionszeiten für alle Tätigkeiten des Produktionsprozesses ermittelt werden können. (Chen et al., 2008) präsentiert ein Konzept zur automatischen Bestimmung von Montagereihenfolgen basierend auf der kombinierten Auswertung von CAD-Daten und mithilfe von DL erfassten Montagetätigkeiten. Die Aufzeichnung erfolgt hierbei mit neuronalen Netzen, die bereit im Voraus mit großen Datenmengen trainiert wurden.

Erste Ansätze zur Nutzung von ML und DL im Kontext der manuellen Montage existieren bereits. Die Problematik des hohen Aufwandes der Arbeitsplanerstellung wird dabei jedoch kaum betrachtet und konkrete Lösungen konnten während der Recherche nicht gefunden werden.

2.3 Semantische Informationsmodellierung

Das Erkennen und Interpretieren von Zusammenhängen, wie z. B. „Der Motor ist eine Komponente im Auto“, ist für Maschinen und Computer eine komplexe Aufgabe. Ziel der Seman-

tik ist es solche Zusammenhänge und Sachverhalte in einer formalen und maschineninterpretierbaren Art und Weise zu modellieren. Computersysteme werden dadurch in die Lage versetzt automatisiert logische Beziehungen zwischen Objekten und Sachverhalten herzustellen. Einen Lösungsansatz zeigt das Konzept der „Semantic Event Chains“ (SEC) zur Speicherung und Darstellung von Zusammenhängen zwischen Objekten, Zeitpunkten und Bearbeitungsschritten in Montageprozessen (Aksoy et al., 2011). SEC ermöglicht ein automatisiertes Erfassen und Interpretieren der Semantik von Prozessschritten, ohne dass spezifische Informationen und Wissen zu Objekten im Voraus modelliert werden müssen. Alle Zusammenhänge werden schrittweise auf Basis von Kamerabildern extrahiert (Aksoy et al., 2015). Einen anderen Ansatz präsentiert (Ganz et al., 2016), in dem semantische Modelle anhand von heterogenen und unverarbeiteten Sensordaten automatisiert erstellt werden können. Das nötige Wissen wird dabei aus externen Quellen abgeleitet. Als eine vielsprechende Möglichkeit der Informationsmodellierung von Sensorwerten haben sich Ontologien herausgestellt. Richtlinien und Konzepte zur Erstellung einer Ontologie, speziell im Bereich der Sensorik, wurden bereits erforscht (Russomanno et al., 2005). In (Compton et al., 2009) werden in dem Zusammenhang zwölf Ontologien auf Basis der Web Ontology Language (OWL) hinsichtlich verschiedener Kriterien (z. B. Konfiguration) miteinander verglichen. Es wird dabei gezeigt, dass die einzelnen Informationsmodellierungen unterschiedliche Anwendungsfälle und folglich Anforderungen implizieren. Das Semantic Sensor Web (SSW) kann als ein Beispiel für das Zusammenspiel mehrerer Sensoren innerhalb eines Sensornetzwerks genannt werden. (Sheth et al., 2008) präsentiert eine auf SSW basierende Wetterprognose.

Zusammenfassend gibt es in der Forschung bereits Ansätze Sensorinformationen semantisch zu modellieren sowie semantisches Wissen durch die Erfassung von Montageprozessen abzuleiten. Dies geschieht vor allem mit Hilfe von Ontologien, diese finden jedoch nur selten den Weg in reale Systeme. Insbesondere fehlt ein Ansatz zur semantischen Beschreibung von menschlichen Arbeitsschritten an einem Handarbeitsplatz, sodass durch die erfassten Sensordaten automatisiert Arbeitspläne des Montageprozesses erstellt werden können.

3 Schlussfolgerung & Ausblick

Heutige Handarbeitsplätze und Assistenzsysteme in der manuellen Montage bieten bereits viele Ansätze um den Mitarbeiter bei seiner Tätigkeit zu unterstützen. Der Produktionskontext sowie kognitive Belastungen des Werkers werden dabei erfasst und spiegeln sich in der Assistenz wieder. Praktische Lösungen zur automatisierten und strukturierten Erstellung sowie Repräsentation von Montageanleitungen für diese Systeme existieren jedoch nicht. Ansätze finden sich in der Verarbeitung bereits bestehender Produktionsdaten aus ERP und *Manufacturing Execution System* (MES), um Arbeitsanweisungen abzuleiten. Der heterogene Aufbau verschiedener Arbeitsplätze und Assistenzsysteme wird dabei hingegen nicht untersucht. Alternativ existieren Konzepte im Bereich der KI, die Zusammenhänge in heterogenen Sensordaten erkennen und diese extrahieren. Diese Zusammenhänge sind häufig mit einem semantischen Modell verknüpft und ermöglichen eine maschinelle Interpretation. Die Verarbeitung dieser Informationen um Arbeitspläne abzuleiten wird nicht betrachtet. Eine digitale Abbildung des Produktes und des manuellen Montageprozesses erfolgt ebenfalls

nicht. Dies gilt ebenso für die vielen Lösungsansätze im Bereich der Sensorik. Sensoren und ganze Sensornetze werden spezifisch für ihre Anwendungsbereiche semantisch modelliert oder automatisierte Methoden erfassen die Sensordaten und erzeugen daraus komplette Ontologien.

Nach Auffassung der Autoren besteht der Bedarf nach einem Bindeglied zwischen Produktions- und Prozessplanung sowie der sensomotorischen Ebene an Handarbeitsplätzen. Die Verwendung von Semantik bietet sich als geeigneter Ansatz an, um diese Verbindung herzustellen. Diese sorgt für die notwendige Interpretation von heterogenen Sensordaten durch maschinelle Systeme und die Bereitstellung dieser Daten für übergeordnete IT-Systeme. Manuelle Tätigkeiten in der Montage müssen dazu nach einer einheitlichen und formalen Methodik modelliert werden, sodass diese durch Assistenzsysteme erfasst und klassifiziert werden können. Die digitale Abbildung des Produktionsprozesses und des Produktes während der Montage werden möglich. Händische Erstellungsprozesse von Arbeitsanleitungen können verringert werden und Handarbeitsplätze in den Digitalisierungsprozess der gesamten Produktion eingebunden werden. In einem nächsten Schritt werden bestehende Ansätze der semantischen Modellierung auf ihre Tauglichkeit für die automatisierte Erstellung von Arbeitsplänen geprüft. Existierende Ansätze werden ggf. um manuelle Tätigkeiten erweitert sowie an den Use-Case angepasst, umgesetzt und anschließend an einem Handarbeitsplatz evaluiert. Die Evaluation und die daraus gewonnenen Erkenntnisse werden in einem Konzept ausgearbeitet.

4 Literaturverzeichnis

- Aehnelt, M. (2017). *Informationsassistenz zur kognitiven Automatisierung manueller Montagearbeitsplätze*. Thesis.
- Aehnelt, M., Gutzeit, E. & Urban, B. (2014). Using activity recognition for the tracking of assembly processes: Challenges and requirements. *WOAR, 2014*, 12–21.
- Aksoy, E. E., Abramov, A., Dörr, J., Ning, K., Dellen, B. & Wörgötter, F. (2011). Learning the semantics of object–action relations by observation. *The International Journal of Robotics Research*, 30 (10), 1229–1249. <https://doi.org/10.1177/0278364911410459>
- Aksoy, E. E., Tamosiunaite, M. & Wörgötter, F. (2015). Model-free incremental learning of the semantics of manipulation actions. *Robotics and Autonomous Systems*, 71, 118–133. <https://doi.org/10.1016/j.robot.2014.11.003>
- Bannat, A., Wallhoff, F., Rigoll, G., Friesdorf, F., Bubb, H., Stork, S. et al. (Hrsg.). (2008). *Towards optimal worker assistance: a framework for adaptive selection and presentation of assembly instructions*.
- Beste, D. (2015). *Adaptive Montageassistenz*. Verfügbar unter <https://www.springerprofessional.de/fertigungstechnik/industrie-4-0/adaptive-montageassistenz/6593780>.
- Chen, W.-C., Tai, P.-H., Deng, W.-J. & Hsieh, L.-F. (2008). A three-stage integrated approach for assembly sequence planning using neural networks. *Expert Systems with Applications*, 34 (3), 1777–1786. <https://doi.org/10.1016/j.eswa.2007.01.034>

- Compton, M., Henson, C. A., Lefort, L., Neuhaus, H. & Sheth, A. P. (2009). *A Survey of the Semantic Specification of Sensors*.
- DIN-Norm, 8580 (September 2003). *Fertigungsverfahren - Begriffe, Einteilung*: Beuth Verlag.
- ElKomy, M., Abdelrahman, Y., Funk, M., Dingler, T., Schmidt, A. & Abdennadher, S. (2017). ABBAS: An Adaptive Bio-sensors Based Assistive System. In *Proceedings of the 2017 CHI Conference Extended Abstracts on Human Factors in Computing Systems* (S. 2543–2550).
- Funk, M., Mayer, S. & Schmidt, A. (2015). Using in-situ projection to support cognitively impaired workers at the workplace. In *Proceedings of the 17th international ACM SIGACCESS conference on Computers & accessibility* (S. 185–192).
- Ganz, F., Barnaghi, P. & Carrez, F. (2016). Automated Semantic Knowledge Acquisition From Sensor Data. *IEEE Systems Journal*, 10 (3), 1214–1225.
<https://doi.org/10.1109/JSYST.2014.2345843>
- Han, W., Liu, X., Radcliffe, J. H., Ghariban, M., Wei, J., Chung, K. C. et al. (2014). Analysis of manual manufacturing processes using motion sensing technologies. In *Systems and Information Engineering Design Symposium (SIEDS), 2014. 25 April 2014, Charlottesville, Virginia* (S. 244–249). Piscataway, NJ: IEEE.
- Korn, O., Funk, M. & Schmidt, A. (2015). Assistive systems for the workplace: Towards context-aware assistance. *Assistive Technologies for Physical and Cognitive Disabilities*, 121–133.
- Lachenmaier, J. F., Lasi, H. & Kemper, H.-G. (2015). Entwicklung und Evaluation eines Informationsversorgungskonzepts für die Prozess-und Produktionsplanung im Kontext von Industrie 4.0. In *Wirtschaftsinformatik* (S. 1–15).
- Lotter, B. & Wiendahl, H.-P. (Hrsg.). (2012). *Montage in der industriellen Produktion*. Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg. <https://doi.org/10.1007/978-3-642-29061-9>
- Russomanno, D. J., Kothari, C. & Thomas, O. (2005). *Sensor Ontologies: From Shallow to Deep Models*.
- Savarimuthu, T. R., Buch, A. G., Schlette, C., Wantia, N., Rossmann, J., Martinez, D. et al. (2017). Teaching a Robot the Semantics of Assembly Tasks. *IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics: Systems*, 1–23.
<https://doi.org/10.1109/TSMC.2016.2635479>
- Sheth, A., Henson, C. & Sahoo, S. S. (2008). Semantic Sensor Web. *IEEE Internet Computing*, 12 (4), 78–83. <https://doi.org/10.1109/MIC.2008.87>
- VDI-Richtlinie, 2860 (Mai 1990). *Montage- und Handhabungstechnik (Handhabungsfunktionen, Handhabungseinrichtungen - Begriffe, Definitionen, Symbole)*: Beuth Verlag.
- Wallis, R., Erohin, O., Klinkenberg, R., Deuse, J. & Stromberger, F. (2014). Data Mining-supported Generation of Assembly Process Plans. *Procedia CIRP*, 23, 178–183.
<https://doi.org/10.1016/j.procir.2014.10.095>
- Walter, L. (2017). Mobile Qualitätssicherung für mobile Produkte. Werkerführung sichert Montageprozesse. *IT & Production* (3), 30–31. Zugriff am 08.06.2017. Verfügbar unter <http://www.it-production.com/allgemein/mobile-qualitaetssicherung-fuer-mobile-produkte/>.