

Ein Status Management System mit Nutzung von synthetischen Sensoren

A status management system with use of synthetic sensors

Fuyin Wei
Bernd Noche

Department of Transport Systems and Logistics,
Faculty of Engineering, Division of Mechanical and Process Engineering
University of Duisburg-Essen

Die Nutzung der Digitalisierung im Bereich der Logistik beschränkt sich bisher häufig auf Anwendungen im Bereich von Verwaltungs- bzw. Managementsystemen. Auf einer eher operativen Ebene sind dagegen nur relativ wenige Einsatzfälle bekannt, insbesondere dann, wenn es um die Erfassung und Unterstützung manueller Abläufe geht. Dabei bieten neue Technologien wie synthetische Sensor-Systeme oder maschinelles Lernen vielfältige Möglichkeiten, die Zustände, Bewegungen und Prozesse auf der Produktions- und Logistikfläche zu verfolgen und zu protokollieren. Die automatische Echtzeitdatensammlung und Datenanalyse über die Umgebungs- und Leistungskennzahlen auf Logistikflächen gewinnt zunehmend an Bedeutung, da sie die Basis für Aktionen und Entscheidungen liefert.

[Schlüsselwörter: synthetische Sensoren, Eventerkennung, Echtzeitdatenanalyse, maschinelles Lernen, Status Management System]

The use of digitalization in the field of logistics has so far often been limited to applications in the field of administrative and management systems. On a more operative level, however, only relatively few applications are known, especially when it comes to recording and supporting manual processes. New technologies, such as synthetic sensor systems or machine learning, offer various possibilities to track and record the status, movements and processes in the production and logistics area. The automatic real-time data collection and analysis of environmental and performance data on logistics areas is becoming increasingly important, as it provides the basis for making actions and decisions.

[Keywords: synthetic sensors, event recognition, real-time data analysis, machine learning, status management system]

1 EINLEITUNG

Die Digitalisierung hat sich längst als einer der wichtigsten Begriffe des 21. Jahrhunderts etabliert. So scheint bereits heutzutage eine Vielzahl neuartiger Leistungen und Dienste den menschlichen Alltag wesentlich zu beeinflussen. Insbesondere der Trend der Digitalisierung übt einen Einfluss auf die Logistik aus [HHJ17]. Die Nutzung neuer Technologien ermöglicht die ganzheitliche Optimierung von Logistikketten. Deutschlandweit sind sowohl Start-Ups als auch etablierte Unternehmen bemüht, die Logistik mithilfe von Technologien zu verändern – mit Ansätzen wie z.B. Plattformen zum Teilen von Lagerraum, Auslieferungsroboter für die Paketzustellung oder Module zur Containerüberwachung. Die ersten Angebote sind am Markt angekommen und viele weitere befinden sich in der Entwicklung [MPS16]. Durch die Integration neuer Technologien sollen Maschinen, Menschen, Produkte und sogar Produktions- und Lagersysteme zukünftig dazu in die Lage versetzt werden, kontinuierlich Informationen untereinander auszutauschen. Idealerweise lassen sich dadurch Entscheidungen innerhalb operativer betrieblicher Abläufe vollständig autonom und dezentral gesteuert treffen. Als zentrales Element der unternehmerischen Wertschöpfung erweist sich vor allem die Logistik als eines der Anwendungsfelder mit dem größten Optimierungspotential.

1.1 AUSGANGSSITUATION UND PROBLEMBESCHREIBUNG

Der Logistiksektor in Deutschland ist geprägt durch den Mittelstand [DSL15]. Annähernd 99 % der Unternehmen im Logistikmarkt sind kleine oder mittlere Unternehmen (KMU) [Söll14] [Bau08]. Die Strukturen dieses Geschäfts sind gezeichnet von geringen Margen, resultierend aus geringen Eintrittsbarrieren in den Markt und dem enormen Wettbewerbsdruck [GM14]. Ein weiteres Merkmal ist der hohe Anteil der Personalkosten. Sie ent-

stehen auf Basis des hohen Koordinationsaufwandes, der vornehmlich auf Papier abgewickelt wird. Der Trend der Digitalisierung fordert erhöhte Flexibilität und Transparenz in der gesamten Wertschöpfungskette. Wer diese und spezielle Kundenanforderungen nicht erfüllen kann, wird sich bei der enormen Konkurrenz nicht durchsetzen bzw. sein Unternehmen nicht erhalten können [GNP17] [Woh15] [HRt14].

Die steigende Anzahl digitaler Services induziert jedoch gleichzeitig ein unaufhörliches Wachstum der weltweit zu verwaltenden Datenmenge. So werden tagtäglich Informationen im Umfang von etwa 2,5 Trillionen Byte erzeugt. Prognosen des amerikanischen Festplattenherstellers Seagate zufolge wird der verfügbare Datenumfang damit im nächsten Jahr bereits auf ca. 40 Mio. Zettabyte wachsen [Jae17]. Demnach wird das weltweite Datenvolumen im Jahr 2020 voraussichtlich etwa 57 Mal mehr Daten umfassen als Sandkörner an allen Stränden der Erde zusammen existieren [GRR18]. Das starke Wachstum der informatorischen Last ist dabei nicht allein dem Ausbau von Dienstleistungen innerhalb klassischer Endkundengeschäfte geschuldet. Vor allem Unternehmen haben damit begonnen, ihre prozessuale und organisatorische Infrastruktur innerhalb flexibler digitaler Ökosysteme abzubilden. Diese Entwicklung bewirkt, dass bis 2025 ca. 60 Prozent aller neu entstehenden Daten den Bereichen Industrie und Wirtschaft entspringen werden [GRR18]. Damit erweist sich die Digitalisierung bestehender Infrastrukturen als maßgeblicher Treiber des sogenannten industriellen Zeitalters.

1.2 MOTIVATION UND ZIELSETZUNG

Logistik erweist sich vor allem als eines der Anwendungsfelder der Digitalisierung mit dem größten Potential. So sind Themen wie das Internet der Dinge oder autonomes Fahren untrennbar mit einem logistischen Kontext verbunden. Dementsprechend fällt der Logistik eine Schlüsselrolle bei der Integration, aber auch der Gestaltung digitaler Konzepte und Methoden zu. Ziel dieser Entwicklung ist es, unternehmensinterne als auch -externe Prozesse mithilfe geeigneter digitaler Technologie integrativ zu verwalten und so kontinuierlich zu optimieren. Dadurch sollen vor allem die Planung und Steuerung zu verwaltender Güterflüsse verbessert werden. Gleichzeitig versprechen sich Experten einen Anstieg der damit zusammenhängenden Prozesstransparenz bei sinkenden Betriebskosten entsprechender Systeme [KSS17]. Ein großer Mehrwert wird in diesem Zusammenhang vor allem in dem Bereich der Planung funktionsübergreifender Koordinationsaufgaben innerhalb großer Wertschöpfungsnetzwerke gesehen [DKS17].

So ist es Dank der modernen Sensortechniken möglich, beliebige Aktivitäten auf einem Betriebsgelände zu verfolgen und beispielsweise Positionen von Fahrzeugen, Trailern, und Geräten (z.B. Flurförderzeugen) automatisch

einzelnen Koordinaten zuzuordnen und die entsprechenden Objekte wiederzufinden. Daraus lassen sich Informations- und Assistenzsysteme ableiten, die die Logistikprozesse unterstützen.

Auch bei der Verwaltung von Logistikflächen wie z. B. die Erfassung des Füllgrades von Pufferflächen sowie die Überwachung von Belegungsdauern könnten Sensorensysteme Informationen liefern. Optimierungen werden nur relativ selten durchgeführt, obwohl hier ein erhebliches Rationalisierungspotential bezüglich der Flächennutzung vorhanden ist. Des Weiteren lassen sich durch Positionsbestimmung von Objekten auf der Logistikfläche aufwendige manuelle Suchprozesse eliminieren.

Die generierten Informationen können nicht nur innerhalb von Logistikknoten zur Prozessverbesserung genutzt werden, sondern auch Akteuren des Vor- und Nachlaufs bereitgestellt werden.

Mit Hilfe von sogenannten synthetischen Sensoren und basierend auf Echtzeit-Event-basierter Datenanalyse (taktisch und operativ) im Bereich des Managements von Ausnahmefällen (auf der Ausführungsebene) vergleicht ein Status Management System (SMS) operative Informationen mit Plandaten und unterstützt eine höhere Transparenz und bessere Entscheidungsfindung durch Kommunikation und Visualisierung von Informationen. Ein Schlüssel zur Erschließung der universellen Sensoren ist daher die Unterstützung der "Virtualisierung" von Low-Level Rohdaten in semantisch relevante Darstellungen.

Ziel ist es, möglichst benutzerfreundliche und kostengünstige Systeme zu entwickeln, die geringe Investitionssummen benötigen und dennoch möglichst flächendeckend sowie unternehmensübergreifend in der Praxis eingesetzt werden können.

2 STAND UND TRENDS DER WISSENSCHAFT UND TECHNIK

Die Wertschöpfung der Zukunft findet nicht länger sequentiell und zeitversetzt statt, sondern in einem Netz durchgängig miteinander kommunizierender und flexibel aufeinander reagierender Einheiten. Der Mehrwert, welcher sich durch die Vernetzung dieser Fraktale zum Internet der Dinge (IdD) ergibt, kann sich jedoch nur dann vollständig entfalten, wenn die benötigten digitalen Infrastrukturen gegeben sind. Der Wandel in der Ausgestaltung betrieblicher Systemlandschaften, der zur Schaffung hinreichender digitaler Netzwerke erforderlich ist, wird gemeinhin als Digitalisierung oder digitale Transformation bezeichnet.

2.1 DIGITALISIERUNG UND DIGITALE TRANSFORMATION

Der Begriff der Digitalisierung ist in der Literatur nicht eindeutig abgegrenzt [GNP17]. Im Kontext, in dem dieser Artikel geschrieben ist, ist die Digitalisierung ein Übersetzer von Eigenschaften physischer Objekte in eine computerverständliche Sprache. Digitalisierung vernetzt die physische mit einer digitalen Welt. Durch die Integration technologischer Komponenten kann eine eindeutige Identifizierung, Vernetzung oder ein Datenaustausch zwischen Objekten erfolgen. Die hierdurch entstandenen sogenannten smarten Objekte sind die Grundlage für das Internet der Dinge (IdD) [GNP17]. Der Begriff des IdD umfasst die Vernetzung von Objekten aller Art über das Internet. Mithilfe des IdD könnten beispielsweise Verkehrsleitsysteme zur Reduzierung von Staus beitragen, indem sie dezentralisierte und autonome Entscheidungen treffen [HHJ17]. Dabei wirkt ein Digitalisierungsprozess stets über vier verschiedene Stellhebel: Erfassung, Automatisierung, Vernetzung und digitale Schnittstellen.

Essentiell für ein betriebliches Digitalisierungskonzept ist die **Erfassung** von Daten in digitaler Form. Nach ausreichender Verarbeitung und Auswertung können diese zur Vorhersage systemrelevanter Kenngrößen (bspw. in der Absatz- und Losgrößenplanung) oder aber zur Entscheidungsunterstützung in systemischen Vorgängen, wie der Bestimmung passender Zeitpunkte für einen Umrüstvorgang, genutzt werden. Bei der Datenerfassung handelt es sich um das klassische Aufgabenfeld der Digitalisierung, wird diese doch als Überführung von Informationen analoger Signale in eine digitale Speicherform definiert [Hes16].

Neben der Datenerfassung ist es von ebenso hoher Bedeutung, klassische Technologien und technische Komponenten mit künstlicher Intelligenz bzw. eingebetteten Systemen auszustatten, um autonom arbeitende und sich selbst organisierende Einheiten zu schaffen. Die **Automatisierung** von (Routine-)Arbeiten hat demnach einen hohen Stellenwert innerhalb einer unternehmensweit gültigen Digitalisierungsstrategie.

Sie gewinnt an noch höherer Bedeutung, wenn die so geschaffenen Automatismen miteinander vernetzt werden. Eine solche **Vernetzung** einzelner Systeme bildet die Grundlage für das Internet der Dinge.

Das IdD soll jedoch nicht gänzlich autark und autonom arbeiten. Vielerlei Entscheidungen bleiben ganz bewusst weiterhin durch Menschen beeinflussbar. Die Qualität flexibler Wertschöpfungsprozesse wird insbesondere durch die Schaffung **digitaler Schnittstellen** beeinflusst. So wird dem Menschen die Möglichkeit gegeben, unmittelbaren Einfluss auf den Produktionsprozess zu nehmen.

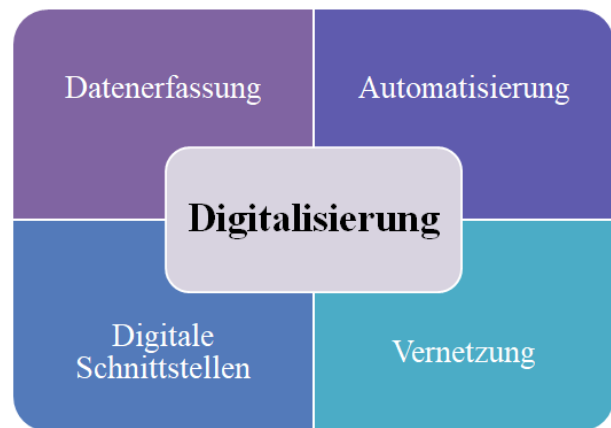


Abbildung 1. Merkmale digitaler Transformation

Bei der Betrachtung dieser Charakteristika wird schnell deutlich, wie eng der Begriff der digitalen Transformation mit der Vision Industrie 4.0 verbunden ist. Gleichzeitig stellt sich jedoch auch heraus, dass sich Wertschöpfungsabläufe augenscheinlich mithilfe einer durchdachten Implementierung vielfältiger Datenquellen und -punkte, wie Sensoren an CPS, optimieren lassen. Diese Entwicklung wird die weltweite Industrie in den nächsten Jahren nachhaltig beschäftigen, gilt doch die Digitalisierung als einer der Megatrends des 21. Jahrhunderts.

Die Logistik hat sowohl eine Querschnittsfunktion als auch eine Schlüsselfunktion im Digitalisierungstrend. Logistik verbindet Unternehmen und stellt somit eine Querschnittsfunktion dar, was Digitalisierungsprojekte komplex macht. Es gilt alle Beteiligten zu involvieren, Prozesse anzupassen, Systemlandschaften abzustimmen, eine einheitliche Syntax zu bilden und somit die Zusammenarbeit zu stärken. Die Schlüsselrolle der Logistik entsteht aufgrund ihrer Natur, Dinge zu vernetzen und abzustimmen. Auf der Chancenseite steht der Umstand, dass die Logistik schon immer für Vernetzung gesorgt hat und sich so als ideales Anwendungsfeld für Digitalisierung beweisen kann.

2.2 SENSOREN UND SYNTHETISCHEN SENSOREN

Die Digitalisierung hat bereits vor Jahrzehnten begonnen. Simulation und Entwicklung von Bauteilen am Computer sind heute etabliert [Sam17]. Doch erst durch die Miniaturisierung der IT wird ermöglicht, dass Objekte smart werden und im Internet der Dinge miteinander kommunizieren können. Miniaturisierung bedeutet in diesem Fall, dass Technologien kleiner, günstiger und leistungsfähiger werden, sodass sie auch mit geringeren Kosten in Produkten zum Einsatz kommen können.

Ein Klassifikationsschema des Sensoreinsatzes berücksichtigt die Sensorzuordnung zu Anwendungszwecken:

- Spezielsenoren (eins-zu-eins)
- Infrastrukturvermittelte Sensoren (eins zu wenige)
- Allzweck-Sensorik (eins zu vielen)
- Verteilte Sensorsysteme (viele zu einem, wenigen, vielen)

Dabei lässt sich erahnen, dass die Anwendungen der Zukunft in der Logistik auf fortgeschrittenen verteilten Sensorsystemen liegen werden.

2.2.1 SYNTHETISCHE SENSOREN

Studien [LZH17] haben gezeigt, dass Low-Level-Sensordaten zwar sehr genau sein können, aber oft nicht den tatsächlichen Interessen der Benutzer entsprechen. Beispielsweise interessiert sich der Durchschnittsnutzer nicht für ein Spektrogramm der EMI (Electromagnetic Interference)-Emissionen seiner Kaffeemaschine - er will wissen, wann sein Kaffee gebrüht wird. Ein Schlüssel zur Erschließung des universellen Sensorik ist daher die Unterstützung der "Virtualisierung" von Low-Level-Daten in semantisch relevante Darstellungen. Es wird ein sensorisches Abstraktionsmuster vorgestellt, das vielseitiges, benutzerzentriertes, universelles Abtasten ermöglicht und als Synthetische Sensoren bezeichnet wird.

In diesem Rahmen werden [gemäß LZH17] Sensordaten, die Endnutzern zugänglich gemacht werden, in übergeordnete Konstrukte "virtualisiert", die sich genauer auf die mentalen Modelle der Benutzer über ihre Kontexte und Umgebungen übertragen lassen. Dieser "Top-Down"-Ansatz verlagert die Last weg vom Benutzer (z.B. "Was kann ich mit Beschleunigungssensor-Daten machen?") und hin zum Sensorsystem selbst (z.B. demonstriert der Benutzer einen laufenden Wasserhahn, während das System seine Schwingungssignatur erfährt). Diese Ausgabe entspricht besser der menschlichen Semantik (z.B. "läuft das Abgas des Laserschneiders?") und Endverbraucheranwendungen können dieses Wissen nutzen, um umfangreiche, kontextsensitive Anwendungen zu betreiben (z.B. "Wenn das Abgas ausgeschaltet ist, senden Sie eine Warnung vor Dämpfen").

2.3 VERNETZTE UND INTEGRIERTE PRODUKTIONSSYSTEME – INDUSTRIE 4.0 UND RAMI

Die Fähigkeit zur Vernetzung wird in jedem Unternehmen zur Kernaufgabe [IIS16]. Dies beinhaltet die unternehmensübergreifende Kopplung von Systemen, so dass alle Akteure automatisch informiert sind und Versorgungsprozesse zuverlässig ablaufen können. Eine vollumfassende Digitalisierung über Unternehmensgrenzen hinaus ist eine Bedingung für eine zukunftsfähige Wirtschaft [GKK14] [BFG17]. Dabei spielt der Austausch von Prozessdaten und nützlichen Informationen eine wichtige Rolle. Durch die Nutzung und Weitergabe der Informationen an alle Prozessbeteiligten sorgen diese Informationen für transparentere, flexiblere, agilere und effizienter

gestaltete Wertschöpfungsnetzwerke [CHK14]. Die dargestellten Aspekte führen zu einer neuen Art der Kollaboration. Ein auf Initiative der deutschen Bundesregierung geschaffenes Forschungs- und Innovationsprojekt fasst diese Mittel unter dem Begriff **Industrie 4.0** zusammen. Dieses soll dabei helfen, industrielle Wertschöpfungs- und Produktionsprozesse mithilfe moderner Informations- und Kommunikationstechnologien miteinander zu verzahnen, um neue Möglichkeiten zur Organisation und Ausgestaltung betrieblicher Prozessabläufe zu schaffen [BMVI19].

Grundsätzlich ist die Idee hochgradig vernetzter und integrierter Produktionssysteme nicht neu. Bereits in den 1980er Jahren wurde mit dem Konzept des Computer-Integrated-Manufacturing (CIM) ein Ansatz verfolgt, der die Integration jeglicher System- und Datenkommunikation zur Generierung von Synergieeffekten innerhalb wertschöpfender Prozesse in den Mittelpunkt rückte [BHH14]. Betrachtet wurden hierbei vielfältige Abläufe und Funktionen wie Fertigung (CAM) oder Qualitätsmanagement (CAQ). Zwar ist die Integration von Produktionsplanungs- und Steuerungssystemen (PPS) mit einigen dieser Komponenten heutzutage ein branchenübergreifender „gelebter“ Standard, jedoch konnten viele Aspekte des CIM-Konzepts, bedingt durch fehlende technische Voraussetzungen, nicht realisiert werden. Die globale Verfügbarkeit leistungsfähiger Netzwerkinfrastrukturen, gepaart mit einem fortlaufenden technologischen und wissenschaftlichen Fortschritt, lassen die Weiterentwicklung dieser Ideen heutzutage jedoch durchaus möglich erscheinen.

Stand bei CIM noch weitestgehend die Idee der Vermeidung des „Produktionsfaktors Mensch“ im Vordergrund, rückt dieser durch die Industrie 4.0 wieder in den Mittelpunkt der wertschöpfenden Tätigkeit [HKW14]. Dadurch soll die zunehmend steigende Komplexität der innerbetrieblichen Wertschöpfung, die durch die wachsenden Anforderungen des Marktes besteht, beherrschbar gemacht und weiterhin gewinnbringend gestaltet werden [Rot2016]. Grundlage dafür sind intelligente und digital vernetzte Systeme, die eine Dezentralisierung komplexer Wertschöpfungsnetzwerke ermöglichen und so zur Vision einer autonomen bzw. selbsttätig gesteuerten Produktion beitragen. Kernelement dieses Konzepts sind sogenannte cyberphysische Systeme (CPS). Dabei handelt es sich um Komponenten eines (logistischen) Apparats, wie z. B. Gebäude oder Produktionsanlagen, die über eingebettete Software verfügen. Mittels Sensoren können CPS Einflüsse aus ihrer Umwelt unmittelbar wahrnehmen und so prozess- und entscheidungsrelevante Daten sammeln. Diese werden mithilfe der integrierten Software aufbereitet, um so Entscheidungen über den weitergehenden Prozessablauf treffen zu können. Mithilfe von Aktoren werden diese Entscheidungen wiederum in physische Größen oder mechanische Bewegungen umgesetzt. Darüber hinaus können sich CPS eines wertschöpfenden Systems über eine gegebene Datenschnittstelle, wie dem Internet, miteinander

der vernetzen, um autonome und dezentrale Produktionsfraktale zu erschaffen, die sich gegenseitig beeinflussen und selbst optimieren [BHH14]. Das Netzwerk, welches durch diese Kommunikationsstruktur entsteht, wird als Internet der Dinge (IdD) bezeichnet. Ein zentrales Merkmal von CPS ist die Tatsache, dass der Mensch stets Einfluss auf die Ausgestaltung und den Ablauf einzelner operativer Prozesse nehmen kann [BHH14]. Mittels multimodaler Schnittstellen, wie Audio-Interfaces oder Touch-Displays, kann er Verbindung zu den technischen Komponenten aufnehmen und diese steuern. Dadurch entsteht eine sog. „smarte Fabrik“ [BHH14]. Dabei werden den Steuerungssystemen, die der Prozesskoordination und Entscheidungsunterstützung dienen, alle physikalisch relevanten Daten in Echtzeit zur Verfügung gestellt. Auf diese Weise verschmilzt die virtuelle Welt mit der Realität, da alle physischen Gegebenheiten und Veränderungen unmittelbar innerhalb des digitalen Netzwerks darstellbar sind. Entscheidungen innerhalb der Wertschöpfungsprozesse lassen sich so ohne Zeitversatz treffen und mittels CPS in physische Bewegungen oder Kräfte umsetzen. Dieser Umstand ermöglicht eine zunehmende Flexibilisierung betrieblicher Produktions- und Wertschöpfungs-systeme.

Die digitale Vernetzung von Systemkomponenten einer Fabrik kommt bereits bei vielen technischen Komponenten in der Produktions- und Lagerlogistik zum Einsatz, so z. B. auch bei automatischen Förderanlagen für Paletten oder andere Lager- und Packmittel. Diese bestehen aus einzelnen Elementen wie bspw. Rollenbahnen, welche mit einem *Sensor* als auch einem Motor (Aktor) ausgestattet sind. Die zu transportierenden Fördergüter verfügen i.d.R. über systemglobal gültige Identifikationsmerkmale wie Barcode-Etiketten oder RFID-Chips. So kann das Eintreffen eines Fördermittels auf einem Anlagensegment automatisch durch den angeschlossenen Sensor, z. B. einen Barcode-Scanner, registriert werden. Oftmals ist die physische Anlage via Online-Schnittstelle mit einem Warehouse-Management- (WMS) oder Enterprise-Resource-Planning-System (ERP) verbunden, welches parallel zum Eintreffen einer Lagereinheit auf einem Fördersegment einen Abgleich von physischem Material- und logischem Informationsfluss durchführt und bestandsspezifische Daten der eingetroffenen Einheit ausliest. Mithilfe systeminterner Algorithmen werden auf Basis dieser Daten Entscheidungen über den weiteren physischen Transportweg der Lagereinheit getroffen. Dabei können viele Faktoren, wie z. B. Gewicht oder Abmessung der Lagereinheit sowie just eingehende Bedarfe für die Findung des optimalen Transportwegs berücksichtigt werden. Sind alle relevanten Daten ausgewertet, wird der Motor des entsprechenden Fördersegments angesteuert, sodass die Lagereinheit zum nächsten Abschnitt der Förderanlage bewegt werden kann.

Das effiziente Betreiben solch komplexer Wertschöpfungs-systeme erscheint ohne eine passende digitale Infrastruktur kaum durchführbar. Die Vollautomatisierung der

Herstellungsschritte in kontinuierlichen oder modularen Produktionsanlagen erfordert sowohl die Vernetzung aller zum Einsatz kommenden Sensoriken (bzw. CPS) als auch ein Produktionssystem, welches flexibel und echtzeitnah auf erfasste Zustandsänderungen und andere Prozessparameter reagieren kann. Dazu ist es notwendig, die einzelnen hierarchischen Ebenen eines fertigenden Unternehmens so miteinander zu verbinden, dass ein bereichsübergreifender Informationsfluss ermöglicht wird. Grundsätzlich setzt sich die Struktur eines Betriebes aus drei verschiedenen Ebenen zusammen: Auf der Unternehmensleitebene werden zumeist strategische und globale Prozessentscheidungen getroffen. Diese Aktivitäten werden durch den Einsatz eines geeigneten ERP-Systems unterstützt. Es dient bspw. der Finanz- und Anlagenbuchhaltung, dem Controlling oder aber der Grobplanung von Kunden- und Produktionsaufträgen. Diese Grobplanung

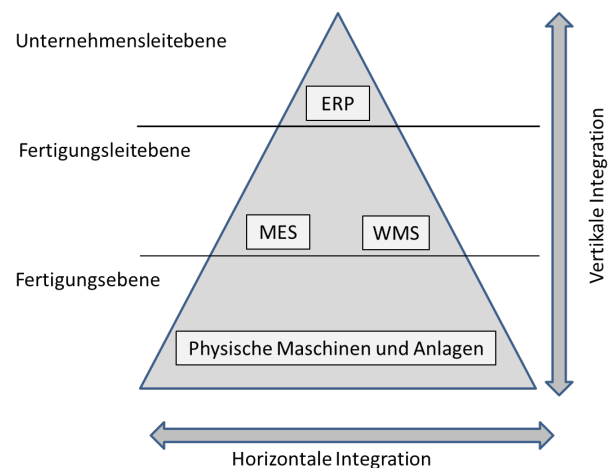


Abbildung 2. Hierarchie fertiger Unternehmen

wird auf der Fertigungsleitebene weiter spezifiziert. Hier angesiedelte Manufacturing-Execution-Systeme dienen vor allem der Planung von Prozessvorgaben wie Auftragsreihenfolge oder Material- und Personaleinsatz sowie aller operativen Aktionen. Derlei taktische Entscheidungen sollen die eigentliche Fertigungsebene, welche die Maschinen und Anlagen umfasst, bei der Ausführung physischer Herstellprozesse unterstützen. Ein solcher Vorgang wird auch als vertikale Integration bezeichnet.

Die Verbindung von Unternehmens- und Fertigungsleitebene (siehe Abbildung 2) spielt bei der Produktionsplanung, aber insbesondere auch bei der Etablierung eines geeigneten Qualitätssicherungs- und Dokumentationssystems, eine Rolle. Dabei ist es von ebenso hoher Bedeutung, alle eingesetzten CPS so miteinander zu vernetzen, dass prozessrelevante Entscheidungen möglichst echtzeitnah getroffen und umgesetzt werden können. Voraussetzung dafür ist die Verbindung (horizontale Integration) aller technischen Komponenten der Fertigungsebene zum Internet der Dinge. Eine bidirektionale Interaktion mit der Fertigungsleitebene kann bspw. mithilfe eines sog. Protokollumsetzers realisiert werden.

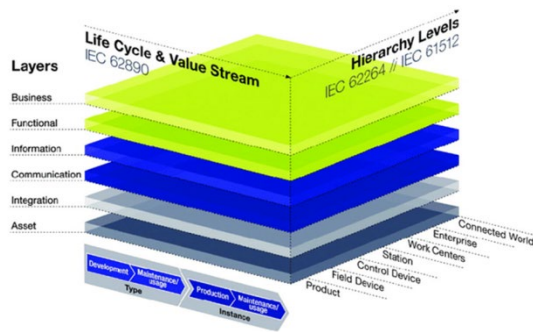


Abbildung 3. Referenzarchitektur Industrie 4,0 [Han15]

Für die Entwicklungen im Rahmen von Industrie 4.0 wurde die Referenzarchitektur RAMI 4.0 [Han15] entwickelt. Das dreiaxige Koordinatensystem enthält die Achsen: Hierarchy Levels, Life Cycle & Value Stream und Layers. Sie bietet eine gute Ausgangsbasis zur Standardisierung der genannten Aspekte und für die Entwicklung des Konzeptes von sogenannten Synthetischen Sensoren. Die Kombination der drei Achsen erlaubt es die Informationen so aufzubereiten, dass sie zielgenau eingesetzt werden können. Für die Entwicklung eines allgemeinen Konzeptes zum Einsatz von Sensorsystemen wird auch eine geeignete Strukturierung der Logistiksysteme benötigt.

Ein Ansatz, der „die knappen Betriebsmittel“ der Logistik beschreibt [Kuh95], strukturiert Prozesselemente zur Leistungserbringung in: Ressourcen, Strukturen und Lenkungebenen. Synthetische Sensoren können auf diese angewendet werden und so zu einem übergeordneten Kennzahlensystem führen. Durch die Fokussierung auf die Betriebsmittel der Logistik wird deutlich welche Daten erhoben werden sollen. Sie werden auf den Lenkungebenen genutzt und benötigen geeignete Strukturen (wie z.B. die technische Kommunikationsstruktur oder die Aufbauorganisation).

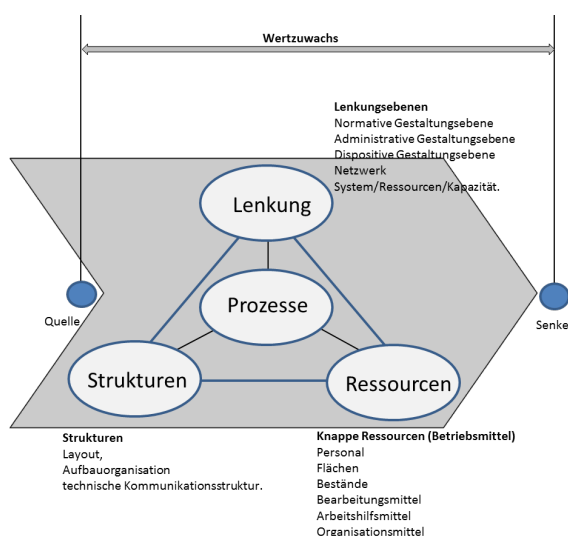


Abbildung 4. Die knappen Betriebsmittel der Logistik [nach Kuh95]

2.4 SELBSTLERNENDE SYSTEME

Das Konzept eines selbstlernenden Systems bezeichnet eine Disziplin des Gebiets der künstlichen Intelligenz innerhalb der Informatik [Rasc17]. Ziel maschineller Lernverfahren ist es Modelle zu entwickeln, die eigenständig Erkenntnisse aus Daten extrahieren können [Rasc17]. Auf Basis dieser Informationen lassen sich Rückschlüsse und Vorhersagen über das (zukünftige) Verhalten des jeweiligen Systems treffen. Definiert wird der Begriff MachineLearning (ML) als „[...] Fachgebiet, das Computern die Fähigkeit zu Lernen verleiht, ohne explizit [dafür] programmiert zu werden“ [Gér18]. Damit wird auch der Vorteil, welcher sich aus der Anwendung selbstlernender Systeme in unternehmerischen Handlungsfeldern bieten kann, ersichtlich. War bei der klassischen Datenanalyse noch menschliches Eingreifen zum Erkennen von Datenmustern und der darauf basierenden Ableitung von Regeln erforderlich, bietet dieser Ansatz die Möglichkeit, intuitive Entscheidungen bei der Erstellung entsprechender Modelle außen vor zu halten [Rasc17]. Damit erweisen sich etablierte Ansätze des Maschinenlernens nicht nur effizienter als bisherige Modellvarianten. ML-gestützte Systeme haben ebenfalls den Nutzen, dass sie sich eigenständig verbessern können, wodurch sich die Aussagekraft von Analyseergebnissen kontinuierlich optimieren lässt. Nicht zuletzt deshalb haben bereits etliche Verfahren maschinellen Lernens Einzug in den menschlichen Alltag erhalten. Neben intelligenten Spam-Filtern und effizienter Spracherkennungs-Software werden derlei Methoden auch zur optimierten Steuerung von Suchmaschinen verwendet [Row18].

2.4.1 KLASSIFIZIERUNG MASCHINELLER LERNVERFAHREN

Verfahren maschinellen Lernens lassen sich anhand verschiedener Kategorien klassifizieren: Überwachtes, verstärkendes und unüberwachtes Lernen.

Ziel des **überwachten Lernens** (Supervised Learning) ist es, Voraussagen über unbekannte oder zukünftige Zustände betrachteter Systeme treffen zu können. Dies geschieht anhand der Generierung mathematischer Modelle aus einem gegebenen Datensatz (Trainingsdaten) [Rasc17]. Der Begriff „überwacht“ erschließt sich aus der Art und Weise der Modellextraktion. Die Trainingsdaten, welche vom ML-gestützten Algorithmus zur Mustererkennung genutzt werden, sind bereits mit realen Aussagewerten (sog. Klassifizieren) verknüpft [Rasc17]. Dadurch ist die richtige Antwort beim Trainieren des selbstlernenden Systems a priori bekannt, sodass der entsprechende Algorithmus durch eine Vielzahl von Trainingsdurchläufen die untersuchten Daten iterativ besser zu verstehen lernt. Die größten Anwendungsgebiete überwachter Lernverfahren bilden die Abbildung von Klassifizierungs- und Regressionsproblemen. Mithilfe von Klassifizierungsverfahren lassen sich durch die Analyse eines

Datensatzes Klassen neu beobachteter Instanzen vorher-sagen [Rasc17]. Damit werden Objekte anhand vorab definiertes Merkmale einer (bekannten) Objektklasse zugewiesen [Rasc17]. Regressionsmodelle hingegen dienen der Vorhersage stetiger numerischer Zielgrößen auf Grundlage gegebener Merkmale [Rash17]. Ähnlich der Regressionsanalyse wird versucht eine Beziehung zwischen einer abhängigen und einer (oder mehrerer) unabhängigen Variable herzustellen. Dies bildet die Grundlage für Vorhersagen zukünftiger Werte des betrachteten Datenbestands. Ein typisches Anwendungsgebiet sind die in dieser Arbeit thematisierten Bedarfsprognosen. Überwachte Lernverfahren lassen sich mit einer Vielzahl unterschiedlicher Konzepte realisieren. Darunter fallen bspw. Regressionsverfahren, KNN, Entscheidungsbäume oder Support Vector Machines.

Das *verstärkende Lernen* (Reinforcement Learning) verfolgt einen fundamental anderen Ansatz als überwachte Lernverfahren. Zentraler Gestaltungspunkt dieses Verfahrens ist die Darstellung des selbstlernenden Systems in Form eines sog. Agenten [Rasc17]. Dieser beobachtet seine Umgebung und wählt auf Grundlage dessen eine Aktion bzw. Handlung aus. Je nach Güte der Entscheidung erhält der Agent dafür eine Belohnung oder Bestrafung. Im Laufe des Trainings ist es dem Agenten so möglich, eigenständig eine Strategie zu entwickeln, um das Maximum an Belohnung zu erhalten und so den Gesamtnutzen des betrachteten Systems zu optimieren [Gér18]. In der Praxis wird Reinforcement-Learning vordergründig zur Lösung interaktiver Aufgaben, wie der Steuerung autonomer Fahrzeuge, eingesetzt.

Im Gegensatz zu den Methoden des überwachten und verstärkenden Lernens ist die Struktur der Daten beim Training *unüberwacht lernender Systeme* (Unsupervised Learning) vorab nicht bekannt [Rasc17]. Der Einsatz spezifischer mathematischer Methoden ermöglicht es, trotz fehlender Zielvariable oder Belohnungsfunktion, die entsprechenden Daten derart zu untersuchen, dass eine Generierung bislang nicht bekannter Erkenntnisse realisierbar wird. Dadurch lassen sich Datenmengen bspw. vereinfacht in logisch sinnvolle Gruppen unterteilen (Clustering) [Rasc17]. Zudem kann unsupervised learning zur Dimensionsreduktion von Datensätzen mit stark ausgeprägter Poly-Dimensionalität eingesetzt werden (Merkmalsextraktion) [Rasc17].

2.4.2 KÜNSTLICHE INTELLIGENZ

Auf Seiten der KI-Methoden ordnen sich die einzusetzenden Methoden für das vorgeschlagene Konzept der Synthetischen Sensoren zum überwiegenden Teil in den Bereich der tiefen maschinellen Lernverfahren (engl. Deep-Learning) ein. Maschinelle Lernverfahren unter Verwendung moderner GPGPUs aus den Bereichen des Feature-Learning oder Deep-Learning [LBBH98] können Charakteristika erfassen, die mit traditionellen Verfahren

nicht oder nur mit großem Design-Aufwand modellierbar sind. Vor allem die Verwendung von Convolutional Neural Networks (CNNs) [GPMX14] sowie den Recurrent Neural Networks (RNNs), u.a. über LSTM- oder GRU-Module [HoSc97], sind zur Sensordatenverarbeitung relevant. Den Stand der Technik beim Machine-Learning repräsentieren Generative Adversarial Networks (GANs) [GPMX 14] und Variational Autoencoder [KiWe14]. Diese Verfahren können auch zur schnellen Detektion von Anomalien unbekannter Charakteristik in hochdimensionalen Sensordaten verwendet werden [ZFLMC18]. Dabei sind neben überwachten Lernszenarien auch unüberwachte Lern-Szenarien oder Kombinationen davon praktikabel [Ras15], da diese nur wenige oder keine gelabelten Daten benötigen [YCBL14]. Die Herausforderung für die Entwicklungen besteht in der Entwicklung von möglichst One-Shot-Architekturen, die gleichzeitig eine hohe Generalisierungsfähigkeit aufweisen. Dies beinhaltet Methoden zur Anpassung bestehender Modelle an sich ändernde Umgebungen oder generische Verfahren zur Synthese von Trainingsdaten, welche eine automatische Anpassung ermöglichen. Die zuvor angeführten CNNs arbeiten auf strukturierten, gitterförmig angeordneten Daten (z.B. Bildern). Eine Verallgemeinerung auf nicht-Euklidische Trägermengen wie z.B. Graphen oder Mannigfaltigkeiten ist derzeit Fokus aktueller Forschung und wird über den Begriff Geometric Deep-Learning beschrieben [BBLSV17]. Aktuelle Forschungsfragen im Bereich des Deep-Learnings tangieren zudem sogenannte Transformer-Netzwerke, welche z.Z. noch primär im NLP (Natural Language Processing) zum Einsatz kommen und anstatt RNNs oder CNNs ausschließlich auf Abruf basieren und damit eine hohe Laufzeiteffizienz aufweisen [VSPU17].

3 KONZEPT DES STATUS MANAGEMENT SYSTEMS MIT NUTZUNG DER SYNTHETISCHEN SENSOREN

Sensoren können weit verbreitet eingesetzt werden, um alle Arten von Daten in der Logistik und im Supply Chain Management zu sammeln, wobei auch relevante Informationen aus dem Blickwinkel der Nachhaltigkeit berücksichtigt werden. So wurden beispielsweise bei der Aktivitätsüberwachung von Gabelstaplern und Flurförderzeugen in einer Hallenlagerumgebung Fahrzeuge mit speziellen Sensoren nachgerüstet [AÖYN16]. Dadurch können Temperatur, Geschwindigkeit, Fahrzeugvibration und Gabelbelegung überwacht werden. Auf der Grundlage der neu gesammelten Informationen konnten Erkenntnisse über die tatsächlichen Prozesse und deren aktuelle Mängel gewonnen und Verbesserungsprogramme aufgezeigt werden. Diese Verbesserung kann sich auf wirtschaftliche Ziele beziehen, aber auch auf ökologische und soziale Aspekte. Dadurch können Temperatur, Geschwindigkeit, Fahrzeugvibration und Gabelbelegung überwacht werden. Auf der Grundlage der neu gesammelten Informationen konnten Erkenntnisse über die tatsächlichen Prozesse und

deren aktuelle Mängel gewonnen und Verbesserungsmöglichkeiten aufgezeigt werden.

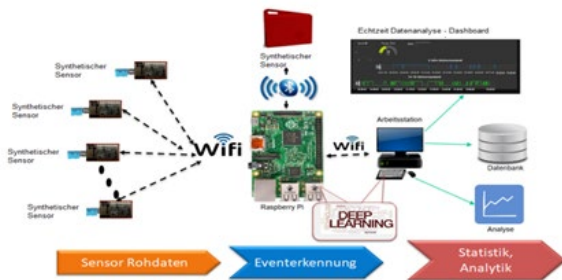


Abbildung 5. Konzeptionelle Struktur der Anwendung von Synthetischen Sensoren in der Logistik

Wie Sensor-Rohdaten gewonnen und verarbeitet werden können ist in Abbildung 5 dargestellt. Unterschieden werden dabei die Phasen: Rohdatengewinnung, Ereigniserkennung und Datenanalyse.

In Abbildung 6 wird exemplarisch eine Logistikstruktur, bestehend aus Prozessen und Objekten, dargestellt. Von dieser Logistikstruktur werden diverse Informationen benötigt, die in vielen Fällen nicht durch die Automatisierung gewonnen werden können. Synthetische Sensoren, adaptiert an die Anforderungen der Logistik, können ein Ansatz zur Lösung des Problems sein. Sie bestehen aus physischen Elementen (CPS), die auch durch manuelle Interaktionen wie z.B. Scansvorgänge gewonnen werden könnten. Wichtige Merkmale Synthetischer Sensoren sind einerseits die strukturierte Kombination unterschiedlichster Sensoren und andererseits die systematische Bereitstellung von Informationen.

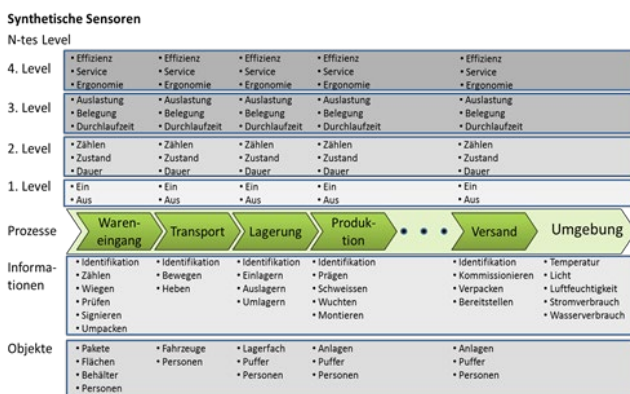


Abbildung 6. Systemkonzept des SMS mit synthetischen Sensoren und Echtzeit Eventerkennung Dashboard

Diese Informationen werden in einer Level-Struktur klassifiziert. Auf dem 1. Level werden Rohdaten ausgewertet. Das Ergebnis der Auswertung liefert bei Maschinen die Informationen "Ein" und "Aus". Bei der Überwachung einer Fläche könnte beispielsweise "Aktiv" und "Inaktiv" unterschieden werden. Auf einem 2. Level liefern Synthetische Sensoren etwas höher aggregierte Informationen wie z.B. Zustandsinformationen Dauer der

Zustände oder Anzahlen. Im 3. Level können die Sensoren Kennzahlen über die Auslastung der Maschinen oder die Belegung einer Fläche liefern. In einer weiteren Aggregierungsstufe auf dem 4. Level werden Prozesselemente und Prozessabschnitte bewertet. Durch weitere Aggregationen könnten ein 5. Level und weitere eingeführt werden.

Mit einer derartigen Standardisierung lassen sich viele Rationalisierungen beim Einsatz von Sensoren erzielen. KI-Anwendungen könnten verallgemeinert werden und Softwaretools, die auf die Informationen der verschiedenen Levels zugreifen, lassen sich mit klar definierten und verlässlichen Informationen versorgen.

3.1 TECHNISCHE DARSTELLUNG DES STATUS MANAGEMENT SYSTEMS (SMS)

Zum Bau eines Prototyps wurde die folgende Technik verwendet, die verkürzt in der Tabelle in Abbildung 7 aufgelistet ist.

Bezeichnung	Verwendung
Raspberry PI 3 Model B	Datensammeln und Datenverarbeitung
DHT - 11	Temperatur- und Luftfeuchtigkeitssensor
Iduino SE012	Lichtsensor
Mini Reed	Magnetsensor
NEO-6M GPS-Modul	GPS-Empfänger
Kuman 5" TFT	Bildschirm

Abbildung 7. Technologische Komponenten und Verwendungszweck im SMS.

Der Ablauf des programmierten Codes und die Datenverarbeitung finden mithilfe eines „Raspberry Pi 3 Modell B“ (RPI) statt. Der Einplatinenrechner bietet trotz seiner geringen Abmessung genug Rechenleistung, um die Daten der Sensoren zu verarbeiten, zu speichern und zu visualisieren. Umfangreiche Analysen sind vom Gerät nicht tragbar, hierzu bedarf es einer deutlich größeren Rechenleistung. Während des Prozesses werden Berechnungen und Analysen verschiedener Sachverhalte möglichst minimalistisch gehalten. Damit wird sichergestellt, dass das SMS seine vordergründige Aufgabe ohne Engpässe in der Rechenleistung oder Speicherkapazität erfüllen kann. Somit ist der Einplatinenrechner für den Zweck der Datenerfassung und für die hier entwickelte Anwendung geeignet. Die gesamten peripheren Geräte, die in Tabelle 1 aufgeführt werden, sind am RPI angeschlossen, um Daten austauschen zu können. Eine Besonderheit des RPI stellen die General Purpose Inputs, Outputs (GPIO) dar. Diese Kontaktpins, die sich auf dem Einplatinenrechner befinden, können mithilfe eines Programmcodes frei definiert und somit für eine breite Palette von Anwendungen verwendet werden. Das Open-Source Betriebssystem, alle notwendigen Einstellungen und der Programmcode sind auf der Speicherkarte im RPI festgelegt. Das Programmierwerkzeug „Node-Red“, das auf der Programmier-

sprache Java-Skript basiert, wird dem System den Programmablauf vorgeben. „Node-Red“ ist ein Browser-basierter Editor. Mithilfe von sogenannten Nodes, die unterschiedlich definierte Zwecke innehaben, können Hardware, Internetdienste oder Userinterfaces (UI) angesprochen werden. Jedem Node werden Daten übergeben, die je nach Art des Node aufbereitet und dann im Code weitergereicht werden. Das flussorientierte Programmierungstool wurde ursprünglich von „IBM Emerging Technology Services“ entwickelt und dient der Vereinfachung der Programmierung, da der Programmcode visuell dargestellt wird. 2013 wurde das von Nick O’Leary und Dave Conway-Jones entwickelte Werkzeug für die Öffentlichkeit freigegeben und hat seither eine große Community gebildet, die es dauerhaft weiterentwickelt und verbessert. So entstehen immer neue Anwendungen und Nodes, die innerhalb der frei zugänglichen Community geteilt werden.

Zur Kontrolle und automatischen Erfassung des Status werden diverse Sensoren eingesetzt. Zum einen der „DHT11“, bei dem es sich um einen Temperatur- und Luftfeuchtigkeitssensor handelt. Des Weiteren wird ein Lichtsensor genutzt, der die Helligkeit in der Umgebung in der Maßeinheit Lux misst. Hinzu kommt ein Magnet-sensor, der bei Kontakt mit einem magnetischen Gegenstand ein Ausgangssignal sendet. Das „NEO-6M GPS-Modul“ ist ein GPS-Empfänger, der für die Lokalisation anhand des GPS-Standards zuständig ist. Das „Kuman 5 Zoll TFT“ dient zur Visualisierung des UI des SMS. Die generierten Daten werden im Dateiformat „Comma-separated Value“ (CSV) gespeichert, wodurch sie bereits von diversen Applikationen genutzt und geöffnet werden können. Der Einplatinenrechner übernimmt die Datenverarbeitung aller Komponenteninformationen mithilfe des programmierten Codes. Er speichert die Informationen im CSV-Dateiformat auf der Speicherkarte. Die CSV-Datei wird bei Start des Systems erstellt und im Prozessverlauf mit den aufgezeichneten Daten angereichert.

Da die erste Entwicklungsstufe des SMS bereits in der Lage sein soll in ein weites Spektrum von Unternehmensprozessen integriert zu werden, wurde das CSV-Dateiformat gewählt. Dieses Format macht die Informationen unter anderem mithilfe einer Tabellenkalkulationssoftware nutzbar. Tabellenkalkulation ist eins der weitverbreitetsten Planungswerkzeuge und stellt sowohl für große als auch kleine Unternehmen ein wichtiges Hilfsmittel dar. Es ist schnell einsetzbar, in den meisten Fällen unternehmensweit vorhanden und ein Großteil der Benutzer besitzt bereits genügend Expertise im Umgang mit der Software. Der gewählte Dateityp vereinfacht darüber hinaus die spätere Übertragung der SMS-Daten an Datenbanksysteme. Auf diese Weise wird sichergestellt, dass die Daten genutzt werden können, ohne die Verfügbarkeit oder Anschaffung von komplexer Software. Das Einsatzspektrum des SMS wird somit verbreitert [GlCh16].

3.2 UMGEBUNGSDATEN

Der Temperatur- und Luftfeuchtigkeitssensor zeichnet die in den beobachteten Umgebungen herrschende Temperatur und Luftfeuchtigkeit auf. Bei jedem Statuswechsel werden auch die Konditionen in Form von Temperatur und Luftfeuchtigkeit gespeichert.

Die folgenden Abbildungen stellen solche Informationen aus einer Werkstatt dar, in dem bestimmte Informationen über einen bestimmten Zeitraum gesammelt und im Rahmen eines Optimierungs- und kontinuierlichen Verbesserungsprogramms für die Ex-post-Analyse verwendet wurden.



Abbildung 8. Temperatur in einer Arbeitsumgebung (von Anfang Februar bis Mitte März 2018).

Abbildung 8 zeigt den Temperaturanstieg in einer Arbeitsumgebung. Es ist zu erkennen, dass im Winter die Temperatur im Werk niedriger ist als später, wenn die Außentemperatur steigt. Dies ist überraschend, da die Innentemperatur geregelt wird und konstant gehalten werden sollte.



Abbildung 9. Erfasste Luftfeuchtigkeit an einem Arbeitsplatz (Anfang Februar bis Mitte März 2018).

Die Luftfeuchtigkeit im Winter an den Arbeitsplätzen in einer Fabrik ist sehr niedrig und steigt mit steigender Außentemperatur, wie in Abbildung 9 dargestellt. Dies ist darauf zurückzuführen, dass kalte Luft im Vergleich zur warmen Luft weniger Feuchtigkeit enthält. Es wird angenommen, dass niedrige Luftfeuchtigkeitswerte, insbesondere unter 33% (gestrichelte Linie), zu mehr Fehltagen der Mitarbeiter führen.

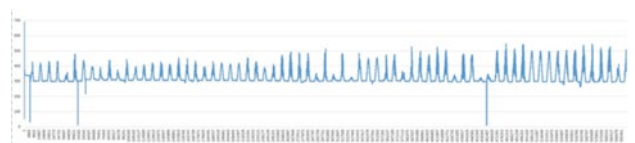


Abbildung 10. Lichtstrom in einem Fabrikgebäude (Anfang Februar bis Mitte März 2018).

Die Wirkung der Sonne im gleichen Zeitraum in der Fabrik bringt mehr Licht an die Arbeitsplätze, da die Sonnenstrahlen tagsüber durch das Dach eindringen können (Abbildung 10). Negative Werte werden durch eine Unterbrechung der Übertragung des Sensor-Tags zu den Computern verursacht. Diese drei Beispiele veranschauli-

chen, wie präzise Arbeitsumgebungsparameter erfasst werden können. Basierend auf diesen sehr grundlegenden Informationen können mehrere Aktionsfelder erkannt werden. Die entsprechenden Maßnahmen können die Gesundheitssituation der Mitarbeiter verbessern und Energie für die Beheizung der Fabrik sparen. Es kann auch helfen, Beschwerden von Mitarbeitern über zugige Bedingungen bei offenen Türen zu erklären und zu verstehen. Insgesamt können Sensorsysteme sehr vielseitig eingesetzt werden und verschiedene Datensätze erfassen, z.B. Umgebungsbedingungen, Prozessinformationen, Infrastrukturdaten, Gerätedaten.

Das GPS-Modul und die einhergehende Lokalisation werden ebenfalls durch den Standortwechsel des beobachteten Objektes hervorgerufen. Es werden weiterhin GPS-Längen- und Breitengrade gespeichert, wie z.B., wenn eine Palette be- oder entladen wird. So kann nachvollzogen werden, an welchen Stellen das Fahrzeug Beladungen und Fahrtantritte vorgenommen hat. Aus den Daten der CSV-Datei kann zusätzlich abgeleitet werden, wann Pausen stattgefunden haben. Die Genauigkeit der GPS-Daten leidet unter störenden Faktoren, was die Prozesse weniger transparent machen könnte.

Alle in diesem Abschnitt genannten Komponenten sind über die GPIO-Pins mit dem RPI verbunden. Welche Pins für welchen Sensor genutzt werden könnten, zeigt die Abbildung 11. Die Nutzung der GPIOs generiert Flexibilität bei der Auswahl der Sensoren. Die hier definierten Komponenten können durch weitere ersetzt oder erweitert werden. Je nach Bedürfnissen der Praxis ist so die anwendungsorientierte Ausrichtung des SMS möglich.

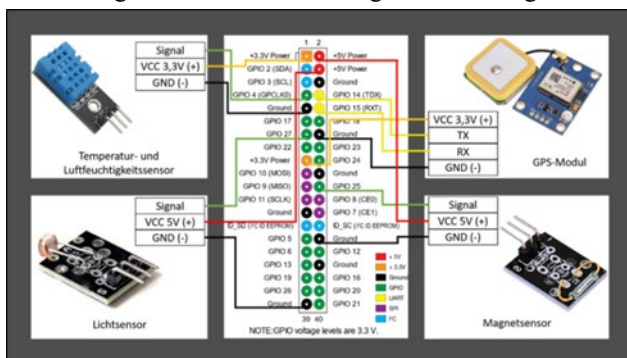


Abbildung 11. Verbildlichter Schaltplan des SMS.

In den Abbildungen 12 bis 14 wird das Konzept der Synthetischen Sensoren anhand von Beispielen veranschaulicht.

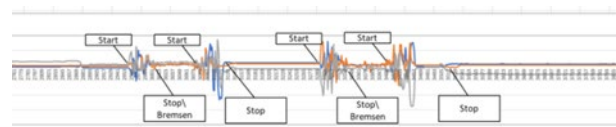


Abbildung 12. Prozessverfolgung mit Magnetfeldsensor.

In Abbildung 12 wird dargestellt, wie mithilfe eines Magnetfeldsensors Ereignisse wie der Start einer Maschine oder der Stopp erkannt und zugeordnet werden können.

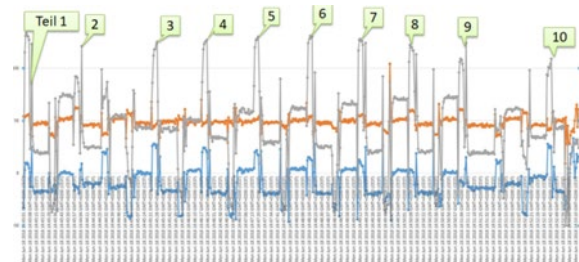


Abbildung 13. Prozesserkennung am Beispiel einer Schweißmaschine.

Die Abläufe und Produktionen einer Schweißmaschine werden in Abbildung 13 dargestellt. Es ist deutlich zu erkennen, dass die einzelnen Schweißvorgänge unterschiedlich lang sind und gewissen Schwankungen unterliegen. Einen ähnlichen Ablauf stellt Abbildung 14 an einer Prägemaschine dar.



Abbildung 14. Prozesserkennung am Beispiel einer Prägemaschine.

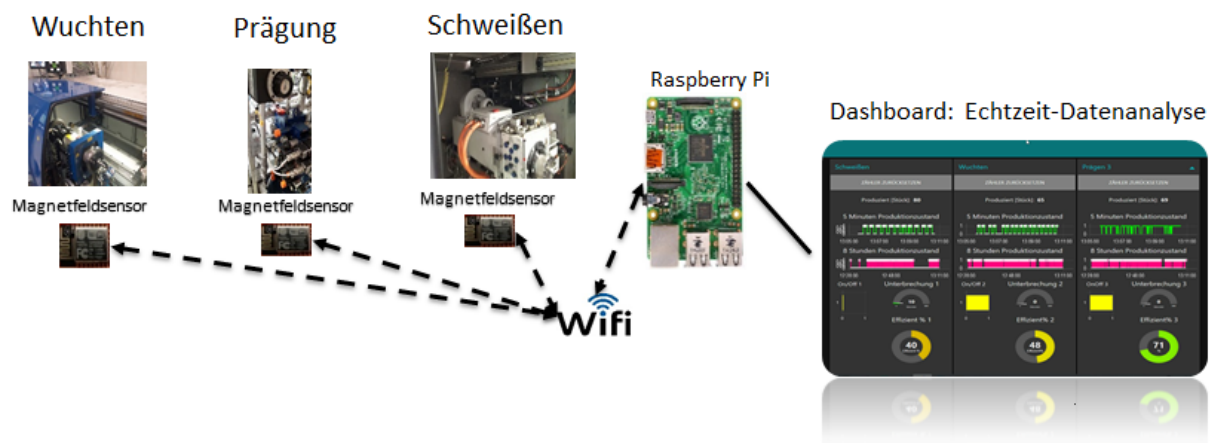


Abbildung 15. Prozesse Analyse mit synthetischen Sensoren und Echtzeit Eventkennung Dashboard

Am Beispiel von Abbildung 15 wird deutlich, wie alle Maschinen zusammenspielen und wie Bearbeitungsprozesse eines Arbeitsplans visualisiert werden könnten. In diesem Beispiel werden Sensordaten via Wifi an einen Rechner gesendet. Dort werden die Daten verwaltet und mit einem Dashboard visualisiert.

4 FAZIT/AUSBLICK

Das Konzept der Synthetischen Sensoren in der Logistik bietet die Chance, die Digitalisierung in den Unternehmen systematisch weiterzuentwickeln. Durch die Klassifizierung der Aufgabenstellungen auf einzelnen Ebenen können Algorithmen entwickelt werden, die beispielsweise auf KI-Methoden basieren und eine hohe Zuverlässigkeit bei der Identifizierung und Zuordnung der Ereignisse aufweisen. Mit der Verkettung von Produktionsschritten lassen sich die Abläufe eines Arbeitsplanes genau verfolgen. Allerdings bieten die Sensorsysteme Informationen, die weit über die Schrittfolgen eines Arbeitsplans hinausgehen. So könnten beispielsweise die Belegung der Pufferflächen zwischen den Maschinen durch weitere Sensoren erfasst, der Leerbehälterverbrauch durch ein Monitoring visualisiert werden. Selbst der Einsatz von Hilfsmitteln zur Dokumentation der Qualität lässt sich sensorgestützt integrieren.

Diese Lösungen können überall nachgerüstet werden. Selbst das Zusammenspiel von alten und neuen Maschinen lässt sich so realisieren. Damit werden Lösungen bereitgestellt, die, unabhängig von einzelnen Herstellern, Unternehmen den Aufbau individueller Systeme ermöglichen und schrittweise erweiterbar sind. Die Erweiterbarkeit beschränkt sich nicht nur auf Anlagen, auch neuere Sensoren, die mit dem Fortschritt der Digitalisierung auf den Markt kommen, werden nachrüstbar.

Da die Sensorsysteme sehr preiswert sind können auch kleinere und mittelständische Unternehmen an der Digitalisierung partizipieren und profitieren. Die Einstiegsschwellen sind sehr niedrig. Die Wirtschaftlichkeit lässt sich oft recht einfach belegen, da Datenerfassungen erheblich schneller und zuverlässiger erfolgen können. Spannend bleibt die Frage, was alles mit diesen Daten noch geleistet werden kann. Dazu werden noch viele weitere Ideen benötigt.

5 DANKSAGUNG

Teile dieser Veröffentlichung entstanden im Rahmen des Forschungsvorhabens „Gesundheitsförderliche Arbeitsgestaltung für digitalisierte Dispositions- und Dokumentationsaufgaben in der Logistik (Pro-DigiLog)“, das von dem Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF) sowie des Europäischen Sozialfonds der Europäischen Union (ESF) für den Förderaufruf „Arbeit in der digitalisierten Welt“ unter dem Förderkennzeichen 02L15A130 gefördert wird.

LITERATUR

- [AÖYN16] Alias, C., Özgür, Ç., Yang, Q., & Noche, B. (2016). A System of Multi-Sensor Fusion for Activity Monitoring of Industrial Trucks in Logistics Warehouses. In Proceedings of the ASME International Design Engineering Technical Conferences and Computers and Information in Engineering Conference 2015: Volume 1B: 35th Computers and Information in Engineering Conference (V01BT02A047, 10 pages). New York City (NY), USA: ASME. <https://doi.org/10.1115/DETC2015-46169>
- [Bau08] Baumgarten, H. (Hrsg.) (2008): Das Beste der Logistik- Innovation, Strategien, Umsetzung. Berlin: Springer Verlag GmbH.
- [BBLSV17] Bronstein, M.; Bruna, J.; LeCun Y.; Szlam, A.; Vandergheynst, P. (2017) "Geometric Deep Learning: Going beyond Euclidean data", in: IEEE Signal Processing Magazine. S. 18–42.
- [BFG17] Buchholz, B.; Ferdinand, J.; Gieschen, J.; Seidel, U. (2017): Digitalisierung industrieller Wertschöpfung – Transformationsansätze für KMU. Berlin: Institut für Innovation und Technik.
- [BHH14] Bauernhansl, T.; ten Hompel, M., Vogel-Heuser, B. (2014): Industrie 4.0 in Produktion, Automatisierung und Logistik, 1. Aufl. Wiesbaden: Springer Vieweg.
- [BMVI19] BMWI (Bundesministerium für Wirtschaft und Energie): Industrie 4.0, URL:<https://www.bmwi.de/Redaktion/DE/Dossier/industrie-40.html>, Abruf am: 27.05.2019
- [CHK14] Clausen, U.; Holloh, K.; Kadow, M. (2014): Vision of the Future: Transportation and Logistics 2030 – Examining the Potential for the Development of Road and Rail Transportation to 2030. Dortmund: Fraunhofer IML.
- [DKS17] Delfmann, Werner; Kersten, Wolfgang; Stölzle, Wolfgang; Hompel, Michael ten; Schmidt, Thorsten (2017): BVL Positionspapier Logistik 4.0. Hg. v. BVL - Bundesvereinigung für Logistik. Bremen.
- [DSL15] Deutscher Speditions- und Logistikverband e.V. (DSL15) (2015): Zahlen Daten Fakten aus Spedition und Logistik. Berlin: DSLV e.V.
- [Gér18] Géron, Aurélien (2018): Praxiseinstieg Machine Learning mit Scikit-Learn und TensorFlow. Konzepte, Tools und Techniken für intelligente Systeme. 1. Auflage. Heidelberg: O'Reilly.
- [GKK14] Geissbauer, R.; Koch, V.; Kuge, S.; Schrauf, S. (2014): Industrie 4.0- Chancen und Herausforderungen der vierten industriellen Revolution. Frankfurt am Main:Pricewaterhouse-Coopers GmbH.
- [GlCh16] Gluchowski, P.; Chamoni, P. (Hrsg.) (2016): Analytische Informationssysteme- Business In-telligence- Technologien und -Anwendungen. Berlin: Springer Gabler Verlag.
- [GM 14] Gronemeier, T.; Mutzke, H. (2014): Transport/Logistik- Branchenbericht-Corporate Sector Report. Frankfurt am Main: Commerzbank AG.
- [GNP17] Gundelfinger, C.; Naumann, V.; Pflaum, A.; Schwemmer, M. (2017): Transportlogistik 4.0. Erlangen: Fraunhofer- Institut für integrierte Schaltungen (IIS).
- [GNP17] Gundelfinger, C.; Naumann, V.; Pflaum, A.; Schwemmer, M. (2017): Transportlogistik 4.0. Erlangen: Fraunhofer- Institut für integrierte Schaltungen (IIS).
- [GPMX14] Goodfellow, I.; Pouget-Abadie, J.; Mirza, M.; Xu, B.; Warde-Farley, D.; Ozair, S.; Courville, A.; Bengio, Y. (2014): "Generative Adversarial Nets", in: Advances in Neural Information Processing Systems 27. S. 2672–2680.
- [GRR18] Gantz, John; Reinsel, David; Rydning, John (2018): Data Age 2025. The Digitization of the World - From Edge to Core. Hg. v. Seagate und IDC.
- [Han15] Hankel, Martin (2015): Das Referenzarchitekturmodell Industrie 4.0 (RAMI 4.0), ZVEI - Zentralverband Elektrotechnik- und Elektronikindustrie e.V., Fachverband Automation, Frankfurt.

- [Hes16] Hess, Thomas (2016): Digitalisierung, in: Enzyklopädie der Wirtschaftsinformatik.
- [HHJ17] Haberstroh, M.; Hoffmann, M.; Jeschke, S.; Meisen, T.; Schouba, P.; Solvay, A., F. (2017): Is Logistics ready for 4.0? – Key Findings of an Extensive Market Research. Montreal: IST World Congress.
- [HHJ17] Haberstroh, M.; Hoffmann, M.; Jeschke, S.; Meisen, T.; Schouba, P.; Solvay, A., F. (2017): Is Logistics ready for 4.0? – Key Findings of an Extensive Market Research. Montreal: IST World Congress.
- [HKW14] Hirsch-Kreinsen, H.; Weyer, J. (2014): Wandel von Produktionsarbeit – „Industrie 4.0“. Arbeitspapier Nr.38. Technische Universität Dortmund.
- [HoSc97] Hochreiter, S.; Schmidhuber, J. (1997): “Long Short-Term Memory“, in: Neural Computation, 9(8). S. 1735-1780.
- [HRt14] Heistermann, F.; Rehof, J.; ten Hompel, M. (2014): Logistik und IT als Innovationstreiber für den Wirtschaftsstandort Deutschland- Die neue Führungsrolle der Logistik in der Informationstechnologie. Bremen: Bundesvereinigung Logistik (BVL) e.V.
- [IIS16] Fraunhofer- Institut für Integrierte Schaltungen (IIS) (2016): Transportlogistik 4.0 – Wie Daten den Transportprozess revolutionieren (könnten). In: SCS Spezial – Höher, Schneller, Besser – Mit Daten und Kennzahlen zu mehr Effizienz und Umsatz. Ausgabe 2016. Seiten 34 – 36.
- [Jae17] Jaekel, Michael (2017): Die Macht der Digitalen Plattformen. Wegweiser Im Zeitalter Einer Expandierenden Digitalisphäre und Künstlicher Intelligenz. Wiesbaden: Vieweg.
- [KiWe14] Kingma, D.; Welling, M. (2014): “Auto-Encoding Variational Bayes“, in: Proceedings of the 2nd International Conference on Learning Representations (ICLR), Ithaca (NY). S.1-14.
- [KSS17] Kersten, Wolfgang; Seiter, Mischa; See, Birgit von; Hackius, Niels; Maurer, Timo (2017): Trends und Strategien in Logistik und Supply Chain Management. Chancen der digitalen Transformation. Hg. v. BVL - Bundesvereinigung für Logistik. Hamburg.
- [Kuh95] Kuhn, Axel (1995): Prozessketten in der Logistik. Entwicklungstrend und Umsetzungsstrategien. Dortmund: Verlag Praxiswissen.
- [LZH17] Laput, G.; Zhang Y.; Harrison C. (2017): “Synthetic Sensors: Towards General-Purpose Sensing“, in Proceedings of the 2017 CHI Conference on Human Factors in Computing Systems Denver, Colorado, USA, S.3986-3999.
- [LeC98] LeCun, Y.; Bottou, L.; Bengio, L.; Haffner, P. (1998): “Gradient-based Learning Applied to Document Recognition“, in: Proceedings of the IEEE, 68(11). S. 2278-2324.
- [MPS16] Maluck, J.; Nowak, G.; Pasemann, J.; Stürmer, C. (2016): The era of digitized trucking- Transforming the logistics value chain. München: PricewaterhouseCoopers GmbH.
- [Rasc17] Raschka, Sebastian (2017): Machine Learning mit Python. Das Praxis-Handbuch für Data Science, Predictive Analytics und Deep Learning. 1. Auflage. Frechen: MITP.
- [Rash17] Rashid, Tariq (2017): Neuronale Netze selbst programmieren. Ein verständlicher Einstieg mit Python. Heidelberg: O'Reilly.
- [Rot2016] Roth, Armin (2016): Einführung und Umsetzung von Industrie 4.0: Grundlagen, Vorgehensmodelle und Use Cases aus der Praxis, 1. Aufl. Berlin / Heidelberg: Springer Gabler.
- [Row18] Rowe, Kevin (2018): How Search Engines Use Machine Learning. 9 Things We Know for Sure. Hg. v. SEJ - Search Engine Journal.
- [Sam17] Samulat, P. (2017): Die Digitalisierung der Welt – Wie das Industrielle Internet der Dinge aus Produkten Services macht. Wiesbaden: Springer Verlag GmbH.
- [Söl14] Die wirtschaftliche Bedeutung kleiner und mittlerer Unternehmen in Deutsch-

land. Wiesbaden: Statistischen Bundesamt.

- [VSPU17] Vaswani, A.; Shazeer, N.; Parmar, N.; Uszkoreit, J.; Jones, L; Gomez, A.; Kaiser, L.; Polosukhin, I. (“2017): Attention is all you need”, in Computation and Language (cs.CL); Machine Learning (cs.LG). Cornell University.
- [Woh15] Wohlers, E. (2015): HWWI Policy Paper Nr. 92 – Logistik- ein wichtiger Wirtschaftsbereich in Deutschland. Hamburg: Hamburgisches WeltWirtschaftsinstitut GmbH (HWWI).
- [Woh15] Wohlers, E. (2015): HWWI Policy Paper Nr. 92 – Logistik- ein wichtiger Wirtschaftsbereich in Deutschland. Hamburg: Hamburgisches WeltWirtschaftsinstitut GmbH (HWWI).
- [Woh15] Wohlers, E. (2015): HWWI Policy Paper Nr. 92 – Logistik- ein wichtiger Wirtschaftsbereich in Deutschland. Hamburg: Hamburgisches WeltWirtschaftsinstitut GmbH (HWWI).
- [Woh15] Wohlers, E. (2015): HWWI Policy Paper Nr. 92 – Logistik- ein wichtiger Wirtschaftsbereich in Deutschland. Hamburg: Hamburgisches WeltWirtschaftsinstitut GmbH (HWWI).
- [Woh15] Wohlers, E. (2015): HWWI Policy Paper Nr. 92 – Logistik- ein wichtiger Wirtschaftsbereich in Deutschland. Hamburg: Hamburgisches WeltWirtschaftsinstitut GmbH (HWWI).
- [Woh15] Wohlers, E. (2015): HWWI Policy Paper Nr. 92 – Logistik- ein wichtiger Wirtschaftsbereich in Deutschland. Hamburg: Hamburgisches WeltWirtschaftsinstitut GmbH (HWWI).
- [YCBL14] Yosinski, J.; Clune, J.; Bengio, Y.; Lipton, H. (2014): “How Transferable Are Features in Deep Neural Networks?”, in: Proceedings of the 27th International Conference on Neural Information Processing Systems. S. 3320–3328.
- [ZFLMC18] Zenati, H.; Foo, C.; Lecouat, B.; Manek, G.; Chandrasekhar, V.R.. (2018): Efficient GAN-Based Anomaly Detection. CoRR abs/1802.06222.

Fuyin Wei, M.Sc., Researcher at the Department of Transport Systems and Logistics (TuL), coordinator Sino-German Department of Centre for Logistics and Traffic (ZLV) at University Duisburg- Essen.

Adresse: Lehrstuhl für Transportsysteme und -logistik, Universität Duisburg-Essen, Keetmanstr. 3-9, 47058 Duisburg, Germany, Phone: +49 203 379-7719, Fax: +49 203 379-3048, E-Mail: fuyin.wei@uni-due.de

Prof. Dr.-Ing. Bernd Noche is the Chair holder of the Department of Transport Systems and Logistics (TuL), and the board Chairman of Centre for Logistics and Traffic (ZLV) at University Duisburg-Essen.

Adresse: Lehrstuhl für Transportsysteme und -logistik, Universität Duisburg-Essen, Keetmanstr. 3-9, 47058 Duisburg, Germany, Phone: +49 203 379-7050, Fax: +49 203 379-3048, E-Mail: bernd.noeche@uni-due.de