

## RIOTANA

ECHTZEIT-ERMITTLUNG VON KENNZAHLEN IN PRODUKTION UND LOGISTIK





■ ISST-Bericht

# RIOTANA: ECHTZEIT-ERMITTLUNG VON KENNZAHLEN IN PRODUKTION UND LOGISTIK

EIN LEICHTGEWICHTIGER EINSTIEG IN INDUSTRIE 4.0 FÜR DEN  
MITTELSTAND

Mit Industrie 4.0 und der einhergehenden digitalen Transformation von Objekten ergeben sich völlig neue Optimierungsmöglichkeiten, nicht nur für die Produktion, sondern für die gesamte betriebliche Prozesskette und dabei insbesondere für die Logistik.

Eine einfache Lösung zum Einstieg in Industrie 4.0 bietet RIOTANA® (Realtime Internet of Things Analytics). RIOTANA® ist eine sensorbasierte IT-Lösung zur Generierung von Key Performance Indicators (KPIs) für Logistikobjekte, wie zum Beispiel Flurförderzeuge. Mithilfe von RIOTANA® können laufende Logistikprozesse in Echtzeit sichtbar gemacht und grafisch dargestellt werden.

## ISST-BERICHTSREIHE

In der Reihe »ISST-Bericht« erscheinen White Paper des Fraunhofer-Instituts für Software- und Systemtechnik ISST. Die Schriftenreihe beleuchtet Informatiktrends und -technologien und greift innovative Themen aus Forschungsprojekten des Instituts auf. Sie geben damit einen Einblick in den aktuellen Forschungsstand zu »Data Ecosystems«, die das Institut maßgeblich mitgestaltet.

## AUTOREN

Dr. Bernhard Holtkamp , Fraunhofer ISST

## HERAUSGEBER

Prof. Dr.-Ing. Boris Otto

Prof. Dr. Jakob Rehof

## ISST-BERICHT

ISSN 0943-1624

## KONTAKT

Fraunhofer-Institut für Software- und Systemtechnik ISST

Emil-Figge-Straße 91

44227 Dortmund

info@isst.fraunhofer.de

+49 231 97677-0

# Inhalt

<b>1 Digitalisierung im deutschen Mittelstand.....</b>	<b>6</b>
<b>2 Industrie 4.0 – Vom Wissen, was passiert, zu antizipierten automatisierten Reaktionen.....</b>	<b>7</b>
<b>3 Ermittlung von Leistungskennzahlen in Produktion und Logistik.....</b>	<b>9</b>
<b>4 RIOTANA – Kennzahlen in Echtzeit ermitteln .....</b>	<b>10</b>
4.1 Konzept und Realisierung .....	10
4.2 Anforderungen an die IT-Infrastruktur.....	13
<b>5 Literatur .....</b>	<b>14</b>

# Abbildungen

Abbildung 1 Industrie 4.0 Reifegrade .....	7
Abbildung 2 RIOTANA (logische Sicht) .....	10
Abbildung 3 RIOTANA Architektur .....	11
Abbildung 4 Beispiel für ein semantisches Modell in RIOTANA .....	12
Abbildung 5 Auslastung eines Staplers beim Einzelspiel (Beispiel) .....	13

# 1 Digitalisierung im deutschen Mittelstand

Gemeinhin gilt der Mittelstand als Rückgrat der deutschen Wirtschaft. Gemäß EU-Definition<sup>1</sup> gelten mehr als 99 Prozent der rund 3,5 Millionen Unternehmen als kleine und mittlere Unternehmen. Davon sind etwa zehn Prozent den Wirtschaftszweigen »Verarbeitendes Gewerbe« sowie »Verkehr und Lagerei« zugeordnet. Teilweise wird der Begriff »Mittelstand« auch weiter gefasst und bezieht Unternehmen mit bis zu 2.000 Mitarbeitern und einem Umsatz von bis zu 1 Mrd. Euro ein (EY 2018). Damit ändert sich allerdings der prozentuale Anteil nur im Nachkommabereich.

Für die meisten dieser Unternehmen ist eine weitergehende Digitalisierung ihrer Geschäftsprozesse unabdingbar, um sich in Wertschöpfungsketten (so genannten »Business Ecosystems«<sup>2</sup>) auch zukünftig adäquat einbringen zu können. Das Schlagwort hier lautet Industrie 4.0.

Insgesamt begreift der Mittelstand die Digitalisierung als Chance, insbesondere größere Unternehmen nutzen digitale Technologien für ihre Geschäftsmodelle (EY 2018). Bei kleineren Unternehmen findet die Digitalisierung allerdings eher in kleineren Schritten statt. Investitionen liegen im Bereich von 10.000 € pro Jahr, nur ein geringer Prozentsatz gibt mehr als 40.000 € dafür aus (Saam, Viete und Schiel 2016). Bei Innovationsprojekten im Kontext von Industrie 4.0 mit einem Fokus auf die Entwicklung hybrider Produkte, d.h. Verknüpfung physischer Produkte mit digitalen Diensten, ist das Investitionsvolumen allerdings deutlich höher und liegt in Bereichen von mehreren Hunderttausend bis hin zu mehreren Millionen Euro (Saam, Viete und Schiel 2016).

Die Studien zeigen, dass der Mittelstand die Bedeutung der Digitalisierung sieht und sich in diese Richtung bewegt. Speziell produzierende Unternehmen und Logistikunternehmen müssen sich an den Entwicklungen in der Industrie 4.0 orientieren, um ihre Position in den Ecosystemen zu halten, denen sie angehören. Die Studien lassen jedoch auch erkennen, dass mittelstandstaugliche Lösungen für die breite Masse an Unternehmen sehr niedrigpreisig sein müssen, um Akzeptanz zu finden.

---

<sup>1</sup> Kleine und mittlere Unternehmen (KMU) haben weniger als 250 Beschäftigte, einen Jahresumsatz von bis zu 50 Mio. Euro oder eine Bilanzsumme von höchstens 43 Mio. Euro. Siehe <https://ec.europa.eu/eurostat/de/web/structural-business-statistics/structural-business-statistics/sme>

<sup>2</sup> James F. Moore: „In einem geschäftlichen Ökosystem verbinden Unternehmen ihre Fähigkeiten um eine neue Innovation: Sie arbeiten kooperativ und wettbewerbsfähig zusammen, um neue Produkte zu unterstützen, Kundenbedürfnisse zu befriedigen und schließlich die nächste Innovationsrunde zu integrieren.“ (Quelle: Predators and Prey: A New Ecology of Competition. Harvard Business Review, May/June 1993.)

## 2

# Industrie 4.0 – Vom Wissen, was passiert, zu antizipierten automatisierten Reaktionen

Industrie 4.0 – Vom Wissen, was passiert, zu antizipierten automatisierten Reaktionen

Industrie 4.0 wird als nächster Schritt nach der Computerisierung des Fertigungs- und Lieferkettenmanagements betrachtet. In Deutschland wurde der Begriff »Industrie 4.0« 2011 durch eine Initiative zur Stärkung der deutschen Industrie geprägt. In der Vision von Industrie 4.0 sind »Fertigungssysteme vertikal mit Geschäftsprozessen in Fabriken und Unternehmen vernetzt und horizontal mit verteilten Wertschöpfungsnetzwerken verbunden, die in Echtzeit verwaltet werden können - vom Auftragseingang bis hin zur Ausgangslogistik.« (Kagermann, Wahlster und Helbig 2013). Im Kern geht es somit bei Industrie 4.0 um die vertikale Integration von Produktionsprozessen in einer Smart Factory sowie um die horizontale Integration von Geschäftsprozessen in Unternehmen, also entlang einer Wertschöpfungskette. Der Übergang von Industrie 3.0 zu Industrie 4.0 wird als ein schrittweiser Prozess gesehen, wobei jeder Schritt einen Reifegrad darstellt. Reifegrad-Bewertungsmodelle wurden definiert, um die Reifegradbewertung eines Unternehmens zu ermöglichen. Die folgende Grafik zeigt die Reifegrade, die im acatech Industrie 4.0 Reifegradmodell (Schuh et al. 2017) definiert wurden.

Wesentliche Aspekte der Digitalisierung aus Unternehmenssicht sind die Gewährleistung der Datensicherheit und der Erhalt der Datensouveränität bei der Weitergabe von Daten innerhalb einer Wertschöpfungskette (Otto et al. 2016). Vor diesem Hintergrund hat die Fraunhofer-Gesellschaft die Industrial Data Space Initiative gestartet. Der **Industrial Data Space** ist eine Initiative mit dem Ziel, einen sicheren Datenraum zu schaffen, der Unternehmen verschiedener Branchen und aller Größen die souveräne Bewirtschaftung ihrer Datengüter ermöglicht und insbesondere den Datenaustausch in Wertschöpfungsketten unterstützt. Inzwischen haben sich fast hundert Unternehmen und Forschungseinrichtungen aus Deutschland, Europa und Asien dieser Initiative angeschlossen (siehe <https://www.internationaldataspace.org>). Die Initiative hat eine Referenzarchitektur für den Industrial Data Space (Otto et al. 2018) definiert und Komponenten entwickelt, die dieses Referenzmodell umsetzen. Diese Komponenten werden derzeit in verschiedenen Use Cases erprobt. Die zugrundeliegenden Spezifikationen werden schrittweise standardisiert.

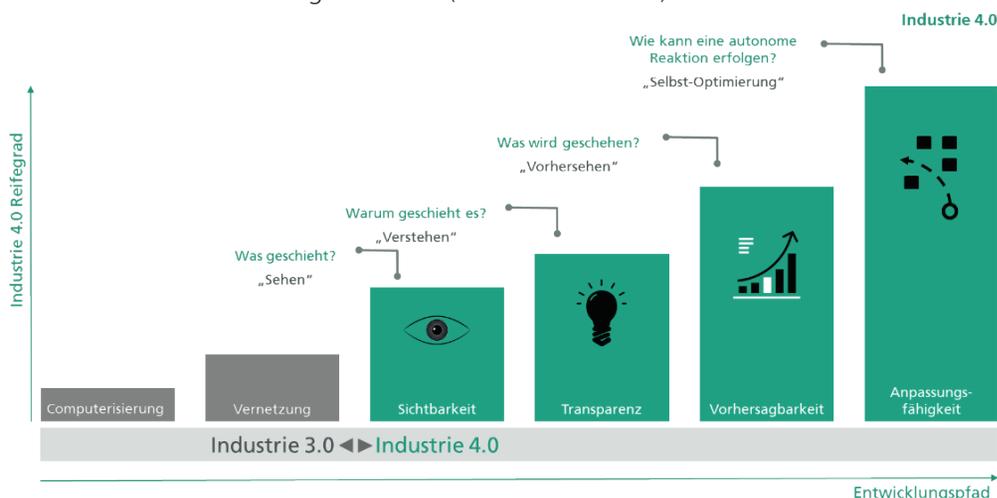


Abbildung 1 Industrie 4.0 Reifegrade

Der erste Schritt eines Unternehmens bei der digitalen Transformation hin zu Industrie 4.0 besteht also darin zu erfassen, was tatsächlich geschieht. Auf der Ebene von Industrie 3.0 werden dazu typischer Weise in den Kernprozessen eines Unternehmens Daten erhoben, gesammelt und ausgewertet. Auf operativer Ebene geschieht dies über integrierte Sensorik, die ausgelesen und am Leitstand einer Maschine angezeigt wird. Gegebenenfalls werden auch die Daten der Prozessebene von einem Manufacturing Execution System (MES) aggregiert und visualisiert. Auf der Ebene von Geschäftsprozessen hat sich über Jahrzehnte ein Berichtswesen etabliert, das zur Überwachung der wesentlichen Kennzahlen (Key Performance Indicators – KPI) genutzt wird.

Auf der Ebene von Industrie 4.0 erfolgt die Datenerzeugung, Speicherung und Analyse auch großer Datenströme automatisiert und in Echtzeit. Dazu sind in den letzten Jahren IoT-Plattformen entwickelt worden, deren Leistungsumfang von der Verwaltung der IoT Devices, über die Datenerfassung mittels dieser Komponenten bis hin zur Analyse der erfassten Daten reicht. Dabei sind die Funktionsumfänge der einzelnen Plattformen sehr unterschiedlich. Mittlerweile ist die Zahl

**IoT** (engl.: *Internet of Things*; dt.: *Internet der Dinge*)

bezeichnet eine Infrastruktur, die die physische und die virtuelle Welt über das Internet miteinander verbindet. Dazu werden physische Objekte mit IT-Komponenten (sogenannten IoT Devices) ausgestattet, die mit der virtuellen Welt (z.B. einer Anwendung in der Cloud) kommunizieren.

Je nach Eigenschaften der IoT Devices lassen sich unterschiedliche Systemlösungen realisieren. Im einfachsten Fall handelt es sich um die Anwesenheitserkennung eines Objektes durch einen stationären RFID-Leser, der das RFID-Tag an einem Objekt erkennt, und an eine Anwendung überträgt (RFID = Radio-Frequency Identification). Komplexer sind cyber-physische Systeme, bei denen IoT Devices Sensordaten an eine Anwendungslogik in der Cloud senden, die ihrerseits Regelungsanweisungen an das IoT Device überträgt, die von dem Device mittels Aktorik umgesetzt werden. Am oberen Ende der Skala findet man autonom agierende Objekte, die untereinander sowie mit einer taktischen Komponente in der Cloud kommunizieren; dabei treffen die autonomen Objekte teilweise eigene Entscheidungen und zum Teil werden Entscheidungen in der taktischen Komponente getroffen, die dazu ein digitales Modell (den sogenannten Digitalen Zwilling – engl. Digital Twin) des physischen Objekts in die Entscheidungsfindung einbezieht.

der angebotenen Plattformen auf über 500 angewachsen<sup>1</sup> und damit unübersichtlich. Für die Anwender ist neben den Anschaffungs-, Installations- und Betriebskosten einer IoT Plattform die Interpretation der erfassten Daten eine größere Herausforderung. Herstellerseitig angebotene Grundkonfigurationen beschränken sich oft auf die Anzeige aktueller Betriebszustände von Maschinen und einfache statistische Auswertungen. Funktionen zur Fehler-Ursachen-Analyse (engl.: Root Cause Analysis) oder zum Predictive Maintenance müssen entweder vom Anwender selbst realisiert oder zugekauft werden.

Eine Alternative zur IoT-Plattform stellt der Aufbau eines Enterprise Data Lake dar. Dabei handelt es sich um die Speicherung von Daten in ihrer unbearbeiteten Form in einem Repository bzw. einer Datenbank, um sie dann auswerten zu können. Dafür wird dann entsprechende Analyse-Software benötigt. Auch hier findet man eine Fülle kommerzieller Angebote, für die aber ebenfalls gilt, dass konkrete Analysen selbst entwickelt oder vom Anbieter in kundenindividuellen Projekten umgesetzt werden.

<sup>1</sup> Siehe <https://iot-analytics.com/product/list-of-450-iot-platform-companies/>

### 3

## Ermittlung von Leistungskennzahlen in Produktion und Logistik

Innerbetriebliches Controlling ist ein integraler Bestandteil der Unternehmensführung. Die Ermittlung von Leistungskennzahlen (engl. Key Performance Indicator – KPI) ist dabei ein wesentliches Führungsinstrument. Neben Finanzkennzahlen wie Gesamtkosten, Umsatzrendite oder Stückkosten sind natürlich auch KPIs für die Produktion und die Logistik definiert worden.

Eine gängige Kennzahl in der Produktion ist die Gesamtanlageneffektivität (GAE) oder englisch Overall Equipment Effectiveness (OEE). Die GAE bzw. OEE ergibt sich aus der Verfügbarkeit, der Leistung und der Qualität einer Anlage. Sie ist nicht normiert und muss unternehmensspezifisch ermittelt werden.

Im Gegensatz dazu gibt es eine Reihe normierter Logistikkennzahlen. So definiert die VDI-Richtlinie VDI 4400 Logistikkennzahlen für die Produktion (VDI 2004) und für die Distribution (VDI 2002). Beispiele für dort definierte Kennzahlen in der Produktionslogistik sind die Verfügbarkeit zum Planstarttermin, der Rüstzeitanteil oder die Mittleren Kosten des Transports pro Produktionsauftrag; Kennzahlen für die Distribution sind beispielsweise die Mittlere Durchlaufzeit für den Warenausgang, Kommissionierauftragspositionen pro Mitarbeiterstunde oder die Mittlere Anzahl Lieferscheinpositionen je Kommissionierauftragsposition. Die Berechnung dieser Kennzahlen erfolgt durch definierte Formeln. Die Werte für die Parameter der Formeln stammen in der Regel aus Buchungen in Standard-IT-Systemen wie dem ERP-System.

Die Digitalisierung ermöglicht eine genauere und individuelle Ermittlung von Kennzahlen. Dies wird am Beispiel der Betriebskosten eines Gabelstaplers aufgezeigt. Die VDI-Richtlinie 2695 (VDI 2010) definiert die Ermittlung der Betriebskosten für Diesel- und Elektro-Gabelstapler.

*Die Berechnung berücksichtigt Investitionskosten, Abschreibung, Zinsen und betriebsabhängige Kosten. Die betriebsabhängigen Kosten sind u.a. abhängig von den Einsatzbedingungen. Diese sind in drei Kategorien unterteilt (leichte, normale, schwere Beanspruchung), die an Fahrbahnbeschaffenheit, Steigung und Auslastung der Tragfähigkeit orientiert sind. Die Berechnung von Kraftstoffverbrauch sowie Reparatur- und Wartungskosten berücksichtigt diese Belastungskategorien. Die Belastungskategorie definiert auch die effektiven Benutzungsstunden (Last-Laufzeit) pro Jahr.*

Mit einem IoT Device lassen sich mit überschaubarem Aufwand sowohl die Belastungen als auch die Betriebszeiten eines Gabelstaplers exakt erfassen. Damit ist eine fahrzeugindividuelle Berechnung dieser Kennzahl möglich.

## 4 RIOTANA – Kennzahlen in Echtzeit ermitteln

Bei RIOTANA (Abkürzung für Real-Time IoT Analytics) handelt es sich um eine Entwicklung des Fraunhofer ISST, die als leichtgewichtiger Einstieg in Industrie 4.0 konzipiert ist.

### 4.1 Konzept und Realisierung

Die Grundlage bildet ein Data Lake, der die Daten von IoT Devices sowie aus anderen Quellen aufnimmt und für die Analyse bereithält. Für die Analyse steht grundsätzlich eine Vielzahl von statistischen Funktionen und darüber hinaus eine größere Zahl von Funktionen aus dem Bereich Maschinelles Lernen zur Verfügung. Sowohl der Data Lake als auch die Analyse sind mittels Open Source-Softwarekomponenten realisiert. Die Analyse wird durch ein semantisches Informationsmodell unterstützt, das das Fraunhofer ISST entwickelt hat. Dieses Informationsmodell beschreibt einerseits das Unternehmen und relevante Objekte und Vermögenswerte des Unternehmens, wie z.B. Maschinen, Fahrzeuge oder Verträge. Bei diesen Elementen handelt es sich um Digitale Zwillinge (siehe Kasten IoT), d.h. um virtuelle Abbilder der physischen Objekte. Darüber hinaus wird hier die Berechnung von Kennzahlen mittels der zuvor genannten Analysefunktionen definiert, die auf der Basis der im Data Lake vorgehaltenen Daten in Echtzeit erfolgt.

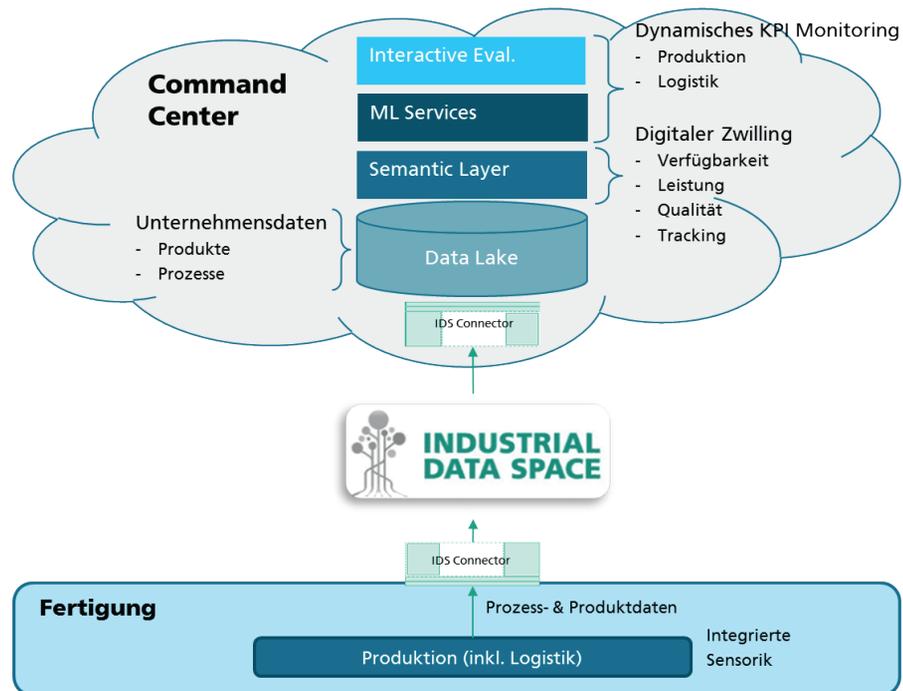


Abbildung 2 RIOTANA (logische Sicht)

Die Analyseergebnisse für vordefinierte Kennzahlen sowie der Live-Datenstrom werden im Webbrowser angezeigt.

Die Kommunikation zwischen IoT Devices und dem Data Lake kann entweder direkt über Standard-Protokolle wie MQTT<sup>1</sup> oder über den Industrial Data Space erfolgen.

RIOTANA – Kennzahlen in  
Echtzeit ermitteln

Für die Erprobung hat das Fraunhofer ISST als Standard-IoT Device das Bosch XDK über MQTT angebunden. Daneben wurde auf der Basis eines kostengünstigen Micro-Controllers ein Sensormodul über einen Industrial Data Space Connector integriert. Der IDS Sensor Connector läuft auf einer ESP8266-Hardwareplattform. Das ist ein kostengünstiger 32-Bit-Mikrocontroller (Prozessor mit 80 MHz) mit einem Wi-Fi-Mikrochip (IEEE 802.11 b / g / n) mit vollem TCP / IP-Stack, 512 kB Flash-Speicher und 16 GPIO-Pins. Netzwerkprotokolle IPv4, TCP / UDP / HTTP / FTP werden unterstützt. Die Sensordaten erzeugt ein GY-87 10DOF-Sensormodul, das ein dreiaxsiges Gyroskop, einen dreiaxsignen Beschleunigungssensor, einen dreiaxsignen Magnetfeldsensor, einen Temperatursensor und einen Drucksensor enthält.

Die Messwerte werden von XDKs bzw. Sensor Connectoren als IDS Sensor Messages (Holtkamp et al. 2018) über WLAN an einen IDS Connector in der Cloud übertragen.

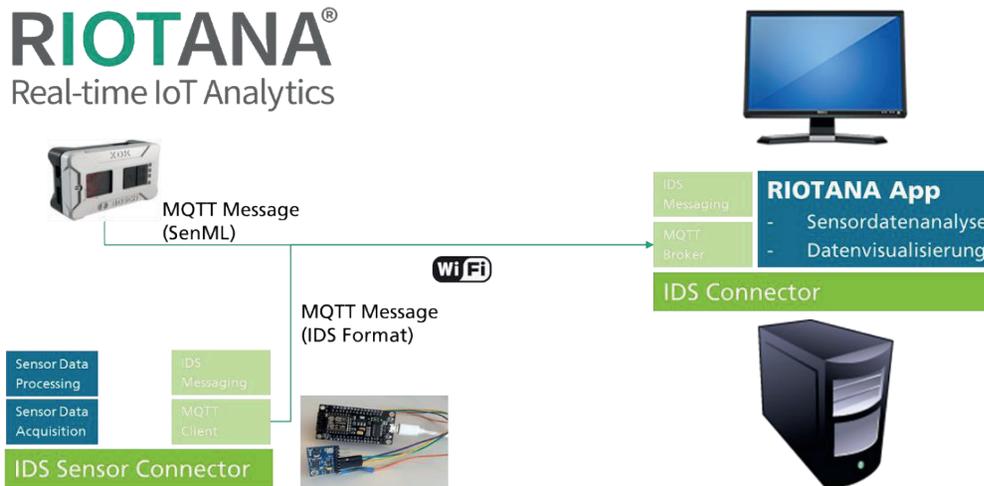


Abbildung 3 RIOTANA Architektur

<sup>1</sup> MQTT (Message Queuing Telemetry Transport) ist ein Nachrichtenprotokoll, das zum Austausch von Telemetrie-Daten entwickelt wurde. Dabei kommunizieren ein oder mehrere MQTT Clients mit einem MQTT Broker, der die Nachrichten entgegennimmt und ggf. an weitere Instanzen, Subscriber genannt, weiterreicht.

**RDF** (engl. Resource Description Framework) stellt ein Element des Semantischen Webs dar. RDF wird zur Formulierung von Aussagen über Ressourcen (z.B. Personen, Dinge) genutzt. Eine Aussage besteht aus einem Tripel Subjekt, Prädikat, Objekt. Das Prädikat setzt Subjekt und Objekt in Beziehung zueinander. So wird als Beispiel der Satz »Ein Gabelstapler ist ein Flurförderzeug« in RDF dargestellt als

- Subjekt: Gabelstapler
- Prädikat: ist
- Objekt: Flurförderzeug.

Zur Darstellung eines RDF-Modells werden gerichtete Graphen oder Tabellen verwendet. Mit der Abfragesprache SPARQL lassen sich Anfragen formulieren, die die Beziehungen zwischen Ressourcen in dem Graphen analysieren. So kann man beispielsweise einfach ermitteln, wie viele Stapler in einem Unternehmen vorhanden sind oder welche Stapler einen Dieselantrieb haben.

Ein wesentliches Element von RIOTANA ist das semantische Modell der Anwendungsumgebung, das zur Interpretation der Sensordaten genutzt wird. Das Modell beschreibt sowohl das Unternehmen als auch die überwachten Objekte (als Digital Twin, siehe Kasten).

Abbildung 4 zeigt als Beispiel ein semantisches Modell zur Beschreibung einer Anwendung zum Monitoring von vermieteten Gabelstaplern. Das Modell ist in der formalen Sprache RDF beschrieben.

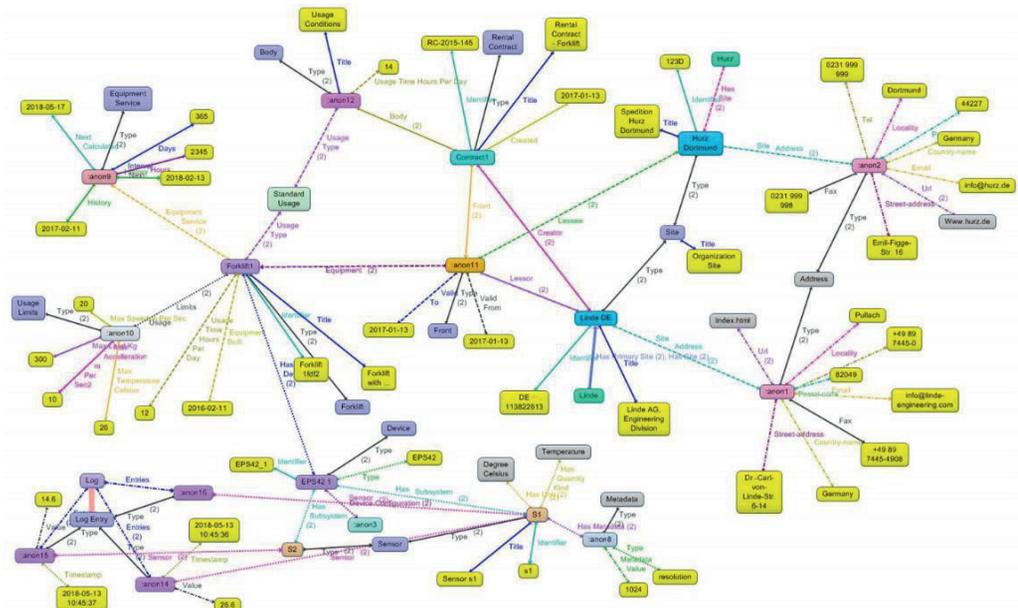
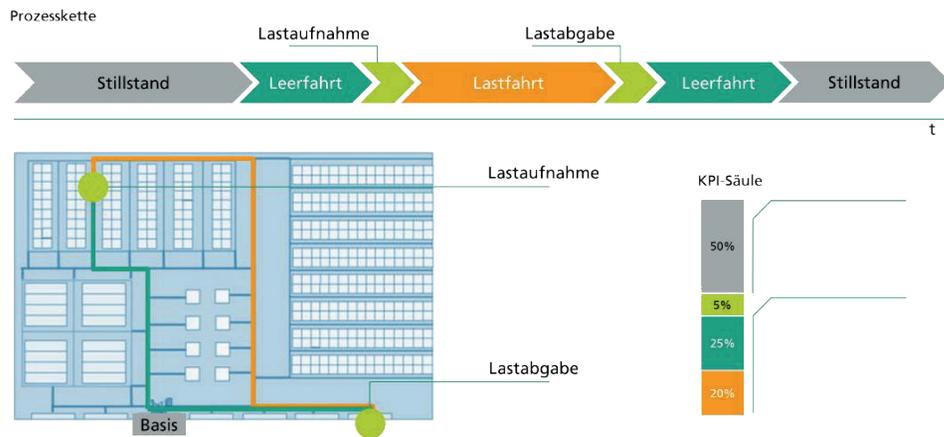


Abbildung 4 Beispiel für ein semantisches Modell in RIOTANA

Auf der Basis der übermittelten Sensordaten und mit Hilfe des semantischen Modells lassen sich Kennzahlen berechnen. Um die Nutzung von RIOTANA zu vereinfachen, sind verschiedene Kennzahlen bereits vordefiniert.



RIOTANA – Kennzahlen in  
Echtzeit ermitteln

Abbildung 5 Auslastung eines Staplers beim Einzelspiel (Beispiel)

Abbildung 5 zeigt die Ermittlung der Auslastung eines Gabelstaplers als Kennzahl (KPI) mit der zugehörigen Prozesskette am Beispiel eines Einzelspiels in einem Muster-Lager. Mit Einzelspiel wird eine Betriebsart bezeichnet, bei der ein Stapler an einem Einlagerungsplatz eine Ladung aufnimmt, zu einem Regalplatz fährt, die Ladung dort ablegt und zu seinem Ausgangspunkt zurückkehrt.

## 4.2 Anforderungen an die IT-Infrastruktur

Die Datenerfassung kann über kostengünstige Sensorik erfolgen. Die Kosten für die von Fraunhofer ISST prototypisch realisierte Sensordatenerfassung liegt bei unter 20 Euro.

Für die Datenübertragung vom IoT Device in die Cloud kann ein bestehendes WLAN genutzt werden. Für die Übertragung eines Datensatzes werden nur wenige Millisekunden benötigt. Bei einem Sendeintervall von einer Sekunde ist die Wahrscheinlichkeit für eine Kollision von Datenpaketen, die von mehreren Staplern an einen WLAN Access Point übermittelt werden, relativ gering.

Bei einer Datenerfassungsrate von einer Messung pro Sekunde, der Übertragung als IDS Sensor Message und einem 3-Schichten Betrieb fallen pro Jahr bei 360 Arbeitstagen Sensordaten im Umfang von rund 1,5 Gigabytes pro Stapler an. Bei den heutigen Speicherkapazitäten im Bereich von einem oder mehreren Terrabytes pro Festplatte können Storage-Systeme zu sehr überschaubaren Kosten die Daten einer ganzen Flotte von Staplern über viele Jahre speichern, ohne an ihre Kapazitätsgrenzen zu stoßen.

Für die Datenanalyse reicht ein handelsüblicher Server mit zwei Xeon Prozessoren mit sechs oder mehr Kernen und 8 – 16 Gigabytes RAM, den man für weniger als 1.000 Euro erhält.

## 5 Literatur

EY (2018): Digitalisierung im deutschen Mittelstand – Befragungsergebnisse. März 2018. Zugegriffen unter [https://www.ey.com/DE/de/SearchResults?query=Digitalisierung+im+Mittelstand&search\\_options=country\\_name](https://www.ey.com/DE/de/SearchResults?query=Digitalisierung+im+Mittelstand&search_options=country_name) am 05. Oktober 2018.

Holtkamp B et al. (2018): A Lightweight Industrial Data Space Sensor Connector. Fraunhofer ISST Report, April 2018. Zugegriffen unter <https://www.isst.fraunhofer.de/de/geschaeftsfelder/digitization-in-logistics.html> am 08. Oktober 2018.

Kagermann H., Wahlster W und Helbig J, eds. (2013): Recommendations for implementing the strategic initiative Industrie 4.0: Final report of the Industrie 4.0 Working Group, acatech.

Otto B et al. (2016): White Paper – Industrial Data Space – Digitale Souveränität über Daten. Fraunhofer-Gesellschaft zur Förderung der angewandten Forschung e.V., München. Zugegriffen unter <https://www.fraunhofer.de/de/forschung/fraunhofer-initiativen/industrial-data-space.html>. am 05. Oktober 2018.

Otto B et al. (2018): IDS REFERENCE ARCHITECTURE MODEL - INDUSTRIAL DATA SPACE, version 2.0. International Data Spaces Association, Dortmund. Zugegriffen unter <https://www.internationaldataspaces.org/en/ressource-hub/publications-ids/> am 26. Juni 2018.

Saam M, Viete S und Schiel S (2016): Digitalisierung im Mittelstand: Status Quo, aktuelle Entwicklungen und Herausforderungen. ZEW-Gutachten und Forschungsberichte, ZEW - Zentrum für Europäische Wirtschaftsforschung. Verfügbar unter <http://hdl.handle.net/10419/145963>

Schuh G et al. (Eds.) (2017): Industrie 4.0 Maturity Index. Managing the Digital Transformation of Companies. acatech STUDIE, Herbert Utz Verlag, München.

VDI (2002): Logistikkennzahlen für die Distribution. VDI-Richtlinie 4400 Blatt 3, VDI-Richtlinien, Juli 2002.

VDI (2004): Logistikkennzahlen für die Produktion. VDI-Richtlinie 4400 Blatt 2, VDI-Richtlinien, Dezember 2004.

VDI (2010): Ermittlung der Betriebskosten für Diesel- und Elektro-Gabelstapler. VDI-Richtlinie 2695, VDI-Richtlinien, Dezember 2010.



