

Inhaltsverzeichnis

Abkürzungsverzeichnis	3
Tabellenverzeichnis	4
Abbildungsverzeichnis	5
1 Einleitung	6
1.1 Motivation	6
1.2 Problemstellung	6
1.3 Zielsetzung	7
1.4 Aufbau der Thesis	7
2 Grundlagen	9
2.1 BPM	9
2.1.1 BPMS	9
2.1.2 iBPMS	10
2.2 Internet of Things	12
2.2.1 Smart Objects	12
2.2.2 Domain Model	14
2.3 Prozess Modellierung	16
2.3.1 BPMN	16
2.3.2 UML	18
2.3.3 Geschäftsregeln	18
2.4 IoT - A	19
2.4.1 IoT- A Modellierungskonzept	20
2.5 BPMN4CPS	27
2.5.1 BPMN4CPS Modellierungskonzept	29
3 BPM und IoT	32
3.1 Typische Muster und Best Practices von IoT Workflows	32
3.2 Unterschiede IoT Workflows zu regulären Workflows	32
3.3 Evaluierungskriterien	33
3.4 Bewertung der Modellierungsmethoden	34

3.5 Modellierungskonzept	34
4 Evaluierung	35
5 Schlussteil	36
5.1 Ergebnis	36
5.2 Fazit	36
5.3 Weiterführende Arbeit/ Ausblick	36
Literaturverzeichnis	37
Anhang	40

Abkürzungsverzeichnis

ARM	Architectural Reference Model
BPD	Business Process Diagram
BPEL	Business Process Execution Language
BPM	Business Process Management
BPMN	Business Process Model and Notation
BPMN4CPS	Business Process Model and Notation for Cyber-Physical Systems
BPMS	Business Process Management System/Suite
CMMN	Case Management Model and Notation
CPS	Cyber-Physical Systems
EoI	Entity of Interest
IAPMC	IoT-aware Process Modelling Concept
iBPMS	intelligent Business Process Management System/Suite
IoT	Internet of Things
IoT-A	Internet of Things - Architecture
M2M	Machine-to-Machine
OMG	Object Management Group
RFID	Radio-frequency Identification
UML	Unified Modelling Language

Tabellenverzeichnis

2.1	Kernfunktionalitäten eines iBPMS [8]	11
2.2	Charakteristiken von "smarten" Objekten[13]	13

Abbildungsverzeichnis

2.1	Zusammenhang zwischen Thing, Device, Resource und Service [14]	14
2.2	Actuation Task [24, S.44]	21
2.3	Sensing Task [24, S.49]	22
2.4	IoT Device [24, S.53]	23
2.5	Physical Entity [24, S.62]	24
2.6	Data Object [24, S.67]	25
2.7	Data Store [24, S.67]	25
2.8	Mobile Property, Location based Property[24, S.71]	26
2.9	IoT-aware Process Modelling Concept (IAPMC) Beispiel[24, S.81]	27
2.10	Physical Task[25]	29
2.11	Physical Task[25]	30
2.12	Beispielprozess nach Business Process Model and Notation for Cyber-Physical Systems (BPMN4CPS) [25]	31

1 Einleitung

1.1 Motivation

Das Internet of Things (IoT) ist eines der größten IT-Buzzwords der letzten Jahre und beschreibt die durch eingebettete Elektronik ermöglichte Vernetzung von physischen Dingen. Die dadurch gewonnenen Daten bzw. Ereignisse bieten neben dem Potential der Prozessoptimierung und Erweiterung noch die Möglichkeit zur Generierung völlig neuer Geschäftsprozesse und Modelle. Das Weiteren sinken die Kosten dafür physische Dinge mit Sensoren auszustatten und untereinander zu vernetzen, was zu einer hohen Anzahl von IoT Projekten führt. Laut Gartner sollen im Jahr 2020 mehr als die Hälfte der wichtigsten Geschäftsprozess Elemente des IoT beinhalten [1]. Da der Wettbewerb auf dem Technologiemarkt rasant zunimmt, ist es unerlässlich sich von der Konkurrenz abzuheben. Die Verwaltung von IoT Geräten, sogenannten Smart Devices, mit Business Process Management (BPM) ermöglicht eine einfache Wartung ihrer Orchestrierung. Des Weiteren bietet es auch die Möglichkeit der Nachverfolgung, die es ermöglicht KPIs über die Prozesse und Devices einfach zu ermitteln. Diese KPIs sind maßgebend für ein effektives Arbeiten mit der stetig wachsenden Anzahl von Devices [2].

1.2 Problemstellung

Während sich das IoT im Allgemeinen auf Kommunikation und Datenfluss konzentriert, berücksichtigen BPM-Ansätze den Kontrollfluss, große monolithische Prozessmodelle und synchrone Interaktionen. Darüber hinaus haben die meisten BPM-Ansätze Probleme mit nicht routinemäßigen, nicht deterministischen Prozessen, während IoT-Anwendungen typischerweise solche Interaktionen beinhalten. Das Problem der Vereinigung von IoT und BPM beginnt bereits bei der Darstellung und Modellierung der neuen Geschäftsprozesse, da Standards wie Business Process Model and Notation (BPMN) nur bedingt hierfür geeignete Elemente vorsehen. Das aufkommen der überwältigenden Datenmenge sorgt dafür dass Objekte selbständige Routinen, sogenannte Verhaltensmuster oder Gewohnheiten ausführen. Dieses selbständige Handeln ohne zentrale Steuerung

macht die Modellierung umfassender end-to-end Prozesse praktisch unmöglich. Dementsprechend müssen diese Verhaltensmuster als sogenannte event-driven micro processes organisiert werden. Da die Wechselwirkungen zwischen diesen Mikroprozessmodellen nicht auf der niedrigen Ebene des Nachrichtenaustausches beschrieben werden können, müssen diese laut "The Internet-of-Things Meets Business Process Management: Mutual Benefits and Challenges" auf einer höheren semantischen Ebene beschrieben werden [3]. Diese Problemstellungen bilden die Grundlage für diese Thesis.

1.3 Zielsetzung

Ziel der Thesis ist die Konzeption eines Modellierungsansatzes für IoT Workflows. Hierfür werden grundlegende Besonderheiten von IoT Workflows festgehalten und davon ausgehend Evaluierungskriterien für die Bewertung gängiger Modellierungsansätze abgeleitet. Anhand der Kriterien werden Modellierungsmethoden bewertet und gegebenenfalls mögliche Erweiterungsmöglichkeiten vorgestellt. Der daraus resultierende Ansatz wird auf vorhandene Use-Cases angewandt und bewertet.

1.4 Aufbau der Thesis

Nach der Einleitung mit Motivation, Problemstellung, Zielsetzung sowie dem Aufbau der Thesis folgen Grundlagen im Bereich des IoT, der Prozess Modellierung, des BPM, der Internet of Things - Architecture (IoT-A) sowie der BPMN4CPS, welche zum Verständnis der weiteren Arbeit dienen.

Im Hauptteil werden typische Muster von IoT Workflows identifiziert. Aus den identifizierten Workflows werden Unterschiede und Besonderheiten zwischen IoT Workflows und Workflows ohne IoT Integration herausgearbeitet, welche bei der Modellierung zu berücksichtigen sind. Anhand der Unterschiede werden Evaluierungskriterien für die Geschäftsprozess Modellierung abgeleitet. Diese Evaluierungskriterien werden im Anschluss dazu verwendet um bestehende Modellierungsmethoden auf ihre Eignung zur Modellierung von IoT Workflows zu bewerten. Basierend auf der Bewertung wird ein Modellierungskonzept für IoT

Workflows erarbeitet. Zur Evaluierung werden mehrere Use-Cases analysiert und das entwickelte Modellierungskonzept darauf angewandt. Anhand der Ergebnisse wird das Modellierungskonzept bewertet.

Im Schlussteil wird das Ergebnis festgehalten, ein Fazit getroffen und weiterführende Arbeiten sowie ein Ausblick vorgestellt.

2 Grundlagen

In diesem Kapitel werden zunächst Grundlagen des **IoT** erläutert. Anschließend werden die wichtigsten Prozess Modellierungsmethoden dargestellt und Grundlagen des **BPM** erklärt. Zum Abschluss werden zwei Erweiterungen von **BPMN** zur Modellierung von **IoT** Workflows vorgestellt.

2.1 BPM

Laut der Definition von bpm.com, der größten Internetseite im Bezug auf Artikel, Nachrichten, Forschung und Veröffentlichungen für **BPM** [4] versteht sich **BPM** als: "eine Disziplin, die eine beliebige Kombination aus Modellierung, Automatisierung, Ausführung, Kontrolle, Messung und Optimierung von Geschäftsabläufen zur Unterstützung von Unternehmenszielen, übergreifenden Systemen, Mitarbeitern, Kunden und Partnern innerhalb und außerhalb der Unternehmensgrenzen umfasst" [5] Besonders muss hierbei zwischen den Begriffen Business Process Management System/Suite (**BPMS**) und **BPMS** an sich unterschieden werden. **BPM** ist eine Praktik und kein Produkt. **BPMS** ist ein Produkt und was in den Produkten angeboten wird hängt immer vom Verkäufer des Produktes ab. **BPMS** sind dafür entworfen um **BPM** zu unterstützen aber bieten darüber hinaus Funktionalität welche nichts mit **BPM** an sich zu tun hat. Was genau die Kernfunktionalitäten eines **BPMS** sind wird im nächsten Unterkapitel beschrieben.

2.1.1 BPMS

Wie zuvor beschrieben sind **BPMS** dafür entworfen um die **BPM** zu unterstützen folglich könne alle Informationssysteme, die sich mit der Definition, Verwaltung, Anpassung und Bewertung von Aufgaben befassen, die sich aus Geschäftsprozessen und Organisationsstrukturen ergeben als **BPMS** bezeichnen. Diese Produkte sind in der Lage, den Workflow in einer Organisation zu definieren, zu steuern, Daten zu übertragen und alte Informationssysteme, bestehende Programme und Programmmodule zu integrieren [6].

2.1.2 iBPMS

intelligent Business Process Management System/Suite (**iBPMS**) kann als natürliche Weiterentwicklung der **BPMS** verstanden werden und bietet durch zusätzliche Funktionen wie zum Beispiel die Integration mit Social Media, mobile Prozessaufgaben, Streaming-Analysen sowie Echtzeit-Entscheidungsmanagement mehr "Intelligenz" in Geschäftsprozessen [7]. In Tabelle 2.1 werden die von Gartner herausgearbeitet Kernfunktionalitäten aufgezeigt

Funktionalität	Erklärung
Interaction Management	Die Fähigkeit, verschiedene Arten von Aktivitäten und Interaktionen zur Laufzeit zu orchestrieren, um die Arbeit zu unterstützen, die Menschen, Systeme und "Dinge" (wie im IoT) leisten, um spezifische Geschäftsergebnisse zu erzielen
High-Productivity App Authoring	Ermöglicht IT-Entwicklern, schnell und einfach eine prozessorientierte Anwendung zu erstellen. Anwendungen, die auf der Plattform basieren, verwenden ein Metadatenmodell, um den gesamten Lebenszyklus von Geschäftsprozessen zu verwalten und prozessbezogene Daten zu manipulieren
Monitoring and Business Alignment	iBPMS Plattformen unterstützen Business Activity Monitoring um den Status von Prozessinstanzen, Fällen und anderen Verhaltensweisen in nahezu Echtzeit kontinuierlich zu verfolgen.
Rules and Decision Management	Softwaresysteme - wie inference engines, recommendation engines und decision management capabilities -, die als Orientierungshilfe dienen, um menschliche oder automatisierte betriebliche Entscheidungen nach Geschäftsrichtlinien zu treffen
Analytics	Wendet Logik und Statistiken auf Daten an, um Erkenntnisse für bessere Entscheidungen zu gewinnen. Ein iBPMS kann prädiktive Analysen wie z.B. Scoring Services oder präskriptive Analysen wie z.B. optimization engines enthalten oder mit diesen in Verbindung stehen
Interoperability	Interoperabilität mit externen Anwendungsdiensten und Systemen, die ein iBPMS -Adapter und Adapter-Entwicklungswerkzeuge ermöglichen. Zu diesen Diensten und Systemen gehören benutzerdefinierte und kommerziell-

Auch wenn **iBPMS** Interaction Management als eine seiner Kernfunktionalitäten besitzen muss ist hier kein Standard für die Modellierung von **IoT** Workflows gegeben beziehungsweise vorgegeben sondern es bleibt jedem Vertreiber selbst überlassen wie die Workflows zu modellieren sind.

2.2 Internet of Things

Die Idee eines Internets der Dinge hat seine Ursprünge in den Konzepten des Anfang der 90er Jahre von Mark Weiser skizzierten "Ubiquitous Computing" was er als nahtlose Einbindung von Computern in die reale Welt bezeichnet [9]. Grundgedanke des "Ubiquitous Computing" ist eine Erweiterung beliebiger physischer Gegenstände über ihre bestehende Form und Funktion hinaus durch mikroelektronische Komponenten [10]. Die so entstehenden "smarten" Gegenstände bilden, mit digitaler Logik, Sensorik und der Möglichkeit zur Vernetzung ausgestattet, ein Internet der Dinge. Der Begriff Internet of Things selbst wurde jedoch erst 1999 von Kevin Ashton im Zusammenhang eines globalen Netzwerks von Objekten welche mit RFID angereicht wurden bei einer Präsentation bei Procter & Gamble verwendet [11]. Eine einheitliche Definition des **IoT** gibt es nicht, diese These beruht auf der 2012 publizierten Definition aus "Overview of the IoT" der International Telecommunication Union. Diese definiert **IoT** als : "Eine globale Infrastruktur für die Informationsgesellschaft, die fortschrittliche Dienste ermöglicht, indem sie (physische und virtuelle) Dinge miteinander verbindet, die auf bestehenden und sich entwickelnden interoperablen Informations- und Kommunikationstechnologien basieren" [12]. Aus technischer Sicht steht hinter dem Internet der Dinge weniger eine einzelne Technologie oder eine spezifische Funktionalität als vielmehr ein Funktionsbündel, welches in seiner Gesamtheit eine neue Qualität der Informationsverarbeitung entstehen lässt und somit neue Geschäftsmodelle ermöglicht.

2.2.1 Smart Objects

Die in Tabelle 2.2 auf Seite 13 sichtbaren charakteristischen Merkmale unterscheiden die "smarten" Objekte des **IoT** zwischen Objekten welche nicht Teil des **IoT** sind.

Charakteristik	Erklärung
Identifikation	Objekte im Internet der Dinge sind über einen Schlüssel eindeutig identifizierbar. Diese Identifikation ermöglicht die Verknüpfung des Objekts mit Diensten, welche Informationen des physischen Objektes auf einem Server bereitstellen.
Kommunikation	Im Gegensatz zu herkömmlichen physischen Objekten verfügen Objekte im Internet der Dinge über die Möglichkeit Ressourcen im Netz oder sogar untereinander zur Verfügung zu stellen, um Daten und Dienste gegenseitig zu nutzen.
Sensorik	Das "smarte" Objekt sammelt Informationen über seine Umwelt (Temperatur, Lichtverhältnisse, Luftdruck usw.), zeichnet diese auf und/oder reagiert darauf
Lokalisierung	Smarte Objekte kennen ihren Aufenthaltsort oder sind für andere lokalisierbar, bspw. auf globaler Ebene durch GPS oder in Innenräumen durch Ultraschall
Speicher	Das Objekt verfügt über Speicherkapazität, so dass es beispielsweise Informationen über seine Vergangenheit mit sich tragen kann
Aktuatorik	Objekte im Internet der Dinge können unter Umständen selbständig Entscheidungen ohne übergeordnete Planungsinstanz treffen, z.B. im Sinne eines Industriecontainers, der seinen Weg durch die Lieferkette selbst bestimmt
Benutzerschnittstelle	Mit dem Aufgehen des Computers im physischen Gegenstand stellen sich auch neue Anforderungen an die Benutzeroberfläche, die meist nicht mehr durch Tasten und Displays realisiert werden kann. Vielmehr braucht es hier neuartige Benutzungsmetaphern analog der Maus und Fenstermetapher graphischer Benutzeroberflächen

Tabelle 2.2: Charakteristiken von "smarten" Objekten[13]

2.2.2 Domain Model

Da es unter der Buzzword **IoT** sehr viele unterschiedlich Auffassungen und Interpretation wie zum Beispiel das ursprüngliche Konzept Kevin Ashtons eines Netzwerkes um RFID angereicherte Objekte. Häufig ist auch von Machine-to-Machine (**M2M**) oder Cyber-Physical Systems (**CPS**) die Rede. Bei dieser Vielzahl von Auffassungen und Begriffen ist es für ein allgemeines Verständnis unabdingbar sich auf eine Definition zu einigen. Im Zuge dieser Thesis wird das 2010 von Stephan Haller vorgestellte IoT Domain Model verwendet um den Zusammenhang zwischen Devices, Ressourcen und Services zu erklären[14], da diese die am häufigsten verwendetet wurde in der Literatur auf welcher diese Thesis beruht. Die auf Seite ?? zeigt eine auf den Zusammenhang von Device, Service und Ressourcen abstrahierte Darstellung des IoT Domain Models. Im Anhang befindet sich ein Schaubild des vollständigen IoT Domain Models Haller's vom Stand 2013.

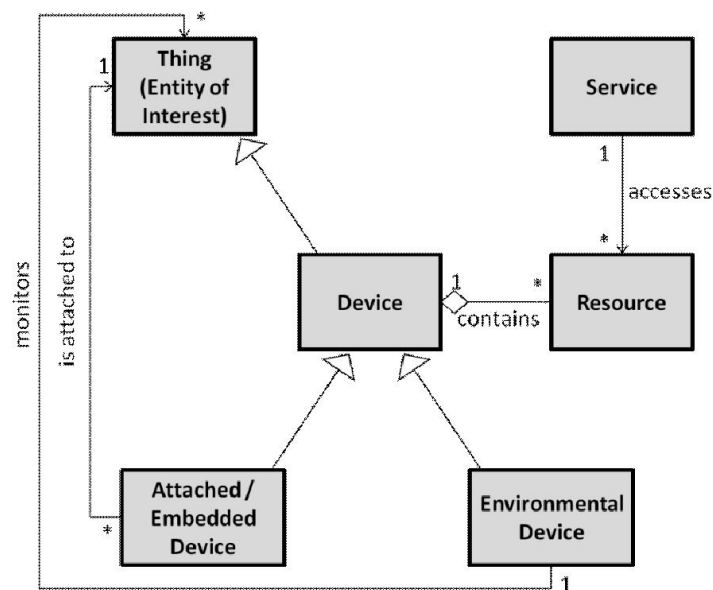


Abb. 2.1: Zusammenhang zwischen Thing, Device, Resource und Service [14]

Thing/ Entity of Interest (**EoI**):

Das **EoI** bezeichnet einen physischen Gegenstand an welchem der Nutzer oder

eine Anwendung wie zum Beispiel ein Geschäftsprozess. Das **EoI** wird entweder durch ein Environmental Device oder über ein "attached" beziehungsweise "embedded device" überwacht.

environmental Device: Environmental Devices, also Umgebungsgeräte überwachen und verfolgen den Status des **EoI**. Beispiele für Umgebungsgeräte sind Radio-frequency Identification (**RFID**) Lesegeräte, Barcodescanner oder Kameras

attached/ embedded Device: Als attached/embedded Device stellen ähnlich wie die Umgebungsgeräte den Zustand und den Status des **EoI** fest. Der Unterschied liegt hierbei daran, dass die attached/embedded Devices am **EoI** selbst und nicht in der Umgebung angebracht sind. Beispiel hierfür sind Sensoren wie Thermometer oder Manometer.

Device:

Das Device wird als Überklasse der "environmental Devices" sowie der "attached/ embedded Device" verstanden es sammelt also Informationen über das **EoI** und stellt diese über die Möglichkeit der Kommunikation mit IT-Systemen zur Verfügung.

Resource:

Als werden die vom Device bereitgestellten digitalen Informationen über den Zustand oder die Betätigungsfähigkeiten eines physischen Objektes bezeichnet.

Service:

Services stellen die Ressourcen des Devices über eine klar definierte und standardisierte Schnittstelle bereit und stellen sie somit Anwendungen oder anderen Services zur Verfügung. Somit wird die Funktionalität als Arbeitseinheit einem Geschäftsprozess zur Verfügung gestellt.

Zusammenfassend lässt sich der Zusammenhang zwischen **EoI**, Device, Service und Resource also wie folgend beschreiben. Ein physisches Objekt an welchem Interesse besteht wird durch die Überwachung mittels ein oder mehrerer Senso-

ren beziehungsweise Umgebungsgeräten als Device in der virtuellen Welt dargestellt. Dieses Device enthält mehrere Ressourcen also Informationen welche wiederum durch standardisierte Schnittstellen, den Services zur Verfügung gestellt werden.

2.3 Prozess Modellierung

In vielen heutigen Unternehmen unterstützen Informationssysteme nicht mehr nur das Geschäft, sondern sie werden immer mehr zu einem integralen Bestandteil davon. Alle Unternehmen machen Gebrauch von Informationstechnologie, und es ist wichtig, dass ihre Systeme so aufgebaut sind, dass sie die Unternehmen unterstützen in denen sie zum Einsatz kommen. Das Geschäft bestimmt letztlich die Anforderungen, welche die Informationssysteme definieren. Die Entwicklung von Software ohne ein angemessenes Verständnis des Kontextes, in welchem diese Software betrieben werden soll, ist nahezu unmöglich. Um ein solches Verständnis zu erlangen, ist es unerlässlich, dass man ein Geschäftsmodell definiert. Ein Modell ist eine vereinfachte Sicht auf eine komplexe Realität. Diese Abstraktion erlaubt es irrelevante Details zu vernachlässigen und den Fokus auf die Kernelemente zu legen. Effektive Modelle erleichtern zudem Diskussionen zwischen verschiedenen Stakeholdern im Unternehmen. Sie ermöglichen es ihnen, sich auf die wichtigsten Grundlagen zu einigen und auf gemeinsame Ziele hinzuarbeiten. Die Modellierung von Geschäftsprozessen ist als Mittel zur Analyse und zum Design von Software akzeptiert und etabliert. Die sich ständig weiterentwickelnden Modelle helfen den Entwicklern auch dabei, ihr Denken zu strukturieren und zu fokussieren. Die Arbeit mit den Modellen dient ihnen zum Verständnis für das Geschäft und erhöht dadurch das Bewusstsein für neue Möglichkeiten zur Verbesserung des Geschäfts.

2.3.1 BPMN

BPMN ist ein Standard für die Geschäftsprozessmodellierung, der eine grafische Notation zur Spezifikation von Geschäftsprozessen in einem Business Process Diagram (**BPD**) auf Grundlage traditioneller Flussdiagrammtechniken bereitstellt [15, S.222]. Das Ziel von **BPMN** ist es, die Geschäftsprozessmodellie-

rung sowohl für technische Anwender als auch für Geschäftsanwender zugänglich zu machen, damit die Geschäftsprozessmodellierung eine Kommunikations- und Automatisierungsgrundlage bildet. Hierfür wird eine Notation bereitgestellt wird, welche für Geschäftsanwender intuitiv ist und dennoch komplexe Prozesssemantik abbilden kann. Die seit 2011 von der Object Management Group (OMG) vorgestellte BPMN 2.0-Spezifikation bietet auch Ausführungssemantik sowie das Mapping zwischen den Grafiken der Notation und anderen Ausführungssprachen, insbesondere der Business Process Execution Language (BPEL). BPMN ist so konzipiert, dass es für alle Beteiligten leicht verständlich ist. Zu den Anwendern gehören Business-Analysten, welche die Prozesse erstellen und verfeinern, technische Entwickler, die für die Implementierung zuständig sind sowie Führungskräfte welche Prozesse überwachen und verwalten [16]. Im Anhang befindet sich ein Poster mit einer Übersicht über die wichtigsten Modellierungsmethoden von BPMN.

Aufgrund der fehlenden Möglichkeit Flexibilität abzubilden beziehungsweise da nicht alle Möglichen Szenarien bekannt sind oder aufgrund der Kombinatorik nicht modelliert werden können, wurde 2014 von der OMG ein eigener Standard Case Management Model and Notation (CMMN) verabschiedet welcher in der Lage ist flexible Prozesse abzubilden. Als Case wird eine Aktivität bezeichnet, welche sich nicht einfach wiederholen lässt. Cases sind von sich entwickelnden Umständen oder von Ad-hoc-Entscheidungen im Bezug auf bestimmte Situationen abhängig. Diese Ad-hoc-Entscheidungen werden von sogenannten Wissensarbeitern gefällt. Zu den Anwendungsfällen des Case Managements gehören die Antrags- und Schadensbearbeitung in der Versicherungsbranche, die Patientenversorgung sowie die medizinische Diagnose im Gesundheitswesen, Hypothekenbearbeitung im Bankwesen, Problemlösung in Call Centern, Wartung und Reparatur von Maschinen und Anlagen sowie die Konstruktion von Sonderanfertigungen[17].

Laut Heise sei die Kombination von CMMN und BPMN sinnvoll um sowohl strukturierte als auch unstrukturierte Prozesse oder Teilprozesse sinnvoll abbilden zu können [18].

2.3.2 UML

Unified Modelling Language (**UML**) ist eine grafische Sprache, die die Artefakte verteilter Objektsysteme visualisiert, spezifiziert, konstruiert und dokumentiert [19]. Es ist der am weitesten verbreitete Standard für Software-Architekten, um Geschäftsanwendungen zu spezifizieren. **UML** wird vor allem für die objektorientierte Softwareentwicklung im Bereich des Software-Engineerings eingesetzt. Die **UML** wurde in den 90er Jahren als Modellierungssprache und Methodik zur Unterstützung der objektorientierten Programmierung entwickelt. Im Jahr 1997 wurde es als Standard von der **OMG** übernommen. Die ersten Versionen 1.X wurden 2005 durch die neu überarbeiteten Versionen 2.X ersetzt. Seit März 2015 befindet sich UML in der Version 2.5 [20]. **UML** bietet im Gegenteil zu **BPMN** mehr als nur die reine Prozessmodellierung und ist ihrer Gesamtheit sehr umfangreich. Die Spezifikation allein ist über eintausend Seiten lang. Strukturiert wird **UML** in vier Gruppen, den Strukturdiagrammen, den Architekturdigrammen, den Verhaltensdiagrammen und den Kommunikationsdiagrammen. Im Zuge dieser Thesis wird **UML** lediglich auf **UML** Aktivitätsdiagramme im Bezug auf Prozessmodellierung eingegangen.

2.3.3 Geschäftsregeln

Geschäftsregeln an sich sind keine Modellierungsmethode allerdings lassen Geschäftsprozesse selbst als eine Reihe von Geschäftsregeln darstellen. Die unter bestimmten Bedingungen auszuführenden Aktivitäten und die sie auslösenden Ereignisse können in Beziehung zueinander gesetzt werden, so dass Prozesse auf der Grundlage von Geschäftsregeln beschrieben und ausgeführt werden können. Die Prozessmodellierung mit Geschäftsregeln basiert auf ECAA-Regeln. Durch die drei Konstrukte Ereignis, Bedingung und Aktion. Diese Art der Modellierung eignet sich jedoch nur für kleine Prozessmodelle und müssen für größere Modelle auf die **eEPK!** (**eEPK!**) Notation übertragen werden [21].

2.4 IoT - A

Internet of Things - Architecture kann als eine Art Leuchtturmprojekt der Europäischen Union angesehen werden, welches 2013 nach über drei Jahren zu Ende ging. Ziel hierbei war es ein Architectural Reference Model (ARM) als Grundlage für das IoT zu erstellen. Die Grundidee hierbei war, dass das ARM eine gemeinsame Struktur sowie Richtlinien für den Umgang mit Kernaspekten der Entwicklung, Nutzung und Analyse von IoT-Systemen bereitstellt, was eine nahtlose Integration heterogener IoT-Technologien in eine kohärente Architektur sowie den Zusammenschluss mit anderen Systemen des "Future Internet" ermöglicht [22, S.17]. Um dieses Ziel zu erreichen wurden einige detaillierte wissenschaftliche und technologische Zielsetzungen identifiziert welche innerhalb des Projektes behandelt werden[23].

Zielsetzungen

1. Bewertung bestehender IoT-Protokoll Suites und Ableitung von Mechanismen zur Erzielung einer durchgehenden Interoperabilität für eine nahtlose Kommunikation zwischen IoT-Geräten. Das IoT wird aus Geräten mit unterschiedlichen Kommunikationsstacks bestehen. IoT-A soll eine nahtlose Kommunikationsfluss zwischen heterogenen Geräten ermöglichen und dabei die Komplexität der End-to-End-Heterogenität vor dem Kommunikationsdienst verbergen.
2. Entwicklung von Modellierungswerkzeugen und einer Beschreibungssprache für zielorientierte IoT-bewusste (Geschäfts-)Prozessinteraktionen, die es erlauben, ihre Abhängigkeiten für eine Vielzahl von Bereitstellungsmodellen auszudrücken.
3. Ableitung von adaptiven Mechanismen für die verteilte Orchestrierung von IoT-Ressourcen-Interaktionen, die Selbst-*-Eigenschaften freilegen, um mit der komplexen Dynamik realer Umgebungen umzugehen.
4. Ganzheitliche Einbettung effektiver und effizienter Sicherheits- und Daten-

schutzmechanismen in IoT-Geräten sowie den von ihnen genutzten Protokollen und Diensten.

5. Entwicklung einer neuartigen Auflösungsinfrastruktur (resolution infrastructure) für das IoT, die es ermöglichen soll, ein skalierbares zuweisen von IoT-Ressourcen, Entitäten der realen Welt und ihrer Assoziationen durchzuführen.

6. Entwicklung von IoT-Geräteplattformkomponenten einschließlich der Gerätehardware und Laufzeitumgebung. Das IoT-A soll Schlüsselkomponenten entwickeln, die für die IoT-Geräteplattform erforderlich sind, auf der ein zukünftiges Internet der Dinge basieren wird.

7. Der Verbreitung und Nutzung der entwickelten architektonischen Grundlagen beizutragen.

Im Zuge dieser Thesis ist besonders das Ziel der Entwicklung von Modellierungswerkzeugen sowie einer Beschreibungssprache für zielorientierte IoT bewusste Prozessinteraktionen von Bedeutung auf welches im folgenden Kapitel genauer eingegangen wird.

2.4.1 IoT- A Modellierungskonzept

Innerhalb des IoT-A Projektes wurde ein Modellierungskonzept für IoT Prozesse entworfen. Dieses sogenannte IAPMC stellt eine Erweiterung um neue Elemente dar welche sich in BPMN integrieren lassen [24]. Diese Elemente werden im folgenden vorgestellt

1.1. Actuation Activity

Als Aktuator wird ein physisches Bauteil bezeichnet welches elektronische Signale in mechanische Bewegungen oder andere physikalische Auswirkungen umsetzen kann. Ein Aktuator führt also Tätigkeiten ganz oder nach vorgegeben Werten aus. Nach der erfolgreichen Durchführung einer "Actuation Activity" hat sich also der physische Zustand eines physischen Gegenstandes geändert.

Innerhalb des **IoT** erfolgt die Interaktion mit den Softwarekomponenten solcher Aktoren durch Services innerhalb konkreter Prozesse, die über klar definierte Serviceschnittstellen verfügen. Funktionelle Eigenschaften der Actuation Activity sind, dass es einen Input Datensatz gibt, jedoch keinen Output Datensatz. Es wird weder durch die Business Process Execution Engine gestartet noch gemanagt. Es besitzt eine genau definierte Schnittstelle und eine Verbindung zu einem Data Object beziehungsweise einem Data Store. Stellt einen Service bereit mit welchem der Zustand der physischen Entity geändert wird [24, S.41]. In Abbildung 2.2 ist das fertige Model einer "Actuation Task" nach **IAPMC** zu sehen.

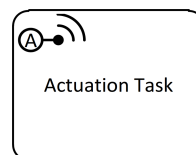


Abb. 2.2: Actuation Task [24, S.44]

1.2. Sensing Activity

Sensoren sind physische Elemente welche Bewegungen oder physikalische Werte erfasst und in elektronische Signale umwandelt. In der **IoT** Welt ist ein Sensor in der Lage den Zustand einer physischen Entität zu erfassen, dieses Erfassen den physischen Zustandes wird als "sensing" bezeichnet. Sensoren sind in gewisser Weise als Gegenstück zu den Aktoren zu verstehen, ein Aktor ändert den Zustand einer physischen Entität während der Sensor seinen Zustand misst und somit die Änderung seines Zustandes registrieren kann. Als Gegenstück zu den Aktoren haben "Sensing Activities" keinen Daten Input aber dafür einen Daten Output. Allerdings werden auch diese weder durch die Business Process Execution Engine gestartet noch gemanagt sondern werden durch eine standardisierte Schnittstelle bereitgestellt und besitzen Anbindung an ein Data Object beziehungsweise Store [24, S.45]. Der in Abbildung 2.3 ersichtliche Sachverhalt stellt den von der **IAPMC** entwickelten "Sensing Task" dar.

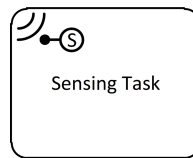


Abb. 2.3: Sensing Task [24, S.49]

3. IoT Device

Wie in 2.2.2 beschrieben besitzt ein IoT Device die Fähigkeit den Status einer EoI wahrzunehmen und mit einem Netzwerk zu kommunizieren. Des weiteren besitzt ein IoT Device im IoT-A Kontext die Möglichkeit aktiv den Status seiner physischen Entität oder einer anderen im IoT vorhandenen Netzwerk zu verändern. Mobiltelefone, ein Sensor-Knotenpunkt, einzelne Sensoren oder Aktuatoren sind Beispiele für ein IoT Device [24, S.50]. Jeder Aktuator oder Sensor kann demnach als IoT Device angesehen werden. Hinzu kommt, dass IoT Devices Parameter besitzen welche die die automatische Zuweisung durch die Auflösungsinfrastruktur anpassen. Wie in Abbildung 2.4 zu sehen ist das IoT Device, in diesem Fall ein Mobiltelefon, ein eigenständiger Akteur und besitzt eine eigene Swimlane. Durch das Aufklappen lassen sich die Parameter der Spezifikation anzeigen.

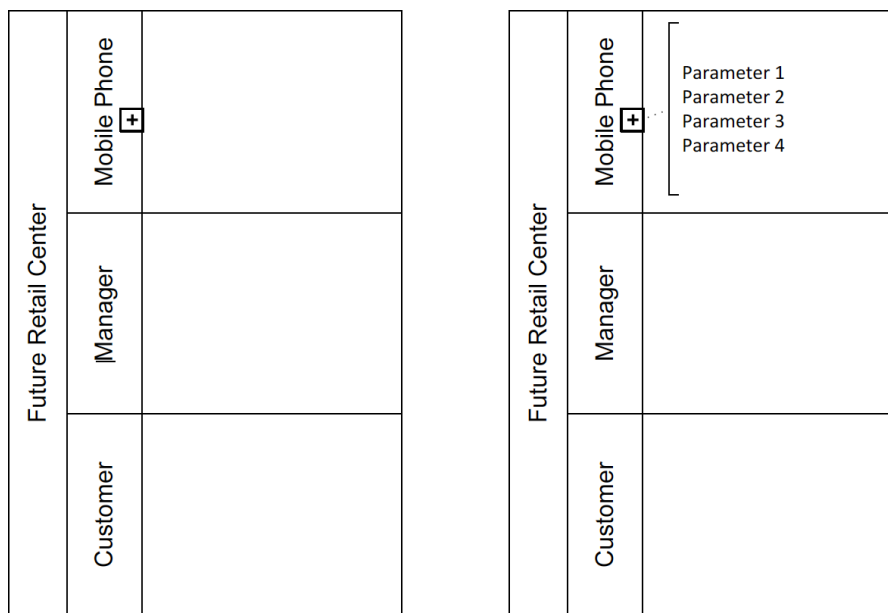


Abb. 2.4: IoT Device [24, S.53]

4. Process Resources

Die Definition von Ressourcen des IAPMC unterscheidet sich von der in 2.2.2 vorgestellten. Demnach seien Ressourcen in der Geschäftsprozessmodellierung ein abstraktes Konzept welches zur Klassifizierung der menschlichen oder technischen Einsatzfähigkeit während der Prozessauflösung für die Ausführung diene. So könne eine Ressource mehrere Aktivitäten ausführen und Aktivitäten könnten mehrere Ressourcen verwenden. Ein Beispiel für eine Ressource in der Prozessmodellierung sei ein IoT-Gerät wie ein Temperatursensor, der Messmöglichkeiten in Form von Prozessaktivitäten für die Prozessausführung bereitstellen kann[24, S.54].

5. Physical Entity

Als Physical Entity also eine physische Entität wird ein Objekt aus der physischen Welt welches relevant für einen Benutzer oder eine Anwendung ist. Deshalb fällt in diesem Zusammenhang auch häufig der Begriff Entity of Interest als ein Objekt an welchem Interesse besteht. Physische Instanzen in einem Prozess können für eine oder mehrere Aktivitäten relevant sein. Geschäftsprozesse ge-

hen oft über Abteilungs- und Betriebsgrenzen hinweg, die sich in einem Prozess mit Hilfe von Pools und Lanes abbilden lassen. Physikalische Einheiten können innerhalb dieser Abteilungs- und Einsatzgrenzen existieren, aber auch darüber hinausgehen. Des weiteren können **EoI** für eine oder mehrere **IoT! (IoT!)** Devices relevant sein[24, S.58-59]. Physische Entitäten besitzen genauso wie **IoTDevices** Parameter die für die automatische Zuweisung von **IoTDevices** zu den physischen Entitäten relevant sind. Wie in Abbildung 2.5 zu sehen lassen sich Physical Entitys ebenso aufklappen um die Parameter anzeigen zu lassen wie die **IoTDevices** in Abbildung 2.4.

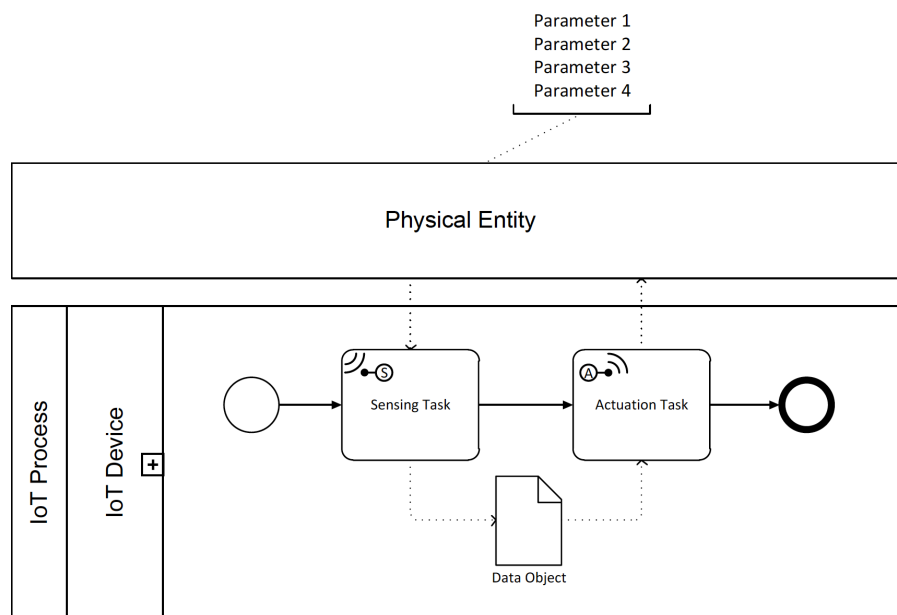


Abb. 2.5: Physical Entity [24, S.62]

6. Real World Data Object / Store

Ein Real-World Data Object stellt ein temporär gespeichertes Datenobjekt einer laufenden Prozessinstanz dar, das durch die Messung eines IoT Devices erzeugt wurde. Die Werte des Datenelements sind für andere Prozessbeteiligte sichtbar und existieren nicht über die Lebensdauer eines Prozesses hinaus. Das Real-World Data Object hat IoT-spezifische Eigenschaften, wie z.B. die unterschiedliche Qualität der Informationen. Neben einem Real-World Data Object kann ein Geschäftsprozess auch einen Real-World Data Store enthalten. Im Ge-

gensatz zum Real-World Data Object stellt der Real-World Data Store persistente Daten dar und existiert über die Lebensdauer einer Prozessinstanz hinaus. Der Real-World Data Store kann von den Teilnehmern des Prozesses sowie von Teilnehmern außerhalb des Prozesses abgefragt oder aktualisiert werden. Real-World Data Objects sowie Real-World Data Stores besitzen Eigenschaften welche darüber Auskunft erteilen wann welches IoTDevice den Datensatz über welche Physische Entität erstellt hat [24, S.64-65]. In Abbildung 2.7 und 2.7 sind die Modelle mehrerer Data Objects beziehungsweise Data Stores mit ausgeklappten Eigenschaften zu sehen.

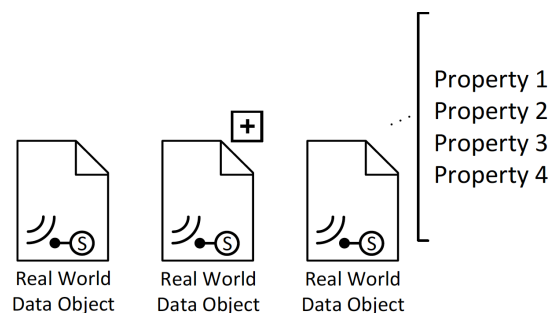


Abb. 2.6: Data Object [24, S.67]

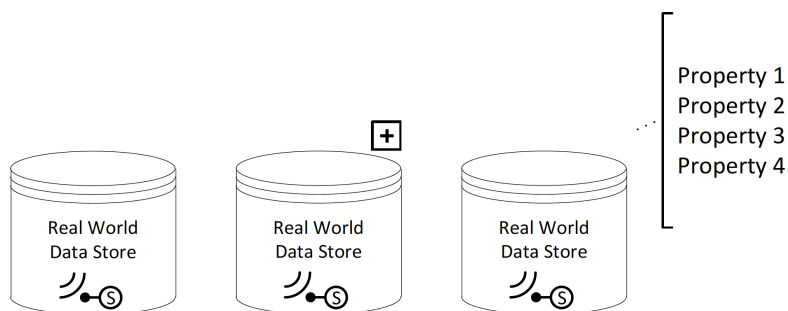


Abb. 2.7: Data Store [24, S.67]

6. Mobility Aspect

Mobilität kann Prozessbeteiligte wie IoT Devices oder die Physical Entitys betreffen, welche dadurch die Aktivitäten beeinflussen, für die sie verantwortlich sind. Dieser Aspekt bezieht sich sowohl auf IoT-Aktivitäten als auch auf normale

Aktivitäten. In Folge dessen werden Prozesse oder Teilprozesse durch das mobile Verhalten ihrer "Teilnehmer", also deren Ortswechsel beeinflusst. So können Prozesse aufgrund von dem Erreichen eines **EoI** an einem bestimmten Ort oder der signifikanten Lageänderung ausgelöst werden beziehungsweise Abhängig davon sein. Deshalb benötigen **BPMN** Erweiterungen um zu Kennzeichnen wenn ein Prozess, ein Prozessteilnehmer, eine Prozessentscheidung oder eine Aktivität mobil seien [24, S.68-70]. Das in Abbildung 2.8 auf der linken Seite zu sehende Symbol indiziert, dass die Komponente in welcher sie verwendet wird mobil ist während das rechte Symbol die Ortsabhängigkeit darstellt.



Abb. 2.8: Mobile Property, Location based Property[24, S.71]

Zusammengefasst lässt sich das **IoT-A** Modellierungskonzept an dem in Abbildung 2.9 veranschaulichen. Hierbei geht es um einen Sensor basierten Qualitätskontrollprozess. Eine Orchidee ist hierbei die Physische Entität welche mittels eines smarten Temperatur Sensors überwacht wird. Alle 60 Sekunden wird ein sensing Task ausgelöst welcher die Temperatur der Orchidee misst und das daraus resultierende Data Object an ein Backend System weiterleitet. Sofern die Temperatur nicht außerhalb der Norm liegt endet der Prozess. Ansonsten wird sowohl eine Alarm Benachrichtigung auf dem SmartPhone Ted angezeigt, welcher ein mobiler Prozessteilnehmer ist, sowie eine Berechnung des neuen Preises des Backend Systems veranlasst. Der angepasste Preis wird an einen Aktuator, das Regaletikett weitergeleitet, welcher den neuen Preis der Orchidee anpasst und somit den Prozess beendet. In diesem Prozess werden ein Großteil des **IAPMC** sinnvoll dargestellt und eingesetzt.

Aufgaben Typen

Im physischen Prozess können CPS-Aufgaben eine physische oder eine manuelle Aufgabe sein. Die physische Aktivität liefert Sensordaten oder führt Aktionen aus, die sich auf die physische Welt auswirken. Sie können die Aktivität eines Sensors wie der Temperaturmesssensor oder die Aktivität eines Aktors wie die Luftkühlung durch eine Klimaanlage sein. Während eine manuelle Aufgabe von einem Menschen ohne die Hilfe eines Geräts oder einer Anwendung ausgeführt werden soll

Entity-based/resource-based concept

Das physikalische Gerät hat eine schlechte Rechenleistung und einen dynamischen Zustand. Die Ausführung einer körperlichen Aktivität kann sich auf die physischen Einheiten und das Gerät auswirken, indem sie ihre lokalen Zustände ändert. Daher müssen während der Modellierungsphase weitere Informationen über die beteiligte Entität, Ressource oder das Device bereitgestellt werden

Event basierte/ Befehl aktions basierte/ periodische Aufgaben

Eine Aufgabe kann durch ein Ereignis oder eine Befehlsnachricht ausgelöst werden. Es kann auch eine periodische Aufgabe sein, die in jedem Intervall oder zu jedem Zeitpunkt stattfinden soll. Diese Annotationen werden von BPMN unterstützt.

Mobilität

Das physische Gerät kann mobil oder statisch sein. Diese Eigenschaft ist wichtig, da zusätzliche Informationen beim mobilen Verhalten zur Laufzeit berücksichtigt werden müssen.

Verfügbarkeit

Eine physische Aktivität kann nur dann einsatzbereit sein, wenn ihr Anbieter zeitlich und räumlich verfügbar ist.

Zeitliche Anforderungen

Das zeitliche Verhalten ist die zentrale Eigenschaft der physikalischen Prozesse, bei denen die Zeit entscheidend ist. Besonders bei kritischen Anwendungen müssen physikalische Maßnahmen zur richtigen Zeit und zum richtigen Zeitpunkt getroffen werden

Räumliche Eigenschaften

Sind die Anforderungen, welche mit physischen Aktivitäten verbunden sind. Sie

stellen den Ort dar, an dem die Aktivität ausgeführt werden soll, und den betroffenen Bereich, der durch die Aktivität des Sensors beziehungsweise des Aktors beeinflusst werden soll.

Zeit Räumliche Eigenschaften

Die physische Umgebung ist kontinuierlich dynamisch. Diese Dynamik kann raum-zeitlicher Natur sein, die Zeit- und Rauminformationen kombiniert. Zum Beispiel ändert sich der Zustand eines physischen Objekts kontinuierlich entsprechend seiner Position in Raum und Zeit.

Kontext Eigenschaften

Der Kontext und die reale Umgebung, in der die physischen Aktivitäten ausgeführt werden, beeinflussen ihr Verhalten. So besteht beispielsweise ein enger Zusammenhang mit der physischen Bewegung eines Fahrzeugs und seiner Umgebung

2.5.1 BPMN4CPS Modellierungskonzept

Für die Umsetzung eines Cyber Physischen Prozesses sind laut des [BPMN4CPS](#) mindestens drei Pools nötig. Der erste Pool stellt den physischen Prozess dar, der zweite Pool den Cyber Prozess und der dritte einen Controller welcher für die Kommunikation zwischen dem Cyber Prozess und dem physischen Prozess orchestriert. Außerdem wurde der in Abbildung [2.10](#) sichtbaren Physical Task angelegt. Dieser unterscheidet zwischen einem Actuator's Task und einem Sensor's Task. Ein Actuator's Task nimmt einfluss auf den Zustand einer physical Entity während ein Sensor's Task dessen Zustand misst.

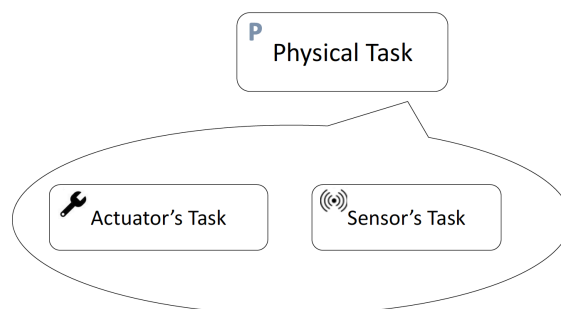


Abb. 2.10: Physical Task[[25](#)]

Des weiteren wurde der in Abbildung 2.11 zu sehende Cyber Task angelegt welcher eine Erweiterung des schon in BPMN bestehenden Service Task darstellt. Dieser Task besitzt drei Ausführungen den Embedded Service Task, welcher einen Cyber Task darstellt der an einem IoT Device selbst ausgeführt wird, den Web Service Task, bei dem die Aufgabe an einen Webservice weitergeleitet wird und den Cloud Service Task welcher von einem Cloud Service ausgeführt wird.

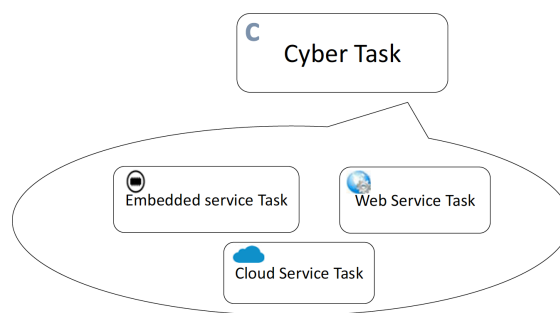


Abb. 2.11: Physical Task[25]

In der Abbildung 2.12 ist ein minimaler Beispielprozess des BPMN4CPS zu sehen. Wie beschrieben sind die drei Standard Pools eines CPS zu sehen. Im physischen Prozess wird der gemessene Zustand einer physischen Entität dem Controller mitgeteilt. Dieser leitet ihn an den Cyber Prozess weiter und führt selbst einen Embedded Service Task aus. Der Cyber Prozess führt zunächst einen Cloud Service Task aus und danach parallel einen Webserice Task sowie eine Cyber Activity, danach werden die Ergebnisse wieder dem Controller gesendet. Dieser wandelt sie in einen Befehl um welcher auf dem Physischen Prozess durch einen Actuator's activity ausgeführt wird, welche den Zustand einer physischen Entität ändert.

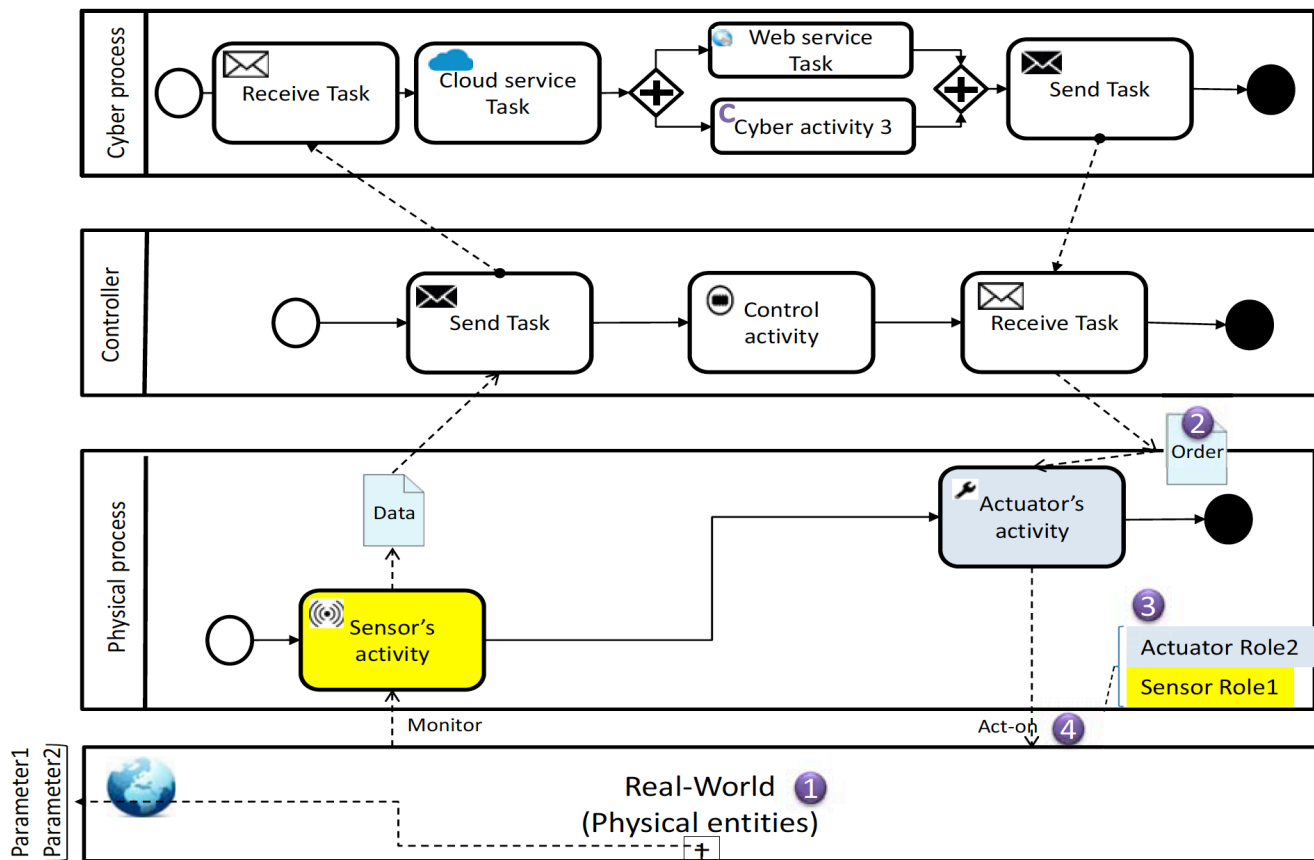


Abb. 2.12: Beispielprozess nach BPMN4CPS [25]

3 BPM und IoT

Obwohl IoT mittlerweile zum beliebten Schlagwort geworden ist, kämpfen viele immer noch mit dem Konzept, Prozesse auf IoT anzuwenden. BPM, in seinem Kern, nutzt den Workflow, um große Daten- und Informationsmengen zu verwalten, zu aktualisieren und zu verfolgen. Wenn zum Beispiel eine intelligente Uhr Daten von Ihrem Handgelenk empfängt, die sie dann an eine Fitness-Überwachungsapplikation überträgt, woher weiß sie dann, was sie mit diesen Informationen zu tun hat? Speichert es die Daten einfach in seinem Speicher? Schickt es die Daten an andere Anwendungen, die Ihre Gesundheit, Ihre Ernährung und Ihren Zeitplan für medizinische Besuche überwachen? Prozesse wie diese nutzen BPM, um intelligente Objekte und Anwendungen in der richtigen Reihenfolge zu verwalten. Das Volumen der Daten, mit denen wir täglich arbeiten, nimmt exponentiell zu, so dass es für uns eine absolute Notwendigkeit ist, diese Informationen beziehungsweise mit Prozessen besser zu verwalten. BPM erhöht den Wert des IoT durch die Verbindung von intelligenten Objekten. Dies wiederum erweitert ihre Integration und Orchestrierung. Da immer mehr Geräte angeschlossen werden und die IoT-Nutzung zunimmt, besteht eine größere Wahrscheinlichkeit für Chaos, dass durch die schnelle Vervielfältigung einzelner Schnittstellen ausgelöst wird. Intelligente Geräte senden Informationen von einem angeschlossenen Gerät über eine API, um eine Antwort zu aktivieren. Die Antworten können in einem kompletten Prozess orchestriert werden, wobei nachfolgende Antworten wie z.B. das Öffnen einer Autotür oder der systematische Zugriff auf bestimmte Dateien aufgerufen werden. Die Integration von BPM ermöglicht es, viele Dinge innerhalb des IoT richtig und nahtlos zusammen zu managen [2] .

3.1 Typische Muster und Best Practices von IoT Workflows

3.2 Unterschiede IoT Workflows zu regulären Workflows

Unterschied, device ist neuer akteur im Workflow

<http://www.integra-co.com/sites/default/files/Bizagi>

3.3 Evaluierungskriterien

- Entity based concept: While the service is the central concept of business processes in enterprise systems like ERP following nowadays a SOA based approach, the Physical Entity, and its associated devices having resources and providing services using a web like structure, are a key concept in the IoT domain [58]. Physical Entities relate to the real-world “things” that a business process is interested in. Devices are hardware that is associated to a Physical Entity, e.g. a tachometer measuring the velocity of a car. Resources are computational elements, e.g. sensor software hosted on the sensor device. An IAPMC shall support the entity based concept, but in the same way it shall be still integrable with current industry modelling standards.

- Distributed execution: In an enterprise environment the automated and semi-automated execution of a predefined and modelled business process is a huge benefit amongst many other leading to time and cost efficiency. In contrast to having one central process engine in one system, IoT-enabled processes would bring the possibility to distribute the process execution over many devices. An IAPMC shall support these distributed execution activities, while still supporting current business process engines following a one-device approach.

- Interactions: Business processes in the IoT introduce two additional forms of interactions: First, the device interacts or associates to Physical Entities. Second, the services that are known by enterprise systems processes interact with the software components of devices. An IAPMC shall provide means for expressing those types of interactions during process design.

- Distributed data: When business processes are realized in a nowadays enterprise system, often one central data storage is used. One potential of the IoT is the possibility to distribute data over several data storages. An IAPMC shall support arranging this distribution of data.

- Scalability: In enterprise systems business processes mainly use one central service repository having a relative static number of services. The IoT characterizes that multiple Physical Entities and its associated Devices and therewith its services can appear constantly. Even the associations between Physical Entities and Devices may vary. The complexity of an IoT-aware business process shall be independent from the number of Physical Entities, Devices and services. The IAPMC shall support means to cover

this complexity to modeller. Additionally, the growing number of Devices shall not influence the performance of the three process phases. Therefore, IAPMC shall support the definition of ratios. - Availability / Mobility: The availability of services in an enterprise system can be often considered as static. Due to the mobile nature of some Devices and Physical Entities participating in a defined business process, the availability of its related services might not be guaranteed throughout. This can affect the execution of a resolved business process in which an involved mobile Device or Physical Entity has become unavailable. The IAPMC shall support the disappearance and re-emergence of mobile process Devices or Physical Entities. - Fault tolerance: The availability of Devices in the IoT is uncertain. A business process relies on the presence and communication technology of a Device and its related services. Faults may result from the absence of Devices or its communication technology, while a business process still needs to be highly reliable. The IAPMC must support the fault tolerance of a business process. - Quality of Information: Within enterprise systems information can be mostly considered to be accurate. As Devices and its services providing, accessing and updating data with different levels of information accuracy may be involved in business process, the quality of an accessed data object may vary widely and its entropy can get uncertain. In order to deal with this difficulty, the IAPMC shall provide means to express the quality of information.

[24]

3.4 Bewertung der Modellierungsmethoden

3.5 Modellierungskonzept

4 Evaluierung

5 Schlussteil

5.1 Ergebnis

5.2 Fazit

5.3 Weiterführende Arbeit/ Ausblick

Literaturverzeichnis

- [1] Egham. (2017). Gartner Says 8.4 Billion Connected "Things" Will Be in Use in 2017, Up 31 Percent From 2016, Adresse: <https://www.gartner.com/newsroom/id/3598917> (besucht am 11. 12. 2017).
- [2] P. Ozil. (2015). BPM of Things: the Next Generation of the Internet of Things, Adresse: <http://data-informed.com/bpm-of-things-the-next-generation-of-the-internet-of-things/> (besucht am 12. 12. 2017).
- [3] C. Janiesch, A. Koschmider, M. Mecella, B. Weber, A. Burattin, C. Di Ciccio, A. Gal, U. Kannengiesser, F. Mannhardt, J. Mendling, A. Oberweis, M. Reichert, S. Rinderle-Ma, W. Song, J. Su, V. Torres, M. Weidlich, M. Weske und L. Zhang, „The Internet-of-Things Meets Business Process Management: Mutual Benefits and Challenges,“ *CoRR*, Jg. abs/1709.03628, 2017. arXiv: 1709.03628. Adresse: <http://arxiv.org/abs/1709.03628>.
- [4] N. Palmer. (2017). About BPM.com, Adresse: <https://bpm.com/about-us> (besucht am 18. 01. 2018).
- [5] —, (2014). What is BPM? Adresse: <https://bpm.com/what-is-bpm> (besucht am 18. 01. 2018).
- [6] D. Karagiannis, „BPMS: Business Process Management Systems,“ *SIGOIS Bull.*, Jg. 16, Nr. 1, S. 10–13, Aug. 1995, ISSN: 0894-0819. DOI: 10.1145/209891.209894. Adresse: <http://doi.acm.org/10.1145/209891.209894>.
- [7] E. Quirk. (2017). Key Takeaways from Gartner's 2017 Magic Quadrant for Intelligent Business Process Management Suites, Adresse: <https://solutionsreview.com/business-process-management/key-takeaways-gartners-2017-magic-quadrant-intelligent-business-process-management-suites/> (besucht am 22. 01. 2018).
- [8] R. Dunie, W. R. Schulte, M. Kerremans und M. Cantara. (2016). Magic Quadrant for Intelligent Business Process Management Suites, Adresse: <http://www.integra-co.com/sites/default/files/Bizagi%20on%20Gartner%20Quadrant%20-%20Reprint.pdf> (besucht am 22. 01. 2018).

- [9] M. Weiser. (1991). The Computer for the 21st Century, Adresse: <https://www.ics.uci.edu/~corps/phaseii/Weiser-Computer21stCentury-SciAm.pdf> (besucht am 22. 01. 2018).
- [10] M. Weiser, „Hot topics-ubiquitous computing,“ *Computer*, Jg. 26, Nr. 10, S. 71–72, Okt. 1993, ISSN: 0018-9162. DOI: [10.1109/2.237456](https://doi.org/10.1109/2.237456).
- [11] K. Ashton. (2009). That 'Internet of Things' Thing, Adresse: <http://www.rfidjournal.com/articles/view?4986> (besucht am 22. 01. 2018).
- [12] I. T. Union. (2012). Overview of the Internet of things, Adresse: <https://www.itu.int/rec/T-REC-Y.2060-201206-I> (besucht am 28. 12. 2017).
- [13] P. D. E. Fleisch. (2014). Internet der Dinge - Technische Grundlagen, Adresse: <http://www.enzyklopaedie-der-wirtschaftsinformatik.de/lexikon/informationssysteme/lexikon/technologien-methoden/Rechnernetz/Internet/Internet-der-Dinge/index.html> (besucht am 11. 12. 2017).
- [14] S. Haller, „The things in the internet of things,“ *Poster at the (IoT 2010). Tokyo, Japan, November*, Jg. 5, Nr. 8, S. 26–30, 2010.
- [15] G. Aagesen und J. Krogstie, „BPMN 2.0 for Modeling Business Processes,“ in *Handbook on Business Process Management 1: Introduction, Methods, and Information Systems*, J. vom Brocke und M. Rosemann, Hrsg. Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg, 2015, S. 219–250, ISBN: 978-3-642-45100-3. DOI: [10.1007/978-3-642-45100-3_10](https://doi.org/10.1007/978-3-642-45100-3_10). Adresse: https://doi.org/10.1007/978-3-642-45100-3_10.
- [16] M. von Rosing, S. White, F. Cummins und H. de Man, „Business Process Model and Notation—BPMN,“ in *The Complete Business Process Handbook*, M. v. Rosing, A.-W. Scheer und H. v. Scheel, Hrsg., Boston: Morgan Kaufmann, 2015, S. 433–457, ISBN: 978-0-12-799959-3. DOI: <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-799959-3.00021-5>. Adresse: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/B9780127999593000215>.
- [17] O. M. Group. (2016). Case Management Model and Notation, Adresse: <http://www.omg.org/spec/CMMN/1.1/PDF> (besucht am 16. 01. 2018).

-
- [18] B. Rücker. (2015). Case Management und CMMN für Entwickler, Adresse: <https://www.heise.de/developer/artikel/Case-Management-und-CMMN-fuer-Entwickler-2569883.html?seite=all> (besucht am 22.11.2017).
 - [19] S. Kleuker, „Grundkurs Software-Engineering mit UML,“ in. Vieweg + Teubner Verlag | Springer Fachmedien Wiesbaden GmbH 2011, 2011, Kap. Prozessmodellierung, S. 7–21.
 - [20] O. M. Group. (2015). OMG Unified Modeling Language (OMG UML) Version 2.5, Adresse: <http://www.omg.org/spec/UML/2.5/PDF> (besucht am 18.12.2017).
 - [21] A. Guenther. (2007). Geschäftsregelbasierte Prozessmodellierung, Adresse: <https://agilesprozessmanagement.wordpress.com/category/business-rules/> (besucht am 22.01.2018).
 - [22] I. Architecture, *Enabling Things to Talk*, A. Bassi, M. Bauer, M. Fiedler, T. Kramp, R. van Kranenburg, S. Lange und M. S., Hrsg. Springer, Berlin, Heidelberg, 2013. DOI: doi.org/10.1007/978-3-642-40403-0.
 - [23] I. .-. A. (2017). IoT-A, the EU lighthouse project on Internet of Things, Adresse: <http://www.meet-iot.eu/iot-a-explanation.html> (besucht am 10.01.2018).
 - [24] M. Sonja, S. Klaus, M. Carsten, D. Stefan und M. Thoma, „Project Deliverable D2.2 – Concepts for Modelling IoT-Aware Processes,“ in *Internet of Things Architecture IoT-A*, 2012. Adresse: <http://www.meet-iot.eu/iot-a-paper.html>.
 - [25] I. Graja, S. Kallel, N. Guermouche und A. H. Kacem, „BPMN4CPS: A BPMN Extension for Modeling Cyber-Physical Systems,“ in *2016 IEEE 25th International Conference on Enabling Technologies: Infrastructure for Collaborative Enterprises (WETICE)*, Juni 2016, S. 152–157. DOI: [10.1109/WETICE.2016.41](https://doi.org/10.1109/WETICE.2016.41).

Anhang

Unterbereich Anhang