

Entwicklung eines Architekturkonzepts zum flexiblen Einsatz von Analytics

Benedict Bender¹, Marcus Grum²

Abstract: Die optimale Dimensionierung von IT-Hardware stellt Entscheider aufgrund der stetigen Weiterentwicklung zunehmend vor Herausforderungen. Dies gilt im Speziellen auch für Analytics-Infrastrukturen, die zunehmend auch neue Software zur Analyse von Daten einsetzen, welche in den Ressourcenanforderungen stark variieren. Damit eine flexible und gleichzeitig effiziente Gestaltung von Analytics-Infrastrukturen erreicht werden kann, wird ein dynamisch arbeitendes Architekturkonzept vorgeschlagen, das Aufgaben auf Basis einer systemspezifischen Entscheidungsmaxime mit Hilfe einer Eskalationsmatrix verteilt und hierfür Aufgabencharakteristiken sowie verfügbare Hardwareausstattungen entsprechend ihrer Auslastung berücksichtigt.

Keywords: Analytics, Architekturkonzept, cyber-physische Systeme, Cloud, Internet of Things

1 Einleitung

Die IT-Infrastruktur von Unternehmen wird zunehmend komplexer. Dies umfasst sowohl die Hardware- als auch die Softwarekomponenten. Im Bereich der Hardware zeichnet sich dies u.a. durch eine zunehmende Anzahl vernetzter Geräte aus, welche Teil der Unternehmensinfrastruktur, und durch eine verstärkte Heterogenität der Geräte [XHL14]. Im Softwarebereich der IT-Infrastruktur werden für die Bewerksstellung der Aufgaben für die jeweiligen Aufgabenbereiche in den Unternehmen zunehmend spezialisierte Systeme eingesetzt. Das Enterprise Architecture Management (EAM) zielt auf die Ausrichtung der betrieblichen IT-Infrastruktur bzgl. der Bedürfnisse der Geschäftsaktivitäten ab. Dabei werden beide vorstehende Perspektiven (Hard- und Software) betrachtet.

Die Bedeutung von Auswertungen der im Rahmen der Betriebstätigkeit anfallenden Daten gewinnt zunehmend an Bedeutung. Beispielsweise werden im Produktionsumfeld mit dem Einsatz verschiedener Sensoren Informationen über den physischen Produktionsprozess erhoben, welche für die Steuerung des Prozesses genutzt werden können [VF14]. Mit Hilfe von vielfältigen Analytics-Ansätzen können auf Basis derartiger Sensorwerte Entscheidungen über das weitere Verfahren innerhalb des Produktionsprozesses systematisch untersucht, optimale Maßnahmen abgeleitet und

¹ Universität Potsdam, Lehrstuhl für Wirtschaftsinformatik, Prozesse und Systeme, August-Bebel-Str. 89, 14482 Potsdam, bbender@lswi.de

² Universität Potsdam, Lehrstuhl für Wirtschaftsinformatik, Prozesse und Systeme, August-Bebel-Str. 89, 14482 Potsdam, mgrum@lswi.de

anschließend im physischen Produktionsprozess automatisiert umgesetzt werden [BHV14]. Beispielsweise kann beim Abfüllen von Getränken überprüft werden, ob die gewünschte Füllmenge in einzelnen Flaschen erreicht wurde, worin ein Abweichen begründet ist, welche Maßnahmen in systematischen Untersuchungen optimale Ergebnisse erzielen und zur Umsetzung dann in die Produktion geleitet werden.

Stark sinkende Kosten für Datenverarbeitung, Sensorik und Aktorik sowie verbesserte Internetanbindungen haben die Verbreitung von cyber-physischen Systemen gefördert, welche Daten dezentral über eigene Sensoren wahrnehmen, dezentral über eigene Prozessoren auswerten und Aktoren Maßnahmen umsetzen können. Die Ausprägungen von CPS können sehr unterschiedlich sein. Von einzelnen vernetzten Sensoren bis hin zur vollintegrierten Produktionsmaschine. In diesem Kontext wird häufig vom Internet der Dinge oder auch Industrie 4.0 im Produktionskontext gesprochen. Nach einer Schätzung von Cisco wird die Anzahl der internetfähigen Geräte in den kommenden Jahren deutlich steigern: Während 2010 noch 12,5 Milliarden Geräte im Einsatz waren, wird für 2020 bereits der Einsatz von 50 Milliarden Geräten erwartet [Ev11]. Dies soll den rasanten Anstieg an netzwerkfähigen Geräten sowie das Ausmaß der damit verbundenen Daten verdeutlichen [AIM10]. Die Rolle einer zeitnahen bzw. Echtzeitauswertung der Informationen nimmt hier einen größeren Stellenwert ein als zuvor, da Tages-, Wochen- oder Monatsberichte für eine operative Steuerung der Produktionsprozesse ungeeignet sind [Mi12]. Die Praktikabilität eines Data Warehouses zur zentralisierten Vorhaltung der Informationen ist somit zu hinterfragen, da die Entscheidungen zeitnah und im entsprechenden Steuerungssystem bzw. dezentral an den einzelnen Komponenten zu finden sind. Der Berechnungsaufwand sowie die Zeitkritikalität der Analyseaufgaben variiert und dementsprechend ist für jede Analyseaufgabe eine adäquate Verarbeitung entsprechend der verfügbaren Hardware sicherzustellen. Ein hier entwickelter Ansatz soll Hilfestellung leisten.

Beim Aufbau von Hardwareinfrastrukturen stellt das Finden einer angemessenen Balance von Flexibilität und Effizienz eine wesentliche Herausforderung dar. Dabei stellt die Dimensionierung der Hardwarekomponenten ein wesentliches Merkmal dar. Angesichts langer Einsatzzeiträume realisierter Hardwareinfrastrukturen und einer komplexen Abschätzung des zukünftigen Bedarfs, bringen Ineffizienzen in dem Aufbau langwährende Konsequenzen mit sich. Weiterhin ist die Wirtschaftlichkeit in Bezug auf die Dimensionierung von großer Bedeutung. Eine auf *Flexibilität* ausgerichtete Infrastruktur hält tendenziell mehr Ressourcen vor, resultiert somit aber in höheren Kosten und ist tendenziell nicht ausgelastet. Eine auf *Effizienz* ausgerichtete Infrastruktur hält weniger Ressourcen vor und ist somit günstiger und ausgelasteter, welches bei vielen gleichzeitigen Aufgaben zu einer verzögerten Verarbeitung führen kann. Die Frage der Dimensionierung stellt sich besonders bei dem Einsatz vieler dezentraler IT-Komponenten, welche im Kontext des Internets der Dinge oder der Industrie 4.0 zunehmend an Bedeutung gewinnen. Da die einzelnen dezentralen Komponenten, häufig auch als cyber-physische Systeme (CPS) bezeichnet werden und meist nur für ihre speziellen Einsatzzwecke ausgelegt sind, kann eine mögliche Überkapazität bei einer auf Flexibilität ausgelegten Infrastruktur nicht für weitere Aufgaben innerhalb der IT-

Infrastruktur genutzt werden [VF14]. Zentrale Infrastrukturen können deutlich universeller fungieren und auch dezentral anfallende Aufgaben bearbeiten, womit jedoch eine Übertragung der dafür notwendigen Daten und ggf. Anweisungen notwendig wird. Der hier entwickelte Ansatz soll sich diesen Herausforderungen stellen.

Im Kontext des EAM soll somit ein dynamisches Architekturkonzept entwickelt werden, welches den flexiblen Einsatz von Analytics unter Beachtung von Ressourcenbeschränkungen der unterschiedlichen IT-Infrastrukturkomponenten effizient ermöglicht. Hierfür wird im folgenden Abschnitt der Aufbau von Analytics-Infrastrukturen als Ansatzpunkt für das Architekturkonzept beschrieben. Im dritten Abschnitt wird das Architekturkonzept und damit verbundene Annahmen erläutert, aufbauend wird eine Entscheidungsmaxime gezeigt. Im fünften Abschnitt erfolgt im Rahmen eines Ausblicks der Verweis auf einen Evaluationsansatz für die entwickelte Lösung.

2 Analytics-Infrastrukturen

Als Ausgangspunkt für das flexible Analytics-Architekturkonzept dient im folgenden eine Analytics-Infrastruktur in Anlehnung an „TwinCAT Analytics“ [Pa16], welche in Abb. 1 dargestellt ist.

Es wird deutlich, dass Endkunden über diverse cyber-physische Systeme mit variierenden Ausstattungsmerkmalen verfügen, die mittels einer Netzwerk- bzw. Internet-typischen Kommunikation Informationen austauschen können. Analytics-Aufgaben können somit auf dem CPS selbst ausgeführt werden, oder aber auf eine lokale oder in eine öffentliche Cloud verlagert werden. Auf der jeweiligen Analytics-Ebene müssen hierfür eigene Prozessoren zur Auswertung und eigene Speicher zur Datenhaltung zur Verfügung gestellt werden. Für eine weitere Differenzierung können diese Ebenen entsprechend ihrer Fähigkeiten unterschieden werden [Ko10]. Zu Beginn wird davon ausgegangen, dass Architekturebenen Aufgaben tieferliegender Ebenen berechnen können, ohne koordinierende Funktion nicht jedoch umgekehrt. Beispielsweise kann die Local Cloud Berechnungen anstelle der CPS durchführen, diese jedoch nicht anstelle der Local Cloud, was zum einen in der stärker ausgeprägten Abstraktionsfähigkeit höherer Ebenen begründet ist – hier sind mehr Funktionen implementiert, die auf tieferen Ebenen nicht zur Verfügung stehen. Zum anderen kann dies durch den weiterreichenden Einflussbereich bzw. deren größeren Reichweite im Sinne ihres Umgebungsbewusstseins erklärt werden [Ko10]. So werden höhere Systeme über eine größere Anzahl weiterer Systeme gekoppelt und verfügen über zusätzliche Informationen, die in den von tieferen Systemen verfügbaren Daten nicht enthalten sind. Weiterhin können externe Hardwarekomponenten oder dritte Analysten über Schnittstellen in die Auswertung integriert werden.

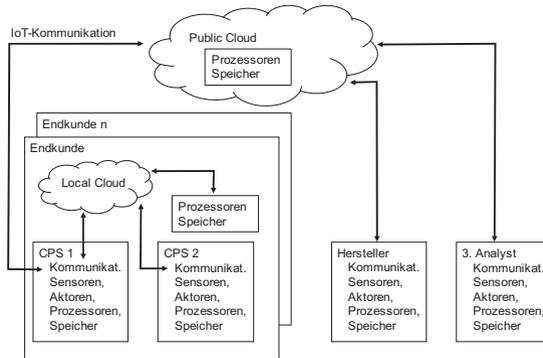


Abb. 1: Analytics-Infrastruktur im Kontext der Industrie 4.0

Die Durchführung der Aufgabenverarbeitung ist somit in Abhängigkeit von der Ausgestaltung der bei den Akteuren verbauten Hardwarekomponenten zu wählen, sodass der *Ressourcenbedarf* einer Analyticsaufgabe erfüllt wird. Ausgehend von der Annahme, dass die verfügbaren Prozessoren-, Kurz- und Langzeitspeicherelementen zu sich unterscheidenden Kostenbedingungen zum Einsatz kommen, können relevante Einheiten entsprechend ihrer *Leistungsfähigkeit* und *Verfügbarkeit* im Sinne einer Auslastung als betriebliche Ressource identifiziert werden und bedürfen einer Steuerung hinsichtlich ihrer Prozessoren, Sensoren, Aktoren und Kommunikationsmöglichkeiten. Diese entsprechen den typischen Komponenten eines CPS [Ve13]. Eine Messung auf Erfolg sollte sich somit an betrieblichen Kennzahlen orientieren, wie beispielsweise für Prozesse den Berechnungskosten je Bearbeitungszeit, für RAM der Speichernutzung je Operation, einer bereichsspezifischen Netzwerkauslastung, oder dergleichen Key Performance Indicators.

Die Verortung der Aufgabenverarbeitung ist weiter in Abhängigkeit von dem Berechnungsaufwand der jeweiligen Analyticsaufgabe zu wählen. Es ist anzunehmen, dass der Fokus von operativen CPS auf der Realisierung ihrer operativen Tätigkeit liegt, nicht jedoch auf der Auswertung von Analyticsaufgaben über den eigenen *Kontext* hinaus. So ist beispielsweise die Bestimmung des optimalen Wartungszeitpunktes einer Maschine bei der Maschine selbst sinnvoll verortet, die Bestimmung sämtlicher Wartungszeitpunkte in Anbetracht der gesamten Produktion und bestehender Abhängigkeiten jedoch auf einem besser ausgestatteten Analytics-Systemen. Dies verdeutlicht, dass Aufgaben größerer Kontexte mit einem höheren Berechnungsaufwand und zumeist höheren Aggregationsebenen einher gehen. Ausgehend von dem Kontext, können simple Events im Rahmen eines *event-driven Analytics* vermehrt auf Ebene der CPS verortet werden, komplexere Events auf Ebenen größerer Kontexte. Im Rahmen eines *data-driven Analytics* kann davon ausgegangen werden, dass explorierende Methoden in einem engen Kontext weniger Berechnungsaufwand erfordern als Aufgaben größerer Kontexte.

Eine Verortung der Aufgabenverarbeitung hängt weiter an der *Parallelisierbarkeit* der

jeweiligen Analyticsaufgabe ab. Aufgaben, die nicht verteilt prozessiert werden können, erfordern Analyticskomponenten mit leistungsfähigeren Ausprägungen. So ist z.B. die Verarbeitung einer zeitlichen Sequenz einer Produktionsmaschine nur im Gesamten aussagekräftig, kann nicht zerteilt und verteilt berechnet werden, die Analyse unabhängiger Informationen wie zeitliche Muster verschiedener Maschinen jedoch schon.

Zusammenfassend kann eine Verortung der Analyticsaufgaben entsprechend folgender Aufgabencharakteristiken geschehen: Ressourcenbedarf, Kontext (event-driven und data-driven) und Parallelisierbarkeit. Charakteristiken einer Hardware (Leistungsfähigkeit und Verfügbarkeit) sind im Architekturkonzept ebenso genüge zu tun. Hierbei ist insbesondere zwischen statischen (z.B. Leistungsfähigkeit) und dynamischen Aspekten (z.B. Verfügbarkeit im Sinne der gegenwärtigen Auslastung) zu unterscheiden.

3 Architekturkonzept

In diesem Abschnitt erfolgt die Entwicklung des Architekturkonzepts und den damit zusammenhängenden Entscheidungshilfen. Für Entwicklung des Architekturkonzepts wird in Anlehnung an der gezeigten Analytic-Infrastruktur von einer schematischen, dreistufigen Informationsinfrastruktur ausgegangen (siehe Abb. 2), welche in Abhängigkeit von den vorhandenen Aggregationsebenen im betrieblichen Kontext beliebig erweitert werden können. Beispielsweise können private Clouds auf Produktionsbereichs-, Abteilungs- oder Unternehmensebene existieren.

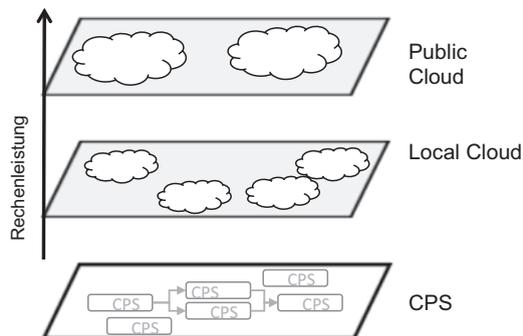


Abb. 2: Architekturkonzept mit unterschiedlichen Ebenen

Auf der untersten Ebene befinden sich alle im operativen Leistungserstellungsprozess tätigen Infrastrukturkomponenten, nicht jedoch übergeordnete Systeme, welche für mehrere Bereiche des Unternehmens tätig sind. Am Beispiel der Produktion umfasst die CPS-Ebene einzelne Maschinen, welche am Herstellungsprozess beteiligt sind. Die mittlere Ebene umfasst die im Unternehmen übergreifend Hardwarekomponenten,

welches zumeist eine zentrale Recheninfrastruktur oder sogar ein Rechenzentrum umfasst. Hier werden für das Unternehmen zentral tätige Dienste und Systeme wie z.B. ein ERP-System oder Dokumentenmanagement als lokaler Cloud-Service betrieben. Die dritte Ebene (Public Cloud) ist nicht direkt Teil der Unternehmensinfrastruktur. Diese Ebene umfasst Ressourcen ausstehender Unternehmen, welche gemietet werden können und sich durch eine hohe Skalierbarkeit auszeichnen [Gu13]. Die Rechenleistung der auf der jeweiligen Ebene zur Verfügung stehenden Komponenten steigt mit zunehmender Ebene an.

Im Kontext der Analytics stellt sich die Frage, auf welcher der Ebenen die unterschiedlichen Analyseaufgaben prozessiert werden sollten. Wie dem zweiten Abschnitt entnommen werden kann, können Analysefragestellungen und Hardware unterschiedlicher Charakterisierungen identifiziert werden. Abb. 3 stellt die Bearbeitungsdauer von Aufgaben auf den drei Ebenen des vorgestellten Architekturkonzepts in Abhängigkeit des jeweils benötigten Berechnungsaufwandes dar. In der Annahme, dass die für die Analyse erforderlichen Daten auf der untersten CPS-Ebene entstehen, ist für die Bearbeitung auf einer übergeordneten Ebene die Übertragung der hierfür erforderlichen Daten von Nöten, welche zusätzlich Zeit erfordert und in der vorliegenden Grafik als Bias interpretiert werden kann. Für die CPS-Ebene entfällt eine derartige initiale Übertragungsdauer, da eine Auswertung auf dem CPS selbst geschieht. Weiter liegt die Annahme zugrunde, dass höhere Ebenen des vorgestellten Architekturkonzepts mehr Rechenleistung der Prozessierung der jeweiligen Aufgaben zur Verfügung stellen können, eine Bearbeitung somit schneller erfolgen kann und ein Anstieg der jeweiligen Geraden flacher ausfällt. Beispielsweise ist bei der Bearbeitung einer Analyseaufgabe auf der zweiten Ebene vor Beginn der Bearbeitung die, ggf. vollständige, Übertragung der Rohdaten erforderlich, welche in Abhängigkeit von der Anbindung nennenswert Zeit in Anspruch nehmen kann. Der Anstieg mit zunehmendem Berechnungsaufwand hingegen ist deutlich geringer als auf der untersten Ebene, da leistungsfähigere Ressourcen zur Verfügung stehen. Die Bearbeitung auf der dritten Ebene (Public Cloud) setzt eine zusätzliche Übertragung voraus und ist mit einer Initialisierung verbunden, insofern die Ressourcen nicht bereits angemietet wurden und zur Verfügung stehen. Dementsprechend ergibt sich hierfür der größte Initialaufwand, dementsgegen allerdings die leistungsfähigsten Ressourcen stehen.

Die Vorteilhaftigkeit jeder Ebene ist in der Abbildung anhand der blau eingezeichneten Vorteilsbereiche ersichtlich. Die Grenzen finden sich jeweils in den Schnittpunkten der zugehörigen Funktionen, sodass leicht die zeitoptimalen Ebenen identifiziert werden können. Zur Vereinfachung ist in der Abbildung exemplarisch jeweils nur ein Vertreter je Ebene ersichtlich. Da andere Systeme gleicher Ebenen verschiedene Hardwarecharakteristiken aufweisen können und ein sich unterscheidender Kommunikationsaufwand für dessen Ansprache erforderlich ist, zeigt sich dies in Funktionen verschiedener Neigungen und Schnittpunkte mit der y-Achse. Für eine vertikale Eskalation, also der Übertragung einer Aufgabe von einem System der einen Ebene auf ein System einer nächsten Ebene, wäre dann das System der nächsten Ebene zu bevorzugen, welches für die entsprechende Aufgabe den besseren Wert aufweist.

Exemplarisch zeigt Abb. 3 die aufwärtsgerichtete, vertikale Eskalation einer Beispielaufgabe von der privaten Cloud in eine öffentliche Cloud.

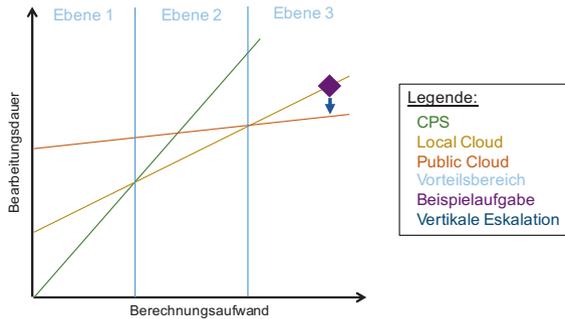


Abb. 3: Vorteilhaftigkeit identifizierter Architekturebenen

Weiterhin denkbar ist eine horizontale Eskalation, welche analog die Übertragung einer Aufgabe von einem System der einen Ebene auf ein System der gleichen Ebene bezeichnet. In der Grundversion der Aufgabendistribution (siehe nächster Abschnitt) wird diese Option zur Vereinfachung noch nicht integriert, da hierfür zusätzliche Abhängigkeiten beachtet werden müssten.

4 Entscheidungsmaxime

Angesichts verschiedener Aufgabencharakterisierungen sollen Aufgaben entsprechend ihres Bedarfs an Berechnungsaufwand und der verfügbaren Berechnungsleistungen (s. Hardwarecharakterisierung) den Architekturebenen zugeordnet werden. Als Grundlage für diese Entscheidung dient im Folgenden deren Wichtigkeit als die Bedeutung der Aufgabe für das Gesamtsystem (z.B. Betrachtung der Auswirkungen für das Gesamtsystem wenn die Aufgabe nicht ausgeführt wird), sowie die Dringlichkeit als Kehrwert der verbleibenden Zeit bis das Ergebnis der Berechnung vorliegen muss. Diese beiden Kriterien werden für die folgende Betrachtung unter dem Begriff der Priorität subsumiert. Die Priorisierung kann weiterhin anhand der für das individuelle System relevanten Dimensionen wie z.B. den Bearbeitungskosten, der erforderlichen Bearbeitungsqualität u.v.m. vorgenommen werden.

Abb. 4 zeigt vier verschiedene Strategien wie mit Aufgaben in Abhängigkeit der zuvor beschriebenen Dimensionen umgegangen werden soll, bzw. ob eine Aufgabe auf der betrachteten Architekturebene prozessiert oder auf eine höhere Architekturebene eskaliert werden soll. Da die Daten entsprechend den Annahmen auf der untersten Ebene des Architekturmodells entstehen, erfolgt die Betrachtung beginnend bei der Ebene einzelner CPS. Die dargestellte Entscheidungsmaxime kann jedoch analog für weitere Ebenen und den dort anfallenden Aufgaben angewendet werden. Der Schnittpunkt der gestrichelten Linien aus Abb. 4 kann den Funktionsschnittpunkten der jeweiligen

Ebenen zugeordnet und somit anschaulich interpretiert werden (vgl. Abb. 3).

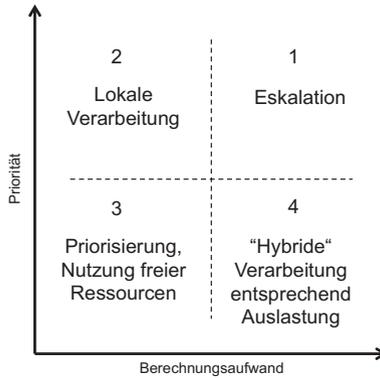


Abb. 4: Eskalationsmatrix als ebenenspezifische Entscheidungsmaxime

Ist eine Aufgabe von hoher Priorität und erfordert einen geringen Berechnungsaufwand, so sollte diese lokal verarbeitet werden, da die Ergebnisse zeitnah benötigt werden und vorhandene Ressourcen die Aufgabe bewältigen können (siehe Quadrant 2). Im Fokus stehen hier Analytics-Aufgaben, dessen Events für die Ebene adäquate Komplexität und Datenkontexte aufweisen und sich mit der Hardwareleistungsfähigkeit und -verfügbarkeit im Fit befinden.

Eine Aufgabe mit geringer Priorität und geringem Berechnungsaufwand wird dem dritten Quadranten zugeordnet und sollte entsprechend der gegenwärtigen Auslastung des CPS in Zeiten mit freien Kapazitäten bearbeitet werden. Erfolgt die Bearbeitung allerdings nicht rechtzeitig, kann diese Aufgabe zu einer Typ 2-Aufgabe werden und erfährt eine Prioritätsaufwertung. Die Hardwareleistungsfähigkeit und -verfügbarkeit spielt zunächst nur eine untergeordnete Rolle.

Eine Aufgabe mit hoher Priorität und intensivem Berechnungsaufwand (Quadrant 1), der die Kapazitäten auf der Ebene ggf. sogar überschreitet, sollte auf eine höhere Architekturebene eskaliert werden, um eine rechtzeitige Bearbeitung der umfangreichen Aufgabe sicherzustellen. Im Fokus stehen hier Analytics-Aufgaben, die für die Ebene zu komplexe Events und zu großer Datenkontexte aufweisen.

Für Aufgaben mit großer Intensität und geringer Priorität (Quadrant 4) bietet sich eine hybride Verarbeitung an. Dabei kann ein Teil der Aufgaben auf eine höhere Ebene eskaliert werden und eher weniger aufwendige Berechnungsschritte auf der Ebene selbst ausgeführt werden. Im Fokus stehen hier Analytics-Aufgaben, die für die Ebene zu komplexe Events und zu großer Datenkontexte aufweisen und zumindest teilweise relativ gut verteil- bzw. parallelisierbar sind.

Die Nutzung des vorgestellten Architekturkonzepts unter Beachtung der Ressourcen- und Zeitbedarfe der entsprechenden Aufgaben eignet sich nicht nur für Aufgaben,

welche auf Basis von Sensorik im operativen Geschäftsbetrieb (z.B. Produktion) entstehen. Als Entscheidungsmaxime ist für jeden Analytics-Teilnehmer in der beschriebenen Infrastruktur für die effiziente Auswahl der entsprechenden Verarbeitungsebene die obenstehende Eskalationsmatrix zu implementieren, sodass eine Aufgabenverteilung flexibel und zugleich dezentral realisiert werden kann.

5 Limitationen, Validierung und Ausblick

Im Zuge einer initialen Ideenformulierung findet sich im Folgenden eine Sammlung von Limitationen der gezeigten Ansätze, welche im Zuge von einer Validierung berücksichtigt und sukzessive verringert werden sollten.

Es sei angemerkt, dass für die Ermittlung der architekturebeneninherenten Vorteile initial lineare Zusammenhänge angenommen werden, welche sich in Untersuchungen bestätigen müssen. In aufbauenden Modifikationen müssen ebenso relevante Einflussfaktoren auf Steigung und Bias der jeweiligen Funktionen nähergehend untersucht werden.

Die gezeigten Ausführungen fokussieren die Bearbeitungsdauer und Berechnungsaufwand zur Verdeutlichung der Vorteile exemplarischer Architekturebenen. Andere KPIs können analog gehandhabt werden, resultieren vermutlich jedoch in variierenden Vorteilsebenen. Ein Unterschied wäre hier zu identifizieren und weiter ist ein integrierter Ansatz zu schaffen.

Vielversprechend ist weiter eine Ausgestaltung der x- und y-Achsen des Architekturkonzepts. Beispielsweise ist anzunehmen, dass die Wahl nah verorteter Systeme Auswirkungen auf den Verlauf der Ebenenfunktionen hat (z.B. durch eine bessere Anbindung und kürzere Netzwerklatenzen). Die Vermessung nah verorteter Systeme kann jedoch auf verschiedene Weisen geschehen. Beispielsweise seien hier eine physische Verortung oder eine Verortung auf Basis von Übertragungsgeschwindigkeiten aufgeführt.

Im Zuge von Validierungsläufen sind diverse Hardwarekonfigurationen und Aufgabenszenarien entsprechend des Architekturmodells zu schaffen und Aufgabenprozessierungen entsprechend der Eskalationsmatrix zu simulieren. In systematischen Simulationen können Parameter gezielt variiert werden, sodass auf die Tauglichkeit der Entscheidungsmaxime geschlossen werden kann. Anzunehmen ist, dass Aufgaben flexibel und effizient bearbeitet werden können. Gegebenenfalls können Modifikationen in der Eskalationsmatrix leicht auf eine Verbesserung geprüft werden.

Weiter sind dynamische Entwicklungen im Verlauf der Zeit zu berücksichtigen. Diese können sich von kurzfristigen Entwicklungen bspw. in Folge von aktuellen Auslastungen, bis hin zu längerfristigen Entwicklungen wie der Neugestaltung von Public-Cloud-Verträgen erstrecken. Zeitrelevante Einflussfaktoren sind somit ebenso zu

erheben sowie in den Validierungsläufen zu berücksichtigen.

Im Sinne eines Benchmarkings kann der erarbeitete Ansatz im Vergleich zu alternativen Ansätzen Störfaktoren unterzogen werden, sodass Grenzen der Ansätze identifiziert werden können und sich individuellen Stärken und Schwächen zeigen lassen.

Literaturverzeichnis

- [AIM10] Atzori, L.; Iera, A.; Morabito, G.: The Internet of Things: A survey. In *Computer Networks*, 2010, 54; S. 2787–2805.
- [BHV14] Bauernhansl, T.; Hompel, M. ten; Vogel-Heuser, B. Hrsg.: *Industrie 4.0 in Produktion, Automatisierung und Logistik. Anwendung, Technologien, Migration*. Springer Vieweg, Wiesbaden, 2014.
- [Ev11] Evans, D.: *Das Internet der Dinge. So verändert die nächste Dimension des Internet die Welt*, 2011.
- [Gu13] Gubbi, J. et al.: Internet of Things (IoT). A vision, architectural elements, and future directions. In *Future Generation Computer Systems*, 2013, 29; S. 1645–1660.
- [Ko10] Kortuem, G. et al.: Smart objects as building blocks for the Internet of things. In *IEEE Internet Computing*, 2010, 14; S. 44–51.
- [Mi12] Miorandi, D. et al.: Internet of things. Vision, applications and research challenges. In *Ad Hoc Networks*, 2012, 10; S. 1497–1516.
- [Pa16] Pascal, D.: TwinCAT beherrscht Big Data. In *PC-Control*, 2016; S. 15–18.
- [Ve13] Veigt, M. et al.: Entwicklung eines Cyber-physischen Logistiksystems. In *Industrie Management*, 2013; S. 15–18.
- [VF14] Vermesan, O.; Friess, P.: *Internet of things. From research and innovation to market deployment*. River Publishers, Aalborg, 2014.
- [XHL14] Xu, L. D.; He, W.; Li, S.: Internet of Things in Industries: A Survey. In *IEEE Transactions on Industrial Informatics*, 2014, 10; S. 2233–2243.