Gesellschaft für Informatik e.V. (GI) GI. (Hrsg.): INFORMATIK 2021,
Lecture Notes in Informatics (LNI), Gesellschaft für Informatik, Bonn 2021 1441

# Auswahl einer IoT-Plattform für die Integration von operativen Anlagendaten an deutschen Flughäfen: Vorgehen und Lessons-Learned

Michael Freiberger[1], Sebastian Floerecke[2], Christoph Ertl[3], Alexander Herzfeldt[4]

**Abstract:** Internet-of-Things (IoT)-Technologien eröffnen Flughäfen neue Möglichkeiten, Zustände verschiedener Anlagen am Standort zu erfassen, zu verarbeiten und damit zu steuern. Diese Technologien fungieren als Enabler neuartiger Geschäftsmodelle. Zur Realisierung solcher Geschäftsmodelle muss ein geeignetes IoT-Gesamtsystem – Sensorik, Übertragungstechnik und zentrale IoT-Plattform – geschaffen werden. Der Flughafen München, Analyseobjekt dieser Praxisstudie, beabsichtigt, eine IoT-Plattform zu beschaffen. Nachdem gegenwärtig über 600 Anbieter weltweit miteinander konkurrieren, deren Angebote jeweils unterschiedliche Funktionalitäten und Qualitätseigenschaften umfassen, handelt es sich dabei um ein komplexes Vorhaben. Die Forschung liefert bislang kein ausreichend dokumentiertes Vorgehensmodell für Unternehmen, um die für sie unter Berücksichtigung funktionaler und nicht-funktionaler Anforderungen geeignetste IoT-Plattform auszuwählen. Um diese Lücke zu adressieren, wurden in dieser Praxisstudie verschiedene Methoden miteinander kombiniert, um dadurch einen wissenschaftlich fundierten und praxisorientierten Ansatz zu entwickeln. Damit wurden vorselektierte IoT-Plattformen vergleichend bewertet. Unternehmensentscheider erhalten einen Leitfaden und einen initialen Katalog an Bewertungskriterien zur Auswahl einer IoT-Plattform für ihre unternehmensspezifischen Anwendungsfälle und daraus resultierenden Anforderungen.

**Keywords:** Internet-of-Things (IoT), IoT-Plattform, Tool-Vergleich, Requirements-Engineering, Bewertungsmatrix, Nutzwertanalyse, Experteninterviews, Fallstudie

## 1 Ausgangssituation und Zielsetzung

Die Flughafen München GmbH (FMG) betreibt mit ihren 22 Tochter- und Beteiligungsgesellschaften den Münchner Flughafen. Das bayerische Luftverkehrsdrehkreuz ist Deutschlands zweitgrößter Flughafen und Europas einziger Fünf-Sterne-Airport. Als sogenannter Full-Service-Operator bietet die FMG auf einer Fläche von 1.575 Hektar neben den Leistungen des Airport-Managements auch Geschäfte, Restaurants, Bürogebäude, Parkplätze und weitere Services an. Um auch zukünftig handlungsfähig und wirtschaftlich erfolgreich zu bleiben, ist die FMG gegenwärtig dabei, den Flughafencampus schrittweise als Smart-City zu realisieren. Dies erfordert unter anderem, technische Anlagen und Geräte derart zu vernetzen, dass dadurch ein positiver ökonomischer und ökologischer Effekt entsteht.

[1] Flughafen München, Servicebereich IT, Nordallee 25, 85356 Freising, michael.freiberger@munich-airport.de
[2] Universität Passau, Lehrstuhl für Wirtschaftsinformatik mit Schwerpunkt Informations- und IT-Service-Management, Innstraße 43, 94032 Passau, sebastian.floerecke@uni-passau.de
[3] Flughafen München, Servicebereich TE, Nordallee 25, 85356 Freising, christoph.ertl@munich-airport.de
[4] Technische Universität München, Fakultät für Informatik, Boltzmannstraße 3, 85748 Garching bei München, aherzfeldt@gmx.de

CC BY SA

Während die Umsetzung für gewachsene Städte eine hochkomplexe Aufgabe darstellt [PF15], hat ein Flughafenbetreiber einen entscheidenden Vorteil: Als Eigentümer von Grundstücken, Gebäuden, Infrastruktur, Energieversorgung und vielem mehr kann er die Lösungen aus einer Hand planen und gestalten. Zudem ist die Fläche begrenzt. Voraussetzung der Strategie „Smart-City“ ist, Eigenschaften und Zustände verschiedener zentraler Anlagen und Geräte am Standort zu erfassen, zu verarbeiten, zu visualisieren und Anlagen so zu steuern. Dafür werden am Flughafen München bestehende Sensoren und Datenquellen, wie zum Beispiel die Gebäudeautomation, mit zusätzlichen Sensoren an noch nicht digital erfassten Objekten (Beispiel: Wasserzähler) verbunden. Ein spezifisches IoT-Funknetzwerk wurde bereits aufgebaut. Bislang umgesetzte Anwendungsfälle sind unter anderem die zustandsbasierte Optimierung des Lüftungsanlagenbetriebs, das Auslesen von Wasser- und Stromzählern und die Überwachung der Luftqualität in Besprechungsräumen.

Eine zentrale IoT-Plattform, die Daten sammelt, verarbeitet, anzeigt und auswertet und neben der Sensorik und der Datenübertragung den dritten integrale Bestandteil von IoT darstellt [PH14], wurde noch nicht realisiert. Die komplette IoT-Kette soll zukünftig sowohl FMG-internen (Fachabteilungen) als auch externen Kunden wie Bodenabfertiger, Reinigungsfirmen und Behörden bereitgestellt werden. Die FMG möchte insgesamt die Effizienz ihrer bestehenden Geschäftsprozesse erhöhen und zugleich ihren Kunden weitere Services anbieten. Die IoT-Services sollen den Service-Katalog im Bereich der digitalen Dienste erweitern und zusätzliche Umsätze generieren. Eine IoT-Plattform ist dafür unabdingbar. Ansonsten könnten Daten zwar erfasst werden, aber den Kunden nur als Rohdaten (Datenbank, Dateien oder Streams) zur Verfügung gestellt werden. Erfahrungsgemäß möchten Kunden allerdings meist keine zusätzliche Software erwerben, um auf Basis der generierten Daten einfache Graphen darzustellen oder Benachrichtigungen über Ereignisse zu erhalten. Deshalb soll hier eine IoT-Plattform zentral beschafft und mit den Daten der Kunden angereichert werden. Kunden sollen zukünftig mit einer seitens der FMG bereitgestellten Cloud-Anwendung ihre Daten einsehen und beliebig weiterverarbeiten können.

Die FMG steht somit vor der Herausforderung, eine geeignete IoT-Plattform auszuwählen. Da derzeit über 600 Anbieter miteinander konkurrieren, deren IoT-Plattformen jeweils unterschiedliche Funktionalitäten und Qualitätseigenschaften umfassen und damit für beliebige Anwendungsszenarien nicht gleichermaßen geeignet sind sowie aufwendig in die Unternehmenslandschaft eingebunden werden müssen [LP19], handelt es sich dabei um einen komplexen Entscheidungsprozess. In Ergänzung zum bereits in der Literatur vorhandenen Modell von Lempert und Pflaum [LP19] sind neben den funktionalen Anforderungen ebenfalls nicht-funktionale Anforderungen zu berücksichtigen, um eine IoT-Plattform auf strategischer Entscheidungsebene auszuwählen [SH20, Ti06].

Um eine Auswahlentscheidung zu treffen, ergeben sich aus Sicht der Autoren nachfolgende Fragen (Tabelle 1), die innerhalb dieses Praxisbeitrags beantwortet werden. Die Fragen lassen sich den beiden Phasen Analyse und Bewertung zuordnen.

| Phase | Frage |
|---|---|
| **Analyse** | Wer sind die Stakeholder einer IoT-Plattform? |
| | Welche Anforderungen hat die FMG an eine IoT-Plattform? |
| | Welche Auswahlkriterien können von den Anforderungen abgeleitet werden? |
| | Was sind die gegenwärtig führenden IoT-Plattformen auf dem Markt? |
| **Bewertung** | Inwieweit werden die Kriterien seitens der einzelnen IoT-Plattformen erfüllt? |
| | Welche IoT-Plattform ist gemäß der Bewertung am besten geeignet? |

Tab. 1: Leitende Fragestellungen an die Auswahl einer IoT-Plattform

Der Beitrag ist wie folgt aufgebaut: Kapitel 2 befasst sich mit den Grundlagen von IoT. Kapitel 3 beschreibt das Forschungsdesign. Danach wird für die Analyse ein dreistufiger Prozess, bestehend aus Stakeholderanalyse, Use-Case-Auswahl und Anforderungsermittlung, angewandt (Kapitel 4). Die Kapitel 5 und 6 beinhalten die Bewertung vorausgewählter IoT-Plattformen hinsichtlich ihrer Abdeckung der ermittelten Anforderungen beziehungsweise die Realisierung der Sieger-Plattformen via Proof-of-Concepts (PoCs). Am Ende werden die der Bewertung und der PoCs folgenden Schritte und abgeleitete Lessons-Learned vorgestellt sowie Limitationen und weiterer Forschungsbedarf thematisiert.

## 2 Grundlagen von Internet-of-Things

Internet-of-Things (IoT) beschreibt die Vernetzung physischer Gegenstände aller Art, die mit Sensoren, Aktuatoren und Rechenleistung ausgestattet sind [PH14]. Dabei werden Daten und Meta-Daten von Sensoren gesammelt, verknüpft und verarbeitet. Daraufhin werden diese Daten visualisiert, Alarme oder Benachrichtigungen versandt oder Aktionen von Aktoren ausgeführt [OR18]. Im privaten Umfeld (Smart-Home) liegt der Nutzen von IoT hauptsächlich in der Einsparung von Ressourcen, zum Beispiel im Bereich der Wärmeversorgung, und in der Erhöhung der Lebensqualität, etwa durch die Hausüberwachung [AZ17]. Im industriellen Kontext (Industrie 4.0) sind die Ziele anders gelagert. Hier können durch einen höheren Automatisierungsgrad menschliche Ressourcen von operativen zu strategischen Aufgaben verlagert und durch präzisere Vorhersagen Anlagenausfälle reduziert werden. Darüber hinaus lassen sich neue Geschäftsfelder erschließen und das Kundenerlebnis verbessern [LF14].

Ein IoT-System setzt sich aus den drei Bestandteilen Sensorik, Datenübertragungseinheit sowie Persistenz- und Auswertungseinheit (IoT-Plattform) zusammen [ATR16]. Die IoT-Plattform ist der zentrale Punkt, an dem sämtliche IoT-Geräte angebunden werden. Nach Guth et al. [GB16] lassen sich die von einer IoT-Plattform angebotenen Dienste in vier Kategorien einordnen: (1) Daten zentral speichern, (2) Daten grafisch aufbereiten, (3) Daten auswerten und (4) Geräte verwalten. Eine genauere Betrachtung möglicher Funktionen und Eigenschaften wird im Verlauf dieses Beitrags vorgenommen.

## 3 Forschungsdesign

In der wissenschaftlichen Literatur existiert kein etabliertes Vorgehensmodell für die Auswahl einer IoT-Plattform entsprechend den Anforderungen des strategischen IT-Managements [LP19]. Deshalb werden in vorliegender Praxisstudie verschiedene Methoden miteinander kombiniert, um hierfür einen wissenschaftlich fundierten, praxisorientierten Ansatz zu entwickeln. Die angewandte Forschungsmethodik entspricht einer Einzelfallstudie [Yi18]. Hierbei wurde sich an den Richtlinien des gestaltungsorientierten Forschungsparadigmas der Wirtschaftsinformatik [HM04] orientiert. Das Vorgehen lässt sich in die beiden Phasen Analyse und Bewertung unterteilen:

**Analyse:** Zur Identifikation funktionaler und nicht-funktionaler Anforderungen wurde die Methodik des Requirements-Engineerings angewandt. Requirements-Engineering basiert auf einem iterativen, inkrementellen Prozess und bezeichnet ein systematisches Vorgehen zur Spezifikation und zum Management von Anforderungen [PR21]. Für die vorherige Ermittlung und Analyse von relevanten Stakeholdern (Stakeholderanalyse) im IoT-Auswahlprozess wurden die Fachabteilungen der FMG gemäß den von Bryson [Br04] beschriebenen Techniken untersucht. Dafür wurden drei Kriterien festgelegt: (1) mögliche Beteiligung per organisatorischer Verantwortungszuordnung, (2) unternehmensinterne Relevanz bei der Ideenentwicklung für strategische Innovationen sowie (3) inhaltliche Unterstützung bei der Problemformulierung und der Lösungssuche.

**Bewertung:** Die anschließende Bewertung vorausgewählter IoT-Plattformen beruht auf einem nutzwertbasierten Scoring-Modell (Nutzwertanalyse) [Za14]: Um eine Bewertung durchführen zu können, wurde eine Bewertungsmatrix erstellt. Die dafür notwendigen Bewertungskriterien wurden aus den zuvor ermittelten Anforderungen abgeleitet. Dabei wurden Prioritäten festgelegt: Jede Anforderung erhielt eine Gewichtung zwischen 1 und 10. Schließlich wurden die Kriterien (deren entsprechende Gewichtung) mit den Erfüllungsgraden der IoT-Plattformen (siehe Kapitel 5.2) multipliziert und jeweils aufsummiert. Die Erfüllungsgrade wurden zum einen auf Basis von Experteninterviews mit Herstellervertretern beziehungsweise im Internet verfügbaren Herstellerinformationen und zum anderen aus den Erfahrungen FMG-interner Experten und Anwendern im Rahmen eines Tagesworkshops bestimmt. Die Rangfolge der IoT-Plattformen ergibt sich aus der jeweils erzielten Gesamtpunktzahl.

## 4 Analyse

Die Analyse bestand aus einem dreistufigen Prozess: Stakeholderanalyse, Use-Case-Auswahl und Anforderungsermittlung. Dieser Prozess wird nachfolgend beschrieben.

### 4.1 Stakeholderanalyse

Stakeholder eines Systems ist eine Person oder Organisation, die direkt oder indirekt Einfluss auf dessen Anforderungen hat [PR21]. Zur Identifikation und Analyse von Stakeholdern (Stakeholderanalyse) wurden die Fachabteilungen der FMG, wie in Kapitel 3 beschrieben, evaluiert. Tabelle 2 fasst die als relevant ermittelten Fachabteilungen (FA) und internen Gremien (IG) zusammen:

| Stakeholder | Kurzbeschreibung |
|---|---|
| Betreiber der IT-Infrastruktur (FA1) | FA1 plant IT-Infrastruktur wie LAN, WLAN, Firewall und Netzwerkschränke und ist für das Thema IoT zuständig. Sie wird die IoT-Infrastruktur betreiben, neue Kunden anbinden und bei Bedarf Sensoren für Kunden zur Verfügung stellen. |
| Bereich für Konzernentwicklung / Digitalisierung (FA2) | FA2 ist daran interessiert, die Technologie IoT am Flughafen zu etablieren, um damit die Digitalisierung zu fördern. |
| Fachbereich Technik (FA3) | FA3 steht als möglicher Großkunde repräsentativ für alle Endkunden einer IoT-Lösung am Flughafen München. |
| Bereich Commercial (FA4) | FA4 betreibt die Parkflächen am Flughafen München und ist ein weiterer möglicher Kunde einer IoT-Lösung. |
| Demand-Management (FA5) | FA5 stellt als Verkaufsorgan der IT die Verbindung zwischen IT und Kunden dar. |
| Interner Wartungsdienstleister für die Sensoren (FA6) | FA6 ist für die Durchführung der Hardwarewartung an verbauten Sensoren zuständig. |
| IT-Sicherheit (FA7) | FA7 unterstützt bei der Klärung von Anforderungen an die Sicherheit der IT-Systeme im Allgemeinen. |
| Cloud-Board (IG1) | IG1 bewertet jedes Produkt mit Cloud-Anteilen und gibt eine Handlungsempfehlung für oder gegen dessen Verwendung ab. |
| Betriebsrat (IG2) | IG2 muss jede neu eingeführte Software im EDV-Ausschuss genehmigen, bevor sie eingesetzt werden darf. Dabei spielt die Wahrung der Mitarbeiterrechte eine zentrale Rolle. |

Tab 2: Am Flughafen München als relevant ermittelte Stakeholder

### 4.2 Use-Case-Auswahl

Die Anforderungen an eine IoT-Plattform hängen im hohen Maße von den umzusetzenden, unternehmensspezifischen Use-Cases ab [GK05]. Deshalb wurden zu Beginn dieser Praxisstudie mehrere Use-Cases festgelegt, die exemplarisch für die Bewertung, Auswahl und prototypische Realisierung dienen sollen. Deren Auswahl orientierte sich zum einen am Reifegrad der vorhandenen Sensoren (Verfügbarkeit am Markt), zum anderen am wirtschaftlichen Potenzial (Amortisationsdauer < fünf Jahre). Die Use-Cases umfassen Pre-

Conditioned-Air (PCA)-Anlagen[1], Parkhauskassenautomaten, Klimaanlagen im Terminal und Temperaturüberwachung in IT-Netzwerkschränken im Außenbereich.

### 4.3 Anforderungsermittlung

Um einen Überblick über die Anforderungen der beteiligten Fachabteilungen zu erhalten, wurde ein Tagesworkshop abgehalten. Neben FMG-Mitarbeitern wurden externe, wissenschaftliche Projektpartner hinzugezogen. Im Brainstorming-Verfahren wurden Anforderungen an verschiedene Teile einer IoT-Plattform zusammengetragen und dokumentiert. Die erarbeiteten Anforderungen wurden in die Kategorien Schnittstellen und Datenquellen, Anwendungen und Services, Analyse, Integration und Sensorik sowie Kommunikation strukturiert. Im Anschluss wurde jeder Aspekt ausführlich diskutiert und bei Bedarf verfeinert.

Insgesamt konnten dadurch 17 funktionale und 6 nicht-funktionale Anforderungen an eine IoT-Plattform ermittelt werden. Spezifiziert wurden jeweils die anfordernden Stakeholder, eine Beschreibung sowie eine Begründung. Zusätzlich wurden die Anforderungen nach ihrer Priorität in notwendig respektive optional unterschieden (siehe Muster in Tabelle 3).

| Anforderer | Beschreibung | Begründung | Priorität |
|---|---|---|---|
| Stakeholdername und -rolle | Kurze Beschreibung und Erläuterung der Anforderung | Nachweis des Erfordernisses der Anforderung | Priorisierung nach „notwendig“ oder „optional“ |

Tab. 3: Matrix zur Erfassung und Beschreibung der Anforderungen an eine IoT-Plattform

## 5 Plattformauswahl

Die Plattformauswahl erfolgte in drei iterativen Schritten: Zunächst wurde eine Bewertungsmatrix entwickelt. Anschließend wurden grundsätzlich geeignete IoT-Plattformen identifiziert. Diese wurden dann anhand der Bewertungsmatrix bewertet. Der Prozess der Plattformauswahl wird nachfolgend beschrieben.

### 5.1 Entwicklung einer Bewertungsmatrix

Für die Bewertung wurde eine Matrix erstellt (Kapitel 5.3, Abbildung 4). Die Bewertungskriterien wurden aus den ermittelten Anforderungen abgeleitet. Zudem wurden Prioritäten definiert: Jede Anforderung wurde mit einer Gewichtung zwischen 1 und 10 versehen. Für optionale Anforderungen wurden Gewichte zwischen 1 und 5, für notwendige Anforde-

[1] PCA-Anlagen versorgen die Flugzeugkabine auf der Parkposition mit vorklimatisierter Frischluft. Dadurch müssen parkende Flugzeuge nicht mehr ihre Hilfsturbine für die Klimatisierung einsetzen. Die PCA-Anlagen sind im Betrieb deutlich leiser und senken den Kerosinverbrauch sowie den damit verbundenen $CO_2$-Ausstoß.

rungen zwischen 6 und 10 gewählt. In die Gewichtung floss auch ein, welche Folgen eine Nichterfüllung nach sich ziehen würde. Die Gewichte wurden in Abstimmung mit der für die IoT-Plattform zuständigen Abteilung (FA1) festgelegt.

## 5.2 Ermittlung grundsätzlich geeigneter IoT-Plattformen

Zur Identifizierung grundsätzlich geeigneter IoT-Plattformen wurden die kommerziellen Plattformen von IoT-Analytics – einem Anbieter für Marktanalysen im IoT-Bereich – auf Basis von Kundenbewertungen analysiert. Open-Source-Varianten wurden unter anderem auf Geekflare, einem Herausgeber von Technologie-Artikeln, verglichen. Insgesamt gibt es nach IoT-Analytics [Io18] auf dem Weltmarkt etwa 620 IoT-Plattformen (Stand: 2018). Angesichts dieser hohen Anzahl ist es nicht möglich, alle im Detail zu betrachten. Im renommierten Gartner-Magic-Quadrant für IoT-Plattformen [Ga20] werden nur IoT-Plattformen einbezogen, die originär als solche entwickelt wurden. Die Angebote der Hyperscaler wie Amazon Web Services, Google und Microsoft sind deshalb nicht darin enthalten. Sie bieten IoT-Connecting-Services im Rahmen ihrer Cloud-Plattform an, auf deren Basis Nutzer eine IoT-Plattform nach Maß entwickeln können.

Aufgrund der Marktgröße und der einhergehenden Intransparenz wurde sich bei der Vorauswahl an der Studie von Lempert und Pflaum [LP19] orientiert. Die Autoren trafen in ihrem Beitrag eine Selektion nach den Kriterien Jahresumsatz, Platzierung in Rankings von Beratungs- und Marktforschungsunternehmen sowie Zitierungshäufigkeit in wissenschaftlichen und nicht-wissenschaftlichen Publikationen. Deren Liste wurde im Fall der FMG um Siemens Mindsphere (von der FMG bereits getestet) und ThingsBoard (führende Open-Source-Lösung) erweitert. Somit wurden folgende sieben IoT-Plattformen in die Bewertung einbezogen: (1) PTC ThingWorx, (2) Microsoft Azure IoT, (3) IBM Watson IoT, (4) Amazon AWS IoT, (5) Google Cloud IoT, (6) ThingsBoard sowie (7) Siemens Mindsphere. Im weiteren Verlauf dieses Beitrags werden die betrachteten IoT-Plattformen mittels Buchstaben anonymisiert.

## 5.3 Bewertung der IoT-Plattformen

Um einen fundierten Einblick in die vorausgewählten IoT-Plattformen zu erhalten, wurden die in Fragen überführten Anforderungen aus Kapitel 3.3 (siehe Anhang) fünf Anbietern zur schriftlichen Beantwortung per E-Mail zugesandt. Die Unternehmen bevorzugten es, die Fragen im Rahmen eines etwa einstündigen Telefonats durch einen verantwortlichen Vertriebsmitarbeiter zu beantworten. Bei den Plattformen ThingsBoard und MindSphere wurde auf eine Kontaktaufnahme verzichtet, da eine umfassende Beurteilung basierend auf Prototypen aus anderen Projekten der FMG selbst vorgenommen werden konnte. Mit den Rückmeldungen der Unternehmen beziehungsweise der Selbsteinschätzung konnte die Bewertungsmatrix befüllt werden (Abbildung 4). Da nicht alle Fragen von jedem Unternehmen beantwortet wurden oder eine objektive Bewertung nicht möglich war, konnten nicht sämtliche Felder ausgefüllt werden. Der Gesamtpunktewert einer IoT-Plattform ist der Quotient aus der Summe der Produkte von Erfüllungsgrad und Gewicht aller bewer-

teten Kriterien sowie der Summe der Gewichte. Die IoT-Plattform mit dem höchsten Gesamtpunktewert eignet sich am besten für die FMG.

| | | Gewichte | Plattformen | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | A | B | C | D | E | F | G | H |
| Funktionale Bewertungskriterien | Anlegen einer Rechtestruktur | 9 | 9 | 9 | 10 | 9 | 9 | 4 | 4 | 8 |
| | User-Authentifizierung | 10 | 9 | 9 | 9 | 9 | 9 | 9 | 9 | 9 |
| | Mandantenfähigkeit | 8 | 5 | 5 | 9 | 8 | 9 | 8 | 9 | 9 |
| | Informationssicherheit | 9 | 8 | 8 | 8 | 8 | 8 | 9 | 7 | 7 |
| | Gerätekonnektivität | 9 | 10 | 9 | 9 | 9 | 9 | 8 | 9 | 9 |
| | Node-RED-Anbindung | 4 | 9 | 9 | 9 | 9 | 9 | 10 | 9 | 9 |
| | Geräteverwaltung | 7 | 8 | 7 | 8 | 5 | 8 | 5 | 4 | 7 |
| | Automatisierte Konfiguration der Plattform | 7 | | 8 | 8 | 9 | 8 | 9 | 9 | 10 |
| | Datentransformation | 7 | 8 | 9 | 5 | 9 | 7 | 6 | 3 | 6 |
| | Ereignisverwaltung | 7 | 8 | | 8 | | 7 | 8 | 7 | 8 |
| | Daten- und Speicherverwaltung | 8 | 9 | 8 | 6 | 8 | 8 | 8 | 10 | 10 |
| | einfache Datenanalyse | 9 | 8 | 8 | 8 | 8 | 8 | 8 | 7 | 8 |
| | erweiterte Datenanalyse | 4 | 9 | 9 | 9 | 9 | 9 | 9 | 7 | 7 |
| | Datenvisualisierung | 8 | 8 | 7 | 7 | 6 | 7 | 5 | 9 | 9 |
| | Datenmodellierung | 7 | 8 | 6 | 6 | 6 | 6 | 8 | 7 | 8 |
| | Anwendungsentwicklung | 6 | 7 | 9 | 2 | 9 | 9 | 8 | 3 | 3 |
| | Unternehmensintegration | 7 | 8 | 6 | 8 | 6 | 8 | 5 | 3 | 3 |
| Nicht-funktionale Bewertungskriterien | Erwartete Lebensdauer | 8 | 9 | 10 | 8 | 10 | 9 | 7 | 5 | 5 |
| | Support | 8 | 8 | 8 | | 8 | | 8 | 4 | 9 |
| | Lizenzkosten | 7 | | 5 | 5 | 5 | 7 | 5 | 10 | 9 |
| | Benutzerfreundlichkeit | 9 | 8 | | | | | 4 | 8 | 9 |
| | Accounting | 8 | | 8 | 9 | 9 | 9 | | | 7 |
| | Betrieb, Verwaltung und Wartung | 8 | | | | | | 5 | 7 | 7 |
| | Summenprodukt | | 1183 | 1177 | 1137 | 1194 | 1215 | 1161 | 1140 | 1346 |
| | Summe Gewichtungen von bewerteten Kriterien | 174 | 144 | 150 | 149 | 150 | 149 | 166 | 166 | 174 |
| | **Normierte Bewertung** | | **8,2** | **7,8** | **7,6** | **8,0** | **8,2** | **7,0** | **6,9** | **7,7** |

Abb. 4: Final befüllte Bewertungsmatrix

Aus der finalen Bewertungsmatrix (Abbildung 4) geht hervor, dass zwei IoT-Plattformen (A und E) denselben Gesamtwert (8,2) aufweisen. Die Vorteile der Plattform A liegen vor allem in der einfachen Erstellung von Dashboards und Analysen via Drag-and-Drop und der möglichen Anbindung von Industrieanlagen. Plattform E bietet hingegen den Funktionsumfang von Cloud-Services verbunden mit einer umfassenden IoT-Plattform. Beide Plattformen erhielten nicht für alle Kriterien eine Bewertung, da eine objektive Beurteilung mit den Informationen aus den Gesprächen und den öffentlich verfügbaren Materialien nicht gewährleistet werden konnte. Dies betraf vornehmlich nicht-funktionale Bewertungskriterien.

Grundsätzlich ist erkennbar, dass alle in dieser Praxisstudie betrachteten IoT-Plattformen insgesamt relativ gut abgeschnitten haben (Gesamtpunktewert >= 6,9). Dieser Umstand lässt sich unter anderem darauf zurückführen, dass gezielt nur führende Systeme einbezogen wurden. Manche Kriterien, wie User-Authentifizierung und Gerätekonnektivität, wurden durchweg sehr gut abgedeckt. Bestimmte Kriterien scheinen inzwischen zu den Basisanforderungen von IoT-Plattformen zu zählen. Bei anderen Kriterien, wie Unternehmensintegration und Geräteverwaltung, ergab sich dagegen ein heterogenes Ergebnis. Letzteres unterstreicht die Notwendigkeit eines fundierten und systematischen Tool-Vergleichs.

## 6 Realisierung

Die Bewertung zeigt, dass die beiden am höchsten bewerteten IoT-Plattformen dieselbe Gesamtpunktzahl erreichen. Jedoch konnten bei beiden einzelne nicht-funktionale Anforderungen noch nicht abschließend geklärt werden. Dazu zählen unter anderem „Betrieb, Verwaltung, Wartung“ und „Benutzerfreundlichkeit“. Deshalb wurde mit den Anbietern der Plattformen A und E sowie der Plattform G, die bereits als Prototyp in einem anderen Projekt eingesetzt ist, ein PoC durchgeführt. Hierbei wurden jeweils drei Use-Cases (PCA-Anlagen, Parkhauskassenautomaten und Klimaanlagen) umgesetzt.

Aber auch nach Durchführung der PoCs konnte keine eindeutige Entscheidung herbeigeführt werden. Für Use-Cases mit einer geringen Anzahl von Sensoren, wie bei den PCA-Anlagen, eignet sich Plattform G besser, da hier Kriterien wie „Anwendungsentwicklung“ eine untergeordnete Rolle spielen und diese mit geringen Lizenzkosten punkten kann. Bei komplexeren Use-Cases hingegen hat Plattform E ihre Vorteile. So ist beispielsweise von einem Kunden angedacht, mithilfe einer IoT-Plattform ein Dispositionssystem für die Wartung von Kassenautomaten aufzubauen. Dafür ist die Entwicklungsmöglichkeit einer Anwendung in der IoT-Plattform Grundvoraussetzung.

Während der Durchführung der PoCs wurde deutlich, dass nicht alle Anforderungen von Beginn an ersichtlich gewesen waren. Beispielsweise wurde die Notwendigkeit einer Faktura-Funktion zur vereinfachten Verrechnung von variablen Kosten an den Kunden erst später erkannt und nachträglich hinzugefügt.

## 7 Lessons-Learned, Ausblick, Limitation und Forschungsbedarf

IoT-Plattformen sind hochkomplexe Lösungen und unterscheiden sich erheblich in ihrem Funktionsumfang, ihren Qualitätseigenschaften und ihren Lizenzmodellen. Zudem sind die Anforderungen von Use-Case zu Use-Case recht heterogen. Diese Erkenntnisse nehmen Einfluss auf die Methodik der Bewertung und die finale Plattformauswahl. Gegenwärtig erfüllt keine der hier betrachteten IoT-Plattformen alle Anforderungen und Anwendungsszenarien vollumfänglich. Die wirtschaftliche Bedeutung von IoT wird in der Zukunft weiter zunehmen: Für 2023 erwartet IoT-Analytics [Io18] im Bereich der IoT-Plattformen einen globalen Umsatz von 23 Milliarden US-Dollar. Dieser Wert entspricht einem Anstieg um 93 Prozent im Vergleich zu 2021.

**Folgende, wesentliche Lessons-Learned, lassen sich aus dieser Praxisstudie ableiten:**

1. Der Abgleich mit der Unternehmensarchitektur in einer frühen Phase des Auswahlprozesses kann zur Reduzierung potenzieller Plattformen beitragen. Denn durch die Definition obligatorischer Systeme und deren erforderlicher Schnittstellen können ungeeignete IoT-Plattformen frühzeitig ausgeschlossen und dadurch der Auswahlprozess ressourceneffizienter und zielgerichteter gestaltet werden.
2. Ein wesentliches Kriterium bei der Entscheidung auf Managementebene stellt die Wirtschaftlichkeit und das Potenzial der Wirtschaftlichkeit im Zuge der Einführung einer IoT-Plattform dar. Deshalb müssen Unternehmen ein besonderes Augenmerk auf die Skalierungseigenschaften der IoT-Plattformen legen. Diese können maßgeblich dazu beitragen, die Stückkosten und dadurch die Gesamtwirtschaftlichkeit positiv zu beeinflussen.
3. Ein oder mehrere konkrete, unternehmensspezifische Use-Cases sind elementar für die Erstellung eines adäquaten Anforderungskatalogs. Ansonsten besteht die Gefahr, wichtige Anforderungen zu übersehen oder Anforderungen zu betrachten, die schlussendlich nicht von Relevanz sind. Oft müssen auch Anforderungen, wie etwa der Funktionsumfang und der Preis, gegeneinander abgewogen werden. Naturgemäß existieren zwischen Anforderungen diverse Zielkonflikte, die es zu lösen gilt.
4. Bei der vergleichenden Bewertung einer IoT-Plattform ist es sinnvoll, zentrale Kriterien als sogenannte K.O.-Kriterien (Mindestbedingungen) zu definieren: Sobald eine IoT-Plattform ein solches Kriterium nicht im ausreichenden Maße erfüllt, braucht sie nicht weiter betrachtet werden.
5. Mehrere Use-Cases erhöhen die Wirtschaftlichkeit einer IoT-Plattform: Viele Use-Cases im IoT-Bereich sind Optimierungen, die nur vergleichsweise geringe monetäre Vorteile erzielen. Werden diese geringen Beträge aus verschiedenen Use-Cases aufsummiert, ist es einfacher, eine IoT-Plattform ökonomisch zu betreiben, da die Fixkosten verteilt werden können.
6. Die Prüfung der Anforderungen innerhalb eines PoCs ist präziser als innerhalb von Telefoninterviews mit Herstellervertretern und Herstellerdatenblättern. Erst bei ei-

nem PoC lässt sich der exakte Funktionsumfang ermitteln. Es ist davon auszugehen, dass Anbieter versuchen, sich in einem positiveren Licht darzustellen. Neben der tatsächlichen Funktionstauglichkeit der IoT-Plattform können im Rahmen eines PoC zudem eine Vielzahl nicht direkt messbarer Eigenschaften, wie zum Beispiel Anwenderfreundlichkeit der Bedienoberfläche, evaluiert werden.

7. Die großen Cloud-Anbieter wie Amazon Web Services, Google und Microsoft vertreiben keine separate IoT-Plattform, sondern stellen mit einem Service IoT-Konnektivität her und verwenden für die Auswertung und Darstellung ihre sonstigen Services. Somit entsteht zusätzlicher Aufwand für die Erstellung einer IoT-Plattform aus den einzelnen Services. Jedoch ist es dadurch möglich, die IoT-Plattform den eigenen Anforderungen entsprechend zu gestalten. Unternehmen müssen sich darüber bewusst sein, dass dafür weitreichendes Know-how erforderlich ist, über das viele, insbesondere KMUs, nicht verfügen [FL19].

8. Für das gesamte Auswahlverfahren gilt grundsätzlich, sich nicht an einem traditionellen Wasserfallmodell, sondern an einem agilen, iterativen Vorgehen zu orientieren. Denn bei einer gänzlich neuen Technologie werden die Möglichkeiten und eigenen Ziele erst dann klar, wenn man testet. Dadurch erkennt man, was möglich ist und was nicht. Dieser Lernprozess lässt sich nur über ein agiles Vorgehen erreichen. In dieser Studie wurde etwa der Anforderungskatalog nach und nach ergänzt.

9. Gerade bei den nicht-funktionalen Bewertungskriterien stellt die objektive Bewertung aufgrund mangelnder Messbarkeit, divergierender Erwartungen der Stakeholder sowie unterschiedlicher IT-Kenntnisse und -Fähigkeiten der beteiligten Anwender eine Herausforderung dar. Dennoch ist es für Unternehmen unabdingbar, diese weitestmöglich in die Bewertung einzubeziehen.

Die Ergebnisse dieser Praxisstudie unterliegen verschiedenen Limitationen, woraus sich Anknüpfungspunkte für weitere Forschungsarbeiten ergeben. Einerseits wurden lediglich sieben IoT-Plattformen in die Bewertung einbezogen. Andererseits handelt es sich um eine Einzelfallstudie an einem Flughafen, was die Generalisierbarkeit einschränkt. Forscher sollten den IoT-Plattform-Markt umfassender und für unterschiedliche Branchen mit deren spezifischen Use-Cases untersuchen.

Am Flughafen München werden weiterhin in PoCs die gewählten IoT-Plattformen getestet und auf die Umsetzung als finale Lösung vorbereitet. Parallel dazu erweitert das Unternehmen sein Funkübertragungsnetzwerk und installiert zusätzliche Sensoren. So soll mittelfristig das Ziel, den Flughafencampus als Smart-City zu realisieren, erreicht werden.

Mit diesem Beitrag erhalten Unternehmensentscheider im Digitalisierungsumfeld einen Leitfaden zur Auswahl einer IoT-Plattform für ihre unternehmensspezifischen Anwendungsfälle und daraus resultierenden Anforderungen. Zudem wird ein Katalog an Bewertungskriterien und abgeleiteten Fragen bereitgestellt, der einen geeigneten Startpunkt bietet und unternehmensspezifisch angepasst und erweitert werden kann. Einen besonderen Beitrag für Praktiker stellen die abgeleiteten Lessons-Learned dar. Für Wissenschaftler zeigt dieser Beitrag die Notwendigkeit des Ausbaus der Forschung im Bereich iterativer Vorgehensmodelle bei der strukturierten Durchführung von Entscheidungsprozessen.

Die Methodik des Bewertungsverfahrens kann auch für andere Technologien und Systeme, wie zum Beispiel Augmented-Reality oder Cloud-Computing, eingesetzt werden. Allerdings muss angemerkt werden, dass es sich im Fall von IoT-Plattformen um einen äußerst umfänglichen Anforderungskatalog handelt, der nicht nur funktionale und operative Software-Anforderungen, sondern auch Anforderungen bezogen auf die Hardware (Sensoren) beinhaltet. Bei anderen Themen sind es oftmals kleinere und spezifischere Projekte, die in der Regel weniger Stakeholder betreffen.

## Literatur

[ATR16] Abdmeziem, M. R.; Tandjaoui, D.; Romdhani, I.: Architecting the Internet of Things: State of the Art. In (Abdmeziem, M. R.; Romdhani, D. T. I.): Robots and Sensor Clouds. Springer, Cham. S. 55-75, 2011.

[AZ17] Alaa, M.; Zaidan, A. A.; Zaidan, B. B.; Talal, M.; Kiah, M. L. M.: A Review of Smart Home Applications Based on Internet of Things. Journal of Network and Computer Applications, 97, S. 48-65, 2017.

[Br04] Bryson, J.: What to Do When Stakeholders Matter – Stakeholder Identification and Analysis Techniques. Public Management Review, 6(1), S. 21-53, 2004.

[FL19] Floerecke, S.; Lehner, F.: Der ungleiche Kampf um Marktanteile im Infrastructure-as-a-Service-Segment: Erfolgswirksame Geschäftsmodellcharakteristika regionaler Anbieter im Wettbewerb mit den Hyperscalern. HMD – Praxis der Wirtschaftsinformatik, 56(6), 1334-1354, 2019.

[Ga20] Gartner: Magic Quadrant 2020 für industrielle IoT-Plattformen, 2020. https://azure.microsoft.com/de-de/blog/microsoft-named-a-leader-in-gartner-s-2020-magic-quadrant-for-industrial-iot-platforms/

[GB16] Guth, J.; Breitenbucher, U.; Flkenthal, M.; Leymann, F.; Reinfurt, L.: Comparison of IoT Platform Architectures: A Field Study based on a Reference Architecture. 2. Cloudification of the Internet of Things, Paris, 2016.

[GK05] Großmann, M.; Koschek, H.: Unternehmensportale: Grundlagen, Architekturen, Technologien. Springer, Berlin, Heidelberg, 2005.

[HM04] Hevner, A. R.; March, S. T.; Park, J.; Ram, S.: Design Science in Information Systems Research. Management Information Systems Quarterly, 28(1), S. 75-105, 2004.

[Io18] IoT Analytics: IoT Platforms Market Report 2018-2023, 2018. https://iot-analytics.com/product/iot-platforms-market-report-2018-23/

[LF14] Lasi, H.; Fettke, P.; Kemper, H. G.; Feld, T.; Hoffmann, M: Industrie 4.0. Wirtschaftsinformatik, 56(4), S. 261-264, 2014.

[LP19] Lempert, S.; Pflaum, A.: Vergleichbarkeit der Funktionalität von IoT-Software-Plattformen durch deren einheitliche Beschreibung in Form einer Taxonomie und Referenzarchitektur. HMD – Praxis der Wirtschaftsinformatik, 56(6), S. 1178-1203, 2019.

[OR18] Oberländer, A. M.; Röglinger, M.; Rosemann, M.; Kees, A.: Conceptualizing Business-to-Thing Interactions – A Sociomaterial Perspective on the Internet of Things. European Journal of Information Systems, 27(4), S. 486-502, 2018.

[PF15] Portmann, E.; Finger, M.: Smart Cities – Ein Überblick!. HMD – Praxis der Wirtschaftsinformatik, 52(4), S. 470-481, 2015.

[PH14] Porter, M. E.; Heppelmann, J. E.: How Smart, Connected Products are Transforming Competition. Harvard Business Review, 92(11), S. 64-88, 2014.

[PR21] Pohl, K.; Rupp, C.: Basiswissen Requirements Engineering. Aus- und Weiterbildung nach IREB-Standard zum Certified Professional for Requirements Engineering Foundation Level. dpunkt.verlag, Heidelberg, 2021.

[SH20] Strey, L.; Hein, C.; Ritter, T.; Knauer, C.; Ganz, A.: Modellbasierte Methode zur Ableitung nicht-funktionaler Anforderungen im Kontext der Softwaremodernisierung. Modellierung 2020, Wien, 2020.

[Ti06] Timm, I.: IuK-Evaluations-Instrumente aus der Perspektive der Informatik. In (Hülsman, M.; Timm, I.): Strategische IuK-Evaluation. Gabler, Wiesbaden, S. 61-81, 2006.

[Yi18] Yin, R. K.: Case Study Research: Design and Methods. SAGE, Thousand Oaks, 2018.

[Za14] Zangemeister, C.: Nutzwertanalyse in der Systemtechnik: eine Methodik zur multidimensionalen Bewertung und Auswahl von Projektalternativen. BoD – Books on Demand, Norderstedt, 2014.

# Anhang

### Die für die Experteninterviews in Fragen überführten Anforderungen:

Gibt es eine garantierte Dauer, wie lange die Plattform betrieben und supportet wird?
Welche Supportverträge sind möglich?
Welche Lizenzkosten fallen für den reinen Betrieb an?
Wie hoch sind die Kosten pro Nutzer?
Welche Gebühren sind pro Gerät zu entrichten (einmalig oder jährlich)?
Welche Kosten fallen pro Nachricht an?
Inwieweit können für unterschiedliche Nutzer abgekapselte Datenbereiche erstellt werden?
Welche Protokolle werden für die Anbindung von Geräten unterstützt?
Inwiefern ist die Verbindung zwischen Geräten und Plattform gesichert?
Inwieweit ist es möglich, die Geräte zu verwalten (Beispiel: Updates einspielen)?
Wie können Alarme gesendet werden?
Wo und wie lange können die Daten gespeichert werden?
Mit welchen Methoden können Daten in der Standardversion ausgewertet werden?
Welche Arten der Datenvisualisierung stehen zur Verfügung?
Welche Möglichkeiten zur Datenmodellierung sind gegeben?
In welchen Programmiersprachen lassen sich eingebundene Anwendungen entwickeln?
Welche Schnittstellen zur Anbindung von Anwendungen (Beispiel: SAP ERP) bietet die Plattform?
Ist es möglich, Daten mit einer Drittsoftware aus der Plattform abzugreifen?
Können historische Daten, zum Beispiel via CSV-Datei, importiert werden?