Fraunhofer

EIN ÜBERBLICK URBANER DATENPLATTFORMEN

EINE EVALUIERUNG NACH DESIGNPRINZIPIEN DER DIN SPEC 91357

Nikolay Tcholtchev | Philipp Lämmel | Jacob Raabe

EIN ÜBERBLICK URBANER DATENPLATTFORMEN

EINE EVALUIERUNG NACH DESIGNPRINZIPIEN DER DIN SPEC 91357

INHALT

1 EINLEITUNG & MOTIVATION 6

2 DEFINITIONEN 8
2.1 Offene Systeme ... 8
2.2 Urbane Datenplattformen ... 10
2.3 Offene Urbane Plattformen ... 11

3 RAHMEN DER STUDIE 13
3.1 Methodologie ... 13
3.2 Rahmen der Studie ... 14
3.3 Definition der Evaluationskriterien ... 15

4 EVALUATIONSERGEBNISSE 18
4.1 Allgemeine Erkenntnisse ... 19
4.2 Vergleich von Open Source und proprietären Lösungen ... 23
4.3 Auswertung nach Designprinzipien der DIN SPEC 91357 ... 27

5 DISKUSSION 29
5.1 Open Source ... 29
5.2 Deployment ... 29
5.3 Ursprungsdomäne der betrachteten Lösungen ... 30
5.4 Kernfunktionalitäten ... 30
5.5 Sicherheit-, Qualitäts- und Stabilitätsaspekte ... 31
5.6 Offene Standards und Open Data ... 31
5.7 Erweiterbarkeit und Modularisierung ... 32
5.8 Zusammenfassung ... 32

6 ZUSAMMENFASSUNG UND AUSBLICK 33

AUTOREN

DR.-ING. NIKOLAY TCHOLTCHEV
Gruppenleiter Quality Engineering für Urbane IKT

Nikolay Tcholtchev ist promovierter Ingenieur und Diplom-Informatiker der Technischen Universität Berlin. Derzeit arbeitet er für das Fraunhofer-Institut für Offene Kommunikationssysteme (FOKUS), wo er Projekte in den Bereichen Smart Cities (Open Urban Platforms), Netzwerk- und Systemmanagement, Cybersecurity, Autonomic Communications, Virtual and Softwarized Networks and Testbeds, VoIP Emergency Communication (NG112), Blockchain, Smart Energy, Firewall/IDS/IPS, Model-Checking, IPv4/6, IoT, Künstliche Intelligenz, Model-basiertes Testen und Testen für Sicherheitsaspekte kritischer Infrastrukturen leitet und daran beteiligt ist.

PHILIPP LÄMMEL
Wissenschaftlicher Mitarbeiter und Projektmanager

Philipp Lämmel hat einen Master-Abschluss (M.Sc.) für Informatik der Freien Universität Berlin. Derzeit arbeitet er für das Fraunhofer-Institut für Offene Kommunikationssysteme FOKUS, wo er als wissenschaftlicher Mitarbeiter und Projektmanager an mehreren Industrie- und Forschungsprojekten beteiligt ist. Zu seinen Hauptforschungsgebieten gehören der Entwurf, die Spezifikation, die Implementierung und die Evaluierung verschiedener offener Plattformen in urbanen Umgebungen.

JACOB RAABE
Hilfswissenschaftler

Jacob Raabe arbeitet als Hilfswissenschaftler für das Fraunhofer-Institut für Offene Kommunikationssysteme FOKUS. Er arbeitet insbesondere in der Domäne Urbane Datenplattformen und unterstützt bei der Umsetzung und Qualitätssicherung von Datenplattformen in zahlreichen Forschungsprojekten.

1 EINLEITUNG & MOTIVATION

Durch die stetig steigende Vernetzung von Menschen und Geräten haben sich Smart Cities als gangbarer Weg herauskristallisiert, um mit Hilfe von Daten sowie Informations- und Kommunikationstechnologien (IKT) die weltweit drängendsten urbanen Herausforderungen zu lösen und eine nachhaltige Stadtentwicklung zu beschleunigen. Trotz ihrer anerkannten Vorteile und ihres Potenzials leiden Smart Cities Projekte häufig unter einem Flickenteppich inkompatibler Produkte und Komponenten, die sich nur schwer in ein gesamtheitliches städtisches Ökosystem integrieren lassen. Dieses flexible und offene Ökosystem von Anbietern, Betreibern sowie Nutzerinnen und Nutzern ist aber von besonderer Bedeutung, denn es soll ermöglichen, dass Akteuren verschiedener Art und Größe (z.B. Open Source Initiativen, akademische Einrichtungen, Start-ups, kleine und mittelständische Unternehmen (KMUs) und Großindustrie) ein fairer Zugang zum Smart City Markt gewährleistet wird. Um das zu erreichen, sollen gewisse Gestaltungsprinzipien befolgt werden, wodurch ein hoher Grad an Sicherheit und Interoperabilität bei der Kommunikation zwischen verschiedenen Smart City Lösungen, Komponenten und Modulen garantiert werden kann. In diesem Zusammenhang spielt auch das Thema »Vendor Lock-in« eine Rolle für zukünftige nachhaltige smarte Städte und Kommunen, da eine IKT-Referenzarchitektur, die auf offenen Gestaltungsprinzipien basiert, die Möglichkeit bieten sollte, eben diese starke Abhängigkeit von einem bestimmten Lieferanten oder Dienstleister zu reduzieren.

Die »European Partnership on Smart Cities and Communities« (EIP SCC) – mittlerweile bekannt als Smart City Marketplace – hat im Juli 2012 verschiedene Aktivitäten initiiert, um die Schaffung solcher Ökosysteme in Europa zu fördern. Eine nennenswerte Initiative ist die Definition einer abstrakten IKT Referenzarchitektur, die auf Basis von etablierten Standards eine Blaupause für die systematische Entwicklung urbaner IKT darstellt. Diese Referenzarchitektur wurde unter dem Namen »Offene Urbane Plattform« von der DIN (Deutsches Institut für Normung e.V.) weiterentwickelt, an die Gegebenheiten des Deutschen Smart City Marktes angepasst und als DIN-Spezifikation im Jahre 2017 herausgegeben. Die genannte DIN-Spezifikation trägt den Namen DIN SPEC 91357[1] »Referenzarchitekturmodell Offene Urbane Plattform (OUP)« und hält grundlegende Prinzipien fest, wie Smart City Plattformen zu gestalten sind, so dass offene, flexible und vendor-lock-in-freie/herstellerunabhängige Ökosysteme entstehen können.

[1] DIN SPEC 91357, Reference Architectu re Model Open Urban Platform (OUP), https://www.din.de/en/wdc-beuth:din21:281077528, zuletzt besucht am 16.02.2021.

Die vorliegende Studie verfolgt das Ziel, am Markt verfügbare Urbane Plattformen nach den Prinzipien der DIN SPEC 91357 »Referenzarchitekturmodell Offene Urbane Plattform (OUP)« zu evaluieren, um somit den Weg zu offenen, flexiblen und vendor-lock-in-freien Ökosystemen zu ebnen. Dabei wird systematisch wie folgt vorgegangen:

- Erarbeitung einer Methodologie zur Beschaffung von Daten und Informationen über relevante urbane Plattformen
- Definition von Evaluationskriterien für urbane Plattformen und Lösungen mit dem Ziel der Schaffung von offenen interoperablen und vendor-lock-in-freien urbanen IKT-Ökosystemen unter Berücksichtigung der Methodologie
- Erweiterung der Evaluationskriterien auf Basis der DIN SPEC 91357 »Referenzarchitekturmodell Offene Urbane Plattform (OUP)«
- Identifikation wichtiger urbaner Plattformen auf dem Smart City Markt und dazugehörige Datenakquisition
- Anwendung der Evaluationskriterien auf die Daten und Informationen
- Visuelle Darstellung und Diskussion der Ergebnisse

Auf Basis des oben skizzierten Vorgehens wurde auch das vorliegende Dokument wie folgt strukturiert: In Kapitel 2 werden notwendige Begriffe und Konzepte vorgestellt, welche essentiell für das Verständnis der vorliegenden Studie sind. Kapitel 3 detailliert die Methodologie für die durchzuführenden Desktop-Recherchen sowie die Auswahl der zu evaluierenden IKT-Plattformen und definiert die Evaluationskriterien. In Kapitel 4 werden die Evaluationsergebnisse präsentiert und graphisch aufbereitet. Das darauffolgende Kapitel 5 diskutiert die Ergebnisse und zieht Schlussfolgerungen. Abschließend fasst Kapitel 6 die Studie zusammen und gibt einen Ausblick auf vorteilhafte zukünftige Entwicklungen für offene vendor-lock-in-freie urbane IKT-Ökosysteme.

2 DEFINITIONEN

2.1 OFFENE SYSTEME

Um die Prinzipien der DIN Open Urban Plattform für Smart Cities zu verstehen, sollen zunächst eine Reihe von Konzepten für offene IT- und Kommunikationssysteme definiert werden. Diese Konzepte bilden die Grundlage für weitere Diskussionen sowie für die Herleitung von Evaluationskriterien, die Sammlung relevanter Daten und Informationen über die aktuellen Smart City Plattformen auf dem Markt und deren Beurteilung anhand der Prinzipien von DIN SPEC 91357.

Prinzipiell ist anzumerken, dass das Konzept der Offenheit verschiedene Dimensionen in der IT-Welt besitzt und verschiedene Aspekte betreffen kann. Diese einzelnen Dimensionen werden im Folgenden definiert und erläutert.

- **Offenes System** - im »*Oxford Dictionary of Computer Science*« wird eine Definition[2] für ein offenes System gegeben als »*jedes System, in dem die Komponenten nicht-proprietären Standards entsprechen und nicht den Standards eines bestimmten Lieferanten von Hardware oder Software*«. In diesem Kontext spielt auch das Konzept der offenen Schnittstellen eine entscheidende Rolle, um offene Standards für Kommunikationsprotokolle und Datenaustauschformate im Rahmen von offenen Systemen anzubieten und durchzusetzen.

- **Offene Schnittstellen** - DIN SPEC 91357 definiert den Begriff der offenen Schnittstelle[3] als »*Schnittstellen, die dadurch gekennzeichnet sind, dass die Art und Weise, wie Signale an eine Schnittstelle übertragen oder von ihr gelesen werden, beschrieben wird*«. In diesem Zusammenhang ist es von entscheidender Bedeutung, dass offene Schnittstellen nur offen zugängliche Beschreibungen und Datenaustauschformate verwenden und implementieren. Dieser Umstand hat das Potential ermöglicht ein offenes Ökosystem, in dem verschiedene Anbieter und Dienstleister ihre Produkte (d.h. Softwarekomponenten oder -module) auf einfache Art und Weise kommunizieren lassen und Daten in einer Smart City austauschen können.

[2] *Übersetzung der Autoren aus Oxford Dictionary of Computer Science. Open System Definition, https://www.lexico.com/definition/open_system, zuletzt besucht am 16.02.2021.*

[3] *Übersetzung der Autoren.*

- **Offene Daten** - Offene Daten sind ein weiterer entscheidender Aspekt bei den aktuellen und zukünftigen Entwicklungen einer Smart City. Die DIN SPEC 91357 definiert Offene Daten als *»Datensätze, die von Behörden und öffentlichen Unternehmen für die Allgemeinheit bereitgestellt werden«*. Weitere detailliertere Definitionen beinhalten Eigenschaften wie die Aktualität der Daten, Lizenzen (z. B. CC-BY) und Maschinenlesbarkeit.Dabei ist jedoch zu beachten, dass Offene Daten nur ein Aspekt einer Smart City ist und nicht der gesamte Fokus der städtischen IKT-Entwicklungen sein sollte. Andere wichtige Komponenten im urbanen Kontext sind zum Beispiel durch IoT-Plattformen, die dazugehörige Sensorik, Geo-Informationssysteme und weitere gegeben.

- **Open Source** - Open Source ist ein weiteres Konzept, dem im Rahmen von Smart Cities und Communities eine wichtige Rolle beigemessen wird. Basierend auf Definitionen der OSI Open Source Initiative[4] erfüllt eine Open-Source-Software mit ihrem Code die folgenden Anforderungen **(1)** freie Weitergabe, **(2)** freier Quellcode, **(3)** frei für Modifikationen und abgeleitete Werke, **(4)** Integrität des Quellcodes, **(5)** keine Diskriminierung von Personen oder Gruppen, **(6)** keine Begrenzung/Diskriminierung von der auf dem Code aufbauenden Unterfangen, **(7)** breite Verbreitung der verwendeten Lizenz, **(8)** Lizenz darf nicht produktspezifisch sein, **(9)** Lizenz darf andere Software nicht einschränken, und final **(10)** Lizenz muss technologieneutral sein. Immer mehr Ausschreibungen für die Entwicklung von städtischen Plattformen fordern einen hohen Anteil an Open-Source-Komponenten, die verwendet werden sollen. Daher sollten Open Source und damit verbundene Eigenschaften als ein wesentlicher Punkt bei der Definition der Evaluationskriterien bei dieser Studie betrachtet werden. Das übergreifende Ziel dabei soll sein, den Einsatz von Open-Source-Komponenten und -Softwaremodulen im urbanen Kontext zu erhöhen, sofern ein ausreichendes Maß an Qualität und Sicherheit vorausgesetzt werden kann.

[4] Open Source Initiative: https://opensource.org/, zuletzt besucht am 16.02.2021.

Auf Basis dieser grundlegenden Definitionen werden in den Folgekapiteln weitere Konzepte eingeführt und anschließend Kriterien hergeleitet, auf deren Basis die auf dem Markt verfügbaren Smart City Lösungen evaluiert werden.

2.2 URBANE DATENPLATTFORMEN

Urbane Datenplattformen bilden das Kernstück einer kommunalen IKT-Infrastruktur. Dabei handelt es sich um eine zentrale Anlaufstelle für Daten aus verschiedenen Quellen (z.B. Behördendaten, IoT-Daten, Mobilitätsdaten, Energiedaten, offene Daten, kommerzielle Daten, u. a.) um darauf aufbauend Mehrwertdienste zu erstellen, die beispielsweise die Energieeffizienz einer Stadt optimieren. Eine tiefgreifende Klassifikation der Arten von Daten, die in einem Urbanen Datenraum anfallen und über eine Urbane Datenplattform aggregiert werden könnten, wurde in der Fraunhofer-Studie[5] über urbane Datenräume im Auftrag des Bildungsministeriums für Bildung und Forschung (BMBF) ausgearbeitet[6].

Immer mehr europäische Städte implementieren und bieten urbane Datenplattformen auf der Grundlage von IKT-Referenzarchitekturen an oder befinden sich in der Phase der Umsetzung solcher Urbanen Datenplattformen. Aufgrund der rasanten Zunahme von Smart Cities in ganz Europa hat das europäische Netzwerk für Smart Cities and Communities in Zusammenarbeit mit der Erasmus Universität Rotterdam eine Umfrage durchgeführt, um die aktuelle Situation in den europäischen Städten zu erheben. Die Studie analysierte den jeweiligen Entwicklungsstand von urbanen Datenplattformen, die verfolgten Ziele hinter den Plattformen, die Geschäftsszenarien, die Herausforderungen bei der Implementierung sowie unterstützende Faktoren und die erwarteten Auswirkungen dieser Plattformen. Die Studie der Erasmus Universität Rotterdam fasst die Ergebnisse aus 80 europäischen Städten zusammen und zeigt, dass 44 Prozent der Städte die Möglichkeit für den Aufbau einer Urbanen Datenplattform evaluiert haben, 25 Prozent in der Umsetzungsphase sind und 31 Prozent bereits eine Urbane Datenplattform in Betrieb genommen haben. Diese Ergebnisse weisen auf ein großes Wachstumspotential hin, das unter anderem durch die in dieser Studie evaluierten Lösungen erfüllt werden könnte.

[5] Schieferdecker, I.; Bruns, L.; Cuno, S.; Flügge, M.; Isakovic, K.; Klessmann, J.; Kraft, V.; Lämmel, P.; Stadtkewitz, D.; Tcholtchev, N.; et al. Urbane Datenräume—Möglichkeiten von Datenaustausch und Zusammenarbeit im Urbanen Raum. pp. 1–275, Juni 2018, online: https://cdn0.scrvt.com/fokus/774af17bdc0a18cd/69f7a401c168/UDR_Studie_062018.pdf, zuletzt besucht am 16.02.2021.

[6] Cuno, S., Bruns, L., Tcholtchev, N., Lämmel, P., & Schieferdecker, I. (2019). Data Governance and Sovereignty in Urban Data Spaces Based on Standardized ICT Reference Architectures. Data, 4(1), 16.

2.3 OFFENE URBANE PLATTFORMEN

Die EIP SCC und die Ergebnisse der zugehörigen Arbeitsgruppen bilden eine wesentliche europäische Initiative im Bereich der urbanen IKT-Referenzarchitekturen. Die DIN 91357 »Referenzarchitekturmodell Open Urban Platform (OUP)« stellt die entsprechende deutsche nationale Standardisierungsaktivität im Rahmen der urbanen IKT-Referenzarchitekturen dar. Die wesentlichen Eigenschaften einer solchen IKT-Referenzarchitektur bzw. Anforderungen an eine Offene Urbane Plattform sind:

(1) die Definition einer abstrakten Blaupause für IKT in Smart Cities

(2) die Forderung nach dem verstärkten Einsatz offener Standards und

(3) die Forderung nach der Nutzung offener Schnittstellen (unter Verwendung offener Standards) mit dem Ziel der

(4) Etablierung von Smart City IKT-Ökosystemen, die den Anforderungen nach

(5) Interoperabilität und

(6) Vermeidung/Reduzierung von Vendor Lock-in (d.h. Herstellerabhängigkeit) genügen.

Die offenen Standards, die innerhalb einer solchen Referenzarchitektur verwendet werden, stammen von etablierten Standardisierungsgremien wie ISO, DIN, ETSI, ITU-T, IETF, BSI, et cetera.

Eine OUP steht für eine Reihe von Konzepten, die die Interoperabilität zwischen städtischen IKT-Komponenten ermöglichen und dazu beitragen, die Bindung an einen bestimmten Anbieter zu vermeiden und damit die Nachhaltigkeit und langfristige Erweiterbarkeit der Smart City-Plattform und des Ökosystems zu gewährleisten. Die DIN SPEC 91357 liefert eine konkrete Definition, die besagt, dass ein OUP[8] eine »Plattform ist, die offene Standards und Schnittstellen verwendet, um Kompatibilität und Interoperabilität mit anderen Systemen und anderen städtischen Plattformen zu gewährleisten«.

[8] Übersetzung der Autoren aus DIN SPEC 91357, Reference Architecture Model Open Urban Platform (OUP), https://www.din.de/en/wdc-beuth:din21:281077528, zuletzt besucht am 16.02.2021.

Das Thema Vendor Lock-in ist für zukünftige nachhaltige smarte Städte und Kommunen von besonderer Bedeutung, da eine IKT-Referenzarchitektur, die auf OUP-Prinzipien basiert, die Möglichkeit bieten sollte, die starke Abhängigkeit von einem bestimmten Lieferanten oder Dienstleister zu reduzieren. Eine Offene Urbane Plattform sollte die Möglichkeit bieten, ein tragfähiges Ökosystem zu schaffen, das aus Industriepartnern, lokalen KMUs, wissenschaftlichen Einrichtungen und anderen IKT-bezogenen Akteuren besteht. Ähnlich wie bei allgemein akzeptierten Referenzmodellen aus dem Internet- und Telekommunikationsbereich wird eine OUP daher die integrative Entwicklung von Smart City Lösungen auf der Grundlage einer vorgegebenen Blaupause und Grundstruktur erleichtern.

3 RAHMEN DER STUDIE

3.1 METHODOLOGIE

Die Methodologie basiert auf iterativen Desktop- sowie Literaturrecherchen: die Desktop-recherchen wurden mit Hilfe üblicher Suchmaschinen wie beispielsweise »Google«, »DuckDuckGo« und »Bing« auf den offiziellen Webseiten beziehungsweise Dokumentationen der untersuchten Plattformen durchgeführt. Die Recherchen erfolgten über mehrere Wochen in mehreren Iterationen und mit regelmäßigen Selbstüberprüfungen zur Qualitätssicherung und Sicherstellung der Daten- und Informationsaktualität. Es wurde sowohl auf deutscher als auch auf englischer Sprache gesucht, um eine möglichst breite Informationsabdeckung sicher-zustellen. Hierbei ist ebenfalls festzuhalten, dass stichwortbasiert nach Eigenschaften gesucht wurde, die den in Unterkapitel 3.3 definierten Evaluationskriterien entsprechen. Sinnverwandte, semantisch gleiche Stichwörter wurden ebenfalls verwendet, um keine positiven Ergebnisse zu übersehen. Daraufhin wurden die Daten zentral integriert, aufbereitet und analysiert. Bei der Analyse ist zu erwähnen, dass erneut auch der Kontext, in dem die Stichwörter gefunden wurden, analysiert wurde, um Fehlinterpretationen ausschließen zu können. Speziell bei der Auswertung von Anwendungsfällen wurde ein Augenmerk auf die Rolle der Datenplattform in dem jeweiligen Anwendungsfall gelegt, um die Hauptrolle der Plattform in dem Anwendungs-fall zu validieren.

Parallel zur Desktoprecherche wurden ebenfalls Fachliteratur und weitere wissenschaftliche Papiere in die Recherche inkludiert, um neben den offiziellen Informationen noch weitere wissenschaftliche – unter Umständen den offiziellen Aussagen widersprechende - Perspektiven berücksichtigen zu können.

3.2 RAHMEN DER STUDIE

Das Thema Urbane Datenplattformen ist per se ein sehr breites Feld. Daher wurde der Rahmen der Studie vorher abgesteckt, um handhabbare Schlüsse ziehen zu können. Hierbei sind die folgenden zwei Punkte zu erwähnen.

Auswahl der Urbanen Datenplattformen
Es gibt zahlreiche Urbane Datenplattformen, daher wurde eine initiale Obergrenze von 50 untersuchten Plattformen gewählt. Bei der Auswahl wurde insbesondere darauf geachtet, dass Datenplattformen selektiert wurden, bei denen mindestens ein produktiver Einsatz erkennbar und ein Großteil der definierten Evaluationskriterien bewertbar ist. Wenn Datenplattformen bei der initialen Recherche mehrmals gefunden wurden, wurde dies als erhöhte Relevanz gewertet und daher wurden diese ebenfalls in die Liste der zu untersuchenden Datenplattformen aufgenommen. Darüber hinaus wurden nur Datenplattformen selektiert, die auf dem Markt aktiv sind bzw. noch aktiv fortgeführt werden. Plattformen, bei denen innerhalb der letzten 2 Jahre keine Aktivitäten erkennbar waren, wurden nicht inkludiert.

Insgesamt sind 58 Datenplattformen selektiert worden; eine Übersicht der untersuchten Datenplattformen ist in Annex A zu finden.

Definition der Evaluationskriterien
Die definierten Kriterien spielen eine zentrale Rolle im Rahmen der Entwicklung beziehungsweise Festigung von interoperablen und vendor-lock-in-freien urbanen IKT-Ökosystemen und wurden daher ausgewählt. Darüber hinaus spielt die DIN SPEC 91357 eine zentrale Rolle für den deutschen Markt der Urbanen Datenplattformen. Daher wurden zusätzlich Evaluationskriterien auf Basis der DIN SPEC 91357 »Referenzarchitekturmodell Offene Urbane Plattform (OUP)« abgeleitet. Die gesamte Liste der Evaluationskriterien ist im folgenden Unterkapitel dargestellt.

3.3 DEFINITION DER EVALUATIONSKRITERIEN

Jedes der in der folgenden Tabelle vorgestellten Evaluationskriterien wurde möglichst präzise definiert. Dennoch war in einigen Fällen weiterhin ein gewisser Interpretationsraum notwendig, da in diesen Fällen keine exakten Informationen gefunden werden konnten. Diese Interpretation ist in der Beschreibung dargestellt. Die dritte Spalte beschreibt die Relevanz des Kriteriums im Rahmen von urbanen Plattformen und interoperablen IKT-Ökosystemen.

Name	Beschreibung	Herleitung
Open Source	Das Kriterium »Open Source« beschreibt, ob eine Plattform auf Open-Source-Basis entwickelt wird. Zugriff auf den Code muss möglich sein.	Laut DIN SPEC 91357 stellt »Open Source« einen fundamentalen Eckpfeiler für ein offenes, urbanes IKT-Ökosystem dar, weshalb dieser Aspekt ebenfalls berücksichtigt wurde.
Hauptfunktionalitäten	Das Kriterium untersucht ausdrücklich angegebene Funktionen und auf welche Bereiche sich die Plattform fokussiert.	Um die zu untersuchenden Plattformen besser einordnen und eine Grundlage für weitere Vergleiche schaffen zu können, wurde das Kriterium »Hauptfunktionalitäten« definiert.
Einsatzgebiet	Das Kriterium »Einsatzgebiet« beinhaltet die Sektoren, auf die die Plattform im Rahmen ihrer Funktionalitäten fokussiert, oder auf Sektoren, die aus bereits umgesetzten Anwendungsfällen abzuleiten sind. Sektoren, die nicht aus Anwendungsfällen ersichtlich sind, müssen in der Dokumentation ersichtlich sein.	Um die zu untersuchenden Plattformen besser einordnen und eine Grundlage für weitere Vergleiche schaffen zu können, wurde das Kriterium »Einsatzgebiet« definiert.
Open Data	Das Kriterium »Open Data« erfasst, ob die Veröffentlichung von Datensätzen als Offene Daten technisch und funktionell möglich ist. Falls diese Information nicht einsehbar ist, wird dies negativ bewertet.	Das Veröffentlichen von Daten als »Open Data« ist weiterhin ein sehr relevanter Baustein für viele Smart City-Akteure und wurde daher evaluiert.
Erweiterbarkeit	Das Kriterium »Erweiterbarkeit« untersucht, inwiefern Plattformen mit zusätzlichen »Plugins«, »Mods«, »Modulen« oder anderen derartigen Erweiterungen von Dritten in einer anderen Weise ausgebaut werden können.	Der Aspekt »Erweiterbarkeit«, spielt eine zentrale Rolle bei der Entwicklung eines nachhaltigen, interoperablen urbanen IKT-Ökosystemen und wurde daher als Evaluationskriterien definiert und untersucht.

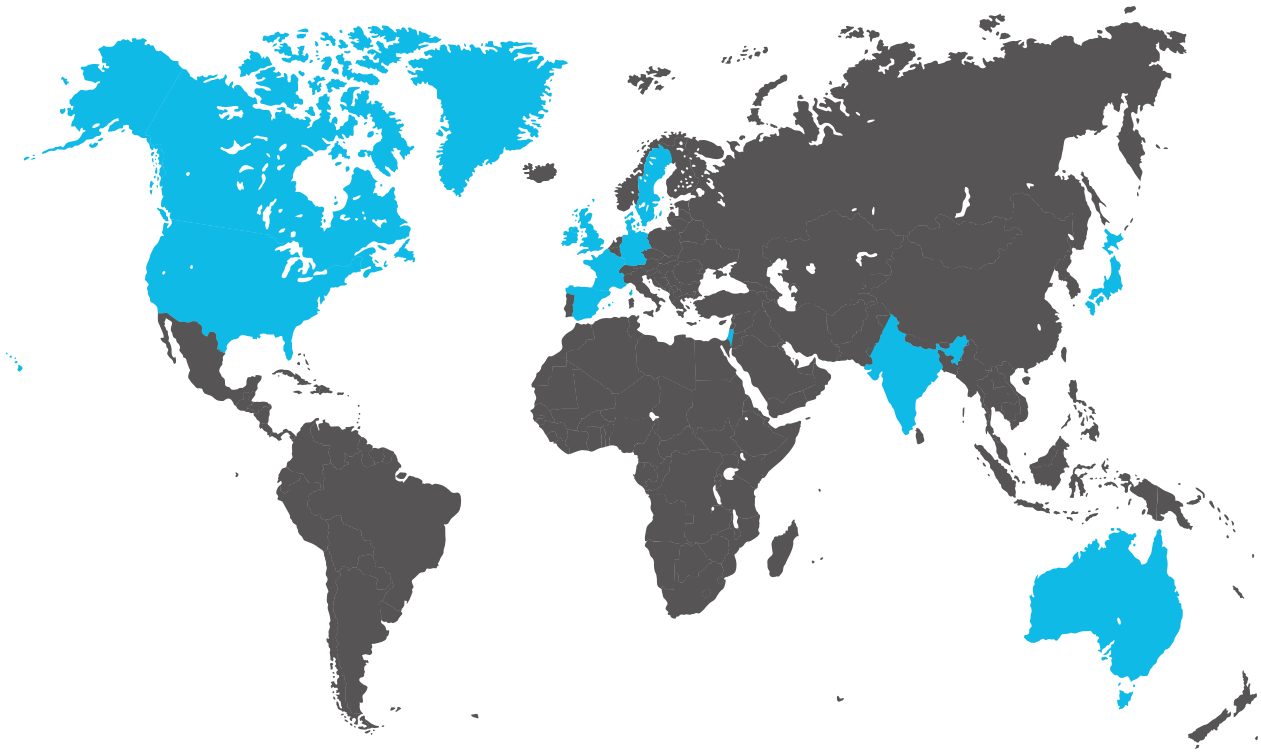
Name	Beschreibung	Herleitung
Modularität	Das Kriterium »Modularität« bezieht sich im Gegensatz zur »Erweiterbarkeit« auf den internen Aufbau der Plattform. Dieses Kriterium wird anhand der Dokumentation, des einsehbaren Codes oder eindeutiger technischer Informationen auf den jeweiligen Webseiten analysiert.	Der Aspekt »Modularität« spielt eine zentrale Rolle bei der Entwicklung eines nachhaltigen, interoperablen urbanen IKT-Ökosystemen und wurde daher als Evaluationskriterien definiert und untersucht.
Öffentlich zugängliche Dokumentation	Das Kriterium »öffentlich zugängliche Dokumentation« evaluiert, ob und in welchem Umfang eine Dokumentation öffentlich frei einsehbar zu finden ist. Als »umfassend« werden Plattformen beschrieben, wenn entweder die Plattform quelloffen entwickelt wird und der Quellcode frei einsehbar ist oder die Plattform eine Dokumentation in größerem Umfang und gewisser technischer Tiefe aufweist. Als »minimal« wird eine Dokumentation dann bezeichnet, wenn diese zwar offiziell vorhanden, allerdings nicht hinreichend ist, um in irgendeiner Weise bestimmte Funktionalitäten mit Hilfe von genauen Beschreibungen zu erläutern. Als »nicht vorhanden« wird die Dokumentation einer Plattform bezeichnet, wenn es keine offizielle Seite oder ein offizielles Dokument gibt, dass den Anschein eines Dokumentationsformates über exakt diesen Service oder diese Plattform macht. Hierzu zählen beispielsweise auch »Troubleshootings« und »Installationsanleitung«.	Der Aspekt »öffentlich zugängliche Dokumentation« spielt eine zentrale Rolle bei der Entwicklung eines nachhaltigen, interoperablen urbanen IKT-Ökosystemen und wurde daher als Evaluationskriterien definiert und untersucht.
Deploymentszenario	Das Kriterium »Deployment-Szenario« beschreibt die Betriebsart der Plattform. Unterschieden wird zwischen »Cloud-basiert« (ausschließlich durch einen Client oder über eine Webseite zugänglich), »vor Ort« (Plattform wird lokal eingerichtet) oder »beides« (beide Methoden können verwendet werden)	Da für viele Nutzende einer Plattform das »Deployment-Szenario«, d.h. wo die Plattform später betrieben werden soll, als von zentraler Bedeutung und auch als KO-Kriterium angesehen wird, wurde dieses in die Studie mit aufgenommen und bewertet.

Name	Beschreibung	Herleitung
Sicherheitskonzept	Das Kriterium »Sicherheitskonzept« wird in drei Abstufungen unterteilt. Mit »Basis« wird das Konzept einer Plattform bezeichnet, wenn entweder keine größeren Informationen abseits des Marketing-Materials zu finden sind oder jegliches Material auf ein sehr kleines Sicherheitskonzept mit wenig Umfang hindeutet. Mit »Advanced« werden Konzepte bezeichnet, die einen größeren Umfang an Faktoren einberechnen, oder technisch ein starker Fokus auf ein grundlegendes Sicherheitskonzept gesetzt wird. Wenn es Sicherheitszertifizierungen gibt, wird die Plattform mit »zertifiziert« bewertet.	Da es sich bei Smart Cities und der damit verbundenen IKT Infrastruktur um eine kritische Infrastruktur handelt bzw. handeln wird, ist die sichere Entwicklung sowie der sichere Betrieb einer Plattform von enormer Wichtigkeit. Daher wurde das Evaluationskriterium »Sicherheitskonzept« definiert, welches sich diesem Thema widmet.
Datenschutz (DSGVO/GDPR)	Das Feld »DSGVO/GDPR« behandelt die GDPR- bzw. DSGVO-Konformität. Damit eine Plattform als konform eingestuft wird, muss explizit angegeben sein, dass eine der beiden Konformitäten gegeben ist.	Das Kriterium »Datenschutz« bzw. die Konformität zu DSGVO/GDPR stellt einen elementaren Grundstein für das Vertrauen in urbane Ökosysteme dar und wurde daher untersucht und bewertet.

4 EVALUATIONSERGEBNISSE

Wie bereits erwähnt, wurden insgesamt 58 verschiedene urbane Datenplattformen untersucht, wobei der Hauptsitz der jeweiligen Anbieter in Abbildung 1 dargestellt ist. Es wird ersichtlich, dass der Großteil der Plattformen (circa 88 Prozent), die in die Liste der zu untersuchenden Plattformen aufgenommen wurden, aus den USA (31 der 58 Plattformen) oder aus Westeuropa (20 der 58 Plattformen) kommen. Dies lässt sich insbesondere damit erklären, dass die Mehrheit der großen IT-Player, welche eine enorme Marktabdeckung aufweisen und diverse Datenplattformen für unterschiedliche Sektoren anbieten, in den USA ansässig sind. Darüber hinaus wurden beispielsweise auch Plattformen von australischen und indischen Anbietern in die Liste der zu untersuchenden Plattformen aufgenommen.

Abbildung 1: Geographische Verteilung der untersuchten Plattformen.



4.1 ALLGEMEINE ERKENNTNISSE

Auf Basis der Definition aus Kapitel 2 wurde zu Beginn evaluiert, wie viele der untersuchten urbanen Plattformen als Open-Source-Lösungen klassifiziert werden können. Die Aufteilung ist in Abbildung 2 dargestellt. Hierbei ist deutlich erkennbar, dass ein Großteil der Lösungen – 41 von 58 untersuchten urbanen Plattformen – als proprietäre Lösungen klassifiziert wurden. Im Umkehrschluss lassen sich nur 17 von 58 untersuchten Plattformen gemäß der Open-Source-Definition eindeutig als Open-Source-Plattform einordnen. Auch wenn aktuell mehrere Open-Source-Bestrebungen bei den urbanen Plattformen erkennbar sind, gehört der größte Anteil weiterhin zu den proprietären Lösungen.

Open Source Anteil nach allgemeiner Auswertung

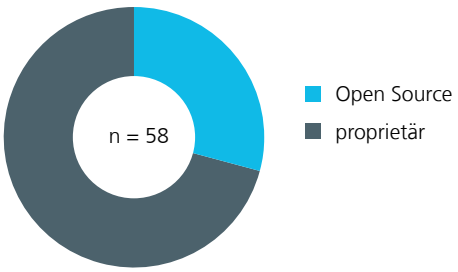
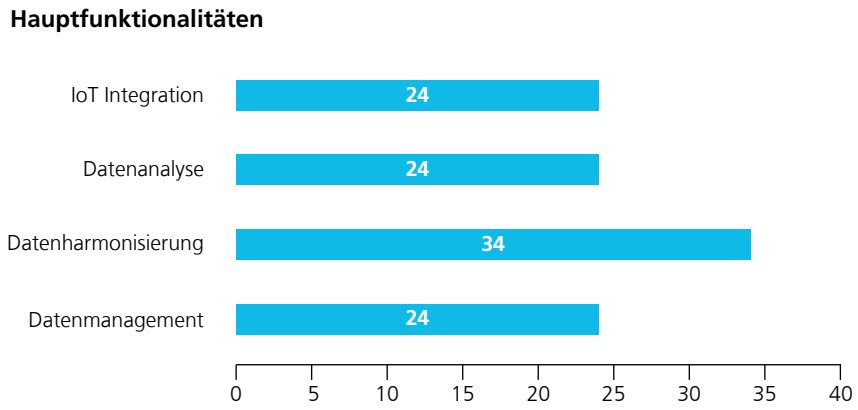


Abbildung 2: Aufteilung der untersuchten Lösungen nach Open Source und proprietär.

Um die untersuchten Lösungen besser einordnen zu können, wurden die Hauptfunktionalitäten der urbanen Plattformen analysiert, ausgewertet und kategorisiert; die Ergebnisse sind in Abbildung 3 festgehalten. Hierbei ist wichtig zu erwähnen, dass untersuchten Lösungen auch mehrere zusammengehörige Hauptfunktionalitäten, wie bspw. IoT-Integration und Datenanalyse, zugeordnet werden konnten. Es ist festzuhalten, dass alle untersuchten Lösungen einen Schwerpunkt auf die Aspekte Datenharmonisierung oder Datenmanagement legen. Dies lässt sich unter anderem dadurch erklären, dass effizientes Datenmanagement sowie effiziente Datenharmonisierung als notwendige Grundlagen für jegliche Datenanalyse oder Entwicklung von Mehrwertdiensten angesehen werden.

Abbildung 3: Aufteilung der untersuchten Lösungen nach Hauptfunktionalitäten.



Darüber hinaus offerierten jeweils 24 der untersuchten Lösungen IoT-Integration oder die Funktionalität Datenanalyse. Auch dies lässt sich damit erklären, dass sowohl die Integration von Sensornetzwerken als auch die Datenanalyse auf Basis der integrierten Datensätze als fundamentale Aspekte der nachhaltigen Digitalisierung angesehen werden.

Schaut man sich konkreter die Sektoren an, in denen die untersuchten urbanen Plattformen ihren Einsatzzweck sehen, wird deutlich erkennbar, dass die Kernsektoren zum einen der Industriesektor (im Rahmen von Industrie 4.0, Advanced Manufacturing, etc.) und zum anderen der öffentliche Sektor (im Rahmen von der Digitalisierung der öffentlichen Verwaltung sowie Bereitstellung von urbanen Daten) sind (siehe Abbildung 4). Dies lässt sich damit erklären, dass diese beiden Sektoren einerseits als Begünstigte der nachhaltigen Digitalisierung angesehen werden und andererseits als Sektoren mit einem unmittelbaren Handlungsbedarf gelten – bspw. der öffentliche Sektor mit der verpflichtenden Veröffentlichung von offenen Daten oder der Modernisierung der Verwaltungsleistungen. Bemerkenswert ist auch der relativ große Anteil an untersuchten Lösungen, die sich dem Forschungssektor zuordnen. Hierbei handelt es sich um Datenanalyseplattformen, die der Forschung die Möglichkeit geben wollen, möglichst effizient ihre Forschungsaufgaben durchführen zu können, die häufig mit der Analyse von Messdaten einhergehen.

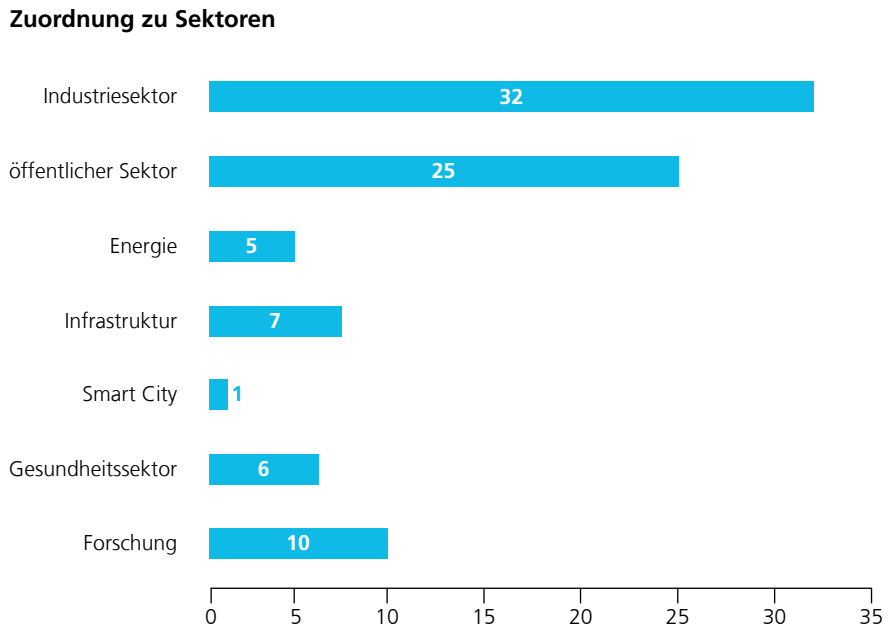


Abbildung 4: Aufteilung der untersuchten Lösungen nach Sektoren.

Die Veröffentlichung von Daten als Offene Daten (siehe Definition in Kapitel 2) spielt eine wichtige Rolle für die öffentliche Verwaltung und für öffentliche Unternehmen. Daher wurde evaluiert, inwiefern die untersuchten Plattformen Daten als Offene Daten veröffentlichen können (siehe Abbildung 5). Es ist erkennbar, dass der Großteil (67 Prozent) der untersuchten urbanen Plattformen Daten als Offene Daten veröffentlichen können. Da einige der Plattformen einen starken Fokus auf Datenakquisition und -analyse hatten, stand bei diesen die Veröffentlichung der Datensätze eher im Hintergrund und wurde somit nicht als Merkmal der Plattformen angegeben. Hier ist aber auch zu erwähnen, dass alle untersuchten Plattformen Möglichkeiten für den Datenaustausch zur Verfügung stellen, so dass davon auszugehen ist, dass auch die negativ bewerteten Plattformen prinzipiell in der Lage wären, mit Hilfe von Drittsoftware die Datensätze als Open Data zu veröffentlichen.

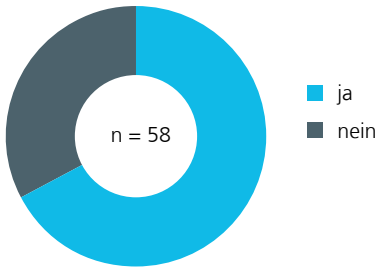
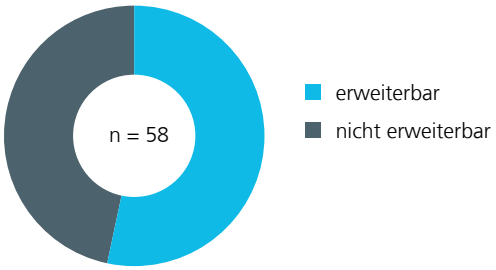


Abbildung 5: Aufteilung der untersuchten Lösungen nach dem Kriterium Open Data fähig.

Nach einer ersten, allgemeinen Untersuchung wurde im nächsten Schritt das definierte Evaluationskriterium Erweiterbarkeit (siehe Kapitel 3) analysiert. Die Aufteilung ist in Abbildung 6 dargestellt. Insgesamt lassen sich mehr als die Hälfte – 31 von 58 untersuchten Lösungen – als erweiterbar klassifizieren. Dies lässt sich damit erklären, dass vielen Herstellern die rasante Weiter- bzw. Neuentwicklung der aktuellen technischen Lösungen bewusst ist und diese somit leicht um neue Funktionalitäten erweiterbar sein sollten. Hierbei werden bei den untersuchten Lösungen insbesondere offene Standards eingesetzt, die eine Erweiterbarkeit sicherstellen.

Abbildung 6: Aufteilung der untersuchten Lösungen nach dem Kriterium Erweiterbarkeit.

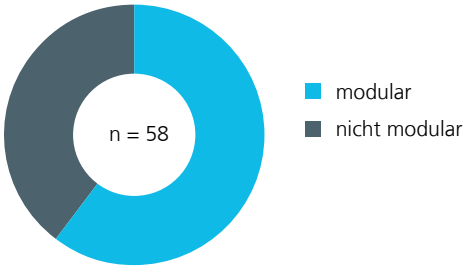
Erweiterbarkeit nach allgemeiner Auswertung



Darüber hinaus wurde das definierte Evaluationskriterium Modularität (siehe Kapitel 3) untersucht. Die Aufteilung ist in Abbildung 7 dargestellt. Auch hier lässt sich feststellen, dass mehr als die Hälfte – 35 der 58 untersuchten, urbanen Plattformen – als modular klassifiziert werden können. Die Begründung hierfür ist die gleiche, die schon bei dem Kriterium Erweiterbarkeit angebracht wurde. Um möglichst schnell und effizient auf neueste Technologieentwicklungen bzw. -änderungen reagieren zu können, ist eine modulare Konstruktion der urbanen Plattform notwendig. Ebenfalls ist die Verwendung von offenen Standards hilfreich, um die Modularität einer Plattform sicherzustellen.

Abbildung 7: Aufteilung der untersuchten Lösungen nach dem Kriterium Modularität.

Modular nach allgemeiner Auswertung



Abschließend wurde das Evaluationskriterium Dokumentationsabdeckung mit seinen Ausprägungen nicht vorhanden, minimal, umfassend evaluiert (siehe Kapitel 3 für eine detailliertere Beschreibung). Die Erkenntnisse sind in Abbildung 8 dargestellt und es wird ersichtlich, dass mehr als die Hälfte – 32 der evaluierten Lösungen – eine umfassende Dokumentation aufzeigen. Dies stellt einen sehr guten Wert dar, da nur sehr gut dokumentierte Lösungen auch leicht aufgesetzt, verwendet oder erweitert werden können. Ist im Umkehrschluss die Dokumentation nicht vorhanden, ist es nur sehr schwierig das Verhalten der urbanen Plattform nachzuvollziehen. Hierbei muss erwähnt werden, dass 15 von den 58 untersuchten Lösungen – dies entspricht immerhin knapp 26 Prozent – keine öffentlich einsehbare Dokumentation hatten, wodurch ein fundiertes Verständnis der Funktionalitäten dieser Lösungen für die Allgemeinheit nicht gegeben ist.

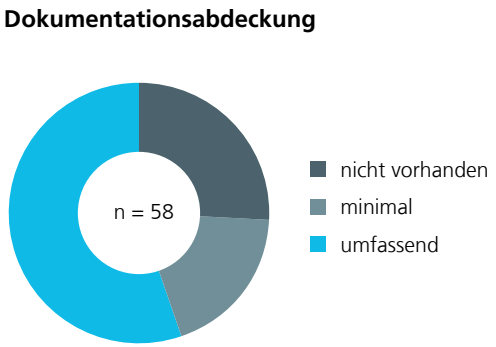


Abbildung 8: Aufteilung der untersuchten Lösungen nach Dokumentationsabdeckung.

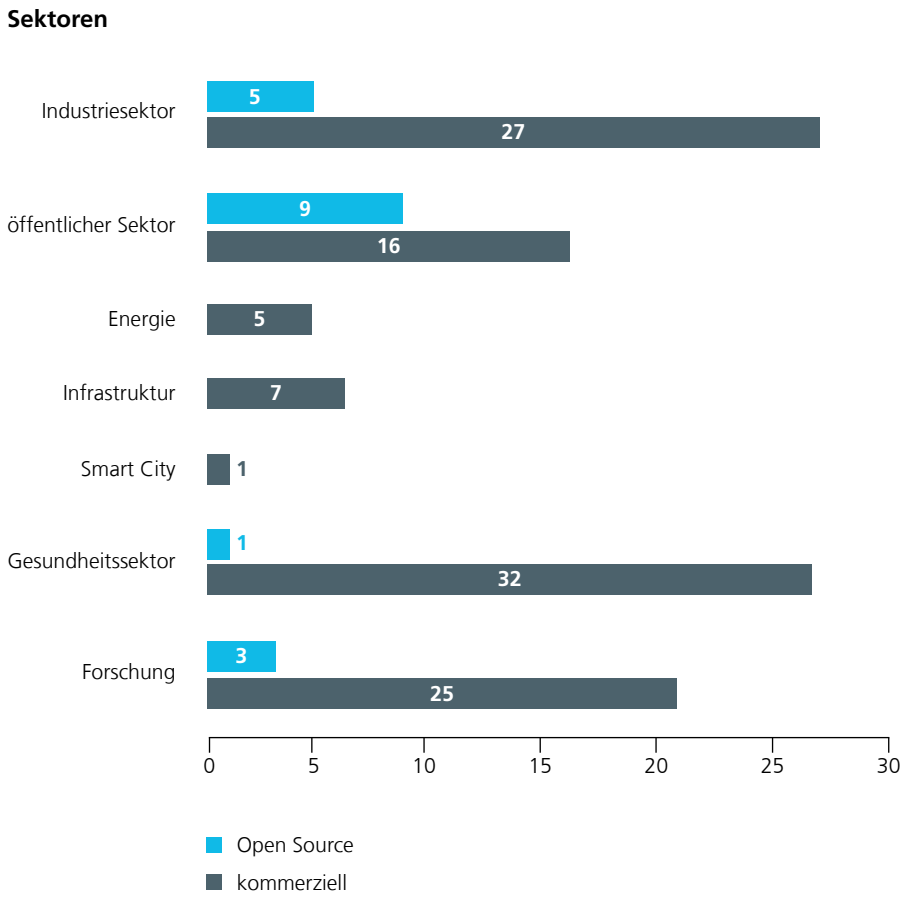
4.2 VERGLEICH VON OPEN SOURCE UND PROPRIETÄREN LÖSUNGEN

Nachfolgend werden die Aufschlüsselung nach Sektoren sowie die Kriterien Erweiterbarkeit, Modularität und Dokumentationsabdeckung expliziter zwischen den Open Source und proprietär verfügbaren Lösungen aufgeteilt, um einen detaillierteren Einblick zu geben und eine bessere Vergleichbarkeit sicherzustellen.

Eine entsprechende Analyse ergibt ein ähnliches Gesamtbild zu dem Vergleich aus Kapitel 4.1 es wird abermals ersichtlich, dass die Kernsektoren für beide Kategorien zum einen der Industriesektor und zum anderen der Öffentliche Sektor sind (siehe Abbildung 9). Die Erklärung hierfür ist ebenfalls, dass diese beiden Sektoren als Sektoren mit einem unmittelbaren Handlungsbedarf gelten und hier die erwarteten Umsätze besonders hoch sind. Dies spricht wiederrum für eine starke Dominanz von proprietären Lösungen. Insbesondere bei den

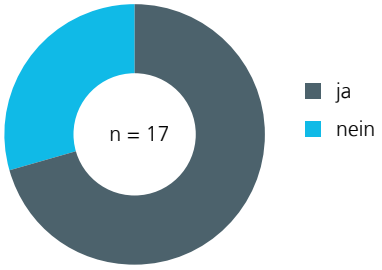
Sektoren Energie und Infrastruktur wird erkennbar, dass hier keine Open Source Lösungen vorhanden sind. Dies lässt vermuten, dass diese Märkte eher als geschlossen angesehen werden müssen und Open Source Lösungen nicht so leicht platziert werden können bzw. die Märkte mit den existierenden proprietären Lösungen bereits gut abgedeckt sind.

Abbildung 9: Aufteilung der untersuchten Lösungen nach Hauptfunktionalitäten (geteilt nach Open Source und proprietär).



Die Aufteilung der untersuchten, erweiterbaren Lösungen nach dem Kriterium Open Source / proprietär ist in Abbildung 10 dargestellt. Hierbei ergibt sich ein interessantes Bild: 71 Prozent der Open Source Lösungen können als erweiterbar eingestuft werden, wohingegen nur 46 Prozent der proprietären Lösungen dazu zählen. Open Source Lösungen, an denen meist verschiedene Organisationen sowie Individuen beteiligt sind, sind durch ihren verteilten Entwicklungscharakter meist per se erweiterbar konzipiert, so dass sie möglichst langlebig und leicht an sich veränderbare Anforderungen anpassbar sind. Dies scheint bei den proprietären Lösungen nicht so stark ausgeprägt zu sein, da hier häufig einzelne Entwicklerteams, die eng zusammenarbeiten, an einer Plattform arbeiten.

Erweiterbare Plattformen (Open Source)



Erweiterbare Plattformen (proprietär)

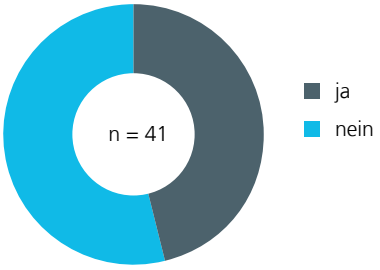
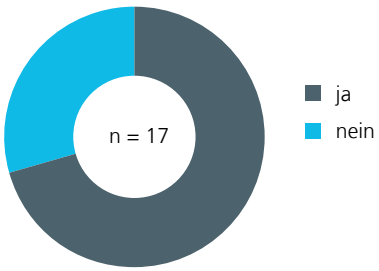


Abbildung 10: Aufteilung der erweiterbaren Lösungen nach dem Kriterium Open Source / proprietär.

Analog zu den erweiterbaren Lösungen wurden daraufhin die modularen Lösungen nach dem Kriterium Open Source / proprietär aufgeteilt, um weitere Erkenntnisse zu extrahieren. Die Aufteilung ist in Abbildung 11 visualisiert. Übereinstimmend mit der Aufteilung der erweiterbaren Lösungen, lässt sich abermals erkennen, dass die deutliche Mehrheit – 12 von 17 Open Source Plattformen – zu den modularen Lösungen gehören. Die Begründung hierfür ist die gleiche, die schon bei der vorherigen Abbildung angebracht wurde: Der verteilte Charakter und das Ziel, möglichst lang am Markt bleiben und effizient auf neueste Technologieentwicklungen reagieren zu können, macht eine modulare Konzeption der urbanen Plattformen notwendig. Bei proprietären Lösungen spielt dahingegen die Auslieferung von Produkten, die möglichst schnell, effizient, und kostengünstig umgesetzt werden, eine übergeordnete Rolle. Hierbei liegt der Fokus nicht unbedingt auf zukünftige Entwicklungen. Zusätzlich arbeitet hier meist genau ein Entwicklerteam mit ihren etablierten Prozessen an der Lösung und daher scheint der Aspekt der Modularität nicht ganz so stark ausgeprägt zu sein, denn nur 56 Prozent der proprietären Lösungen lassen sich als modular einstufen.

Modulare Plattformen (Open Source)



Modulare Plattformen (proprietär)

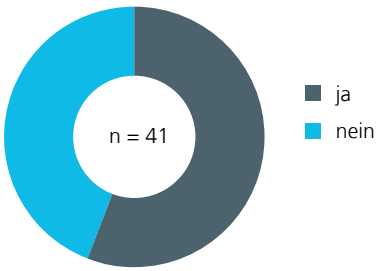
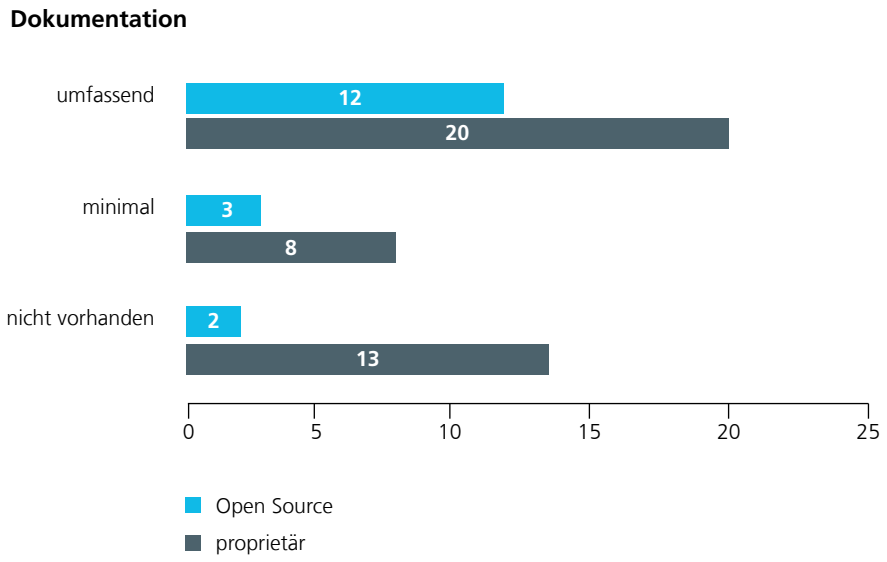


Abbildung 11: Aufteilung der modularen Lösungen nach dem Kriterium nach dem Kriterium Open Source / proprietär.

Abschließend wurde erneut das Evaluationskriterium Dokumentationsabdeckung mit seinen definierten Ausprägungen nach Open Source und proprietär geteilt evaluiert. Die Erkenntnisse sind in Abbildung 12 dargestellt und ergeben ein interessantes Bild: es wird deutlich, dass sofern proprietäre Lösungen eine Dokumentation angeben, diese in der Mehrheit sehr umfassend ist – insgesamt 20 von 41 proprietären Lösungen. Jedoch folgen in der Häufigkeit nicht die proprietären Lösungen mit einer minimalen Dokumentation, sondern mit keiner öffentlich einsehbaren Dokumentation. Daraus lässt sich schlussfolgern, dass sich proprietäre Lösungen meistens für zwei Alternativen entscheiden: a) Eine vollumfassende Dokumentation zu erarbeiten und zu veröffentlichen oder b) keine Dokumentation zu veröffentlichen. Dahingegen sieht das Bild bei den Open Source Lösungen anders aus: 12 der 17 untersuchten Open Source Lösungen – dies entspricht über 70 Prozent – weisen eine umfassende Dokumentation auf. Dies lässt sich dadurch erklären, dass häufig die Anforderung an eine solide Dokumentation bei Open Source Projekten gegeben ist, um sicherzustellen, dass Endnutzerinnen und Endnutzer die entstehenden Ergebnisse auch einsetzen und verstehen können. Darüber hinaus erarbeitet die Open Source Community die Dokumentation oft im Zuge der Nutzung und Weiterentwicklung einer Software kontinuierlich weiter, was zu einer besseren öffentlich verfügbaren Sammlung von FAQs, Erfahrungsberichten, Beschreibungen und Diskussionsforen führt. Bei proprietären Lösungen könnte dieses Know-how über Berater im Zuge einer übernommenen Installation seitens des Anbieters eingesetzt werden.

Abbildung 12: Aufteilung der untersuchten Lösungen nach Dokumentationsabdeckung (geteilt nach Open Source und proprietär).



4.3 AUSWERTUNG NACH DESIGNPRINZIPIEN DER DIN SPEC 91357

Im Folgenden werden ausgewählte, für den erfolgreichen Einsatz von urbanen Plattformen relevante Kriterien, die von den Designprinzipien der DIN SPEC 91357 abgeleitet wurden, näher beschrieben.

Abbildung 13 visualisiert die unterstützten Deploymentszenarien mit den Auswahlmöglichkeiten cloud-basiert, beides oder vor Ort für die Lösungen, bei denen das Deploymentszenario ersichtlich war. Es ist deutlich erkennbar, dass 38 der inkludierten Lösungen – dies entspricht circa 66 Prozent - als Cloud Lösungen angeboten werden. Dies impliziert gleichfalls, dass ein klarer Trend hinsichtlich Cloud-Lösungen existiert bzw. erwartet wird, dass Cloud-Lösungen gegenüber den klassischen vor Ort Lösungen bevorzugt werden. Die vor Ort Lösungen machen einen Anteil von circa 28 Prozent aus, wohingegen nur ein sehr geringer Anteil – 4 der 58 Plattformen – beide Szenarien unterstützt.

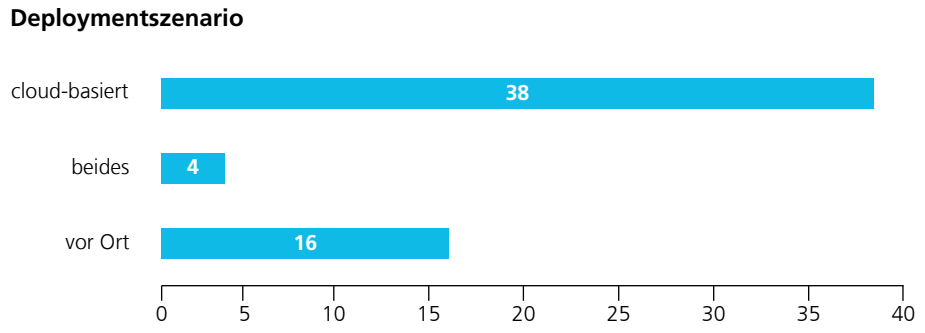
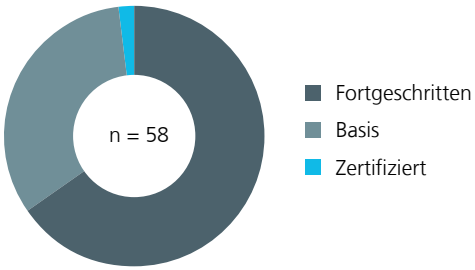


Abbildung 13: Aufteilung der untersuchten Lösungen nach Deploymentszenario.

Darüber hinaus wurde das Evaluationskriterium Sicherheitskonzept mit den Stufen *basis, fortgeschritten* und *zertifiziert* (siehe Kapitel 3 für eine ausführliche Beschreibung des Kriteriums) untersucht. Die Aufteilung ist in Abbildung 14 dargestellt. Es ist erkennbar, dass alle untersuchten Lösungen, bei denen das Sicherheitskonzept erkennbar war, mindestens ein grundlegendes Sicherheitskonzept oder besser aufweisen können. Dies ist ein sehr guter Wert, da die Sicherheit einer Plattform zentral für deren Verlässlichkeit sowie für das Vertrauen und schlussendlich auch die Akzeptanz der Nutzer ist. Insgesamt 38 der 58 Lösungen, bei denen das Sicherheitskonzept erkennbar war, hatten ein fortgeschrittenes Konzept, jedoch war nur eine Lösung sicherheitszertifiziert. Dass nur eine Lösung sicherheitszertifiziert war, ist negativ überraschend, da es sich bei Smart Cities um ein kritisches Umfeld handelt, bei dem (zertifizierte) Sicherheit eine zentrale Rolle spielen sollte.

Abbildung 14: Aufteilung der untersuchten Lösungen nach vorhandenem Sicherheitskonzept.

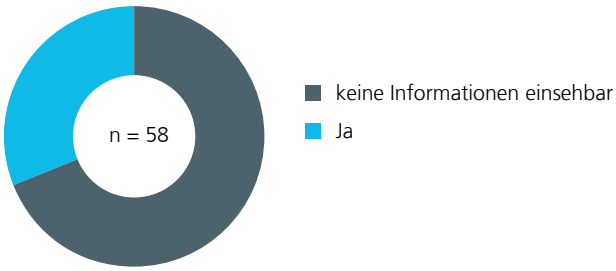
Sicherheitskonzept



Als abschließendes Evaluationskriterium wurde die GDPR/DSGVO Konformität (siehe Kapitel 3 für eine Detaillierte Beschreibung) untersucht und in Abbildung 15 visualisiert. Hierbei wurde festgestellt, dass die Mehrheit der untersuchten Lösungen – immerhin 40 von 58 – keine konkreten Angaben über Konformität zu GDPR bzw. DSGVO machen. Dies lässt sich unter anderem damit erklären, dass ein Großteil der untersuchten Plattformen von Anbietern aus den USA entwickelt wurden. Wenn der Hauptmarkt dieser Plattformen nicht der europäische Markt ist, dann ist es auch nicht notwendig, eine GDPR Konformität zu erwähnen. Auf der anderen Seite stehen circa 31 Prozent der Plattformen, welche eine klare GDPR/DSGVO Konformität anpreisen. Ein möglicher Grund hierfür könnte sein, dass sich die Anbieter dieser Plattformen damit insbesondere bei datenschutzbewussten Personen und Organisationen positionieren können. Gleichzeitig kann nicht verallgemeinert werden, dass die Plattformen, die keine Angaben machen, nicht DSGVO konform betrieben werden können. Vielmehr ist die fehlende Angabe bezüglich der Datenschutzmöglichkeit ein Potential, welches von diesen Plattformen gehoben werden sollte, um ihre Position auf dem (europäischen) Markt der urbanen Plattformen zu stärken.

Abbildung 15: Aufteilung der untersuchten Lösungen nach angegebener GDPR/DSGVO Konformität.

GDPR / DSGVO Konformität



5 DISKUSSION

5.1 OPEN SOURCE

Die dargestellten Ergebnisse geben einen umfassenden Überblick über die aktuelle Marktsituation in Bezug auf urbane Plattformen. Es lässt sich klar erkennen, dass proprietäre Closed-Source-Lösungen die Mehrzahl der angebotenen Lösungen darstellen. Im Umkehrschluss heißt das, dass das Potential für eine für Europa und Deutschland positive Marktentwicklung im Sinne einer Zunahme der Open-Source-Lösungen/Produkte besteht. Wir sehen auch immer mehr solcher Lösungen, wie zum Beispiel FI-WARE und das Daten-Kompetenzzentrum für Städte und Regionen (DKSR), die einen solchen Weg gewählt haben, und die ihr Geschäftsmodell auf die Beratung, Vernetzung und den Aufbau von Ökosystemen ausrichten. Dabei ist der zugrundeliegende Open-Source-Gedanke entscheidend für die technologische Unabhängigkeit und Souveränität im Zuge der Vermeidung bzw. Reduzierung des Risikos eines vendor-lock-in Effekts beim Aufbau von offenen IKT-Ökosystemen nach den Designprinzipien von DIN OUP.

5.2 DEPLOYMENT

Darüber hinaus lässt sich eine starke Tendenz für das Angebot urbaner Plattformen über die Cloud identifizieren. In diesem Sinne erkennt man auch eine Reihe von Produkten, bei denen jeweils eine Beziehung zwischen einem Cloud-Anbieter und einem Hersteller von urbanen Plattformen besteht (z.B. DKSR). Der Betrieb einer urbanen Plattform über die Cloud bietet eine Reihe von Vorteilen. Insbesondere sind das Management und die Steuerung der Plattform deutlich einfacher und belasten nicht die Stadt/Kommune mit einer zunehmend höheren technischen Komplexität. Die vor Ort Nutzung einer Plattform kommt dann in Frage, wenn aus organisatorischen Gründen ein Betrieb in einem Rechenzentrum erwünscht ist, welches für die jeweilige Stadt bzw. Kommune zuständig ist. Ein weiterer Grund könnte das fehlende Vertrauen in die Speicherung der Daten auf nichteuropäischen Servern (viele Cloud-Anbieter stammen aus den USA) sein – an dieser Stelle setzen neuere Initiativen wie GAIA-X auf nationaler und auf europäischer Ebene an, um eine Diversifizierung des Marktes von Cloud-Anbietern zu ermöglichen und die technologische Souveränität an dieser Stelle wiederherzustellen.

5.3 URSPRUNGSDOMÄNE DER BETRACHTETEN LÖSUNGEN

Bei den identifizierten und analysierten Plattformen sehen wir eine klare Dominanz der Produkte aus dem Bereich der Industrieautomatisierung, gefolgt vom öffentlichen Sektor und der Energiewirtschaft. Diese Lösungen werden für verschiedene Anwendungsdomänen im Rahmen der smarten Städte und Kommunen eingesetzt. Darüber hinaus ist es ersichtlich, dass vergleichsweise wenige Lösungen bzw. Produkte identifiziert wurden, die speziell auf den Smart City Markt zugeschnitten sind. Die meisten Plattformen haben ihren Ursprung in anderen Domänen (z.B. Industrieautomatisierung, Energiebereich) und werden nachträglich adaptiert und im urbanen öffentlichen Raum eingesetzt. Auch hier besteht folglich das Potenzial einer weiteren Marktentwicklung.

5.4 KERNFUNKTIONALITÄTEN

Die wichtigsten Technologieanforderungen, die von den aktuell verfügbaren Plattformlösungen adressiert werden, beinhalten die IoT-Integration, das Datenmanagement, die Datenanalyse und die Datenharmonisierung. Das reflektiert auch die Tatsache, dass viele der Urbanen Datenplattformen eine IoT-Komponente besitzen, die es ermöglicht, über standardisierte Schnittstellen verfügbare IoT-Netzwerke (z.B. LoraWAN, NB-IoT, …) zu integrieren und die Daten für darauf aufbauende Anwendungen und Dienste anzubieten. Die Aspekte des Datenmanagements, der Datenanalyse und der Datenharmonisierung beziehen sich sowohl auf IoT-Datenströme als auch auf statisch verfügbare Datensätze, wie zum Beispiel Open Data und Verwaltungsdaten. Durch die Integration verschiedener Datenquellen versuchen viele der verfügbaren Lösungen ein umfassendes Angebot an urbanen Daten zusammenzustellen und so ihre Position am Markt zu stärken.

5.5 SICHERHEIT-, QUALITÄTS- UND STABILITÄTSASPEKTE

Bei der Recherche fiel insbesondere auf, dass Qualitäts- und Stabilitätsaspekte bei den aktuell verfügbaren Lösungen selten bis gar nicht explizit angegeben werden. Es besteht ein deutliches Verbesserungspotential beim Thema Sicherheitskonzept der betrachteten Lösungen. Nur eine minimale Anzahl hat eine Zertifizierung unterlaufen. Darüber hinaus kann man auch keine transparente Qualitätssicherungsstrategie bei den betrachteten Lösungen erkennen, die unbedenklich deren Einsatz in einem kritischen Umfeld wie die smarte Stadt ermöglichen würde. Das liegt insbesondere daran, dass aktuell die Voraussetzungen für eine strukturierte und transparente Qualitätssicherung und Zulassung von offenen urbanen Plattformen fehlen. Dadurch leidet die Qualität und die Stabilität der Lösungen und der darauf aufbauenden Dienste und Applikationen, was dazu führt, dass viele spannende Projekte - insbesondere solche die auf IoT aufbauen - den Status eines Prototyps bzw. Living-Labs nie überwinden. Mit Hilfe von entsprechenden Zertifikaten für Smart City Lösungen, welche die Qualität, Stabilität und Sicherheit der Lösungen prüfen, könnte dieser Punkt adressiert und somit eine essentielle Grundlage für ein offenes, vendor-lock-in-freies und qualitätsgesichertes Ökosystem geschaffen werden.

5.6 OFFENE STANDARDS UND OPEN DATA

Als nächstes sei zu erwähnen, dass relativ oft die Nutzung von offenen Standards bei den verfügbaren Lösungen beobachtet wurde. Viele der untersuchten Plattformen sind auch so konzipiert, dass diese Offene Daten relativ einfach anbieten können (67 Prozent der untersuchten Lösungen). Diese zwei Aspekte sind besonders wichtig für die Etablierung eines offenen IKT-Ökosystems nach den Prinzipien von DIN SPEC 91357.

5.7 ERWEITERBARKEIT UND MODULARISIERUNG

Ein anderer wichtiger Punkt ist durch die Erweiterbarkeit und Modularisierung der betrachteten Lösungen gegeben. Diese zwei Eigenschaften sind insbesondere bei den Open-Source-Lösungen vorhanden – offensichtlich aus Gründen des verteilten Entwicklungscharakters mit vielen verschiedenen involvierten Stakeholdern – während die proprietären Lösungen weniger häufig als modular und erweiterbar aufgesetzt und angepriesen werden. Wie vorher erwähnt, wird aktuell auch der Trend beobachtet, dass proprietäre Lösungen von deren Herstellern auch als Open Source angeboten werden – das heißt, es gibt eine Open Source und eine Enterprise Version. Typische Beispiele sind durch die Plattformen von DKSR und FI-WARE gegeben. Dieser Aspekt erzeugt gute Aussichten, dass mehr erweiterbare und modulare Open-Source-Plattformlösungen auf dem Markt verfügbar sein werden, die initial von einem auf dem Markt konkurrierenden Softwareunternehmen aufgesetzt und entwickelt wurden.

5.8 ZUSAMMENFASSUNG

Der Dokumentationsumfang unterscheidet sich auch sehr stark bei den analysierten Plattformlösungen. Wir sehen, dass die Mehrzahl der betrachteten Plattformen über eine sehr umfassende Dokumentation verfügt. Nichtsdestotrotz gibt es auch viele Lösungen auf dem Markt, die kaum oder nur minimal eine offene transparente Dokumentation aufweisen. Dieser Aspekt verdeutlicht aber auch, dass weiterhin Produkte auf dem Markt existieren, die mit einer spezifischen Beraterleistung verknüpft sind. Diese Beraterleistung würde dann unter anderem Installationsanweisungen, -empfehlungen sowie Informationen für den sicheren Betrieb in einer Kommune umfassen. In diesem Sinne haben Open-Source-Lösungen fast immer einen Vorteil, weil sie auch bei fehlenden Beschreibungen der Software für Experten die Möglichkeit bieten, den offenen Code zu analysieren und die Pflege und den Betrieb der Plattform frei zu gestalten.

6 ZUSAMMENFASSUNG UND AUSBLICK

In dieser Studie wurden insgesamt 58 Plattformen untersucht und in Bezug auf verschiedene DIN SPEC 91357 basierte Kriterien geprüft. Am Anfang der Studie haben wir die grundlegenden Begriffe im Bereich der IKT-Technologie für smarte Städte und Kommunen eingeführt – nämlich das Konzept der »offenen Systemen« sowie die Definitionen für die Begriffe »Urbane Datenplattform« und »Offene Urbane Plattform«. Anschließend haben wir eine Reihe von Kriterien für die Evaluation der identifizierten Lösungen zusammengestellt und auf Basis einer Desktoprecherche eine Datenbasis erstellt, die die Grundlage für verschiedene Darstellungen bildet. Diese Darstellungen wurden in Kapitel 4 vorgestellt und in Kapitel 5 diskutiert.

Zusammenfassend kann man feststellen, dass der Markt für Smart City Plattformen eine hohe Dynamik aufweist. Es existieren verschiedene Lösungen, die sich sehr oft vorher in spezifischen Domänen (z.B. Energie, Industrieautomatisierung, etc.) etabliert haben und anschließend auf den Smart City Markt übertragen wurden. Die Kernfunktionalitäten der Plattformen sind dabei durch die Datenharmonisierung, das Datenmanagement, die Datenanalyse und die IoT-Integration gegeben. Ein geringerer, dennoch beachtlicher Anteil der identifizierten Plattformen macht Open-Source-Plattformen aus. Darüber hinaus ist auch der Trend zu beobachten, dass proprietäre Plattformanbieter spezielle Open Source Versionen ihrer Lösungen anbieten und dadurch für qualitative und bewährte Softwareplattformen auf dem Markt sorgen, die gleichzeitig einen hohen Grad an Offenheit bieten.

Als wesentliches Problem der aktuellen Plattformen wurde die fehlende Transparenz bei der Qualität und Stabilität der analysierten Lösungen sowie das häufige Fehlen eines transparenten Sicherheitskonzepts identifiziert. Darüber hinaus ist oft unklar, auf welcher Art und Weise die Anforderungen der GDPR/DSGVO adressiert werden. All diese Aspekte können unter anderem auf den Umstand zurückgeführt werden, dass aktuell keine Strukturen für die Zertifizierung und Zulassung von Offenen Urbanen Plattformen existieren und dadurch eine unabhängige Prüfung und Verifizierung wesentlicher Eigenschaften nicht gegeben ist. Dies führt leider oft dazu, dass viele Smart City Projekte den Status eines Prototyps nicht überwinden und oft am Ende leider aufgegeben werden.

Trotzdem zeigt sich ein starkes Wachstumspotenzial für den Markt der Smart City Plattformen. Open-Source Lösungen stellen hier eine attraktive Alternative für Städte und Kommunen dar, Prozesse effizienter zu gestalten und nachhaltiger zu werden und zugleich den Wert ihrer Daten zu heben. Mit einem entsprechenden Zertifikat für Smart City Lösungen könnten Vorbehalte bezüglich Stabilität und Sicherheit adressiert werden und so kann die Smart City mit Hilfe offener urbaner Datenplattformen einen echten Mehrwert für Kommunen darstellen.

ANNEX A

Name	Anbieter	Open Source	Hauptfunktionalitäten	Webseite
Accenture Interactive	Accenture	Nein	Datenmanagement, Datenanalyse	https://www.accenture.com/de-de/services/interactive-index
Anypoint Platform	Mulesoft	Nein	Datenlogistik, IoT-Integration	https://www.mulesoft.com/de/platform/enterprise-integration
Asset Panda	Asset Panda	Nein	Ressourcenmanagement, Datenlogistik	https://www.assetpanda.com/
Atos Codex	Atos	Nein	IoT-Integration, Datenanalyse	https://atos.net/en/solutions/atos-codex-connected-intelligence
Automated Governance Platform	Immuta	Nein	Datenmanagement, Datenanalyse	https://www.immuta.com/
Avalanche	Actian	Nein	Datenanalyse, Datenlogistik	https://www.actian.com/analytic-database/avalanche/
AWS Digital Government	Amazon	Nein	Datenmanagement, Datenanalyse	https://aws.amazon.com/de/products/management-tools/
Axonize	Axonize	Nein	IoT-Integration, Datenanalyse	https://www.axonize.com/
Azure IoT Central	Microsoft	Nein	IoT-Integration, Datenmanagement	https://azure.microsoft.com/de-de/services/iot-central/
Blynk IoT Platform	Blynk	Nein	IoT-Integration, Datenlogistik	https://blynk.io/
CKAN	gemeinschaftsgesteuert	Ja	Datenlogistik, Datenmanagement	https://ckan.org/
Cloud Orchestration	cplane.ai	Nein	IoT-Integration, Datenlogistik	https://cplaneai.com/cloud-orchestration/
Cloudera Data Hub	Cloudera	Nein	Datenanalyse, Datenmanagement	https://de.cloudera.com/products/enterprise-data-hub.html
Cumulocity	Software AG	Nein	IoT-Integration, Datenlogistik	https://www.softwareag.com/de_de/platform/integration-apis/api-integration-platform.html
Data Platform	Splice Machine	Nein	Datenlogistik, Datenmanagement	https://splicemachine.com/
Datastax Platform	Datastax	Nein	Datenanalyse, Datenlogistik	https://www.datastax.com/products/datastax-enterprise
Dataverse Project	The Global Dataverse Community Consortium	Ja	Datenlogistik, Datenmanagement	https://dataverse.org/
Datonis	Altizon	Nein	IoT-Integration, Datenanalyse	https://altizon.com/datonis-iiot-platform/
DKAN	gemeinschaftsgesteuert	Ja	Datenmanagement, Datenanalyse	https://getdkan.org/

Name	Anbieter	Open Source	Hauptfunktionalitäten	Webseite
DKSR	DKSR	Ja	Datenmanagement, Datenlogistik	https://dksr.city/
Domo IoT Cloud	Domo	Nein	IoT-Integration, Datenanalyse	https://www.domo.com/iot-cloud
Eagle.io	Eagle.io	Nein	Datenanalyse, Datenlogistik	https://eagle.io/
Fiix	Fiix	Nein	Ressourcenmanagement, Datenanalyse	https://www.fiixsoftware.com/integrations/
Fiware	gemeinschafts-gesteuert	Ja	IoT-Integration, Datenlogistik	https://www.fiware.org/
Fracttal	Fracttal	Nein	Ressourcenmanagement, Datenlogistik	https://www.fracttal.com/en/
Government Cloud	Oracle	Nein	Datensicherheit, Datenlogistik	https://www.oracle.com/industries/public-sector/government-cloud/
govService	Granicus	Nein	Datenmanagement, Ressourcenmanagement	https://granicus.com/
Hitachi Vantara Pentaho / Lumada	Hitachi Vantara	Nein	IoT-Integration, Datenlogistik	https://www.hitachivantara.com/de-de/products/data-management-analytics/pentaho-platform.html
Hortonworks Data Platform	Hortonworks	Nein	Datenlogistik, Daten-management	https://www.cloudera.com/downloads/hdp.html
IDS Integration Platform	IDS	Nein	Datenlogistik, Daten-management	https://www.ids.de/en/products/network-management.html
Ignition	Inductive Auto-mation	Nein	Datenlogistik, IoT-Integration	https://inductiveautomation.com/ignition/
IoT Cloud Connect	Cisco	Nein	IoT-Integration, Datenlogistik	https://www.cisco.com/c/en/us/solutions/service-provider/iot-cloud-connect/index.html
Kinetic	Cisco	Nein	IoT-Integration, Datenlogistik	https://www.cisco.com/c/en/us/solutions/internet-of-things/iot-kinetic.html
KITE Platform (Plattform)	Telefonica	Nein	IoT-Integration, Daten-management	https://iot.telefonica.de/iot-m2m-produkte/kite-plattform/
Kylo	Teradata	Ja	Datenmanagement, Daten-analyse	https://kylo.io/
Leonardo Cloud Plat-form	SAP	Nein	Datenanalyse, Datenmanage-ment	https://www.sap.com/germany/products/cloud-platform.html

Name	Anbieter	Open Source	Hauptfunktionalitäten	Webseite
magda	gemeinschafts-gesteuert	Ja	Datenlogistik, Daten-management	https://magda.io/
MindSphere	Siemens	Nein	IoT-Integration, Datenanalyse	https://siemens.mindsphere.io/de
MongoDB Atlas Data Lake	MongoDB	Nein	IoT-Integration, Datenlogistik	https://www.mongodb.com/atlas/data-lake
MyData	Fraunhofer IESE	Ja	Datenmanagement, Daten-logistik	https://www.mydata-control.de/
Open Data Server	Socrata	Ja	Datenlogistik, Daten-management	https://dev.socrata.com/
opendatasoft	opendatasoft	Nein	IoT-Integration, Datenanalyse	https://www.opendatasoft.com/de/loesungen-iot-smart-city
OpenIoT	gemeinschafts-gesteuert	Ja	IoT-Integration, Datenlogistik	http://www.openiot.eu/
OpenMTC	gemeinschafts-gesteuert	Ja	Datenlogistik, IoT-Integration	https://www.openmtc.org/platform.html
Piveau	Fraunhofer FOKUS	Ja	Datenmanagement, Daten-logistik	https://www.piveau.de/
Predix	General Electric	Nein	Datenanalyse, IoT-Integration	https://www.ge.com/digital/iiot-platform
PublishMyData	Swirrl	Ja	Datenlogistik, Daten-management	https://www.swirrl.com/
Sentilo	gemeinschafts-gesteuert	Ja	IoT-Integration, Datenlogistik	http://www.sentilo.io/wordpress/
Sisense Platform	Sisense	Nein	Datenanalyse, Datenlogistik	https://www.sisense.com/de/
Snowflake	gemeinschafts-gesteuert	Ja	Datenlogistik, Daten-management	https://www.snowflake.com/product/
The Datatank	gemeinschafts-gesteuert	Ja	Datenmanagement, Daten-logistik	http://thedatatank.com/
ThingWorx	PTC	Nein	IoT-Integration, Datenanalyse	https://www.ptc.com/de/products/iiot/thingworx-platform
truedat	Bluetab Solutions Group	Ja	Datenanalyse, Daten-management	https://www.truedat.io/
Urban Pulse	Urban Institute	Nein	IoT-Integration, Datenlogistik	https://www.ui.city/de/solutions/ui-urbanpulse
Verizon Connect	Verizon Connect	Nein	Flottenmanagement , Daten-analyse	https://www.verizonconnect.com/de/industrie/behoerdenflottenmanagement/

Name	Anbieter	Open Source	Hauptfunktionalitäten	Webseite
Viewpoint Cloud	OpenGov	Nein	Datenmanagement, Daten-analyse	https://www.viewpointcloud.com/products/
Watson IoT Platform	IBM	Nein	Ressourcenmanagement, Datenlogistik	https://www.ibm.com/de-de/internet-of-things
Whip Around	Whip Around	Nein	Flottenmanagement , Daten-analyse	https://whiparound.com/

Kontakt

Fraunhofer-Institut für Arbeitswirtschaft
und Organisation IAO
Nobelstraße 12, 70569 Stuttgart
www.iao.fraunhofer.de

Eva Ottendörfer
Telefon +49 711 970-2263
eva.ottendoerfer@iao.fraunhofer.de

Philipp Lämmel
Telefon +49 30 3463-7256
philipp.laemmel@fokus.fraunhofer.de

urn:nbn:de:0011-n-6350395
http://publica.fraunhofer.de/dokumente/N-635039.html

Layout: Lilian Ruchay

Titelbild: ©Hurca! - AdobeStock / Fraunhofer IAO

© Fraunhofer IAO, 6/2021