

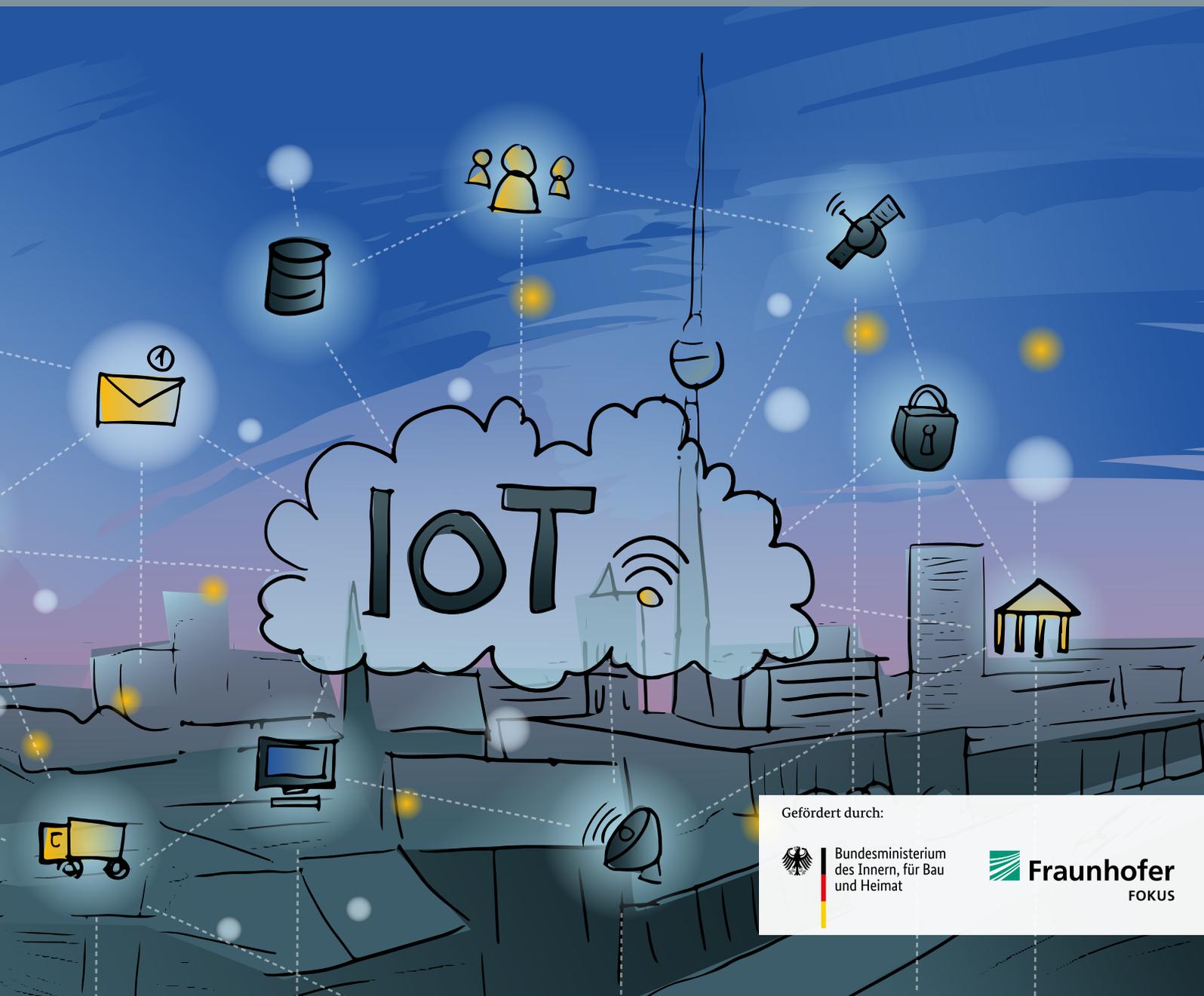


Kompetenzzentrum
Öffentliche IT

FORSCHUNG FÜR DEN DIGITALEN STAAT

DAS ÖFIT-TRENDSONAR INTERNET DER DINGE

Dorian Grosch, Nassrin Hajinejad, Jan Dennis Gumz, Jens Tiemann, Gabriele Goldacker



Gefördert durch:



Bundesministerium
des Innern, für Bau
und Heimat

 **Fraunhofer**
FOKUS

DAS TRENDSONAR INTERAKTIV

Das Trendsonar Internet der Dinge ist auch in einer interaktiven Variante auf der Website des Kompetenzzentrums Öffentliche IT benutzbar. Durch das interaktive Trendsonar können Sie auf alle Informationen zu den behandelten Technologien auch online mittels Smartphone, Tablet oder PC zugreifen. Darüber hinaus bietet Ihnen die interaktive Version des Trendsonars die Möglichkeit, zwei IoT-Technologien direkt miteinander zu vergleichen.

Das Trendsonar enthält Beschreibungen zu den analysierten Technologien sowie Einschätzungen von Expert:innen aus der IoT-Forschung und -Entwicklung. Einzusehen sind Bewertungen hinsichtlich Zukunftsfähigkeit, Reife-/Standardisierungsgrad sowie Angebot/Nachfrage. Zu jeder Technologie werden zudem quantitative Indikatoren zu Forschungsförderprogram-

men, wissenschaftlichen Publikationen, Gründungen, Patenten, Normungsaktivitäten, Suchanfragen sowie Sichtbarkeit in den Medien vorgestellt.

Neben dem Trendsonar Internet der Dinge finden Sie auch die Trendsonare zu den Technologietrends aus den Bereichen Künstliche Intelligenz¹ und IT-Sicherheit². Die ÖFIT-Trendsonare finden Sie unter:

www.oeffentliche-it.de/trendsonar

¹ Welzel et al., 2018.

² Opiela et al., 2016.

IMPRESSUM

Autoren:

Dorian Grosch, Nassrin Hajinejad, Jan Dennis Gumz,
Jens Tiemann, Gabriele Goldacker

Gestaltung:

Reiko Kammer

Herausgeber:

Kompetenzzentrum Öffentliche IT
Fraunhofer-Institut für Offene Kommunikationssysteme FOKUS
Kaiserin-Augusta-Allee 31, 10589 Berlin
Telefon: +49-30-3463-7173
Telefax: +49-30-3463-99-7173
info@oeffentliche-it.de
www.oeffentliche-it.de
www.fokus.fraunhofer.de
Twitter: @OeffentlicheIT

ISBN: 978-3-948582-08-1

1. Auflage Juli 2021

Dieses Werk steht unter einer Creative Commons Namensnennung 3.0 Deutschland (CC BY 3.0) Lizenz. Es ist erlaubt, das Werk bzw. den Inhalt zu vervielfältigen, zu verbreiten und öffentlich zugänglich zu machen, Abwandlungen und Bearbeitungen des Werkes bzw. Inhaltes anzufertigen sowie das Werk kommerziell zu nutzen. Bedingung für die Nutzung ist die Angabe der Namen der Autor:innen sowie des Herausgebers.

Von uns verwendete Zitate unterliegen den für die Quelle geltenden urheberrechtlichen Regelungen.

DANKSAGUNG

Wir bedanken uns bei allen Expert:innen, die durch viele wertvolle Einschätzungen und zielführende Diskussionen mit ihrem Fachwissen zu dieser Publikation beigetragen haben. Namentlich bedanken möchten wir uns bei Jörg Diederichs, Thomas Günther, Sascha Hackel, Dr. Christian Hammel, Fabian Manzke, Prof. Dr. Klaus Mößner, Dipl.-Ing. Tasso Mulzer, Axel Rennoch, Dipl.-Ing. Tahar Schaa, Dr.-Ing. Alexander Willner, Lars Wüstrich sowie Erik Zinger.

»DAS INTERNET DER DINGE IST KEIN KONZEPT,
ES IST EIN NETZWERK, DAS WAHRE
TECHNOLOGIEGESTÜTZTE NETZWERK
ALLER NETZWERKE.«
EDEWEDE ORIWOH

INHALTSVERZEICHNIS

1.	Das Internet der Dinge – der digitale Zwilling der Welt	4
2.	Das Trendsonar im Überblick	5
3.	Das Trendsonar im Detail	8
	Software	11
	Hardware	16
	Vernetzung	22
	Dienste und Anwendungen	27
4.	Handlungsempfehlungen	34
	Anhang A: Methodische Anmerkungen	35
	Anhang B: Quellenverzeichnis	37

1. DAS INTERNET DER DINGE – DER DIGITALE ZWILLING DER WELT

Das Internet der Dinge (Internet of Things, IoT) treibt die Verschmelzung von digitaler und physischer Welt voran und trägt dazu bei, einzelne Gegenstände, Gebäude oder gar ganze Städte smart zu machen. Mittlerweile sind mehr Geräte als Menschen mit dem Internet verbunden, mit weiterhin steigender Tendenz.³ Die Anwendungsgebiete von IoT sind dabei äußerst heterogen, was zur Bildung dedizierter Unterkategorien des Internet of Things geführt hat. Dazu gehören beispielsweise das Internet of Medical Things und das Industrial Internet of Things. Gleichzeitig wird für die nächsten Jahre ein starkes Marktwachstum für das IoT prognostiziert.⁴

Doch was genau wird mit dem Internet der Dinge bezeichnet und um welche Dinge geht es hier? Gemeint ist ein Ökosystem aus physischen Geräten, ausgestattet mit Sensoren, Netzwerkzugang und Aktuatoren. Wesentlich für die gesellschaftliche Wirkkraft dieser Geräte sind die Fähigkeiten, die durch das Zusammenspiel der verschiedenen Elemente ermöglicht werden.

Mithilfe von Sensoren und Rechenleistung sind diese Geräte in der Lage, Daten über Umweltbedingungen, physiologische Messungen oder Betriebsdaten von Maschinen zu sammeln und zu verarbeiten. Hierbei kann es sich in einem einfachen Beispiel um einen Getränkeautomaten handeln, der mittels eines Gewichtssensors die Anzahl der vorhandenen Getränke erfasst und als Information bereithält. Hinzu kommt die Fähigkeit der eigenständigen Kommunikation. So kann der Füllstand mit einem Warenwirtschaftssystem vernetzt werden, um Prozesse zu automatisieren, oder die entsprechende Information für Endnutzer:innen bspw. in passenden Apps verfügbar gemacht werden. Darüber hinaus können IoT-Geräte mittels Aktuatoren eigenständig in die Umwelt eingreifen. Der Getränkeautomat könnte beispielsweise in ausgewählten Situationen den Münzeinwurf versperren. Entscheidend ist hier der dafür notwendige autonome Datenaustausch, der ohne Benutzeranweisung bzw. -zustimmung erfolgt und damit Fragen nach

Datenschutz und Sicherheit aufwirft. So lassen sich auf Basis der Daten des Getränkeverbrauchs Rückschlüsse darüber ziehen, zu welcher Tageszeit sich vermehrt Menschen am Getränkeautomaten aufhalten.

Anwendungsfälle für das Internet der Dinge existieren in der Zivilgesellschaft, der Wirtschaft und der öffentlichen Verwaltung. Von Privathaushalten werden IoT-Anwendungen eingesetzt, um z. B. die Energieeffizienz durch die optimale Anpassung des Verbrauchs an die individuellen Nutzungsgewohnheiten zu steigern sowie die Gebäudesicherheit zu erhöhen. IoT ist außerdem ein wesentlicher Baustein der Industrie 4.0, z. B. in Form von vernetzten Sensoren in der Produktion. Innerhalb von Lieferketten können der Zustand und die Verarbeitung empfindlicher Waren überwacht werden. In Städten kann z. B. der Mülltransport effizienter gestaltet werden, indem Müllbehälter ihren Füllstand überwachen. Oder die Ausfallzeiten öffentlicher Verkehrsmittel werden dadurch reduziert, dass Instandhaltungsmaßnahmen vorausschauend eingeleitet werden. Im Gesundheitswesen bieten IoT-Anwendungen Lösungen für die Altenpflege und die Versorgung in ländlichen Regionen. So können Anwendungen zur Überwachung der Gesundheitswerte von Patienten eingesetzt werden, welche bei kritischen Veränderungen Alarmmeldungen an die zuständigen Ärzt:innen versenden.

Je nach Anwendungsfall variiert auch die Komplexität von IoT-Geräten. Ein für die Sicherheit an der Haustür angebrachtes Gerät muss lediglich die Öffnungs- und Schließvorgänge registrieren und den Hausbewohner per Smartphone-App benachrichtigen. Ein selbstfahrendes Auto hingegen muss eine große Anzahl unterschiedlicher Aufgaben gleichzeitig bewältigen: die komplexe Verkehrssituation wahrnehmen und einschätzen, mit anderen Fahrzeugen kommunizieren und Daten über die aktuelle Verkehrsinfrastruktur auswerten.

Die Leistungsfähigkeit des Internets der Dinge ergibt sich erst aus dem Zusammenspiel von Hardware, Software, Netzwerktechnik und Diensten. In diesem Trendsonar geben wir eine Übersicht zu wichtigen derzeitigen und zukünftigen Technologien aus allen vier Bereichen und analysieren deren gegenwärtige Bedeutung, Entwicklung und Zukunftschancen. Das ÖFIT-Trendsonar IoT richtet sich an Entscheidungsträger:innen aus Politik, Wirtschaft und Verwaltung, sowie an alle technisch Interessierten.

³ Während Schätzungen hierzu variieren, wird durchgängig von einer Anzahl im zweistelligen Milliardenbereich ausgegangen: https://www.researchgate.net/figure/Number-of-connected-IoT-devices-from-2012-to-2020_fig2_327272757, <https://www.gartner.com/en/newsroom/press-releases/2018-11-07-gartner-identifies-top-10-strategic-iot-technologies-and-trends>, <https://www.reply.com/en/to-pics/internet-of-things/the-evolution-of-the-consumer-internet-of-things>.

⁴ <https://www.statista.com/statistics/976313/global-iot-market-size/>, <https://www.statista.com/statistics/1194709/iot-revenue-worldwide/>.

2. DAS ÖFIT-TRENDSONAR IM ÜBERBLICK

Für dieses ÖFIT-Trendsonar haben wir in einem mehrstufigen Prozess (siehe Anhang A) Technologien aus dem Forschungsfeld des Internets der Dinge identifiziert. Die 28 wichtigsten Technologien wurden für die Publikation ausgewählt und werden nachfolgend vorgestellt. Das Trendsonar bietet Ihnen eine Übersicht und Analyse wichtiger derzeitiger und zukünftiger Technologien in den Bereichen:

- Hardware
- Software
- Vernetzung
- Dienste und Anwendungen

Die vorgestellten Technologien lassen sich in ihrem tatsächlichen Einsatz nicht immer klar einem der vier Bereiche Hardware, Software, Vernetzung sowie Dienste und Anwendungen zuordnen, diese helfen jedoch bei der Orientierung im hochdynamischen Feld des Internets der Dinge. Jeder Technologietrend wurde bei der Analyse anhand mehrerer Charakteristika bewertet.

Die zentralen Bewertungskriterien sind die Zukunftsfähigkeit und der Zeitraum bis zum erwarteten Durchbruch der Technologie (s. Abbildung 1):

Die Zukunftsfähigkeit bezeichnet die Zeitspanne, innerhalb derer die Technologie voraussichtlich noch eingesetzt wird. Wenn der Wert niedrig ist, ist es absehbar, dass sie bald durch eine Alternative ersetzt wird.

Der Zeitraum bis zum Durchbruch gibt an, wie viele Jahre es noch dauern wird, bis die Technologie als zuverlässig, technologisch robust und effektiv einsetzbar gilt. Der Durchbruch geht in der Regel mit einer signifikanten Verbreitung einher.

Die Kombination dieser Bewertungskriterien zeigt die Reife und das Potenzial von technologischen Lösungen auf einen Blick. Damit kann abgeschätzt werden, wann eine Technologie für eine dauerhafte Umsetzung zur Verfügung steht.

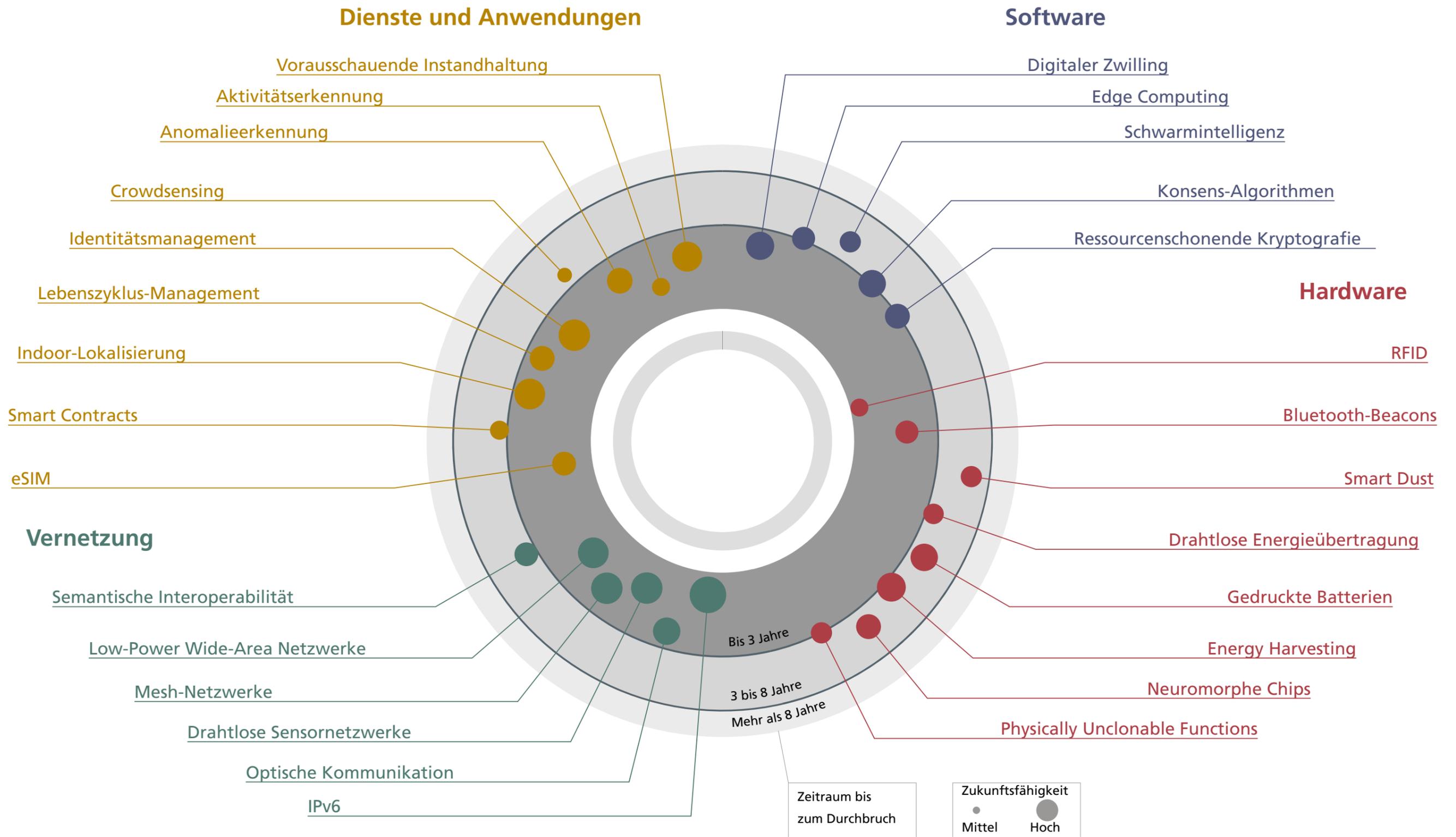


Jeder Technologietrend wird im Sonar durch einen Kreis repräsentiert.

Die Größe des Kreises steht für die relative Zukunftsfähigkeit der Technologie.

Die Entfernung zum Sonarinneren markiert den erwarteten Zeitraum bis zum Durchbruch.

Abbildung 1: Schematische Darstellung des Sonars



3. DAS ÖFIT-TRENDSONAR IM DETAIL

Um den Einsatz von IoT-Technologien in der Praxis einzuschätzen, müssen zu den zukunftsbezogenen Aspekten auch weitere Bewertungsdimensionen aufgenommen werden. Dazu wurden die Verfügbarkeit entsprechender Produkte (Angebotsseite), ihre Marktdurchdringung (Nachfrageseite), der Entwicklungsstand (Reifegrad) und der Standardisierungsgrad der Technologie erhoben. Dadurch werden Einsichten zur aktuellen Marktstruktur und zur Nutzbarkeit von Technologien in bestehenden Systemen ermöglicht. Diese zukunfts- und praxisrelevanzbezogene Einschätzung der Technologietrends wurde von Expert:innen aus dem Bereich der IoT-Forschung vorgenommen. Die fünf Bewertungsdimensionen sind jeweils in Form eines Netzdiagramms visualisiert (s. Abbildung 2).

Der Expert:innenanalyse sind quantitative Kenngrößen an die Seite gestellt. Hierzu wurden Daten aus Forschungsförderprogrammen auf Bundes- und EU-Ebene, aus Gründungsplattformen, aus Normungs-, Patent- und wissenschaftlichen Literaturdatenbanken, aus Suchmaschinenanfragen und aus Medienanalyse-Tools herangezogen.

Die zukunfts- und praxisrelevanzorientierten Einschätzungen und die quantitativen Indikatoren beleuchten die Eigenschaften

der ausgewählten Technologien aus zwei verschiedenen Perspektiven. Dabei ist bspw. die quantitative Erhebung von Gründungen ein Indikator für das Angebot einer Technologie am Markt, eine hohe Zukunftsfähigkeit spiegelt sich in dem Forschungsförderung-Indikator wider. Durch die gemeinsame Betrachtung von Expert:inneneinschätzungen und den quantitativen Indikatoren lassen sich Strategien für die Anwendung der thematisierten Technologien entwerfen.

Zukunftsfähigkeit

Der Wert der Kenngröße Zukunftsfähigkeit einer Technologie reflektiert die Zeitspanne, innerhalb derer die Technologie voraussichtlich noch eingesetzt wird. Je niedriger die Einschätzung der Zukunftsfähigkeit ist, desto eher ist absehbar, dass die Technologie durch eine Alternative ersetzt wird. Im Bereich des Internets der Dinge basiert der wissenschaftliche Fortschritt auf der Entwicklung neuer Hardware-Technologien und innovativer Software- und Netzwerkarchitekturen. Die Zukunftsfähigkeit neuer IoT-Technologien hängt jedoch nicht nur von der Forschung und Entwicklung ab, sondern auch von den marktwirtschaftlichen Dynamiken, die die Nachfrage für bestimmte IoT-Lösungen mitbestimmen und damit deren Relevanz beeinflussen.

Reife

Der Wert der Kenngröße Reife beschreibt den geschätzten Entwicklungsgrad einer Technologie. Je höher die Einschätzung, desto ausgereifter ist die Technologie. Insbesondere die innovative Kombination bereits ausgereifter Technologien zu einer neuen IoT-Lösung ist eine charakteristische Mechanik des IoT, die zu einer ständigen Ausweitung des IoT-Feldes führt. Der aktuelle Reifegrad einer Technologie hängt deswegen auch von ihrem momentan wahrgenommenen Potenzial ab, unmittelbar oder nach Weiterentwicklung in neuen Lösungen eingesetzt werden zu können. Wird eine Technologie über einen bestimmten Zeitraum hinweg großflächig eingesetzt und hat sie sich bewährt, so wirkt sich dies ebenfalls positiv auf den Reifegrad aus.

Angebot

Der Wert der Kenngröße Angebot bildet die Verfügbarkeit von Produkten ab, die auf der Technologie basieren. Je höher der Wert, desto vielfältiger ist die Angebotslage. Die Nutzung von einzelnen Technologien in IoT-Lösungen ist meist schwer zu erheben, da letztere oft als Gesamtpaket angeboten werden.

Anzahl nationaler und europäischer Forschungsförderungsprogramme:	●●● hoch (> 200) ●●● mittel (100 – 200) ●●● gering (0 – 100)
Entwicklung wissenschaftlicher Publikationen 2009 – 2013 verglichen mit 2014 – 2020	↗↘ Anstieg ↗↘ Abnahme ↗↘ gleichbleibend
Existenz innovationsorientierter Gründungen	🔍 vorhanden 🔍 nicht vorhanden
Verhältnis von Normentwürfen und Normen	▬ Verhältnis 🔍 nicht vorhanden
Entwicklung von Suchanfragen zwischen 2014 und 2020	↗↘ Anstieg ↗↘ Abnahme ↗↘ gleichbleibend
Anzahl existierender Patente	●●● hoch (> 1000) ●●● mittel (100 – 1000) ●●● gering (0 – 100)
Anzahl der Erwähnungen in journalistischen Medien zwischen 2015 und 2020	●●● hoch (> 10000) ●●● mittel (1000 – 10000) ●●● gering (0 – 1000)

» WIE LUFT UND TRINKWASSER
 WIRD DAS DIGITALE NUR DURCH SEINE
 ABWESENHEIT WAHRGENOMMEN,
 NICHT DURCH SEINE ANWESENHEIT. «
 NICHOLAS NEGROPONTE

Die Einstiegsschwelle für die Entwicklung neuer IoT-Produkte ist durch die Erschwinglichkeit der benötigten grundlegenden Hardwareelemente und eine Vielzahl von bestehenden Softwarelösungen zur Programmierung derselben als niedrig anzusehen. Aus diesem Grund ist eine schnellere Bereitstellung neuer Technologien durch kleinere Anbieter zu erwarten.

Nachfrage

Der Wert der Kenngröße Nachfrage nach einer Technologie ergibt sich aus dem Bedarf an auf der Technologie basierenden IoT-Lösungen. Eine zunächst geringe Nachfrage für eine als zukunftsfähig eingeschätzte Technologie kann mehrere Ursachen haben. Oft manifestieren sich Durchbrüche für IoT-Technologien erst dann, wenn eine gewinnbringende Kombination dadurch erkannt wird, dass ein darauf aufbauendes neues Produkt auf dem Markt erfolgreich ist. Durch die zunehmende Digitalisierung unterliegt dabei der Markt für IoT-Lösungen einer ständigen Verbreiterung, was sich auch durch eine steigende Nachfrage offenbart.

Standardisierung

Der Wert der Kenngröße Standardisierung spiegelt die Einschätzung zum Standardisierungsgrad einer Technologie wider. Je höher der Wert, desto ausgereifter und etablierter sind verfügbare Standards. Standardisierung trägt zu höherer Qualität und zu verbesserter Interoperabilität bei. Als neues, breites und sehr ausdifferenziertes Anwendungsgebiet führte IoT bisher zu einer hohen Anzahl von teilweise hochspezialisierten und in einigen Fällen auch konkurrierenden Standards. Bedeutsame Einflussfaktoren sind dabei IoT-Foren und Industriallianzen, welche die Entwicklung von Standards in unterschiedliche Richtungen vorantreiben.

Das Feld des Internets der Dinge ist allgemein durch hohe Zukunftsfähigkeit, eine komplexe Standardisierungsaufgabe und mehr Nachfrage als Angebot gekennzeichnet. Trotzdem weisen einzelne Technologien bemerkenswerte Kombinationen der Kenngrößen auf und lassen damit auf eine zukünftige positive Entwicklung des IoT-Feldes schließen.

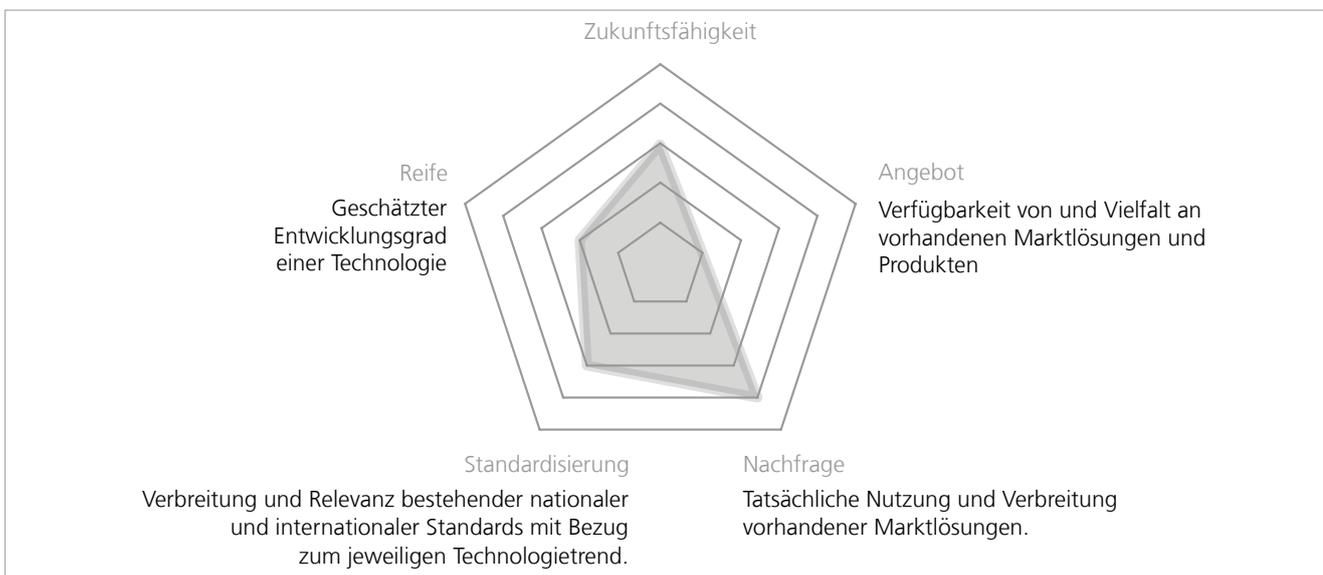


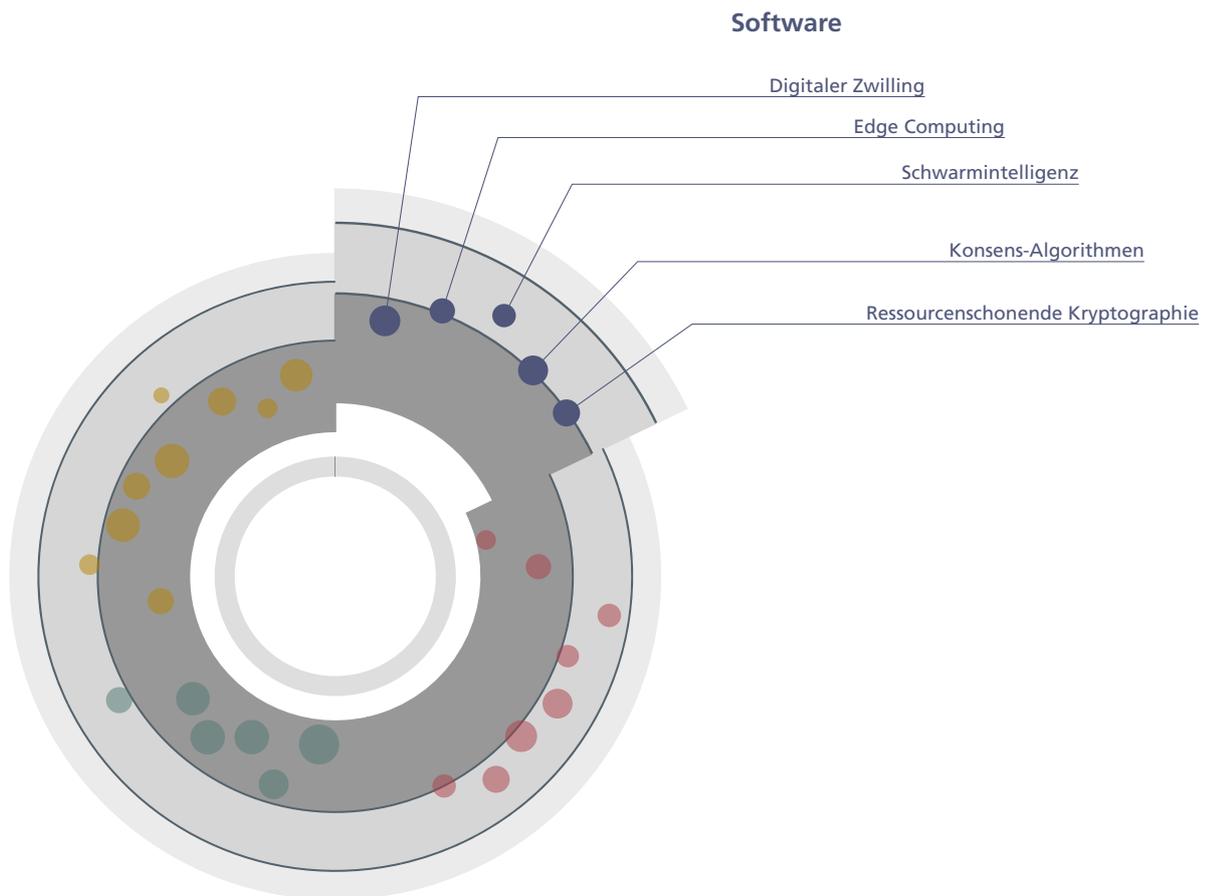
Abbildung 2: Schematische Darstellung der Expert:innenbewertung



SOFTWARE

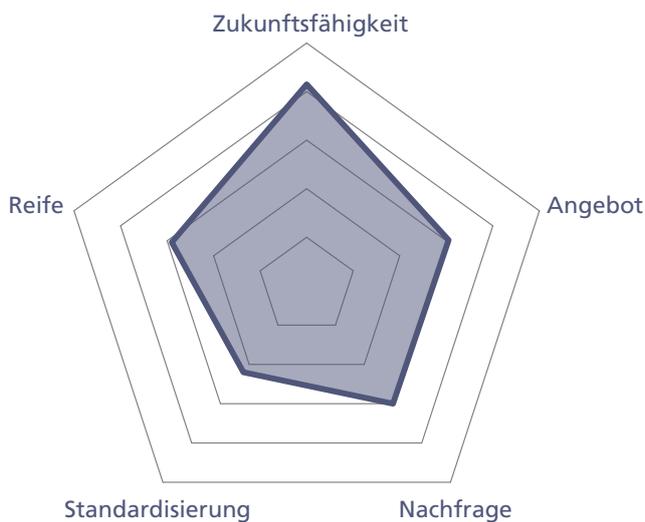
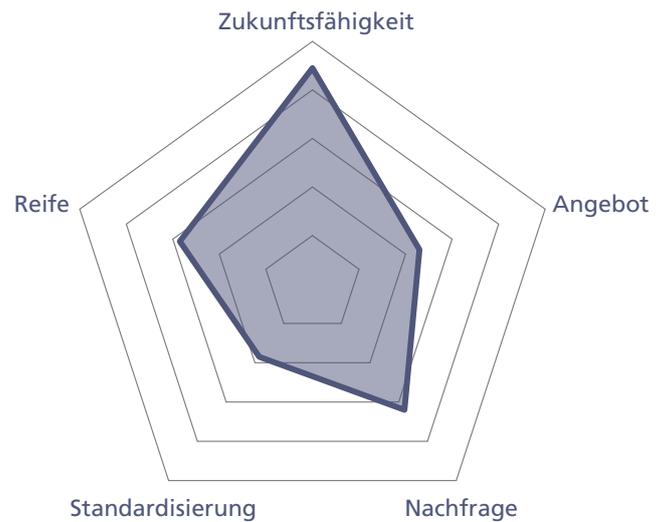
In diesem Abschnitt sind verschiedene technologische Grundkonzepte zusammengefasst, die das komplexe Zusammenspiel von IoT-Geräten und IoT-Infrastrukturkomponenten auf der Softwareebene prägen. Diese Technologien realisieren neuartige Funktionalität für das IoT, steuern und organisieren aber

auch das Verhalten der einzelnen IoT-Komponenten. Auch wenn einige dieser Technologien ursprünglich nicht für das IoT-Feld entwickelt wurden, entfalten sie hier ihr volles Potenzial und bestimmen die Ausdehnung des zukünftigen IoT-Anwendungsfeldes mit.



DIGITALER ZWILLING

Digitale Zwillinge repräsentieren Objekte und Prozesse der realen Welt in digitalen Systemen. Sie modellieren die Eigenschaften und das Verhalten ihrer realen Gegenstücke durch die Integration von Echtzeit-Sensordaten. Über einen digitalen Zwilling können die entsprechenden Objekte oder Prozesse auch gesteuert und beeinflusst werden, bspw., indem durch »Umleiten« des digitalen Zwillings eines realen Versandpaketes dessen Zustellungsort geändert wird.



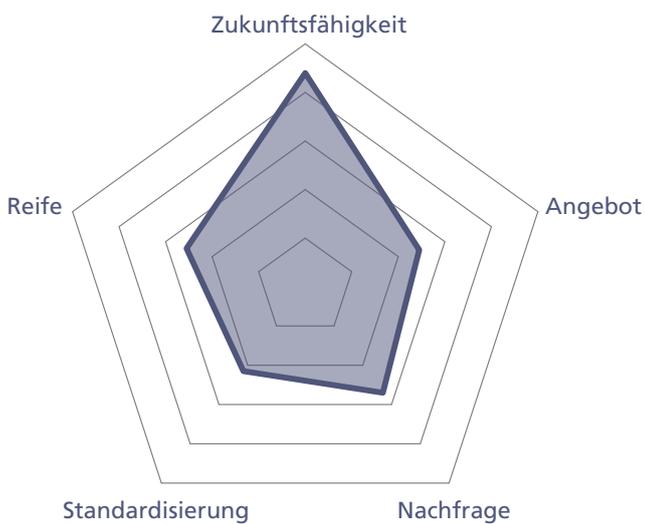
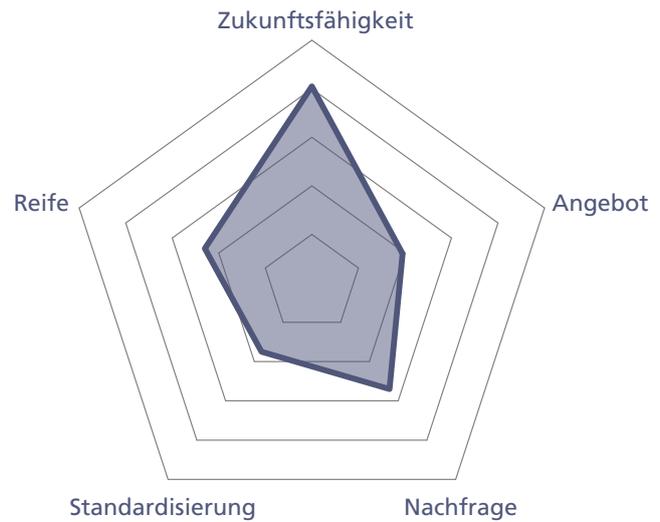
EDGE COMPUTING

Bei dem Edge-Computing-Paradigma findet die Datenverarbeitung weitgehend am Rand des Netzwerks statt. Dies steht im Gegensatz zu der zentralisierten Cloud-Computing-Architektur. Dadurch, dass Datenströme so nah wie möglich an Maschinen und Endgeräten verortet werden, sollen Dienste wie z. B. (Straßen-)Verkehrsmanagement schneller und effizienter werden.



SCHWARMINTELLIGENZ

Schwarmintelligenz ist ein Beispiel kollektiver Intelligenz und entsteht aus der Zusammenarbeit vieler autonomer Einheiten. Hierbei werden trotz einfacher lokaler Mechanismen der einzelnen Systeme komplexe globale Lösungen möglich. Schwarmintelligenz kann die Effizienz in verschiedenen Anwendungsgebieten erhöhen, bspw. bei der Optimierung von Datenrouten oder der Prozesssteuerung.



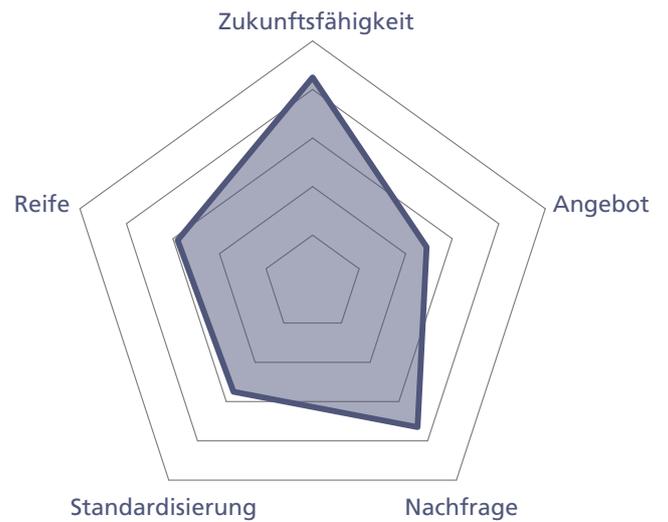
KONSENS-ALGORITHMEN

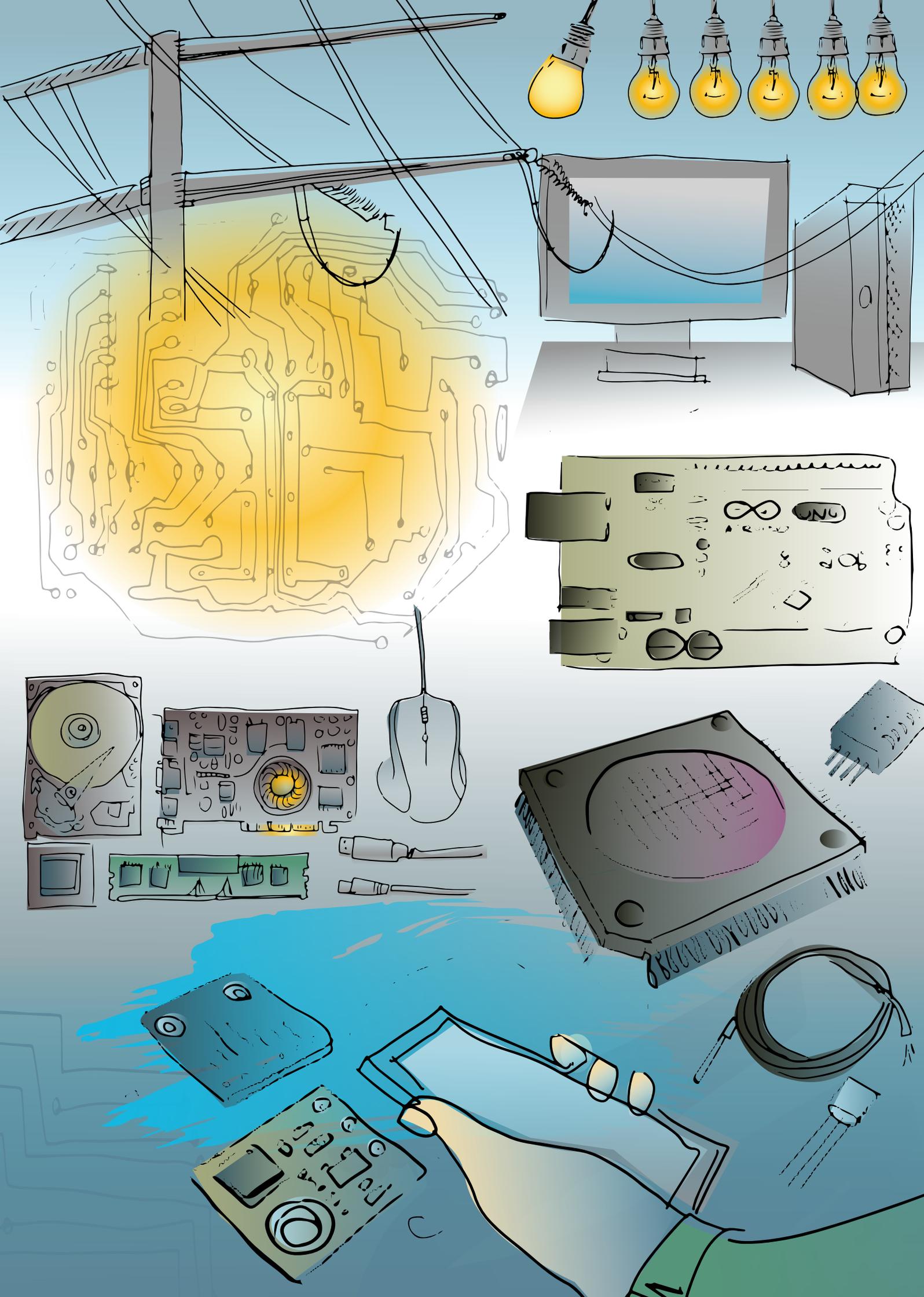
Konsens-Algorithmen sind Mechanismen, mit denen sich verschiedene Rechner in einem Netzwerk auf die Gültigkeit eines gemeinsamen Datums einigen. Solche Daten sind z.B. ein Zustand, eine Reihenfolge, eine Route etc. Insbesondere in verteilten Systemen wie bspw. der Blockchain sind diese Algorithmen unerlässlich für die erfolgreiche Koordination.



RESSOURCENSCHONENDE KRYPTOGRAPHIE

Bei Systemen mit stark eingeschränkten Ressourcen und zugleich hohen Sicherheitsanforderungen muss ressourcenschonende Kryptografie eingesetzt werden. Der Begriff bezeichnet Ver-/Entschlüsselungsalgorithmen, die bspw. für IoT-Szenarien optimiert sind. Sie zeichnen sich durch geringe Rechenzeit und/oder geringen Speicherbedarf auf den ressourcenschwachen Geräten aus. Damit erfüllen sie zeitliche Anforderungen, berücksichtigen sie Hardwarebeschränkungen oder erhöhen sie die Funktionsdauer energiebeschränkter Geräte.

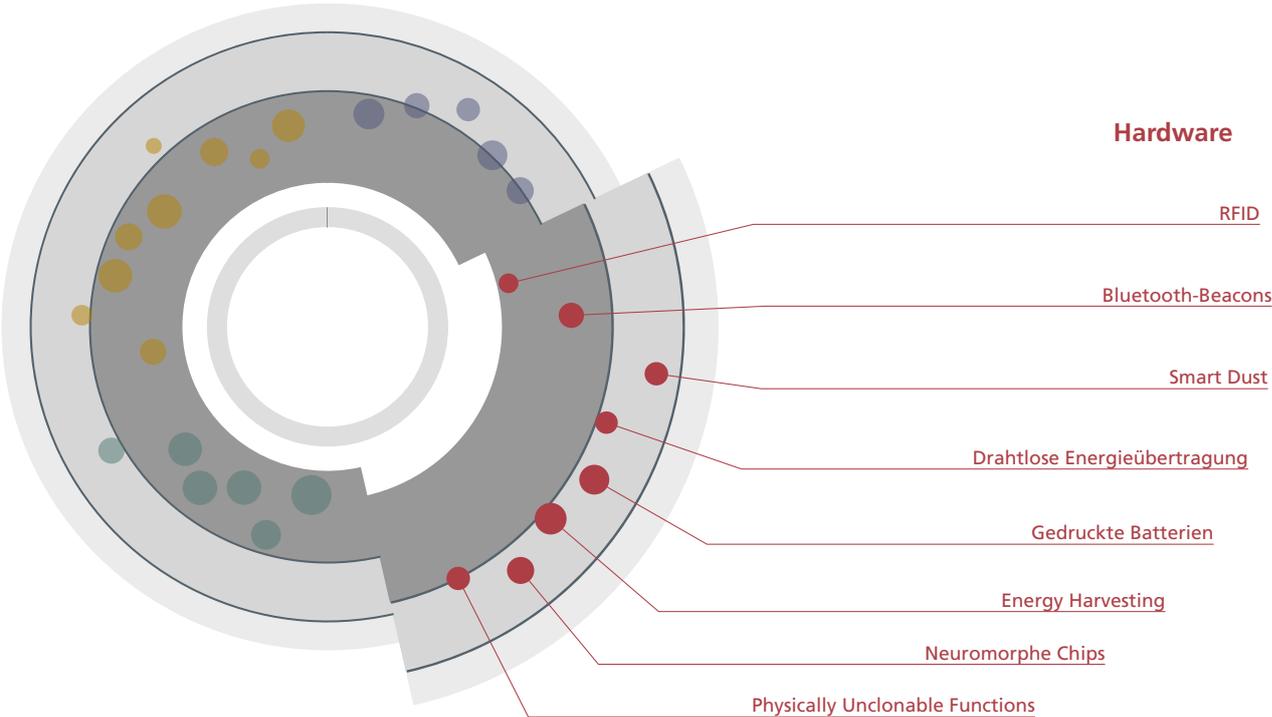




HARDWARE

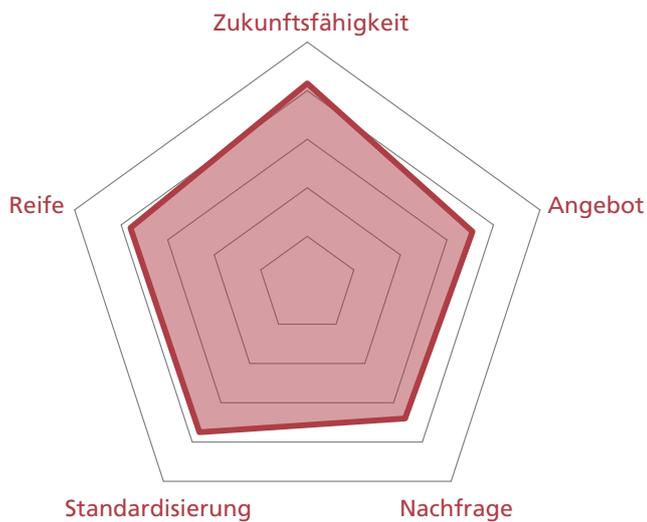
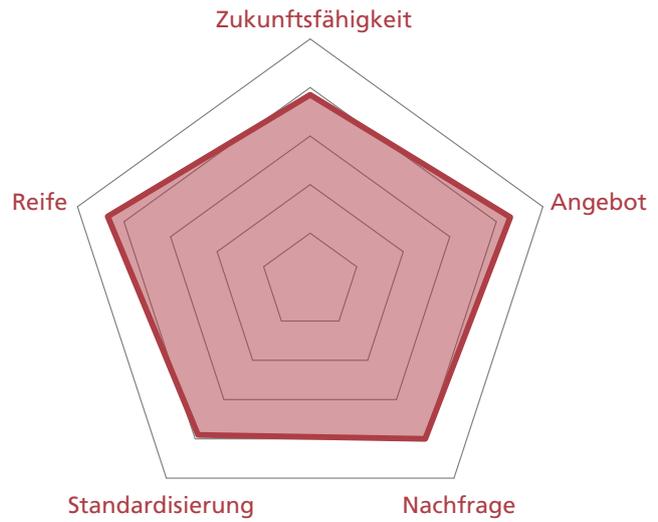
In diesem Abschnitt sind elektrotechnische Bausteine und Systeme zusammengefasst, welche technische Grundlagen für gegenwärtige und zukünftige IoT-Systeme bilden. Technologien in dieser Kategorie gehen aus Durchbrüchen in der Elektrotechnik hervor und werden zum Teil auch außerhalb des IoT einge-

setzt. Diese Kategorie ist vielgestaltig und umfasst Bausteine für IoT-Kommunikation, Systeme für verbesserte Energieversorgung und hochspezialisierte Elektronikkomponenten, die IoT-Geräten neue Funktionsmöglichkeiten erschließen.



RFID

RFID-Technik nutzt elektromagnetische Wellen, um auf Funketiketten gespeicherte Informationen auszulesen. Diese Transponder können auf Objekten angebracht oder implantiert werden. Aktive RFID-Etiketten verfügen über eine eigene Stromquelle und ermöglichen je nach Frequenzbereich das Schreiben und Auslesen aus einer Distanz von bis zu hundert Metern. RFID-Technik kommt bspw. in automatisierten Fertigungsprozessen zum Einsatz.



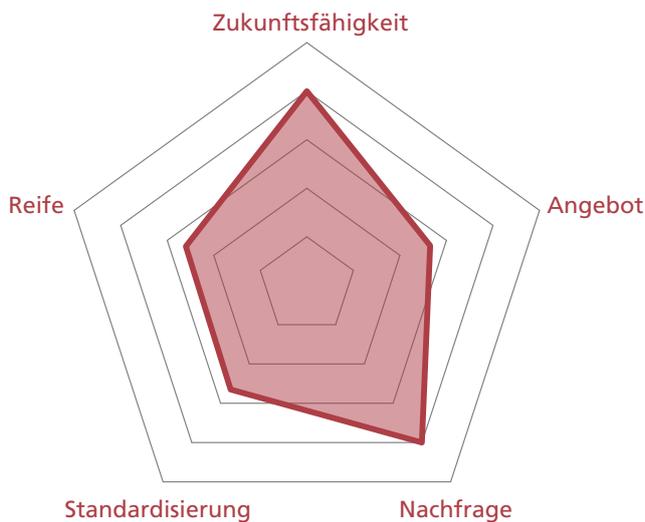
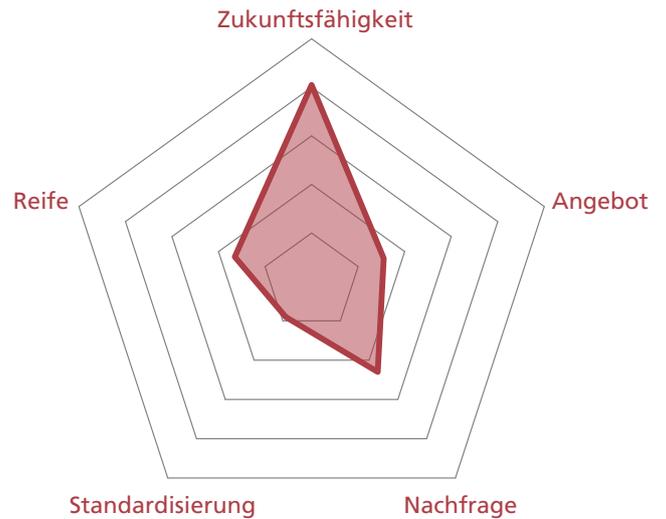
BLUETOOTH-BEACONS

Bluetooth Beacons sind kleine Sender, die in regelmäßigen Abständen ein Bluetooth-Signal aussenden. Über die einzigartige Kennung eines Beacons können u. a. standortbezogene Informationen (z. B. aus einer zentralen Datenbank) bereitgestellt werden, die bspw. von einer Smartphone-App weiterverarbeitet werden können. So kann z. B. eine Information übertragen oder ein Indoor-Navigationssystem realisiert werden.



SMART DUST

Smart Dust verweist auf die starke Miniaturisierung von Sensoren und ihre teilweise nur grobe Platzierung. Als sogenannte Mikrosysteme sollen solche »Staubkörner« Umgebungsinformationen erfassen und untereinander austauschen. Die gesammelten Daten, bspw. am Körper gemessene medizinische Werte, werden dabei per Funk übermittelt oder mittels RFID-Technik ausgelesen.



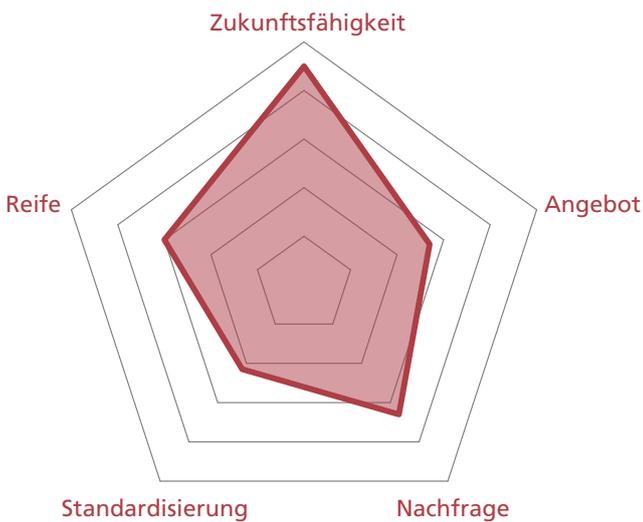
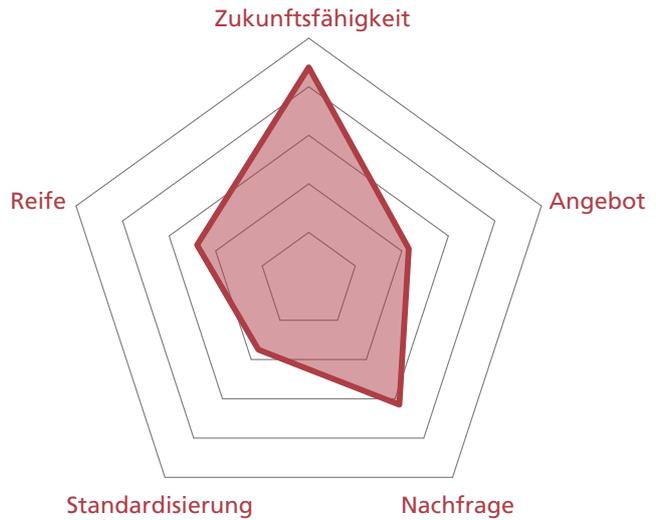
DRAHTLOSE ENERGIEÜBERTRAGUNG

Mittels drahtloser Energieübertragung können IoT-Geräte aus der Ferne mit Energie versorgt werden. Als Medium werden dabei elektromagnetische Wellen, Mikrowellen oder Licht genutzt. Die drahtlose Übertragung ist in manchen Fällen sinnvoll, in denen der Einsatz von Verkabelung unmöglich, zu schwierig oder teuer ist.



GEDRUCKTE BATTERIEN

Gedruckte Batterien sind Energiequellen, die sich auch in dünne und biegsame Materialien integrieren lassen. Die Batterien sollen kostengünstig und umweltfreundlich hergestellt werden und dabei genug Energie bereitstellen, um kleine, eingebettete Geräte zu betreiben. Gedacht ist der Einsatz bspw. bei medizinischen Pflastern.



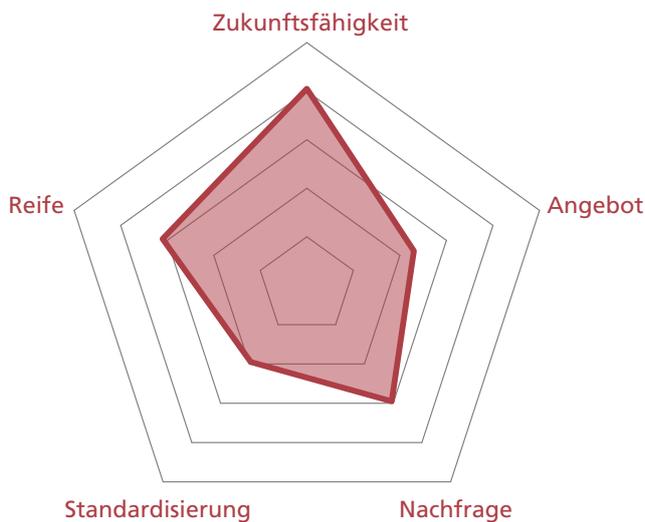
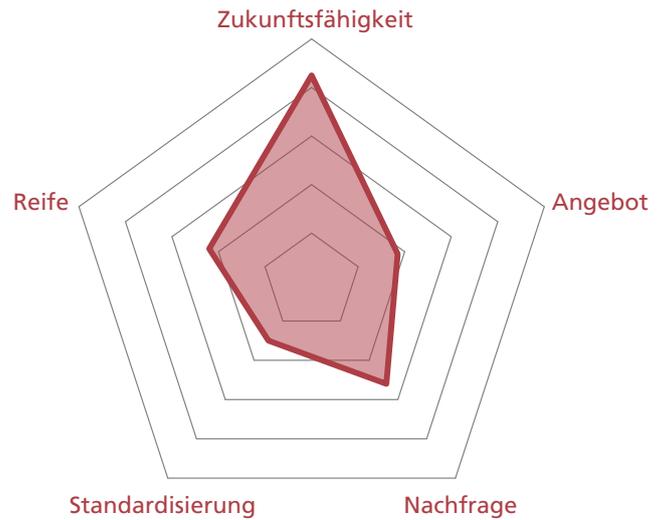
ENERGY HARVESTING

Mit Energy Harvesting können IoT-Geräte Energie aus der Umgebung nutzen. Dabei werden bspw. Temperaturunterschiede, Sonnenlicht oder mechanische Vibrationen in Strom umgewandelt. Durch Energy Harvesting können Geräte unabhängig von festen Stromquellen operieren, bspw. für Sensornetze an abgelegenen oder schwer zugänglichen Orten.



NEUROMORPHE CHIPS

Ein neuromorpher Chip ist eine spezielle Hardware, die für KI-Anwendungen optimiert ist. Im IoT-Kontext ermöglichen neuromorphe Chips den Einsatz von KI-Algorithmen auch auf ressourcenbegrenzten IoT-Geräten. Damit können IoT-Geräte unabhängig von KI-Rechenzentren auch komplexere Muster in Sensordaten erkennen.



PHYSICALLY UNCLONABLE FUNCTIONS

Eine Physically Unclonable Function (PUF) ist eine Hardwarekomponente, deren einmalige Eigenschaften nicht kopierbar sind. Die Struktur eines PUF-Bauteils wird beim Herstellungsprozess zufällig festgelegt. Ein solchermaßen generierter »Fingerabdruck« kann bspw. als Grundlage sicherer Schlüssel für kryptografische Verfahren dienen.





Intergral

VERNETZUNG

Vernetzung ist das grundlegende Paradigma des IoT. Durch die Technologien in dieser Kategorie werden IoT-Geräte und -Systeme miteinander verknüpft bzw. bestimmte Anforderungen an die Verknüpfung erfüllt. Vernetzungstechnologien umfassen jeweils spezifische Hard- und/oder Software und bilden ein

hochkomplexes Feld, an dem aktiv geforscht wird. Die aufgelisteten Technologien machen IoT-Kommunikation sicher, interoperabel sowie robust und dehnen ihren physischen Operationsradius bedeutend aus.

Vernetzung

Semantische Interoperabilität

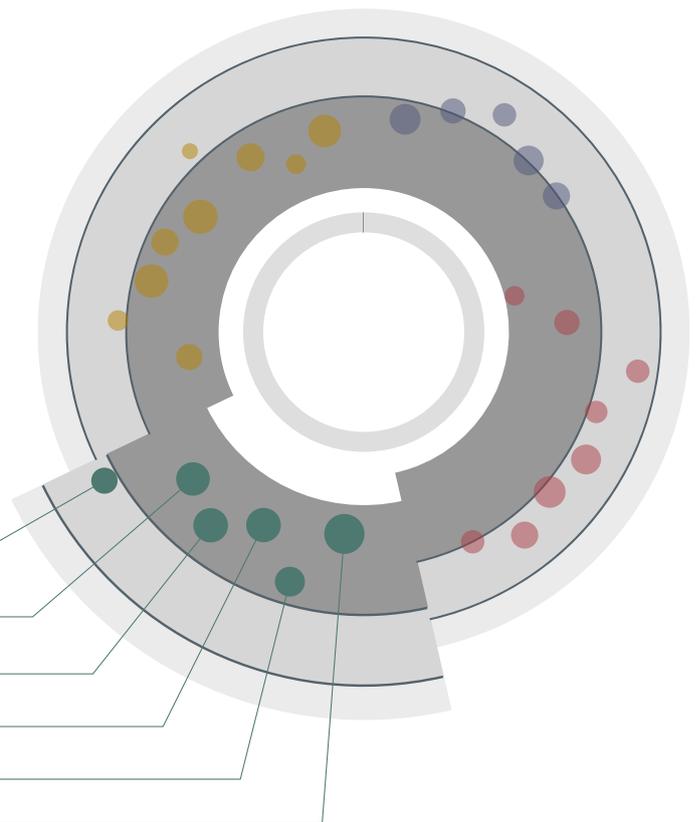
Low-Power Wide-Area Netzwerke

Mesh-Netzwerke

Drahtlose Sensornetzwerke

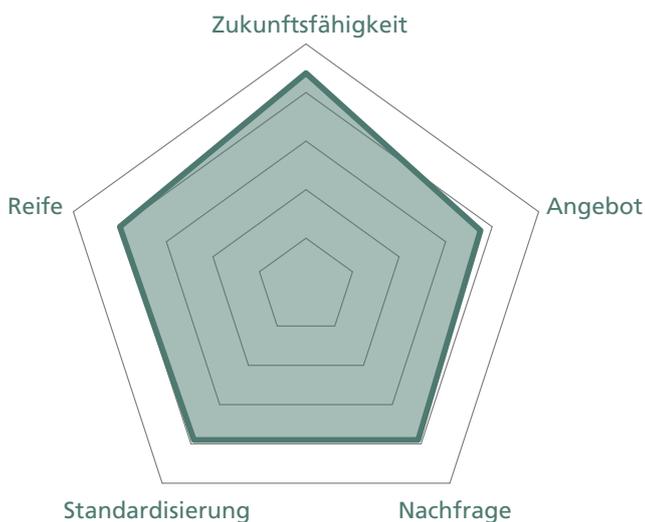
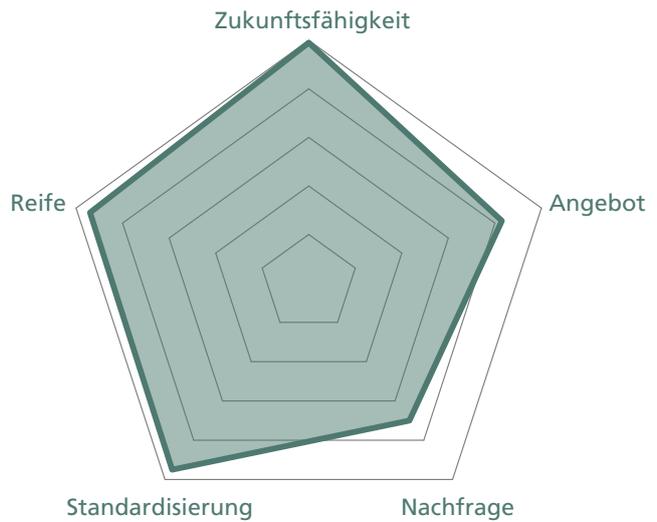
Optische Kommunikation

IPv6



IPV6

Das Internet Protocol in der Version 6 ist das aktuellste Protokoll für die Übertragung und Vermittlung von Datenpaketen im Internet. Im Vergleich zur vorherigen Version (das noch weit verbreitete IPv4) unterstützt es eine viel größere Anzahl gleichzeitig verbundener Geräte, bietet eine höhere Sicherheit und Funktionalität und ist dabei insgesamt konfigurationsärmer. Es bildet den softwareseitigen Grundstein eines modernen IoTs.



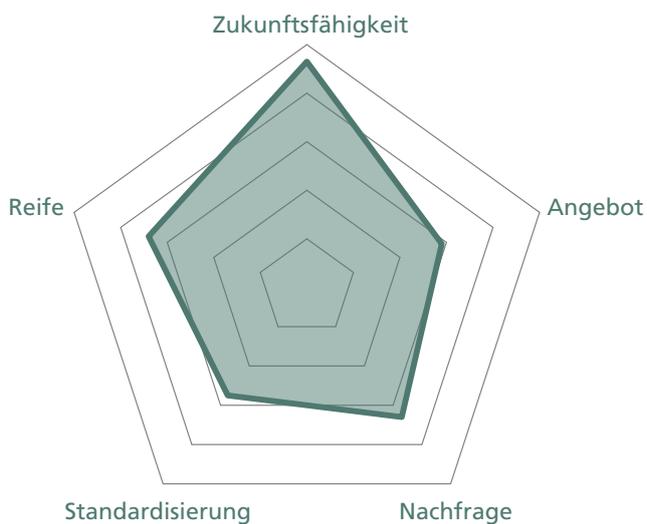
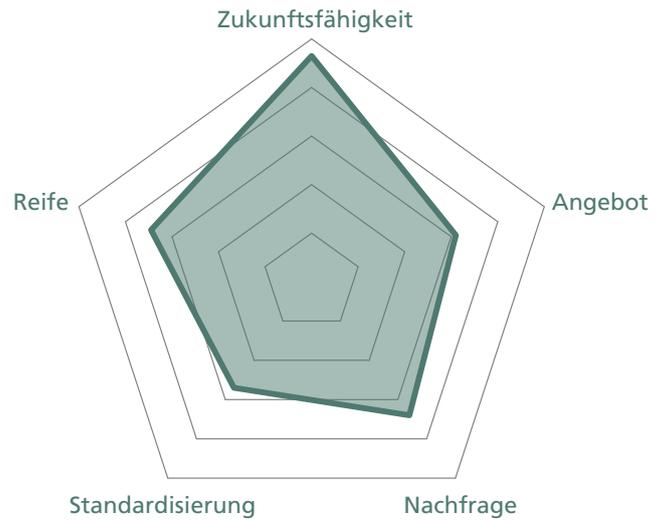
OPTISCHE KOMMUNIKATION

Bei optischer Kommunikation werden Daten mithilfe von Licht übertragen. Optische Kommunikation bietet gegenüber Funk- und elektromagnetischen Signalen andere Vor- und Nachteile und bildet so eine weitere Technologiesäule für die Kommunikation. Die Technologie kann dabei bspw. zwischen Satelliten, aber auch auf Schaltkreisen eingesetzt werden.



DRAHTLOSE SENSORNETZWERKE

Bei drahtlosen Sensornetzwerken werden kleine, mit Sensoren ausgestattete Geräte drahtlos miteinander verbunden. Die Sensordaten werden an eine Verarbeitungsinfrastruktur weitergeleitet. Drahtlose Sensornetze zeichnen sich wegen der entfallenden Datenleitungsinfrastruktur durch geringe Installationskosten und flexiblere Einsatzmöglichkeiten aus und werden bspw. bei Smart Farming und im Smart Home eingesetzt.



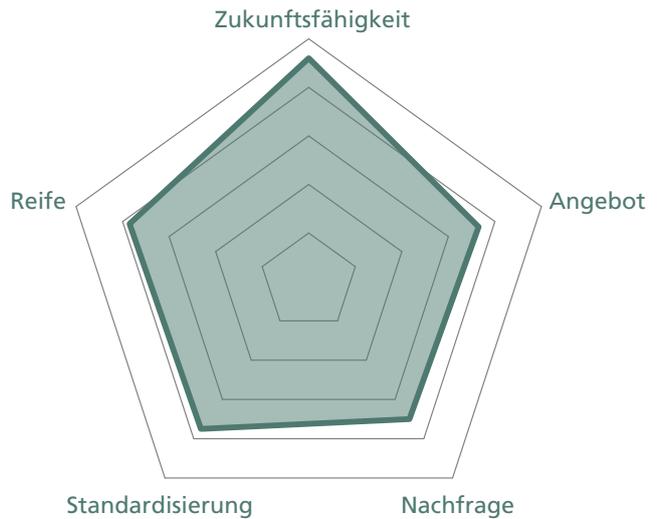
MESH-NETZWERKE

Mesh-Netzwerke bezeichnen eine Netzarchitektur, in der jedes Gerät gleichzeitig mit mehreren anderen Geräten verbunden ist. Damit bildet sich eine (autonome) Struktur, die besonders leistungsfähig und resistent ist, da einzelne Ausfälle kompensiert werden können. Mesh-Netzwerke werden bspw. bei Sensornetzwerken eingesetzt, bei denen die zentralen Netzkomponenten nicht von allen Sensoren direkt erreicht werden können.



LOW-POWER WIDE-AREA NETZWERKE

Low-Power Wide-Area-Netzwerke (LPWANs) vernetzen ressourcenschwache IoT-Geräte über große Distanzen. Die eingesetzten Protokolle sind auf einen niedrigen Energieverbrauch und große Reichweite optimiert. Zentrale Netzwerkgeräte steuern dabei die einzelnen IoT-Geräte und verarbeiten die empfangenen Daten. Prominente LPWAN-Protokolle sind bspw. Narrowband IoT oder LoRaWAN.



Forschungsförderung



Publikationen



Gründungen



Normentwürfe



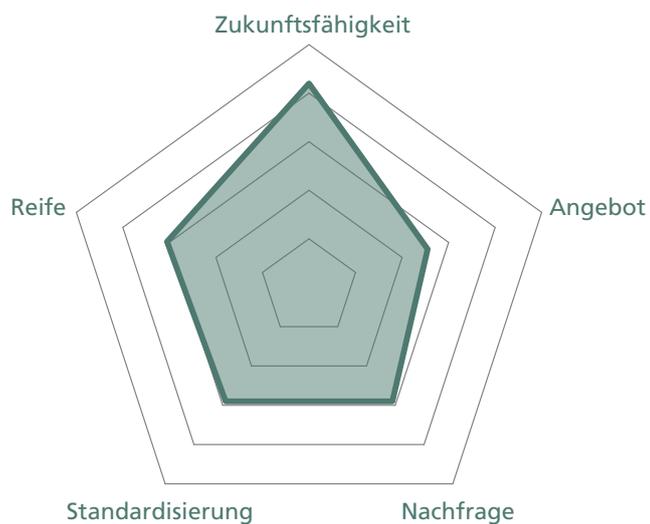
Suchanfragen



Patente



News



SEMANTISCHE INTEROPERABILITÄT

Das Ziel der semantischen Interoperabilität ist, dass verschiedene IT-Systeme die Bedeutung von gemeinsamen Daten erkennen können. Um Informationen korrekt zu interpretieren, kann unter anderem auf Metadaten und semantische Standards zurückgegriffen werden. Durch diese Interoperabilität können bspw. unterschiedliche IoT-Systeme autonom zusammenarbeiten.



Forschungsförderung



Publikationen



Gründungen



Normentwürfe



Suchanfragen



Patente



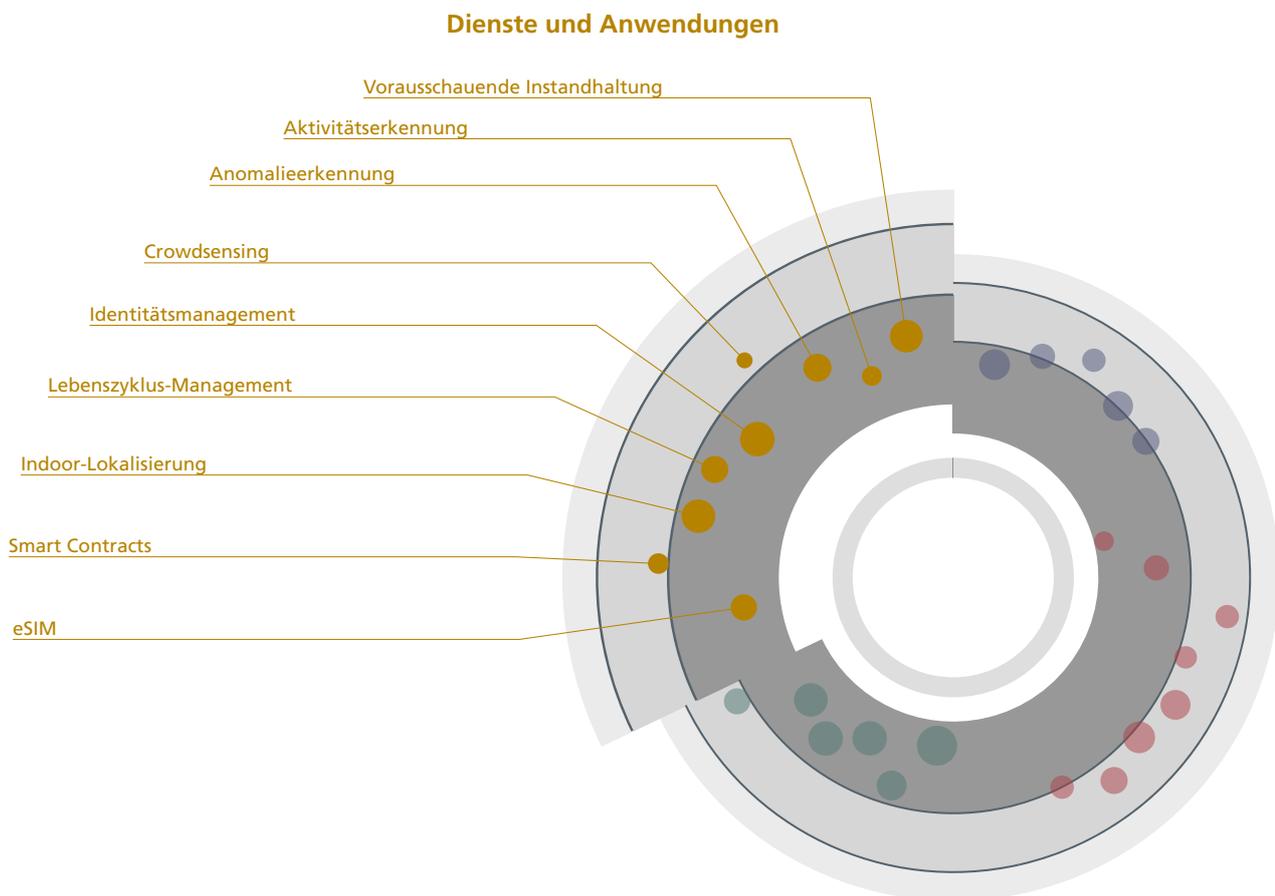
News



DIENSTE UND ANWENDUNGEN

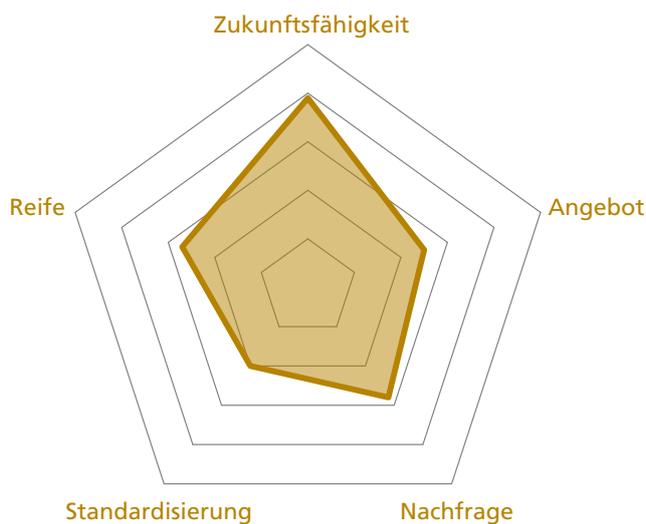
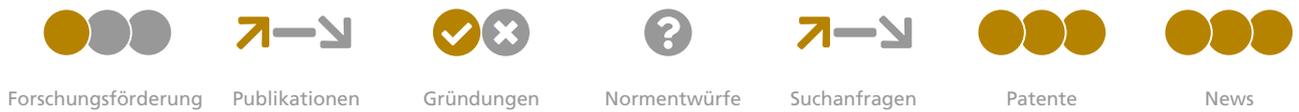
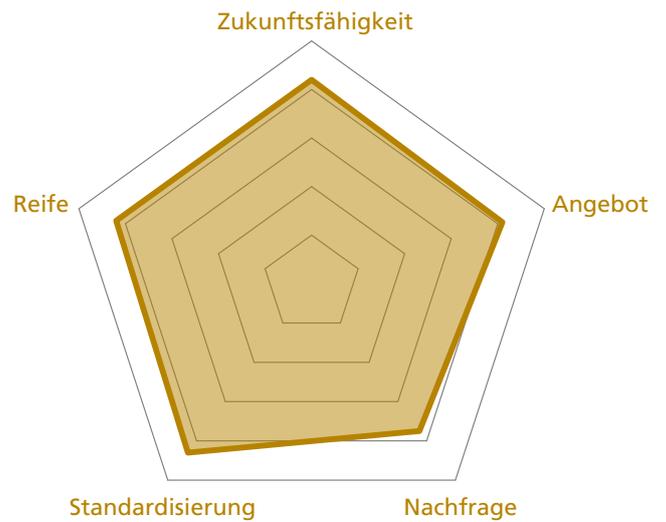
Dieser Abschnitt fasst IoT-Dienste und -Anwendungen zusammen, welche sich aus der Kombination der vorangegangenen Abschnitte ergeben können. Die hier aufgezeigten Technologien agieren meist auf einer höheren logischen Ebene in IoT-Systemen. Sie können jeweils eine sehr große Anzahl von ein-

zelnen IoT-Geräten oder -Komponenten betreffen. Dienste und Anwendungen des IoT machen dessen wirtschaftliche Verwertung möglich und bestimmen damit auch die Entwicklungsrichtungen des Forschungsfeldes.



ESIM

Die eSIM ist ein fest verbautes Hardwaremodul im Endgerät und löst die herkömmliche SIM-Karte ab. Durch einen speziellen Dienst wird die eSIM aktiviert und kann nachfolgend für die Identifikation zur Nutzung von Mobilfunknetzen eingesetzt werden. Ihr Potenzial entfaltet die Technologie in ihrer Skalierbarkeit bei Einsatz und Verwaltung einer großen Anzahl von Geräten, bspw. bei drahtlosen Sensornetzen.



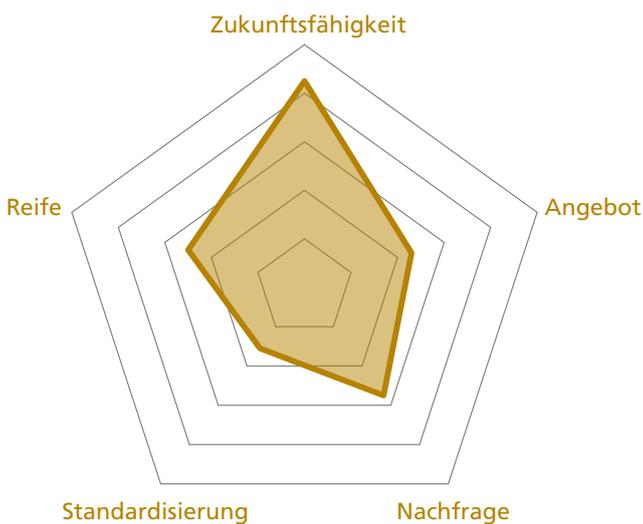
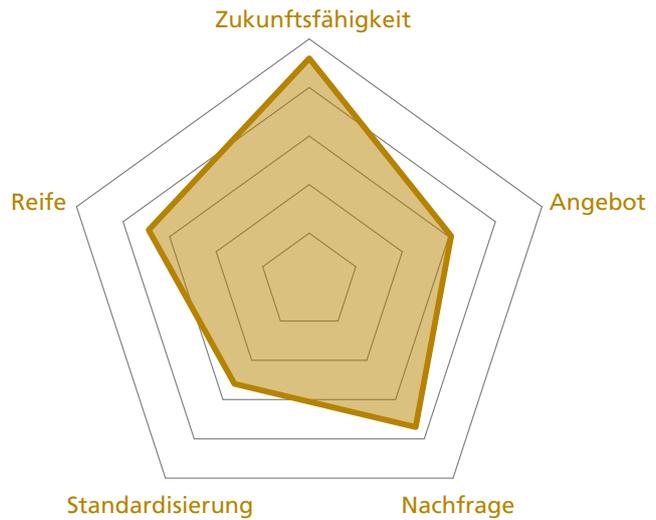
SMART CONTRACTS

Ein Smart Contract ist ein spezielles Computerprogramm, das die Abbildung und Ausführung eines Vertrages sowie die Verifikation seiner Ausführung ermöglicht. Die vertraglichen Vereinbarungen sind in Form eines Algorithmus fest kodiert. Aktuelle Smart Contracts nutzen eine Blockchain als technische Grundlage, um vertragliche und vertragsähnliche Prozesse abzubilden.



INDOOR-LOKALISIERUNG

Indoor-Lokalisierung ermöglicht die präzise Ortung von Objekten und Personen innerhalb von Gebäuden und dicht bebauten Gebieten, wo die Satellitennavigation an ihre Grenzen stößt. Durch solche Ortungsdienste können bspw. wichtiges Inventar kontrolliert und Laufwege optimiert werden.



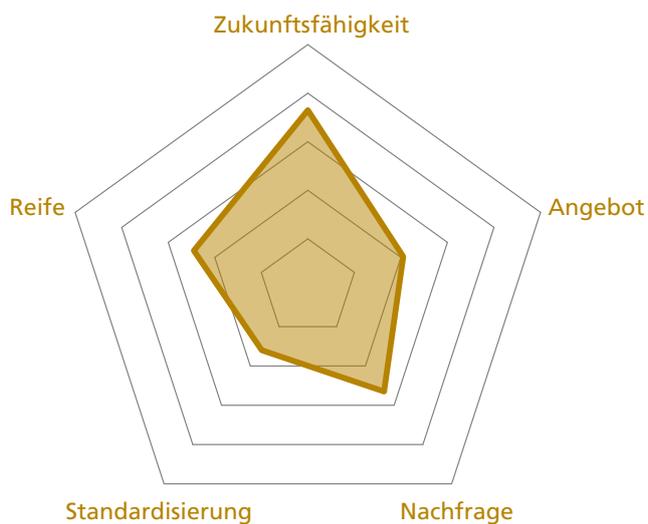
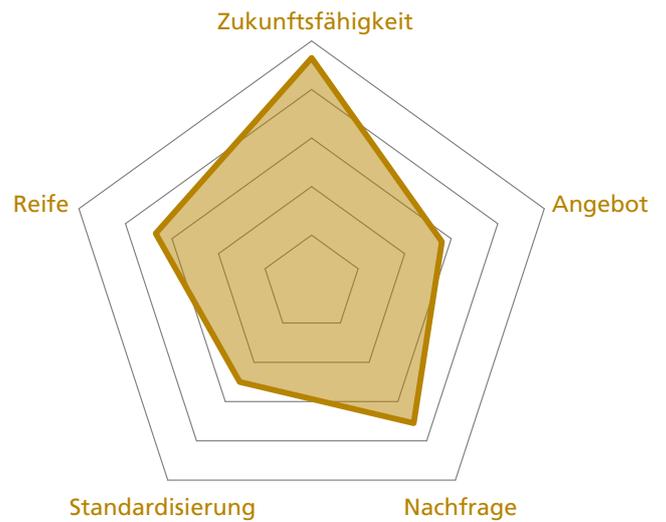
LEBENSZYKLUS-MANAGEMENT

IoT-Geräte durchlaufen im Rahmen ihrer Nutzung verschiedene Stadien eines Lebenszyklus: Entwurf, Bereitstellung, Wartung und Stilllegung. Durch ein intelligentes Lebenszyklus-Management kann ein IoT-Gerät oder ein damit verbundenes Ding, bspw. ein Leihrad, über seine gesamte Lebenszeit begleitet werden, damit es zuverlässig, effizient und sicher eingesetzt werden kann.



IDENTITÄTSMANAGEMENT

Jedes Gerät in einem IoT-Ökosystem benötigt eine eindeutige Geräteidentität, mithilfe der es angesprochen werden und sich authentifizieren kann. Ein gutes Identitätsmanagement gewährleistet dabei eine sichere und verschlüsselte Kommunikation und Zugriffskontrolle zwischen Geräten, Diensten und Nutzer:innen.



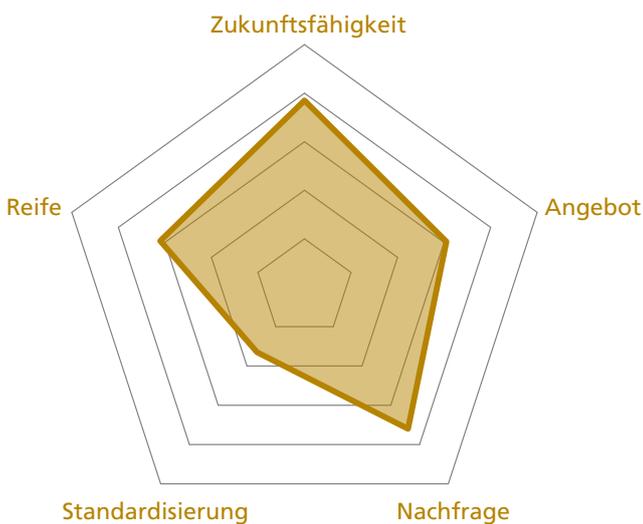
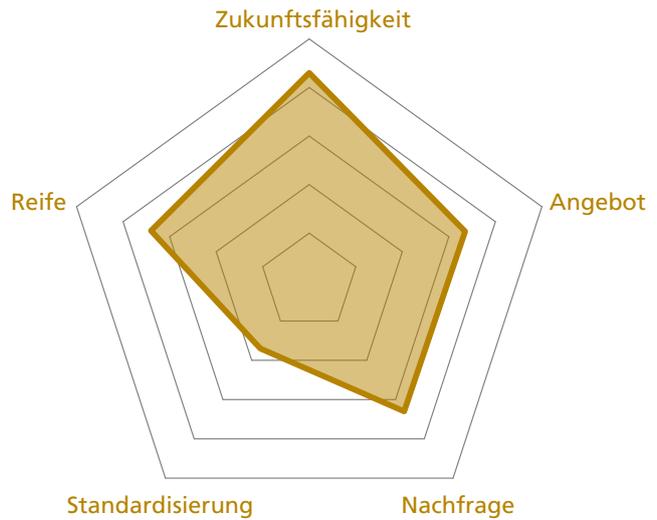
CROWDSENSING

Crowdsensing bezeichnet das automatisierte Sammeln von Sensordaten u. a. aus IoT-Geräten, Smartphones und Wearables. Die Datensammler sind Teil einer größeren, prinzipiell anonymen Menge von Teilnehmern. Ein Beispiel wären Kunden in einer Einkaufspassage, die freiwillig und unabhängig voneinander gesammelte Daten bereitstellen. Voraussetzung dafür ist eine geeignete Crowdsensing-Architektur, über die Daten erhoben, zusammengeführt und ausgewertet werden können.



ANOMALIEERKENNUNG

Mittels Anomalieerkennung können Ereignisse oder Beobachtungen aus Daten abgeleitet werden, die nicht mit einem erwarteten Muster übereinstimmen. Dies ermöglicht es bspw., schwergängige Automatikturen durch den erhöhten Stromfluss zu identifizieren, den diese verursachen.



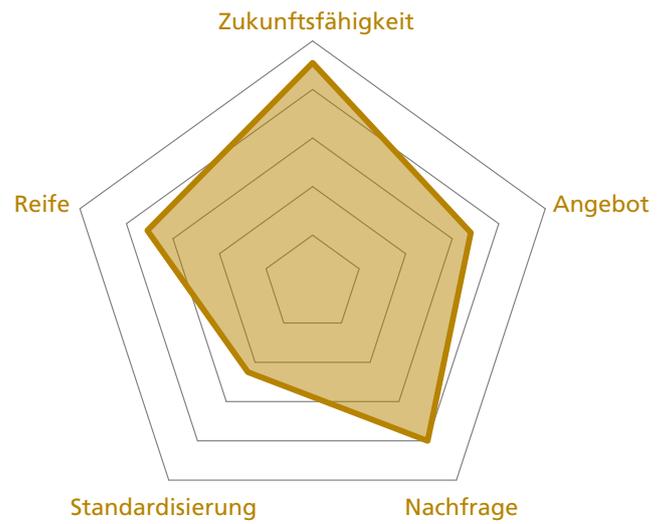
AKTIVITÄT SERKENNUNG

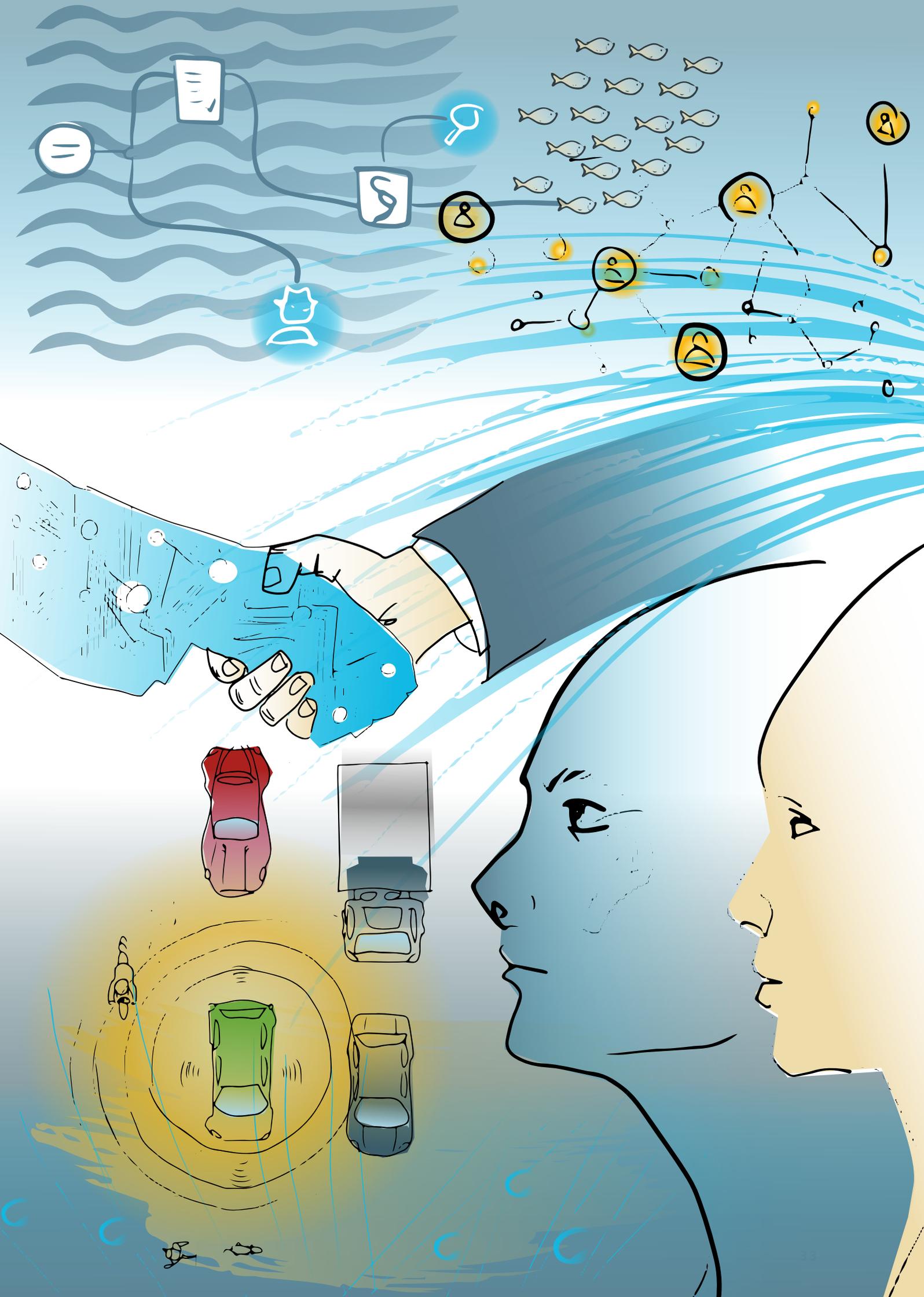
Aktivitätserkennung bezeichnet die Analyse von bspw. menschlichem Verhalten durch Auswertung von Echtzeit-Sensordaten. Dafür eignet sich insbesondere der Einsatz von Wearables, die Sensordaten wie Geschwindigkeit, Ausrichtung und medizinische Daten erheben können, aber auch Audio- & Videodaten werden genutzt. Ein Anwendungsgebiet sind Assistenzsysteme, bspw. für Senior:innen.



VORAUSSCHAUENDE INSTANDHALTUNG

Bei der vorausschauenden Instandhaltung werden Maschinen oder Infrastrukturkomponenten überwacht, um mögliche Schäden oder Ausfälle frühzeitig zu erkennen. Dabei kommen Sensorknoten zum Einsatz, die bspw. Vibrations- oder Temperaturdaten erfassen oder Anomalieerkennung auf Basis überwachter Betriebsparameter durchführen können. Spezielle Systeme werten diese Daten aus und steuern den Instandhaltungsprozess, bspw. von Fertigungsmaschinen in Fabriken oder Türen von Verkehrsmitteln.





5. HANDLUNGSEMPFEHLUNGEN

Prozesse gestalten.

Bei IoT geht es im Kern um digitale Prozesse, die sichtbaren IoT-Geräte und eingesetzten Techniken sind nur Mittel zum Zweck. Der Einsatz von IoT-Geräten bedeutet, bestehende Prozesse anzupassen oder ganz neue Prozesse aufgrund neuer Möglichkeiten zu erarbeiten. Dazu gehört auch die umfängliche Nutzung (externer) Infrastrukturen und Basisdienste.

Prozesse und IT strukturieren.

Neue IoT-Funknetze wie auch Cloud- und Edge-Computing vergrößern die Vielfalt an eingesetzter Infrastruktur und damit die Angriffsfläche, auch durch die enge Verzahnung von physischer Welt und IT. Beherrschbarkeit (in Bezug auf den Betrieb und die Sicherheit von Prozessen) braucht Struktur. Dazu gehört die Betrachtung von Verarbeitungs- und Vertrauensketten genauso wie die Trennung von Netzen und verschiedenen Funktionsbereichen der IT. Definierte Zwischenstände bei Datensätzen und klare Schnittstellen zwischen IT-Komponenten machen IoT-Prozesse beherrschbarer.

Offene und einheitliche Protokolle und Schnittstellen nutzen.

Die Vielfalt der Anforderungen macht verschiedene, parallel existierende Lösungen erforderlich. Die Vielfalt der Geräte, die für ursprünglich disjunkte Zwecke entwickelt wurden, ermöglicht Vieles: eine große ebenso wie eine kleinteilige Abdeckung, alternative und ergänzende Erfassung bezogen auf den einzelnen physischen Zustand (oder das einzelne physische Ereignis), Einbeziehung großer Mengen funktional ähnlicher Geräte, die einzeln jeweils zu ungenauen Daten liefern würden. Gerade die Integration und Nutzung dieser Vielfalt erfordert offene und nach Möglichkeit einheitliche Protokolle und Schnittstellen, um handhabbar zu werden bzw. zu bleiben – aus funktionaler wie aus IT-Sicherheitssicht.

Datenhubs strategisch fördern.

Wenn Unternehmen mittels des Internets der Dinge kooperieren, sind die erforderlichen Datenhubs Teil der gemeinsam genutzten Lösung und damit mehr oder minder »automatisch« vorhanden. Community- oder Grassroot-Lösungen mit wechselnder, oft rein zivilgesellschaftlicher Beteiligung brauchen institutionalisierte Hubs mit geringen Zugangshürden, um sich entwickeln und etablieren zu können.

Umgang mit Daten regeln.

Es gibt berechtigte Gründe, auch in einem prinzipiell völlig offenen und anonymen Netzwerk die Nutzung bestimmter Daten nur für festgelegte Zwecke oder durch definierte Nutzergruppen zu erlauben. Dafür bedarf es formalisierter Regeln zur Spezifikation solcher Rechte und bestenfalls technischer Maßnahmen, um die Einhaltung der Regeln zu erzwingen. Transparenz beim Umgang mit Daten kann dafür sorgen, das Ungleichgewicht zwischen großen Datenquellen und -verarbeitern (bspw. Plattformen) und kleineren Datenlieferanten und -nutzern (bspw. KMU mit spezialisierten Angeboten) zu begrenzen.

Schnittstellen und Funktionen kennzeichnen.

Funkschnittstellen wie auch Datenströme zwischen IoT-Geräten sind nicht unmittelbar sichtbar, daher sollten Funkschnittstellen auf dem Gerät gekennzeichnet und über alle Datenströme sollte in einem Datenblatt Auskunft erteilt werden. Diese Angaben dienen vor allem der Transparenz und zur Information der Nutzer:innen über grundlegende Geräteeigenschaften, sagen allerdings wenig über eine etwaige konkrete Gefährdung aufgrund der Inhalte von Übertragungen aus.

ANHANG A: METHODISCHE ANMERKUNGEN

Die ÖFIT-Trendsonare teilen sich ein zugrundeliegendes methodisches Vorgehen. Die Identifikation und Analyse der Technologietrends im Bereich Internet der Dinge erfolgte durch qualitative Methoden, die durch quantitative Analysen begleitet wurden. Den Kern bilden qualitative Bewertungen durch mehrere Gruppen von Expert:innen aus Forschung und Anwendung im Bereich Internet der Dinge.

Die initiale Auswahl **relevanter Trends** erfolgte durch die Analyse von wissenschaftlichen Publikationen, einschlägigen Journals und Konferenzprogrammen im Themenfeld Internet der Dinge⁵, die im Zeitraum 2009 bis 2020 erschienen sind. Ergänzt durch Literaturrecherchen und die unten näher beschriebenen, quantitativen Indikatoren wurden diese Technologietrends kategorisiert und hinsichtlich ihrer Relevanz bewertet.

Im nächsten Schritt wurden die Trends mithilfe eines Online-Fragebogens hinsichtlich jeder der fünf Dimensionen **Zukunftsfähigkeit, Reife, Angebot, Nachfrage** und **Standardisierung** auf einer Skala von null bis zehn durch Expert:innen aus dem Bereich IoT bewertet.

Diese Erhebung wurde durch einen nachfolgenden Expertenworkshop ergänzt. Der Workshop diente der Validierung der Ergebnisse. Hier wurden Abweichungen diskutiert und die vorläufigen Ergebnisse durch die quantitativen Indikatoren kontrastiert. Außerdem wurde die Dimension **Zeitraum bis zum Durchbruch** für jeden Trend einzeln modelliert. Durch dieses Vorgehen wurde das gemeinsame Verständnis von Gegenstand und Bewertung geschärft und einzelne Ergebnisse konnten angepasst werden.

Die quantitativen Ergänzungen stützen sich auf Suchanfragen bei verschiedenen Datenbanken. Im Einzelnen wurden die nachfolgend beschriebenen Datenbanken für die sieben Indikatoren herangezogen. Bei allen Suchanfragen wurde eine Stichwortsuche durchgeführt, in der auch Synonyme und gängige Abkürzungen in deutscher und englischer Sprache berücksichtigt wurden. Die Erhebung der quantitativen Daten fand im Zeitraum 1.11.2020 – 1.2.2021 statt.

Für die Daten aus den **Forschungsförderprogrammen** wurden Forschungsprojekte der Deutschen Forschungsgemeinschaft (DFG)⁶ und des Community Research and Development Information Service (CORDIS)⁷ der EU analysiert sowie Daten aus den Datenbanken Elektronische Forschungsförderinformationen (ELFI)⁸ und dem Förderkatalog (FöKat)⁹ erhoben. Insgesamt wurden 731.233 Datensätze analysiert.

Die Daten zu **wissenschaftlichen Publikationen** stammen aus den Datenbanken Scopus¹⁰ und IEEE Xplore¹¹. Die Suchergebnisse wurden nach Erscheinungsdatum der Publikation kategorisiert. Dabei wurden die Publikationen in den Zeitabschnitten »2009 bis 2014« und »Ab 2014« zusammengefasst. Der Vergleich der Gruppen erlaubt Aussagen dazu, wie sich die Publikationstätigkeit zu einem Technologietrend entwickelt hat. Insgesamt enthalten die Datenbanken etwa 85 Millionen Datensätze.

Die Existenz von **Gründungen** mit Bezug zu den jeweiligen Technologietrends wurde auf Basis der Daten aus den Plattformen Crunchbase¹², Kickstarter¹³ und der Hoppenstedt Firmendatenbank¹⁴ erhoben. Dabei wurden alle Gründungen miteinbezogen, in deren Name oder Beschreibung Trendbegriffe vorkommen. Insgesamt wurden über 2 Millionen Datensätze ausgewertet.

Zur Ermittlung der Anzahl der **Normentwürfe und Normen** wurde die Datenbank des Deutschen Instituts für Normung e. V. (DIN)¹⁵ herangezogen. In ihr werden DIN-Normen, aber auch ISO-Normen, VDE-Normen oder technische Regeln und Normentwürfe aufgelistet. Die Anzahl der relevanten Normen und Entwürfe in der DIN-Datenbank wurden jeweils addiert. Basie-

⁵ Die Quellen für die duale Desktoprecherche befinden sich im Anhang B

⁶ <http://gepris.dfg.de/>

⁷ http://cordis.europa.eu/projects/home_de.html

⁸ <http://www.doso.elfi.info/elfi-2.0/start.jsp>

⁹ <http://foerderportal.bund.de/foekat>

¹⁰ <https://www.scopus.com/>

¹¹ <http://ieeexplore.ieee.org/>

¹² <https://www.crunchbase.com/>

¹³ <https://www.kickstarter.com/>

¹⁴ <https://www.hoppenstedt-firmendatenbank.de/>

¹⁵ <http://www.din.de/>

» MIT DEM VORANSCHREITEN DES INTERNETS
DER DINGE VERSCHWIMMT DIE VORSTELLUNG
EINER KLAREN TRENNLINIE ZWISCHEN
REALITÄT UND VIRTUELLER REALITÄT,
MANCHMAL AUF KREATIVE WEISE. «

GEOFF MULGAN

rend auf diesen Werten wurde das Verhältnis der Anzahl der Normentwürfe zur Anzahl der Normen berechnet und abgebildet. Die Anzahl der Normen und Entwürfe korrespondiert mit der Einschätzung zum Standardisierungsgrad. Ist die Anzahl der Entwürfe im Verhältnis zur Anzahl der Normen sehr klein, kann ein Trend als weitgehend etabliert betrachtet werden. Anders herum deutet ein hoher Anteil an Entwürfen auf eine große Dynamik des Technologietrends hin. Zum Zeitpunkt der Auswertung befanden sich 359.569 Datensätze in der Datenbank.

Für die **Suchanfragen** wurden Statistiken von Google Trends¹⁶ genutzt. Dabei wurde die Häufigkeit der Suchanfragen für die Jahre 2014 bis 2020 erfasst. Untersucht wurde, wie sich der Durchschnittswert der monatlichen Suchanfragen verändert hat. Dabei wurden die Häufigkeitsverläufe in die Kategorien »stark abnehmend«, »leicht abnehmend«, »gleichbleibend«, »leicht zunehmend« und »stark zunehmend« eingeteilt. Bei sehr ähnlichen Durchschnittswerten für das Zeitintervall wird angenommen, dass die öffentliche Aufmerksamkeit konstant blieb.

Zur Auswertung existierender **Patente** wurden die Datenbanken von PatBase¹⁷ und des Europäischen Patentregisters¹⁸ herangezogen. Es wurden nur ausgestellte Patente gezählt, Patentanträge sind nicht in den Daten enthalten. Einbezogen wurden Patente, die entweder direkt auf eine Technologie bezogen sind oder in denen die Technologie verwendet wird. Die Daten wurden rein quantitativ erhoben und wurden größtmäßig in die Kategorien »gering«, »mittel« und »hoch« eingeteilt. Die Einteilung der Technologien erfolgte in quantitative Größenordnungen. Die Technologien, deren Patentanzahl im Bereich 0 – 100 liegt, werden in die Kategorie »gering« eingeordnet. Die Kategorie »mittel« bezeichnet die Technologien, die zwischen

100 und 1.000 Einträge aufweisen. Die restlichen Technologien haben eine Patentanzahl von über 1.000 und werden der Kategorie »hoch« zugewiesen. Insgesamt wurden über 125 Millionen Datensätze automatisiert ausgewertet.

Die Kategorie **Medien** basiert auf Statistiken von Google News¹⁹. Dabei wurde das Auftreten der Trendbegriffe in den Jahren 2015 bis 2020 erfasst und größtmäßig in die Kategorien »gering«, »mittel« und »hoch« eingeteilt. Die Technologien, die in diesem Zeitraum unter 10.000-mal in Online-Artikeln erwähnt wurden, werden der Kategorie »gering« zugewiesen. Im Intervall zwischen 10.000 und 100.000 befindet sich die Kategorie »mittel«, darüber werden Technologien in die Kategorie »hoch« eingeordnet. Insgesamt wurden über 704 Millionen Datensätze automatisiert ausgewertet.

¹⁶ <https://trends.google.de/trends/>

¹⁷ <http://patbase.com/>

¹⁸ <https://register.epo.org/>

¹⁹ <https://news.google.com/>

ANHANG B: QUELLENVERZEICHNIS

Opiela, Nicole; Hoepner, Petra; Weber, Mike (2016): »Das ÖFIT-Trendsonar der IT-Sicherheit«, 1. Auflage Mai 2016. Kompetenzzentrum Öffentliche IT, Berlin. www.oeffentliche-it.de/publikationen

Welzel, Christian; Grosch, Dorian (2018): »Das ÖFIT-Trendsonar Künstliche Intelligenz«, 1. Auflage April 2018. Kompetenzzentrum Öffentliche IT, Berlin.

www.oeffentliche-it.de/publikationen

Für die Auswahl der Technologietrends wurden wissenschaftliche Publikationen aus dem Feld des Internets der Dinge ausgewertet. Dazu wurden ergänzend repräsentative Konferenzen analysiert. Im Kern wurden dabei die folgenden Publikationen verwendet:

- IoT Evolution Expo (2017 – 2020)
 - <https://www.iotevolutionexpo.com/east/>
- Internet of Things and Intelligence System (IOTAIS) Conference (2018 – 2019)
 - <https://ieeexplore.ieee.org/xpl/conhome/8589237/proceeding>
 - <https://ieeexplore.ieee.org/xpl/conhome/8966554/proceeding>
- Global Conference on AI & Internet of Things (GCAIoT) (2017 – 2019)
 - <https://gcaiot.org/2019/>
 - <https://gcaiot.org/2018/>
 - <https://gcaiot.org/2017/>
- IEEE World Forum on IoT (WF-IoT) (2014 – 2020)
 - <https://ieeexplore.ieee.org/xpl/conhome/1803621/all-proceedings>
 - <https://wfiot2020.iot.ieee.org/program/>
- IEEE IoT Summit for Agriculture (2018)
 - <https://tuscan2018.iot.ieee.org/program/>
- Internet of Things (IoT) Summit at RWW2018 (2018)
 - <https://site.ieee.org/rww-2018/program/>
- Global IoT Summit (GloTS) (2017)
 - <https://ieeexplore.ieee.org/xpl/conhome/8011434/proceeding>
- Internet of Things: Smart Innovation and Usages (IoT-SIU) Conference (2018 – 2019)
 - <https://ieeexplore.ieee.org/xpl/conhome/1825444/all-proceedings>
- National Institute of Building Sciences Building Innovation 2019 Conference & Expo (2019)
 - https://www.nibs.org/page/conference19_program

Alle angegebenen Links wurden zuletzt am 27.07.2020 abgerufen.

KONTAKT

Dorian Grosch
Kompetenzzentrum Öffentliche IT (ÖFIT)
Tel.: +49 30 3463-7173
Fax: +49 30 3463-99-7173
info@oeffentliche-it.de

Fraunhofer-Institut für
Offene Kommunikationssysteme FOKUS
Kaiserin-Augusta-Allee 31
10589 Berlin

www.fokus.fraunhofer.de
www.oeffentliche-it.de
Twitter: @OeffentlicheIT

ISBN: 978-3-948582-08-1

