

## DER WEG ZUR VERNETZTEN PRODUKTION

Eine Zukunfts-Analyse zu ausgewählten Technologie-Trends vom Fraunhofer-Institut für System- und Innovationsforschung in Zusammenarbeit mit den Münsterland Denkfabriken

06/2022

# INHALTSVERZEICHNIS

1	Einleitung .....	2
2	Referenzarchitekturen für die Zukunft – GAIA-X und co.....	3
3	KI-Potenziale in der Industrie .....	5
4	Smart Contracts und e-Euro .....	9
5	Resilientere Wertschöpfungsnetzwerke .....	10
6	Extended Reality .....	12
7	Digitaler Zwilling .....	15
8	Ressourcenschonende Industrie 4.0 .....	17
9	Roboter-Schwarmintelligenz .....	19
10	Soft Robots .....	21
11	Additive Fertigungsverfahren .....	23
12	Small Data Algorithms – Few-shot learning.....	25
13	Neue Dimensionen bei Bildgebungsverfahren .....	26
14	Bewertung für das Münsterland .....	28
15	Literatur .....	30

→ **VERTIEFUNGSBERICHT** ..... 32

→ **VERTIEFUNGSBERICHT** ..... 43

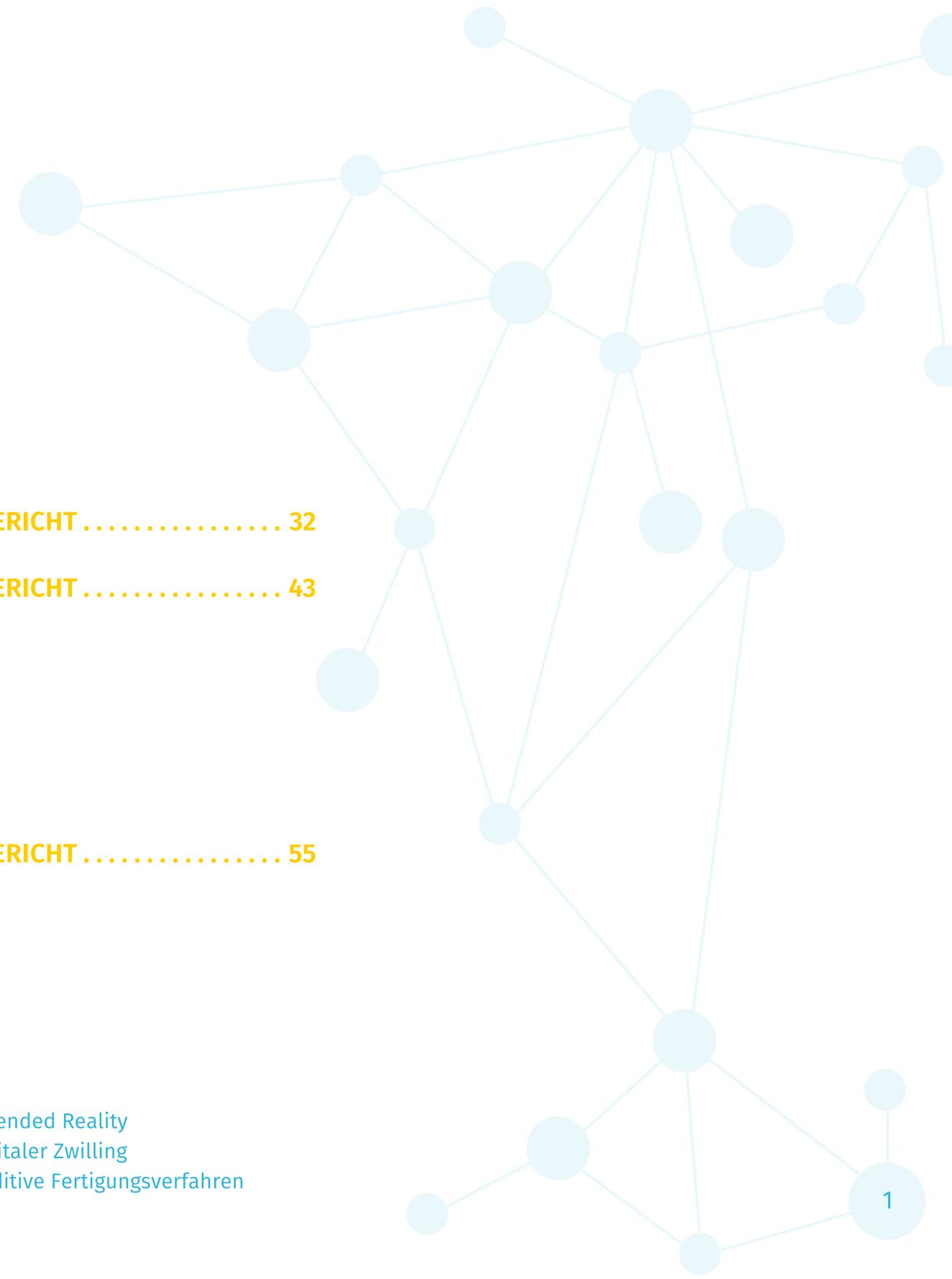
→ **VERTIEFUNGSBERICHT** ..... 55

**Anhang:**

Vertiefungsbericht Extended Reality

Vertiefungsbericht Digitaler Zwilling

Vertiefungsbericht Additive Fertigungsverfahren



# 1 EINLEITUNG

Vernetzte Produktion ist die Grundlage von Industrie 4.0: intelligente, digital vernetzte Systeme, mit deren Hilfe eine weitestgehend selbstorganisierte Produktion möglich wird. Wenn Menschen, Maschinen, Anlagen, Logistik und Produkte direkt miteinander kommunizieren und kooperieren, wird flexible Produktion, auch von Einzelstücken, möglich. Mit der Flexibilität steigt wiederum die Komplexität der Arbeitsabläufe, etwa durch eine wachsende Anzahl von Zulieferern, kleineren Produktionseinheiten und verschiedenen Zeitfenstern für die Produktion. Bei der Bewältigung dieser Herausforderung helfen smarte Software und die strenge Einhaltung von Normen und Standards. Auch die IT-Sicherheit spielt in der vernetzten Produktion eine herausragende Rolle.

Industrie 4.0 erstreckt sich über die gesamte Wertschöpfung: von der Bestellung, der Zulieferung von Komponenten über die eigentliche Produktion bis hin zur Auslieferung an den Kunden und nachgelagerten Serviceleistungen. Menschen, Maschinen und IT-Systeme tauschen zur Herstellung von Produkten automatisch Informationen aus. Grundvoraussetzungen dafür sind dezentrale Intelligenz und offene Standards für die Programmierung und den Datenaustausch. Dabei muss der Schutz der Produktionsmittel und der Unternehmens-IT vor Angriffen und Störungen aus der Umgebung gewährleistet sein. Das betrifft die Sicherung sensibler Daten ebenso wie das Verhindern von absichtlich und unabsichtlich herbeigeführten Fehlfunktionen. So können Unternehmen in der vernetzten Produktion ihre Produkte effizienter, flexibler und ressourcenschonender herstellen und sichern künftig ihre Wettbewerbsfähigkeit.

Für die Denkfabrik „Vernetzte Produktion“ wurden zwölf Themenschwerpunkte ausgewählt und analysiert. Ausgangspunkt für die Auswahl der Themen waren einerseits Interviews mit Fraunhofer-Expert:innen und ergänzend wurden teilautomatisierte Recherchen über News-Sites inkl. eines Topic-Modelling und eine Analyse der wissenschaftliche Veröffentlichungen im jeweiligen Bereich durchgeführt.

Bei der Auswahl der Technologie-Trends wurde betrachtet, ob sich das Thema besonders dynamisch entwickelt und ob erwartet wird, dass es zukünftig große Auswirkungen auf die Bereiche Umwelt, Gesellschaft und Wirtschaft haben wird. Die Einschätzung zu der Relevanz auf diese drei Dimensionen wurde in einer Grafik ergänzend zum Zukunftspotenzial jeweils dargestellt.

Die Technologie-Trends decken sowohl Themen ab, die bereits heute eine gewisse Relevanz für die Unternehmen in der Region Münsterland haben, als auch Themen die noch mit einer größeren Unsicherheit behaftet sind, weil sie sich noch in einem früheren Entwicklungsstadium befinden.

Für alle Technologie-Trends wird neben einer Kurzbeschreibung jeweils diskutiert, wie die Dynamik der Entwicklung zu bewerten ist, welches die wichtigsten Treiber dieser Entwicklung sind und welche Zukunftsperspektiven gesehen werden. Zur graphischen Veranschaulichung der Dynamik ist für alle Themen eine bibliometrische Auswertung der weltweiten wissenschaftlichen Publikationen auf Basis der Dimensions-Datenbank<sup>1</sup> dargestellt. Die Stichworte die für die Recherche genutzt wurden, sind jeweils in der Fußnote genannt. Ergänzend werden für alle Themen Beispiele für aktuelle Entwicklungen beschrieben. Die Grafiken im Abschnitt „Zukunftspotenzial“ vermitteln eine grobe Einschätzung der Relevanz des jeweiligen Themas für die Bereiche Umwelt, Gesellschaft und Wirtschaft.

Die Zukunftsthemen wurden in der jeweiligen Denkfabrik mit Folien vorgestellt und im Anschluss von den Teilnehmenden hinsichtlich ihrer Relevanz für die Region und des Aufwands für die Erschließung des Themas bewertet.

## ANSPRECHPARTNER:INNEN FRAUNHOFER ISI:

Elna Schirrmeister,  
Dr. Philine Warnke und  
Jan Rörden

<sup>1</sup> → <https://app.dimensions.ai/discover/publication>



## 2 REFERENZARCHITEKTUREN FÜR DIE ZUKUNFT – GAIA-X UND CO.

### KURZBESCHREIBUNG

Eine Referenzarchitektur definiert Empfehlungen für Strukturen und Integrationen von IT-Produkten und IT-Services, die über Anwendungsgrenzen hinweg nutzbar gemacht werden sollen. Die Referenzarchitektur ist damit eine Grundlage, um den Austausch von Daten und die gemeinsame Nutzung von Plattformen und Services zu ermöglichen. Basierend auf den gängigen Best Practices der Branche enthält eine Referenzarchitektur außerdem Vorschläge für die optimale Bereitstellungsmethode für bestimmte Technologien.

GAIA-X ist ein von Europa initiiertes Projekt einer Referenzarchitektur, bei dem Vertreter aus Wirtschaft, Politik und Wissenschaft aus Europa und der ganzen Welt Hand in Hand zusammenarbeiten, um eine sowohl leistungs- und wettbewerbsfähige als auch sichere und vertrauenswürdige Dateninfrastruktur zu schaffen. Unternehmen und Bürger sollen Daten so sammeln und austauschen können, dass sie die Kontrolle darüber behalten und entscheiden können, was mit diesen geschieht und wo sie gespeichert werden.

Die Architektur von GAIA-X basiert auf dem Prinzip der Dezentralisierung. GAIA-X ist das Ergebnis einer Vielzahl von einzelnen Plattformen, die alle einem gemeinsamen Standard folgen – eben dem GAIA-X-Standard. Gemeinsam entwickeln sie eine Dateninfrastruktur, die auf den Werten Offenheit, Transparenz und Vertrauen basiert. Es entsteht keine einzelne Cloud, sondern ein vernetztes System, das viele Anbieter von Cloud-Diensten miteinander verbindet und den Nutzer:innen eine Interaktion über Systemgrenzen verschiedenster Hersteller hinweg erlaubt.

### DYNAMIK

GAIA-X ist das technische Konzept für die standardisierte europäische Dateninfrastruktur. Es identifiziert die technischen Mindestanforderungen und Dienste, die für den Betrieb des gemeinsamen GAIA-X Ecosystems notwendig sind. Die technische Umsetzung wird sich auf die folgenden Bereiche konzentrieren:

- die Implementierung von sicheren Identitäts- und Vertrauensmechanismen (Security und Privacy by Design)
- souveräne Datendienste, die die Identität von Quelle und Empfänger der Daten sicherstellen und die Zugriffs- und Nutzungsrechte gegenüber den Daten gewährleisten
- einfacher Zugang zu den verfügbaren Providern, Knoten und Diensten. Die Daten werden über abgestimmte Kataloge bereitgestellt
- die Integration bestehender Standards, um Interoperabilität und Portabilität über Infrastruktur, Anwendungen und Daten hinweg sicherzustellen
- die Einrichtung eines Compliance-Frameworks sowie von Zertifizierungs- und Akkreditierungsdiensten
- die Bereitstellung einer modularen Zusammenstellung von Open Source-Software und -Standards, um Anbieter bei der Bereitstellung einer sicheren, gemeinsamen und interoperablen Infrastruktur zu unterstützen.

### ZUM NACHLESEN

- [Gaia-X: A Federated Secure Data Infrastructure](#)
- [GAIA-X – Home \(data-infrastructure.eu\)](#)
- [BMW: Der deutsche Gaia-X Hub](#)
- [Ministerium für Wirtschaft, Arbeit und Tourismus Baden-Württemberg, Referenzarchitektur Industrie 4.0: Referenzarchitektur Industrie 4.0 | Wirtschaft Digital BW \(wirtschaft-digital-bw.de\)](#)



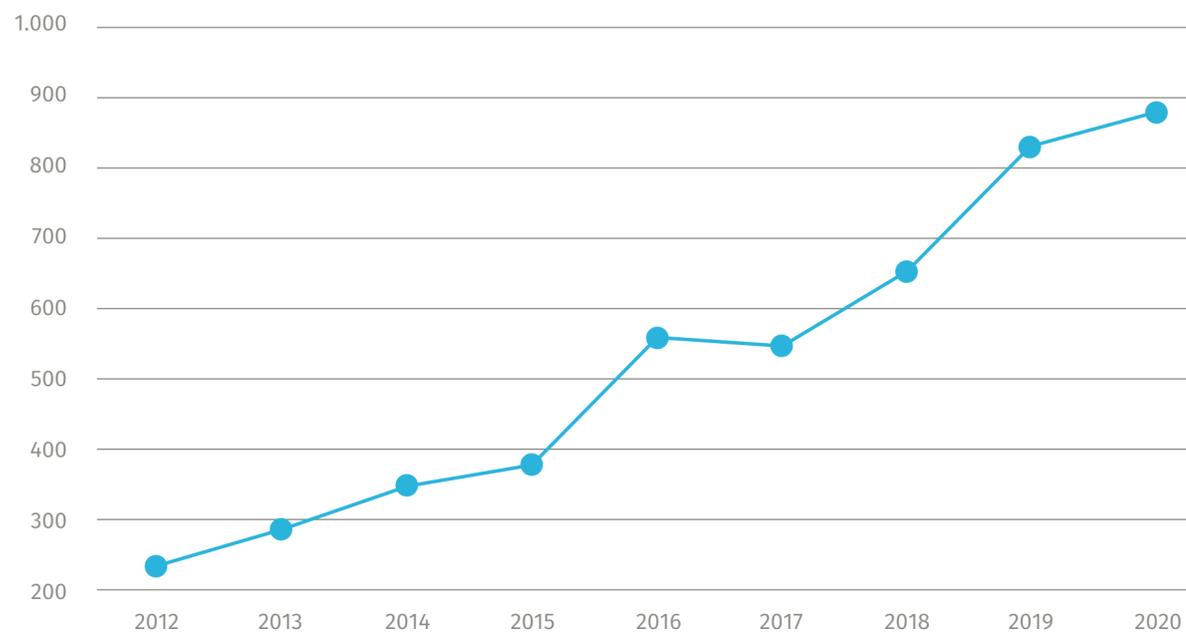


Abbildung 1: Anzahl der Publikationen pro Jahr für Referenzarchitekturen<sup>2</sup>

ZUKUNFTSPOTENZIAL

- Europa tätigt umfangreiche Investitionen in digitale Technologien und innovative Geschäftsmodelle. Dabei sollen diejenigen, die Innovationen vorantreiben, auch ökonomisch davon profitieren. Dieses Vorgehen sichert Wertschöpfung und Beschäftigung in Europa.
- Damit Unternehmen und Geschäftsmodelle aus Europa heraus weltweit wettbewerbsfähig sein können, braucht es ein offenes digitales Ökosystem. Dieses sollte sowohl die digitale Souveränität der Nutzer von Cloud-Dienstleistungen als auch die Skalierbarkeit europäischer Cloud-Anbieter ermöglichen.
- Im Rahmen von GAIA-X werden die Grundlagen für den Aufbau einer vernetzten, offenen Dateninfrastruktur auf Basis europäischer Werte erarbeitet. Aus der Vernetzung dezentraler Infrastrukturdienste entsteht eine Dateninfrastruktur, die zu einem homogenen, nutzerfreundlichen System zusammengeführt werden, in dem Daten sicher und vertrauensvoll verfügbar gemacht und geteilt werden können.“ (Bundesministerium für Wirtschaft und Energie 2021).



<sup>2</sup> search\_text = ("GAIA-X") OR (Referenzarchitektur\*) OR ("reference architecture") OR (vernetzte dezentrale Infrastrukturdienste) OR (connected decentralized infrastructure services) OR (vernetzte Dateninfrastruktur) OR (connected data infrastructure)

## 3 KI-POTENZIALE IN DER INDUSTRIE

### KURZBESCHREIBUNG

Künstliche Intelligenz (KI/AI) basiert auf den Kernfähigkeiten Wahrnehmen, Verstehen, Handeln und Lernen. Während „schwache KI“ auf bestimmte Bereiche der Mustererkennung spezialisiert ist, ist „starke KI“ auf die allgemeine Problemlösung ausgerichtet. Anwendungen der „schwachen KI“ sind bereits weit verbreitet (Spamfilter, Kaufempfehlung, Übersetzungssoftware etc.). Neu ist das Lernen in der Trainingsphase und im laufenden Betrieb aus Fehlern und Feedback. KI gilt als Schlüsseltechnologie für die Digitalisierung und Nutzung von autonomen Systemen. Aktuell finden sich viele Einsatzfelder und Entwicklungsprojekte in den Bereichen Kommunikation, Überwachung, Mobilität und Entscheidungsunterstützung. Bisher benötigen neuronale Netze große Rechnerparks in der Cloud, die überwiegend von Digitalkonzernen betrieben werden und von der Verfügbarkeit großer Datenmengen abhängen. Maschinelles Lernen (ML) bezeichnet Verfahren, bei denen Algorithmen lernen, aus Daten Muster zu erkennen ohne dass jeder Einzelfall explizit programmiert wurde. Machine Learning mit großen, künstlichen neuronalen Netzen wird als Deep Learning (DL) bezeichnet. Durch DL konnte die KI ihre Durchbrüche bei Spielen sowie Bild- und Sprachverstehen erzielen. Große Digitalkonzerne bieten ihre KI-Plattformen zunehmend quelloffen (Open Source) an – im Austausch gegen Nutzerdaten.

Informationen zu erfassen, zu sammeln, auszuwerten und daraus zu lernen ist ein erster Nutzen, den die KI in industriellen Applikationen bietet. Mit den Ergebnissen zu arbeiten und autonom Vorgänge zu bearbeiten, ist ein entscheidender nächster Schritt. KI ermöglicht es, automatisiert Semantiken zu verbinden. Selbstlernende Systeme können Modelle erstellen, welche explizite Semantiken vielschichtig erweitern. Das sind Fähigkeiten, die für kommende Geschäftsmodelle Potenziale eröffnen. Beispiel- und Lerndaten müssen sicher zwischen Wertschöpfungspartnern ausgetauscht werden können, um die Potenzial von KI in industriellen Applikationen ausschöpfen zu können. KI-Algorithmen müssen standardisierbar sein, um in möglichst viele Applikationen validierbare Ergebnisse zu liefern.

### DYNAMIK

Eines der größten Hemmnisse für den Einsatz von KI-Technologien in Industrieprozessen besteht neben rechtlichen und sicherheitstechnischen Fragestellungen in der Datenknappheit in industriellen Anwendungen. Diese Datenknappheit kann nicht einfach durch Generierung und Speicherung von mehr Daten beantwortet werden, sondern muss von Seiten der algorithmischen Verfahren adressiert werden. Grund dafür ist, dass die für die industriellen Anwendungen relevanten Ereignisse in der Regel selten sind: Fehler an Geräten, Störungen im Produktionsprozess, Qualitätsprobleme oder Gefahrensituationen. Empirisch zeigt sich, dass klassische Deep-Learning-Verfahren erst ab einer Mindestanzahl von Beispieldatensätzen ihre volle Kraft zum Einsatz bringen können.

Auch die erforderliche Genauigkeit und Leistungsfähigkeit der Verfahren für industrielle Anwendungen ist eine Herausforderung. Jedes Empfehlungssystem im Consumer-Bereich, das mehr als 10% Genauigkeit erreicht, ist bereits ausreichend. Doch selbst in einfachen industriellen Anwendungen wie der optischen Qualitätskontrolle oder der prädiktiven Wartung sind Vorhersage- oder Detektionsgenauigkeiten von weit über 90% erforderlich.

Heute erfolgreiche KI-Methoden sind häufig Black-Box-Verfahren, deren Verhalten und Entscheidungen nur sehr schwierig vorhergesagt oder auch nur analysiert werden können. Einerseits muss die Erklär- und Nachvollziehbarkeit der KI-Methoden verbessert werden, andererseits müssen Sicherheitskonzepte für den Einsatz von KI in sicherheitskritischen Systemen erarbeitet werden.

### ZUM NACHLESEN

- [Bundesministerium für Wirtschaft und Energie \(BMWi\): BMW- Potenziale der Künstlichen Intelligenz im produzierenden Gewerbe in Deutschland](#)
- [Bundesverband der Deutschen Industrie e. V. \(BDI\): Anwendungsfelder und Potenziale von KI in der Wirtschaft \(bdi.eu\)](#)
- [Fraunhofer-Allianz Big Data und Künstliche Intelligenz: Potenzialanalyse »Künstliche Intelligenz« \(fraunhofer.de\)](#)
- [KI – ALLIANZ Industrie 4.0 Baden Württemberg | Industrie 4.0 \(i40-bw.de\)](#)

Für die Weiterentwicklung von künstlicher Intelligenz im Industrieumfeld besteht Forschungsbedarf in den Bereichen Erklär- und Nachvollziehbarkeit der verwendeten Methoden, Umgang mit fehlenden Daten oder zu kleinen Datenmengen, Entwicklung von Methoden mit sehr geringer Fehlerquote sowie von Methoden mit geringem Konfigurations- und Engineeringaufwand.

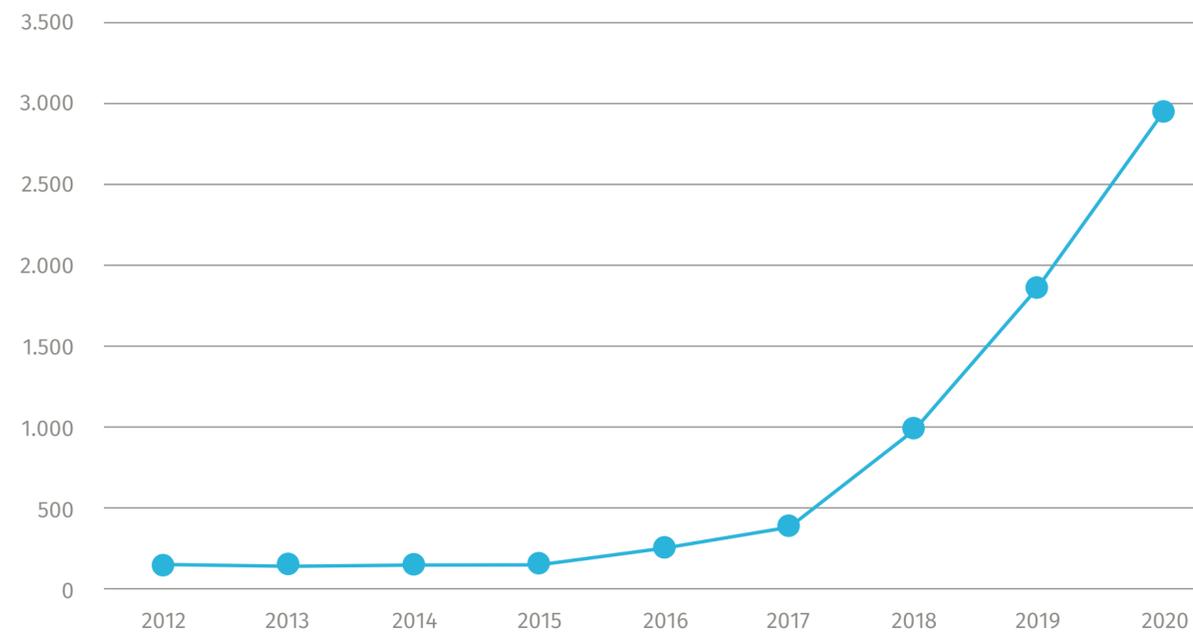
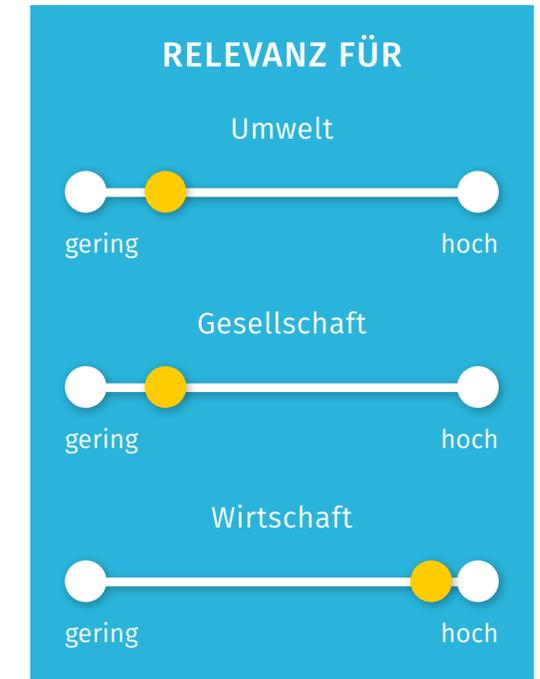


Abbildung 2: Anzahl der Publikationen pro Jahr für KI im Industriesektor<sup>3</sup>

### AUSGEWÄHLTE AKTUELLE ENTWICKLUNGEN

- START-UP Your AI - Das IPA veranstaltet regelmäßig einen Austausch zwischen Industriefirmen und KI-Start-ups.
- Das Projekt AI Marketplace etabliert eine digitale Plattform für künstliche Intelligenz (KI) in der Produktentwicklung. Die Plattform bringt KI-Experten, Lösungsanbieter und produzierende Unternehmen gleichermaßen zusammen, fördert gemeinsame Innovationen und baut auf einer bestehenden Infrastruktur auf. Den Nutzern werden wesentliche Werkzeuge für die Entwicklung innovativer KI-Lösungen zur Verfügung gestellt. Zu den Funktionen gehören eine intelligente Partneragentur für KI-Anwendungsfälle in der Produktionsentwicklung, ein Datenraum für die Produktionsentwicklung und ein Baukasten für die KI-Entwicklung. Grundlage für den Erfolg des KI-Marktplatzes ist eine IT-Architektur, die auf selbstbestimmten Datenaustausch setzt. Sie basiert auf dem IDS Reference Architecture Model (IDS-RAM) der International Data Spaces Association, das Datenhoheit und faire Transaktionsmechanismen sicherstellt. Herausforderungen ergeben sich insbesondere im Hinblick auf den Datenaustausch und die Interoperation. Die Identität der Teilnehmer und die Datenhoheit zwischen ihnen spielen aufgrund der Zugriffs- und Nutzungsrechte eine zentrale Rolle. Eine weitere Herausforderung ist die Semantik für die Organisation des Datenaustauschs und der Informationsgehalt der ausgetauschten Daten. Schließlich ist es wichtig, eine über den reinen Datenaustausch hinausgehende Verbindung zu Anwendungen für KI-Dienste anzubieten. Die Entwicklung des KI-Marktplatzes erfolgt in vier Entwicklungsstufen, die konsistente Bündel von Plattformdiensten und zugehörigen Datenbankstrukturen darstellen.
- In der ersten Stufe wird der Intelligent Matchmaking Service implementiert, der produzierende Unternehmen und KI-Experten zusammenbringt, um gemeinsam an KI-Anwendungen für die Produktion zu arbeiten.



<sup>3</sup> search\_text = („Künstliche Intelligenz“ AND Industrie) OR (KI AND Industrie) OR („artificial intelligence“ AND industry) OR (AI AND industry) OR (AI AND “industrial sector”) OR (AI AND manufacture)



- Im nächsten Schritt wird ein geschützter Datenraum für Entwicklungs- und Testdaten zur Verfügung gestellt, um die KI-Anwendungen kontinuierlich zu verbessern und an die Kundenbedürfnisse anzupassen.
- Im dritten Schritt wird der App-Store für KI-Anwendungen als zentraler Austauschpunkt gestartet, um die vielfältigen Angebote für die Nutzer zugänglich zu machen.
- Schließlich wird ein KI-Baukasten geschaffen, der standardisierte KI-Bausteine bietet, die je nach Bedarf kombiniert und für die Entwicklung neuer Lösungen genutzt werden können.
- Jedes siebte Unternehmen setzt auf KI in der Fabrik und 79% der Deutschen Unternehmen sehen KI als sehr erfolgskritisch an. Deutsche Unternehmen setzen stark auf externe Kompetenzen, 55% der Unternehmen kaufen KI vollständig oder überwiegend zu.
- Drahtlose Kommunikationsverifizierung mit KI: Cisco Systems befasst sich mit dem Autonomen Fahren und der Integration einer Car2X-Infrastruktur. Zur sicheren und drahtlosen Kommunikationsverifizierung wird KI in Verbindung mit einer Distributed Ledger Technologie genutzt. Durch diese Verbindung wird die Netzwerksicherheit erhöht und die Integrität der Kommunikation der teilnehmenden Objekte gewährleistet einen AI-as-a-Service (AlaaS)-Ansatz.

## ZUKUNFTSPOTENZIAL

Einen sehr großen Einfluss wird die KI auf die Konzepte der Smart Service Welt haben. Die Grundidee der Smart Service Welt ist, dass Firmen (z.B. des produzierenden Gewerbes) ihre Daten selektiv für Dienstleister sichtbar machen können. Die Dienstleister bieten ihrerseits Services an, welche die Daten zu tiefer greifenden Erkenntnissen veredeln. Zum Beispiel könnten aus Maschinendaten Wartungsanleitungen oder optimierte Rüstpläne abgeleitet werden.

Kritisch diskutiert werden die fehlende Nachvollziehbarkeit der Entscheidungen von KI-Systemen („Blackbox“) und Einschränkungen der Selbstbestimmung von Menschen. Mit technischen Ansätzen sollen Systeme starker KI unter Kontrolle gehalten werden. „Boxing-Ansätze“ zielen auf die Begrenzung, während andere Ansätze auf die Vordefinition von technischen Motivationsstrukturen setzen.



## 4 SMART CONTRACTS UND E-EURO

### KURZBESCHREIBUNG

Ein Smart Contract ist eine digitale Version oder ein algorithmisches Protokoll eines Vertrags zwischen zwei Parteien. Gemäß der vertraglichen Vereinbarung werden bestimmte Mechanismen digital in Form eines kodierten Algorithmus manifestiert, der somit den geschlossenen Vertrag nicht nur beinhaltet, sondern auch aktiv umsetzen kann. Der Code arbeitet nach einer Reihe von festen Regeln in Abhängigkeit von relevanten Parametern und ist damit in der Lage, automatisch die vereinbarten Rechte oder Sanktionen durchzusetzen.

Smart Contracts können auf dem Blockchain-Konzept basieren und sollen mehrere Vorteile gegenüber traditionellen Vertragsverhältnissen bieten. Zum Beispiel kann eine Smart-Contract-Bedingung nur dann geändert oder gelöscht werden, wenn eine Mehrheit der entsprechenden Blockchain-Teilnehmer eine solche Aktion verifiziert hat. Eine externe Kontrolle durch Dritte ist nicht erforderlich, nur durch die Teilnehmer der Blockchain-Community. Was in der Blockchain geschrieben wird, bleibt transparent (für alle Teilnehmer). Daher gilt das Konzept als fälschungssicher.

### DYNAMIK

Ein digitaler Euro könnte eine Alternative zu den privatwirtschaftlichen Initiativen wie Bitcoin oder Diem (ehemals Libra, überwiegend von Facebook gefördert) sein. Im Gegensatz zu anderen Kryptowährungen stünde ein digitaler Euro unter Aufsicht einer Zentralbank, die die Stabilität der Währung sichert und wäre damit ein anderes Zahlungsmittel als der Bitcoin, der auf Blockchain-Basis dezentral aufgebaut ist. Bei einer offiziellen Währung wären es verteilte Rechner mit einer zentralen Steuerung.

Erhält eine Firma eine Lieferung, prüfen Sensoren die Qualität der Produkte. Werden die Artikel positiv bewertet, löst die Maschine automatisch eine Bezahlung an den Lieferanten aus. Der gesamte Prozess der Prüfung, Buchhaltung, Zahlung und Verwaltung wird digitalisiert und damit deutlich vereinfacht. Auch Kleinstbeträge ließen sich auf diesem Wege übermitteln. Offene Cent-Beträge werden heute gesammelt und erst später gebündelt überwiesen. China hat den E-Yuan bereits 2020 in einem großen Feldversuch eingeführt.

Aktuelle Hürden sind der Bedarf an enormen Rechnerkapazitäten für digitale Verifikationsverfahren (zeitaufwändiger Betrieb und hohe Energiekosten) und die fehlende Rechtsicherheit. Zurzeit gibt es weder explizite Regeln noch eine nennenswerte Rechtsprechung aus der Praxis, noch Standards oder Zertifizierungen.

### ZUM NACHLESEN

- [Fraunhofer IML: Blockchain & Smart Contracts, Whitepaper „Blockchain und Smart Contracts: Effiziente und sichere Wertschöpfungsnetzwerke“](#)
- [Blockchainwelt.de: Blockchain und Industrie 4.0](#)
- [Europäische Zentralbank \(EZB\): Ein digitaler Euro \(europa.eu\)](#)
- [Springerprofessional.de: EZB startet Projekt zum digitalen Euro](#)



AUSGEWÄHLTE AKTUELLE ENTWICKLUNGEN

- Die Energiewirtschaft erforscht derzeit intensiv Anwendungsmöglichkeiten für den Handel von kleinen Energiemengen zwischen dezentralen Erzeugern und Netzbetreibern.
- Smart Contracts bieten großes Potenzial für den Legal-Tech-Sektor. Generell könnten intelligente Verträge den Übergang vom „Internet der Informationen“ zum „Internet der Werte“ unterstützen, da Smart Contracts oft in Verbindung mit Kryptowährungen verwendet werden.
- Eine neuere Innovation ist das Smart-Contract-basierte Angebot von sogenannten DApps (dezentralisierte Apps). Diese Open-Source-Anwendungen basieren auf der Blockchain-Technologie und sind daher weniger anfällig für externe Bedrohungen.

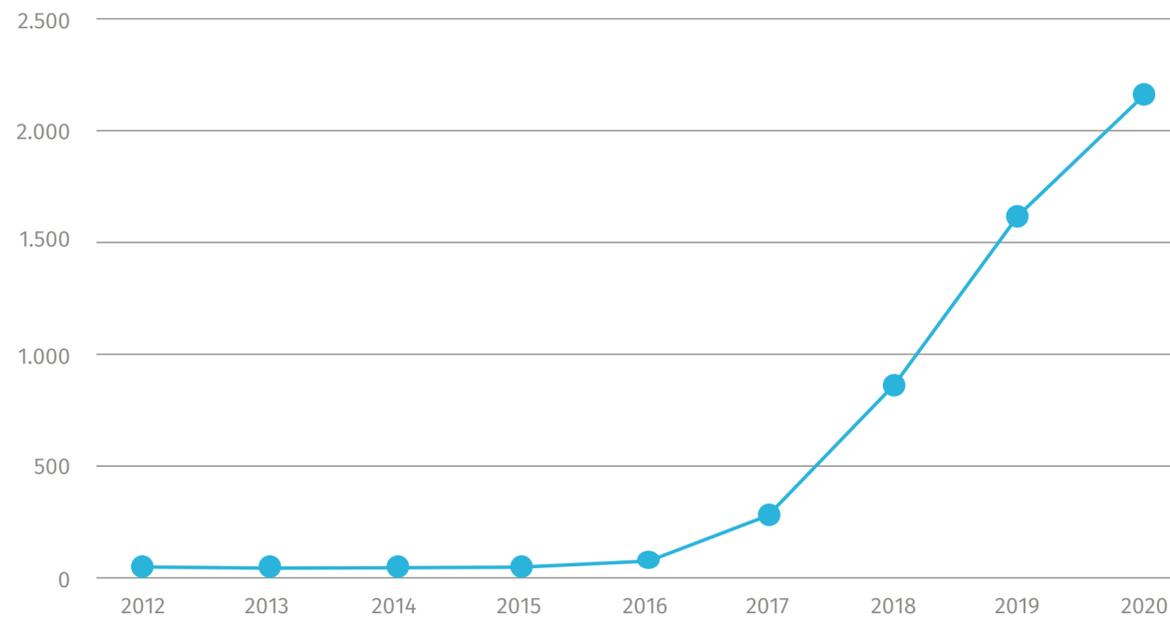


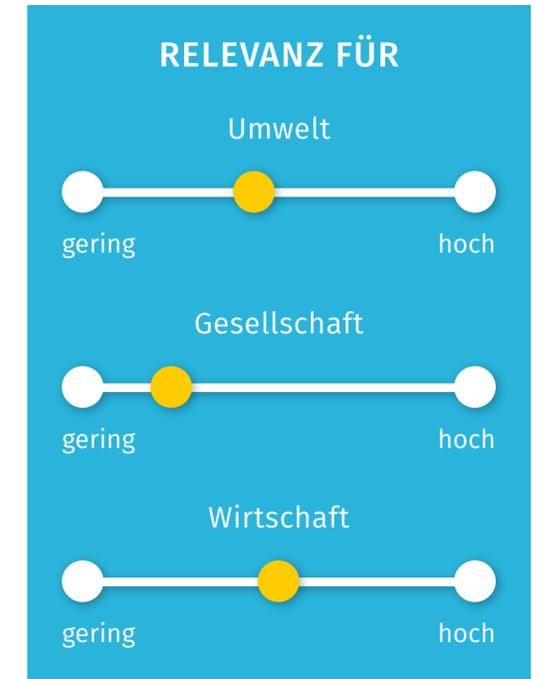
Abbildung 3: Anzahl der Publikationen pro Jahr für Smart Contracts und e-Euro<sup>4</sup>

<sup>4</sup> search\_text = („smart contract\*“) OR („e-euro“) OR („digital\* euro“) OR („e-yuan“)

ZUKUNFTSPOTENZIAL

Smart Contracts können in nahezu allen Bereichen der Zusammenarbeit in B2B Märkten eingesetzt werden. Insbesondere für Handel und Logistik bieten intelligente Verträge interessante Anwendungsfelder. In Handelsbeziehungen, die eine Identitäts- oder Authentizitätsprüfung erfordern, wird durch den Wegfall einer zwischengeschalteten Instanz zwischen den Vertragspartnern die Effizienz der Zusammenarbeit erheblich gesteigert (wo üblicherweise Banken, Notare, Clearingstellen, Ratingsysteme oder andere dritte Parteien benötigt werden). Investoren, Banken und Versicherungsgesellschaften können von einer hohen Datensicherheit profitieren. Sharing-Konzepte und Bezahl- oder Abrechnungssystemen für vernetzte Endgeräte (z. B. Smartphone-Apps) und Peer-to-Peer Marktplätze aller Art können über Smart Contracts realisiert werden.

Weitere denkbare Anwendungen sind Smart-Contract-basierte Verwaltungsbüros oder die Durchsetzung von Gesetzen wie dem Patentrecht (zur Verwaltung von geistigem Eigentum ohne Patentanwälte). Unter Zusammenhang mit der Einführung von Industrie 4.0 gibt es zahlreiche Möglichkeiten, Prozesse effizienter zu gestalten.



Inhaltsverzeichnis

# 5 RESILIENTERE WERTSCHÖPFUNGSNETZWERKE

## KURZBESCHREIBUNG

Nach Christopher und Peck (2004) sind Wertschöpfungsketten dann resilient, wenn:

- die Reaktion und das Verhalten bei Störungen und Unterbrechungen im Vorfeld geplant sind
- ein hohes Maß an Kooperation aufgebaut wurde, um Risiken zu identifizieren und zu managen
- Agilität vorhanden ist, um bei unvorhergesehenen Ereignissen als gesamte Supply Chain oder einzelnes Unternehmen schnell reagieren zu können
- es eine Kultur des Risikomanagements gibt
- und Eigenschaften wie Verfügbarkeit, Flexibilität, Effizienz, Vermeidung von Redundanz, Transparenz und Geschwindigkeit als weitere entscheidende Faktoren behandelt wurden.

Als neue zentrale Zielgröße der Industrie 4.0 ergänzt Resilienz die herkömmlichen Ziele „operationale Effizienz“ und „strategische Differenzierung“ um z. B. Individualisierung und Flexibilität. Resilienz könnte auch zum Treiber der Entwicklung zukünftiger Anwendungen der künstlichen Intelligenz werden. Eine Möglichkeit, die Resilienz zu erhöhen, ist die stärkere vertikale Integration der Wertschöpfungsnetzwerke, also eine stärkere Vereinigung mehrerer Unternehmen mit aufeinanderfolgenden Verarbeitungs- oder Handelsstufen. Strategische Entscheidungen werden zur Förderung der Resilienz nicht mehr allein unter Kosten-Gesichtspunkten getroffen und im Zuge der Digitalisierung kann der zunehmenden Komplexität durch resilientere Strukturen begegnet werden.

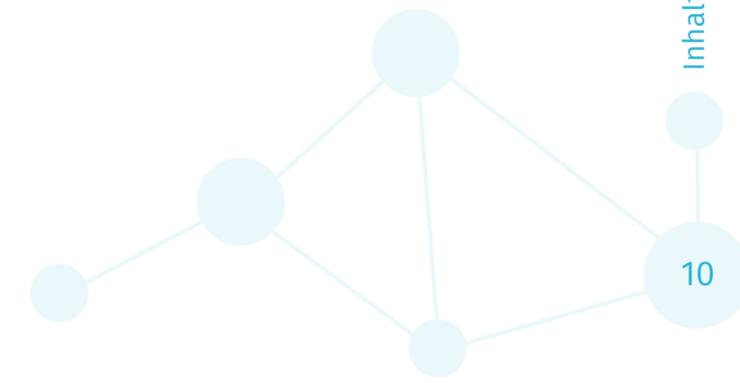
## DYNAMIK

Der Wunsch nach lokaleren und robusteren Wertschöpfungsketten kann neue Anbieter an den Märkten fördern. Künftig könnten verstärkt Betreiber einer lokalen Fabrik als Auftragsfertiger für verschiedene Produkt-Anbieter (Marken) für einen lokalen Markt arbeiten. Dies verlangt neue Fertigungskonzepte („Manufacturing-as-a-Service“), aber auch neue Produktarchitekturen mit geringerer Komplexität, höherer Flexibilität und/oder der Nutzung lokaler sowie recycelter Materialien, um eine Passform an lokale Marktgegebenheiten zu erreichen. Additive Fertigungstechnologien würden durch eine solche Entwicklung einen zusätzlichen Wachstumsschub bekommen.

Kontinuierlich neu konfigurierte Wertschöpfungsnetzwerke für jede Produktbestellung könnten ebenfalls eine resiliente Weiterentwicklung der linear organisierten Wertschöpfungsketten in der Vergangenheit (und Gegenwart) darstellen. Dies setzt eine ständige Verbindung zwischen allen eingebundenen Unternehmen voraus und die Steuerung verlagert sich auf eine Plattform. GAIA-X könnte in diesem Zusammenhang eine wichtige Rolle spielen, denn diese neue Infrastruktur ermöglicht einen offenen und modularen Ansatz in der Produktion, so dass Unternehmen über Unternehmensgrenzen hinweg in einem Produktionsprozess enger und transparenter miteinander zusammenarbeiten können. So ist es möglich, neue Produkte herzustellen, bei denen einzelne Unternehmen einzelne Produktionsschritte übernehmen können.

## ZUM NACHLESEN

- Fraunhofer IPA: Elemente eines resilienten Wertschöpfungs-systems
- Universität Augsburg: Resiliente Werkstoff-technologien und Wertschöpfungsnetzwerke
- Deutsche Akademie der Technikwissenschaften: Publikation „Wertschöpfungsnetzwerke in Zeiten von Infektionskrisen“ – Wie sich Unternehmen für die Zukunft wappnen können – acatech



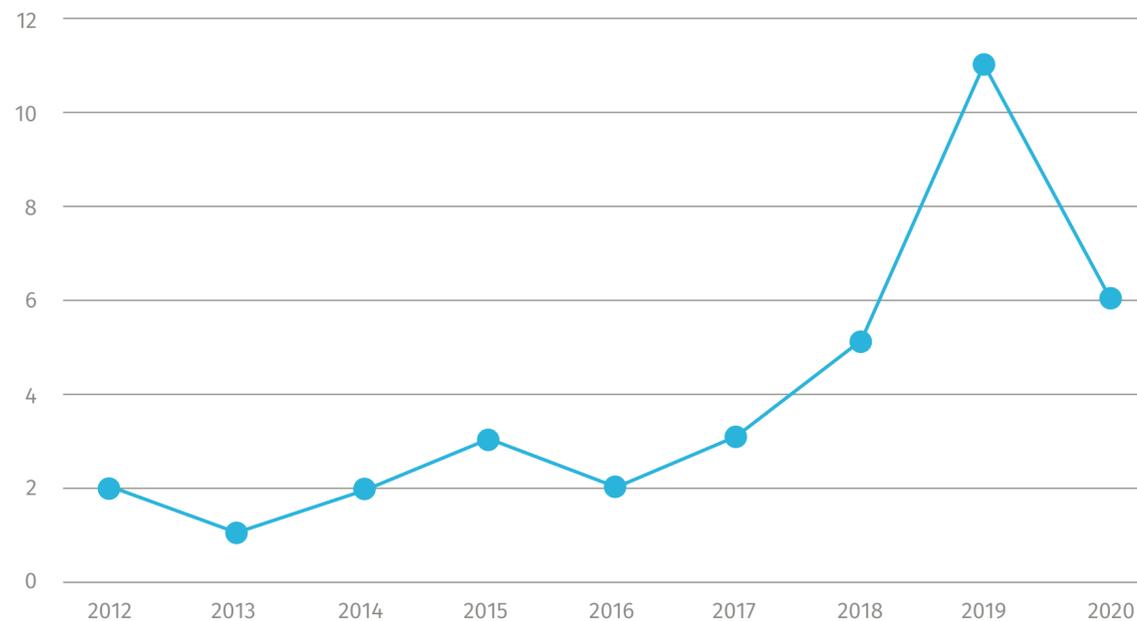


Abbildung 4: Anzahl der Publikationen pro Jahr zu resilienten Wertschöpfungsnetzwerken<sup>5</sup>

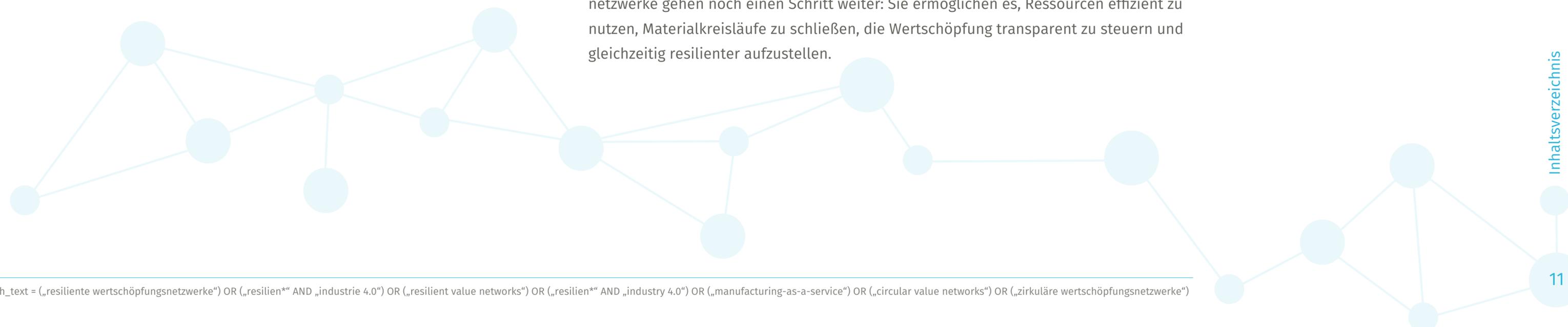
### AUSGEWÄHLTE AKTUELLE ENTWICKLUNGEN

Shared Production, ad hoc value-added networks – Ein Use Case wurde bereits als deutsch-niederländischer Demonstrator für eine 3D-Produktionsumgebung für individualisierte USB-Sticks getestet. Methodisch ist der Use Case die Weiterentwicklung der Umsetzung von Industrie 4.0 in einer Fabrik oder in einem Unternehmen durch die Integration von Maschinen und zugehörigen Cloud-Diensten. Die Integration erfolgt über Unternehmensgrenzen hinweg, wobei nicht Maschinen, sondern Wertschöpfungspartner ständig eingebunden werden, um einen bestimmten Produktionsauftrag zu erfüllen.

### ZUKUNFTSPOTENZIAL

Zirkuläre Wertschöpfungsnetzwerke machen die Produktionsprozesse weniger störungsanfällig, denn der Netzwerkgedanke schließt mit ein, dass die extreme Spezialisierung einzelner Unternehmen und Anlagen aufgebrochen wird und Maschinen künftig flexibler einsetzbar sind. Sie können dann beispielsweise verschiedene Produktionsabläufe on-demand übernehmen. Auch individuelle Kundenwünsche lassen sich mit flexiblen Maschinen in digitalen Netzwerken leichter realisieren.

Es wird angenommen, dass die Kreislaufwirtschaft 4,5 Billionen US-Dollar zusätzliche Wirtschaftsleistung bis zum Jahr 2030 global generieren könnte. Zirkuläre Wertschöpfungsnetzwerke gehen noch einen Schritt weiter: Sie ermöglichen es, Ressourcen effizient zu nutzen, Materialkreisläufe zu schließen, die Wertschöpfung transparent zu steuern und gleichzeitig resilienter aufzustellen.



<sup>5</sup> search\_text = („resiliente wertschöpfungsnetzwerke“) OR („resilien\*\* AND „industrie 4.0“) OR („resilient value networks“) OR („resilien\*\* AND „industry 4.0“) OR („manufacturing-as-a-service“) OR („circular value networks“) OR („zirkuläre wertschöpfungsnetzwerke“)

# 6 EXTENDED REALITY

## KURZBESCHREIBUNG

Durch mobile Kommunikationstechnologien in Smartphones, Wearables und anderen Produkten (Internet of Things) ist eine kontinuierliche, ortsunabhängige Anbindung an das Internet möglich. Das so entstehende „Outernet“ beschreibt eine erweiterte Realität, bei der sich Funktionen und Nutzungsmuster des Internets (Interaktion, Suchfunktion, Personalisierung) als zusätzliche Schicht über die Wahrnehmung der realen Umwelt legen.

„Extended Reality“ (XR) umfasst unterschiedliche Technologien, die dieses Zusammenwachsen von digitaler und realer Welt ermöglichen. So erlaubt es Augmented Reality (AR), digitale Informationen in der realen Umgebung zu verankern und Virtual Reality (VR), sich in gänzlich digitalen Welten zu bewegen. Das Verschwimmen von Online- und Offlineanwendungen birgt großes Veränderungspotenzial für alle Bereiche des privaten und öffentlichen Lebens – aber auch im industriellen Kontext, z.B. durch neue Simulationsmöglichkeiten oder den Einsatz bei Wartungsarbeiten sowie die Unterstützung bei Entscheidungsprozessen.

## DYNAMIK

Die Anbindung an das Internet erfolgt zunehmend automatisch und im Hintergrund. Das Umschalten zwischen realer und virtueller Welt erfolgt übergangslos und permanent. Die physische Mobilität ist exemplarisch für die Entwicklung in vielen Bereichen: so erfordern Car-Sharing, E-Ladestationen, Handy-Tickets, E-Bikes zum Ausleihen etc. jeweils einen kontinuierlichen Datenaustausch.

Von sozialer Interaktion und Unterhaltung über Lernen und Arbeiten bis hin zu therapeutischen Maßnahmen – XR bietet Kostenreduktion durch Fernanwesenheit, Zeitersparnis durch dynamische Kollaboration, Gefahrenminimierung durch Simulation und Empathie durch Immersion („Eintauchen“). Ein Zusammenwachsen digitaler und realer Welten erfordert die Neugestaltung von Organisationsprozessen und bedeutet die Entwicklung neuer Wirtschafts- und Branchenstrukturen. Auch auf der individuellen Ebene ist eine ständige Veränderungs- und Lernbereitschaft erforderlich.

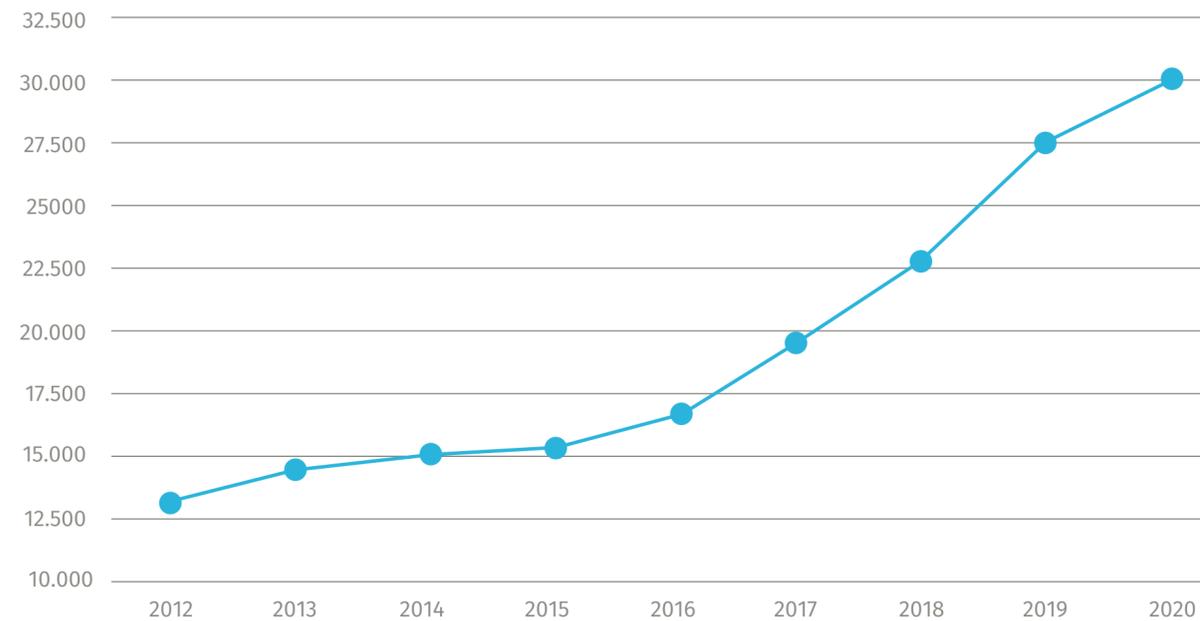


Abbildung 5: Anzahl der Publikationen pro Jahr zu VR-, AR- und XR-Potenzialen<sup>6</sup>

## ZUM NACHLESEN

- Industry of Things, Extended Reality Collaboration in der Industrie: Potenziale für Zusammenarbeit nutzen
- Industry of Things: Augmented Reality in der Industrie: Herausforderungen, Potenziale, Chancen
- Fraunhofer Institut für Graphische Datenverarbeitung IGD: Augmented Reality in der Industrie

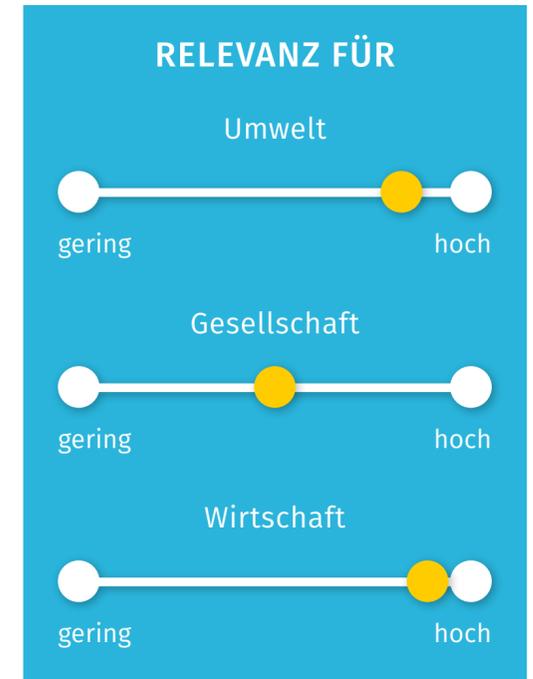


<sup>6</sup> search\_text = („virtual reality“) OR („VR“) OR („augmented reality“) OR („AR“) OR („extended reality“) OR („XR“) OR („outernet“) OR („virtual surgery intelligence“)

AUSGEWÄHLTE AKTUELLE ENTWICKLUNGEN

- Durch den „Digitalen Zwilling“, d. h. die digitale Repräsentation eines materiellen oder immateriellen Objekts oder Prozesses aus der realen Welt, wird das virtuelle Experimentieren mit Gegenständen oder Prozessen ermöglicht. Dies geht weit über die Möglichkeiten in der realen Welt hinaus – etwa aus Sicherheits- oder Zugänglichkeitsgründen.
- Durch XR wird eine deutlich messbare Reduzierung der Ressourcen für Ausbildung und das Training von Mitarbeitenden angestrebt, da Risiken reduziert, Transportaufwand verringert, und Ausbildungsinhalte flexibler als auch anpassungsfähiger gestaltet werden können.
- In der öffentlichen Verwaltung werden u. a. Potenziale beim Katastrophenschutz, der Umweltschutzüberwachung und der Flurneuordnung gesehen.
- Einsatzmöglichkeiten im industriellen Umfeld bestehen beispielsweise in der Wartung, im Designprozess von Autos, der Luft- und Raumfahrtindustrie oder der Medizintechnik. Das Thema gewinnt rasant an Relevanz u. a. durch Technologiefortschritte, gereifte Ökosysteme bei der Realisation von AR-Lösungen sowie Synergien zwischen AR und weiteren Themen wie Internet of Things (IoT) und Machine Learning (ML).
- Mit der Software VSI (Virtual Surgery Intelligence) in Kombination mit Microsoft HoloLens haben Ärzte die Möglichkeit, Aufnahmen aus MRT und CT dreidimensional darzustellen. Die cloudbasierte Anwendung generiert aus MRT- und CT-Aufnahmen ein 3D-Abbild, welches dann über die HoloLens angezeigt wird.
- StarVR brachte im April 2020 ein High-End-Widescreen-Headset auf den Markt, das ein unvergleichliches horizontales Sichtfeld von 201° und ein vertikales Sichtfeld von 130° bietet, das dem natürlichen peripheren Sehen nahekommt.

- Pixyz veröffentlichte im Mai 2020 die Software zum Betrachten von 3D-Modellen in VR; zu den neuen Funktionen gehören ein geringerer GPU-Speicherverbrauch, eine modernisierte Benutzeroberfläche usw.
- Improbable bietet eine Lösung für den Aufbau virtueller Welten, genannt SpatialOS. Das Unternehmen experimentiert mit einer KI-Technologie, die die gesamte virtuelle Welt simulieren kann und dabei Produktionskosten spart.
- Fraunhofer entwickelt spezielle Algorithmen zur Erfassung und Wiedergabe von 3D-Klangerlebnissen über ein einziges Gerät ohne eine Vielzahl von Mikrofonen oder Lautsprechern.
- TechViz bietet Wartungsszenarien zur Bewertung von Risiken und Sicherheit für die Schulung von Wartungspersonal. Es ermöglicht einen besseren Transfer von Fähigkeiten und verbessert die Sicherheit in einer gefährlichen Umgebung.
- Die BMW Group setzt neue AR-Anwendungen bei der Entwicklung von Fahrzeugkonzepten und -prototypen ein, wodurch sich der Entwicklungsprozess um zwölf Monate verkürzt.
- XR eröffnet dem Handel die Möglichkeit, Warenbestände drastisch herunterzufahren: Ein Autohaus muss nicht mehr alle Modelle vorhalten, sondern kann diese auch virtuell darstellen. Ein Teil ist dann das haptische Erlebnis durch Anfassen, Fühlen, Riechen der ausgestellten Modelle, die Beratung und Konfiguration weiterer Details findet digital statt. Im Herbst 2020 veranstaltete Volkswagen die erste virtuelle Messe für Reisemobile, auf der die Fahrzeuge auch digital dreidimensional dargestellt wurden.



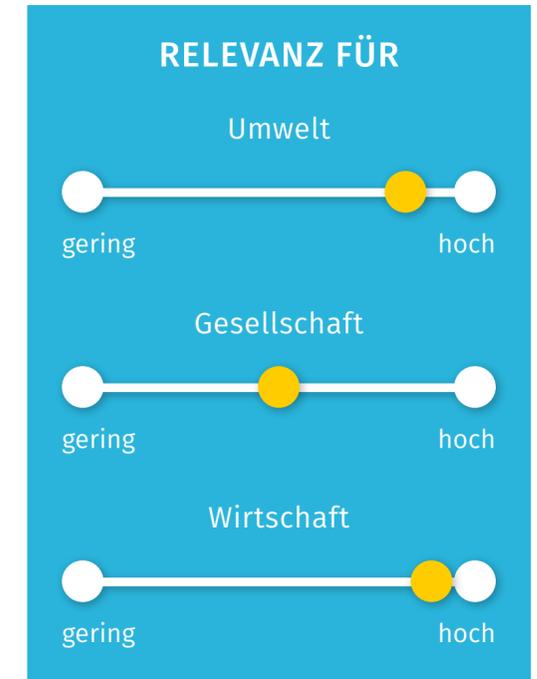
→ ZUM VERTIEFUNGSBERICHT EXTENDED REALITY



- EON Reality hat im September 2020 die Bildungsplattform EON-XR auf den Markt gebracht, mit der Nutzer online an Sitzungen teilnehmen können und die es Lehrern und Schülern ermöglicht, von verschiedenen Geräten aus zu interagieren.
- MetaMovie arbeitet mit WeMakeVR zusammen, um immersives, interaktives Storytelling in der VR-Welt zu erforschen. Sie bieten einen interaktiven Filmunterhaltungsdienst an.
- Insta360 bietet VR-Lösungen, einschließlich Kameras und Live-Software für Medizinstudenten und Ärzte, um Livestream-Operationen zu Bildungs- und Forschungszwecken im Juni 2020 zu erleben.

ZUKUNFTSPOTENZIAL

- Experten erwarten, dass XR Technologien bis 2025 zu einem 95-Milliarden-Dollar-Markt wachsen werden. Die stärkste Nachfrage kommt derzeit aus der Kreativwirtschaft – insbesondere aus den Bereichen Spiele, Live-Veranstaltungen und Videounterhaltung. Umfangreiche Anwendungen werden aber auch in so unterschiedlichen Branchen wie dem Gesundheitswesen, dem Bildungswesen oder dem Immobiliensektor gesehen.
- In der öffentlichen Verwaltung könnten XR Technologien z.B. bei der realitätsnahen Visualisierung potenzieller Auswirkungen von Baumaßnahmen (z.B. geplante Windenergieanlage) genutzt werden.
- Gesundheitliche Risiken bei XR sind zum einen orthopädische Probleme, aber auch die sog. VR-Krankheit (Virtual Reality Sickness/Motion Sickness) mit Übelkeit, Kopfschmerzen und Müdigkeit. Das liegt an widersprüchlichen Sinnesreizen: unsere Augen melden dem Gehirn eine Bewegung, doch die Gleichgewichtsorgane nehmen nichts wahr.



## 7 DIGITALER ZWILLING

### KURZBESCHREIBUNG

Der digitale Zwilling ist das digitale Abbild eines materiellen oder immateriellen Objekts und erlaubt dessen Simulation, Steuerung und Verbesserung. Dabei ist es unerheblich, ob das Gegenstück in der realen Welt bereits existiert oder zukünftig erst existieren wird. Digitale Zwillinge beinhalten Daten und Algorithmen, häufig Simulationsmodelle, die ihr Gegenstück aus der realen Welt akkurat beschreiben. Sie sind Schlüsselement für den Informationsaustausch über Unternehmen hinweg. „Der digitale Zwilling bildet Entwicklung und Fertigung von Produkten oder Produktionsanlagen über den gesamten Lebenszyklus ab und ermöglicht die Vorhersage des Verhaltens, die Optimierung der Nutzung während des Betriebs sowie das Umsetzen von Erkenntnissen aus früheren Design- und Produktionserfahrungen.“ (Urban August, Siemens PLM Software)

Die „Verwaltungsschale“ ist die technische Umsetzung des digitalen Zwillings, wie sie durch die Plattform Industrie 4.0 vorgeschlagen wird. Sie ist eine generische Möglichkeit, Informationen für I4.0-Use Cases zusammenzuführen und diese für nicht-intelligente und intelligente Produkte verfügbar zu machen. Sie überbrückt Unternehmens- und Branchengrenzen, ist skalierbar und erweiterbar und erstreckt sich über alle Phasen des Lebenszyklus, vom Design über den Betrieb bis hin zur Instandhaltung und Entsorgung. Die Verwaltungsschale ermöglicht durchgängige Wertschöpfungsketten und ist die digitale Basis für autonome Systeme und den Einsatz für KI.

### DYNAMIK

Der Einsatz eines Digitalen Zwillings bietet eine Vielzahl an Vorteilen. Konzepte lassen sich im Vorfeld validieren und Prozesse oder Produkte in virtuellen Umgebungen ausgiebig testen. Die Gefahr von Fehlern oder Störungen in realen Prozessen reduziert sich. Qualitäts- und Effizienzsteigerung in der Produktion sind die Folge. Darüber hinaus sinken Entwicklungs- und Einführungszeiten der Produkte oder Prozesse und die Gesamtflexibilität steigt. Unter der Voraussetzung, dass das Internet überall vorhanden ist, werden auch vernetzte Geschäftsprozesse über Unternehmensgrenzen hinweg ermöglicht. Dazu zählen auch Informationen von Lieferanten und Kunden. Clever angewendet, eröffnet sich eine neue Welt von Diensten und Funktionen.

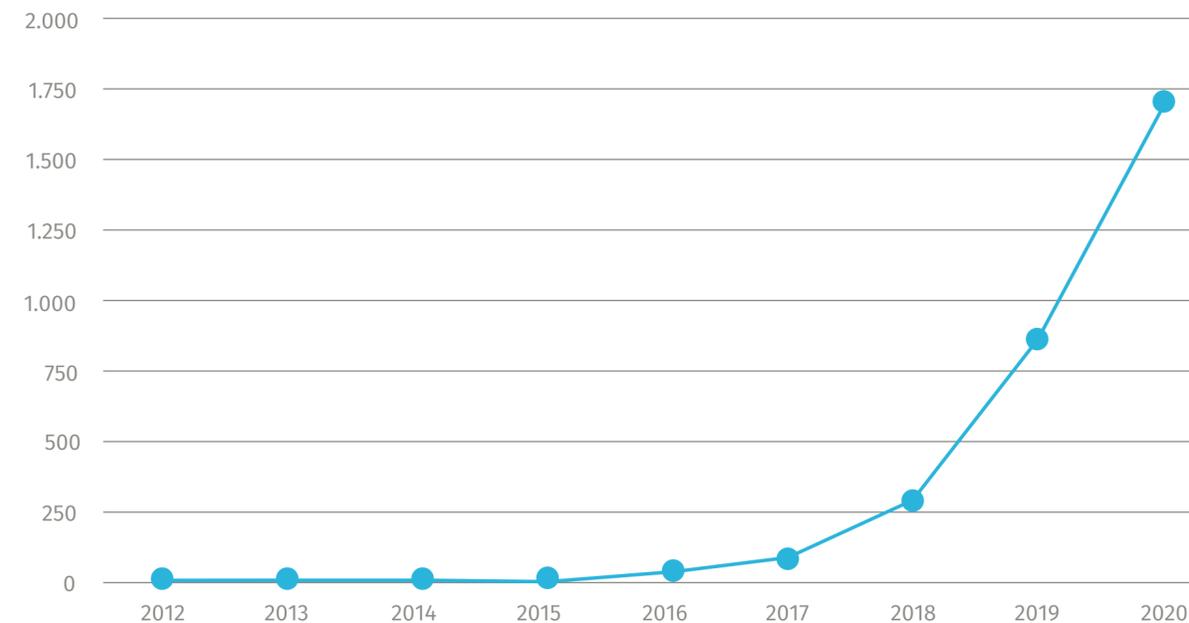


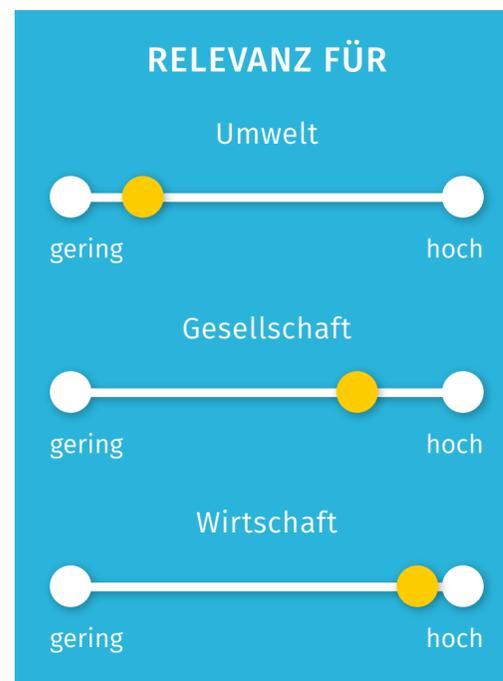
Abbildung 6: Anzahl der Publikationen pro Jahr zum Thema Digitaler Zwilling<sup>7</sup>

<sup>7</sup> search\_text = („digital twin“) OR („digitaler zwilling“)



ZUKUNFTSPOTENZIAL

Werkstücke und Maschinen steuern selbstständig die Produktion – flexibel, effizient, ressourcenschonend. Es gibt Übergänge zwischen verschiedenen Unternehmen und Branchen. Es werden sehr große Potenziale für die Wirtschaft erwartet, aber auch die Gesellschaftsebene könnte positiv beeinflusst werden, weil Prozesse nachvollziehbarer und transparenter werden.

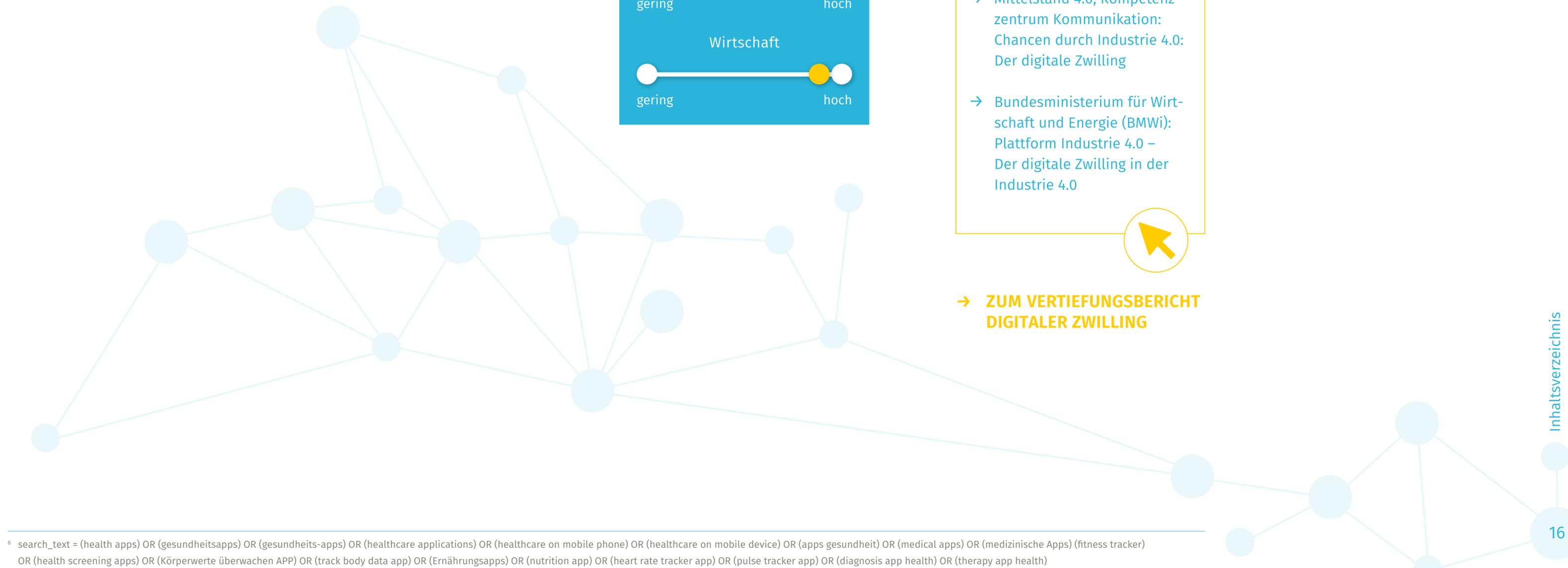


ZUM NACHLESEN

- Fraunhofer Institut für Optronik, Systemtechnik und Bildauswertung IOSB: Digitaler Zwilling – das Schlüsselkonzept für Industrie 4.0
- Mittelstand 4.0, Kompetenzzentrum Kommunikation: Chancen durch Industrie 4.0: Der digitale Zwilling
- Bundesministerium für Wirtschaft und Energie (BMWi): Plattform Industrie 4.0 – Der digitale Zwilling in der Industrie 4.0



→ ZUM VERTIEFUNGSBERICHT DIGITALER ZWILLING

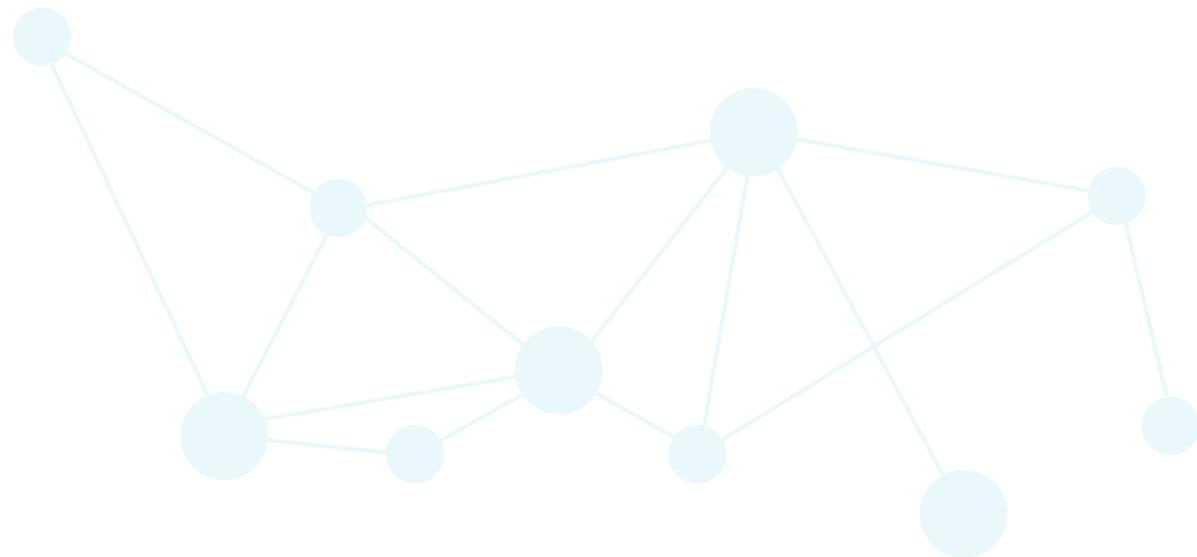


<sup>6</sup> search\_text = (health apps) OR (gesundheitsapps) OR (gesundheits-apps) OR (healthcare applications) OR (healthcare on mobile phone) OR (healthcare on mobile device) OR (apps gesundheit) OR (medical apps) OR (medizinische Apps) (fitness tracker) OR (health screening apps) OR (Körperwerte überwachen APP) OR (track body data app) OR (Ernährungsapps) OR (nutrition app) OR (heart rate tracker app) OR (pulse tracker app) OR (diagnosis app health) OR (therapy app health)

# 8 RESSOURCENSCHONENDE INDUSTRIE 4.0

## KURZBESCHREIBUNG

Das Speichern von Daten in Rechenzentren verbraucht große Mengen an Energie (41,6 % des Stromverbrauchs und 79,8 % des Kohleverbrauchs weltweit gehen auf das Konto der Industrie), aber gleichzeitig ermöglicht die Speicherung von Daten bei industriellen Prozessen auch eine nachhaltigere Produktion und nachhaltigere Produktlebenszyklen. Diese beiden Entwicklungen müssen daher bei einer ressourcenschonenden Industrie 4.0 betrachtet werden. Durch die Berücksichtigung ausgelagerter Kosten (Externalitäten) rücken die Kosten des ökologischen Rucksacks der schnell wachsenden Rechenzentren und die fortschreitende Digitalisierung aktuell in den Fokus.



## DYNAMIK

Die Industrie wird verstärkt über ressourceneffiziente Algorithmen und Rechnerarchitekturen nachdenken: Wie viele Schichten benötigt eine Software-Architektur wirklich? Neben den Dimensionen Skalierbarkeit, Performanz und Datenkonsistenz, wird Ressourceneffizienz eine Design-Dimension für die Software der Zukunft sein. Sowohl in Rechenzentren als auch in eingebetteten Systemen. Die Unternehmen können sich dazu auf bestehende Use Cases stützen. Mit Hilfe der Cloud könnte der Energieverbrauch der Rechenzentren transparent werden und auf die nutzenden Unternehmen umgelegt werden.

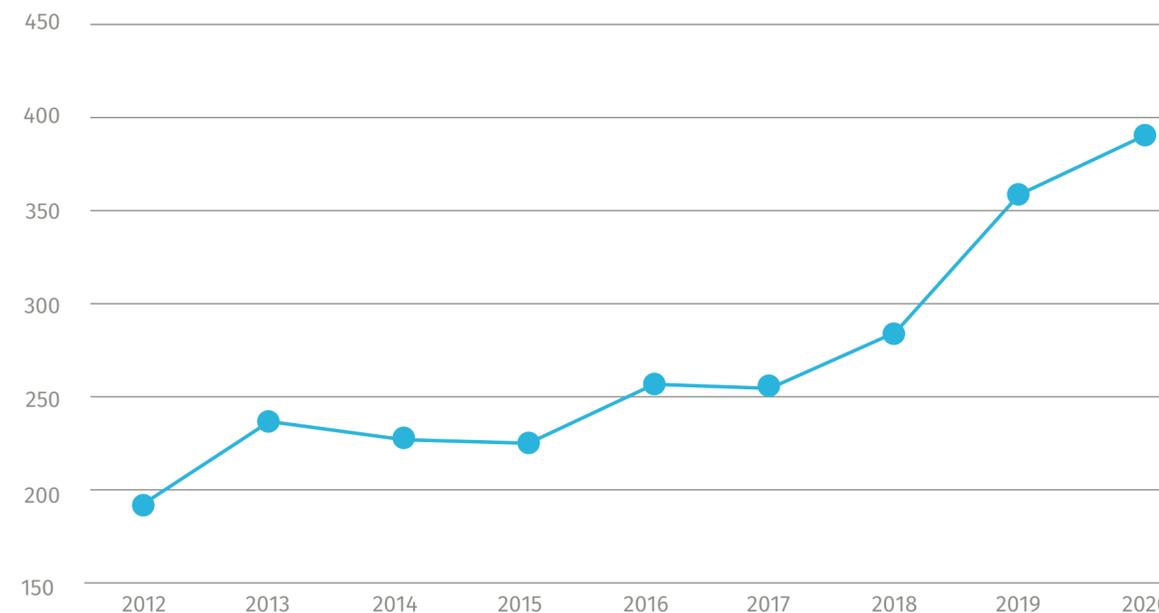


Abbildung 7: Anzahl der Publikationen pro Jahr zu ressourcenschonender Industrie 4.0<sup>8</sup>

## ZUM NACHLESEN

- [Bundesministerium für Wirtschaft und Energie \(BMWi\): Plattform Industrie 4.0 – Nachhaltige Produktion: Mit Industrie 4.0 die Ökologische Transformation aktiv gestalten](#)
- [Bundesministerium für Bildung und Forschung \(BMBF\): ReziProK – DIBICHAIN \(innovative-produktkreislaeufe.de\)](#)



<sup>8</sup> search\_text=(„ressourcenschonende industrie 4.0“) OR („resource-saving industry 4.0“) OR („efficient industry 4.0“) OR (((„ressourceneffiziente Algorithmen“) OR („ressourceneffiziente rechnerarchitektur“) AND („industrie 4.0“) OR (((„resource-efficient algorithms“) OR („resource-efficient computer architecture“) AND („industry 4.0“) OR („ressourceneffizienz“) AND („software“) OR („resource-efficient“) AND („software“) OR („sustainable twin“) OR („material-pass“) OR („re-manufacturing“) OR („reverse logistics“) OR („rückführungslogistik“) OR („intelligentes ressourcenmanagement“) AND („industrie 4.0“) OR („intelligent resource management“) AND („industry 4.0“))



AUSGEWÄHLTE AKTUELLE ENTWICKLUNGEN

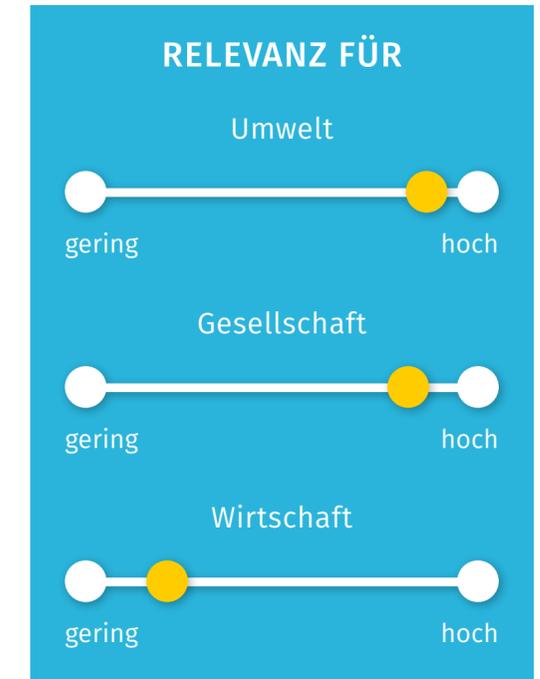
- DIBICHIAN: Mithilfe der Blockchain können Daten dezentralisiert und ohne Hoheitsrechte gespeichert werden. Aktuelle Blockchain-Modelle sind allerdings meist zu langsam, um auf große Datenmengen zu skalieren. Hier setzt die Forschung im „DIBICHAIN“-Projekt an. DIBICHAIN untersucht dezentralisierte Daten-speicherungsmöglichkeiten. Das Projekt zielt darauf ab, eine Wissensbasis zu schaffen, um die Blockchain für die Kreislaufwirtschaft zu vertiefen. Ein Software-Demonstrator soll unter anderem diese Anwendungsszenarien beinhalten: a) (Rück-)Verfolgung von ausgewählten Materialien, von der Rohstoffentnahme bis zur Rückführung in Stoffkreisläufe. b) Blick in die Zukunft mit dem Forschungsprojekt DIBICHAIN Kreislaufsysteme durch Blockchain c) Sicherstellung der Einhaltung von sozialen und ökologischen Standards über den gesamten Produktlebens-zyklus. d) Blockchain für integrierte Lebenszyklusanalysen sowie für den Einsatz als Grundlage (Data Backbone) für Sustainability Driven Design Anwendungen. Um das zu erreichen, arbeiten fünf Partner im Projekt zusammen: Airbus SE, Altran Technologies S.A., Blockchain Research Lab gGmbH, Chainstep GmbH, CircularTree GmbH und iPoint GmbH.

ZUKUNFTSPOTENZIAL

- Lifecycle Management – Ein Lebenszyklus-Management ersetzt künftig den Verkauf nach dem sell-and-forget-Prinzip. Schon bei der Entwicklung spielen Nachhaltigkeits-effekte wie Materialverbrauch und Recyclingfähigkeit eine viel größere Rolle als bisher, im Sinne einer „sustainability by design“.
- Sustainable Twin – Jedes Produkt bekommt künftig einen nachhaltigen Zwilling, einen so genannten Sustainable Twin. Der Sustainable Twin baut auf der Idee des digitalen Zwillings auf und erweitert dieses Konzept um Aspekte der Nachhaltigkeit. Wie der digitale Zwilling ist auch der Sustainable Twin das virtuelle Ebenbild eines physischen Produktes.

- Material-Pass – Physische Produkte erhalten in Zukunft einen eigenen Ausweis: ihren Material Pass. Im Gegensatz zum Sustainable Twin bleibt dieser Material Pass nicht beim Hersteller, sondern begleitet das Produkt über dessen gesamten Lebenszyklus hinweg von Station zu Station. Entlang der Wertschöpfungskette wird der Material Pass dabei kontinuierlich um Informationen erweitert, zum Beispiel um Details zu Material, Recyclingvorgaben oder Angaben zum ökologischen Fußabdruck.
- Re-Manufacturing – An die Stelle der klassischen Wartungsverträge tritt künftig ein vorausschauendes, kontinuierliches Wartungssystem. Über die gesamte Wertschöpfungskette hinweg übernehmen die Hersteller so Verantwortung für ihre Produkte. Am Ende von deren Lebenszyklus steht nicht mehr die Entsorgung, sondern ein automatisiertes Re-Manufacturing. Bei dieser „Refabrikation“ werden gebrauchte Geräte aufbereitet und auf den Qualitätsstandard von Neugeräten gebracht.
- Rückführungslogistik (Reverse Logistics) – Das Konzept der Rückführungslogistik ergänzt die bisher linear organisierten Lieferketten um die Aspekte Rückführung und Wiederverwertung. Demnach laufen Güter künftig nach ihrem konventionellen Lebensende vom Kunden aus wieder zurück Richtung Quelle, um wiederverwertet zu werden. Digitale Prozesse können die Entwicklung befördern, so kann beispielsweise Künstliche Intelligenz eine smarte Demontage unterstützen. Rund um die Bereiche Entsorgungslogistik, Retourenlogistik und Reparaturlogistik entstehen neue Geschäftsmodelle.

Um der Klimakrise entgegenzuwirken, könnte CO<sub>2</sub>-Neutralität zur neuen Normalität in der Industrieproduktion werden. Ein wichtiger Schritt auf dem Weg zur CO<sub>2</sub>-neutralen Fabrik ist ein intelligentes Ressourcenmanagement. Analog zum Steuerbuch und anderen Nebenbüchern könnte es in jedem Unternehmen ein Nachhaltigkeitsbuch geben, das so genannte „Sustainability Ledger“, das beispielsweise Auskunft gibt über den CO<sub>2</sub>-Verbrauch und -Ausstoß von Produkten und Dienstleistungen sowie über deren Kreislauffähigkeit.



# 9 ROBOTER-SCHWARMINTELLIGENZ

## KURZBESCHREIBUNG

Unter Roboter-Schwarmintelligenz versteht man eine Gruppe von Robotern, die durch den selbstorganisierten Betrieb aller ihrer Elemente zusammenarbeiten. Ingenieure programmieren Roboter dabei so, dass sie eine Abfolge von Aktionen ausführen können, ohne die richtige Reihenfolge im Voraus zu kennen. Die Roboter bestimmen selbst, welche Aufgabe in welcher Reihenfolge auszuführen ist.

Effiziente Automatisierungs- und Managementalgorithmen bieten neue Lösungen an, die den wachsenden Umfang der technologischen Systeme und die Stabilität der technischen Systeme berücksichtigen. Schwarmintelligenz wird für Anwendungen in fahrerlosen Autos, Stromnetzen mit verteilten Energiequellen, zur Erkundung des Weltraums oder feindlicher Umgebungen, bei der Suche nach Überlebenden nach einer Naturkatastrophe, dem Bau von Strukturen an gefährlichen Orten und für verschiedene Anwendungen in der Landwirtschaft entwickelt.

## DYNAMIK

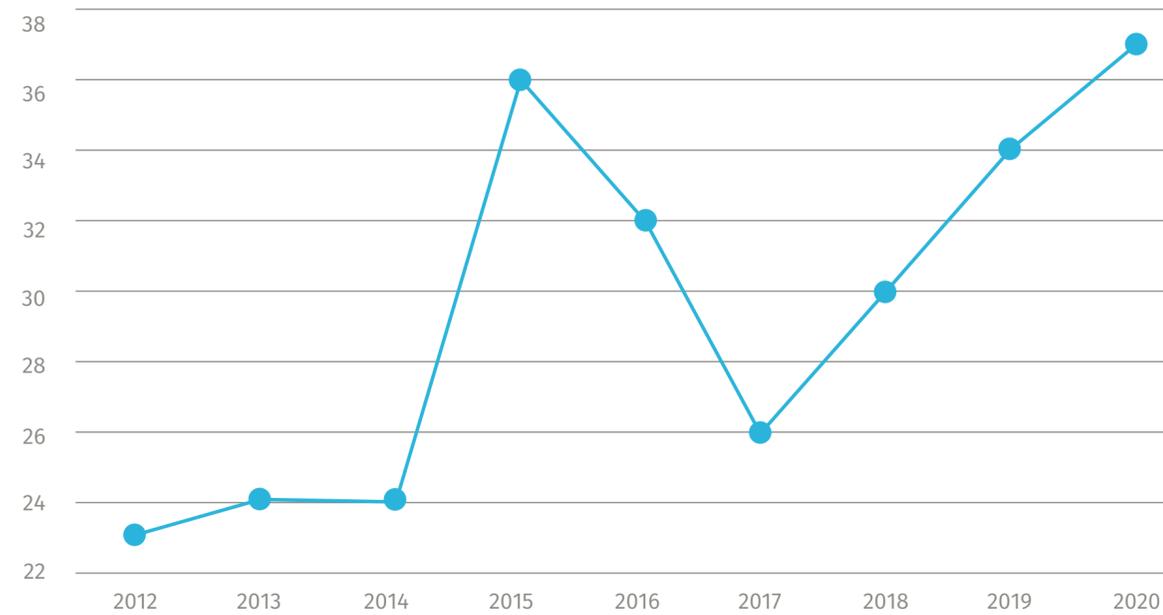
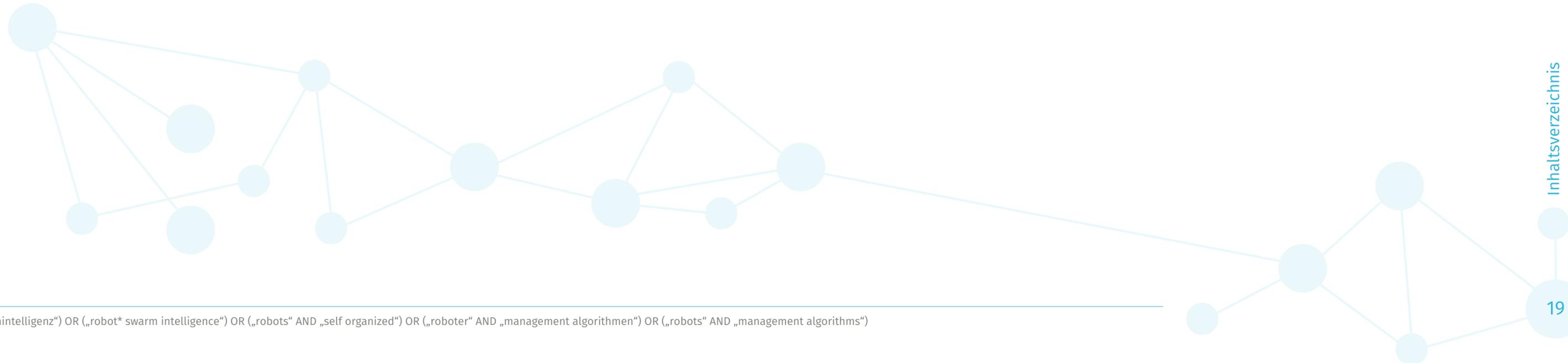


Abbildung 8: Anzahl der Publikationen pro Jahr zu Roboter Schwarmintelligenz<sup>9</sup>

## ZUM NACHLESEN

- Industry of Things: Wie schwarmintelligent sind heutige Transportroboter?
- mi connect: Schwarmintelligenz für autonome Roboter (ke-next.de)



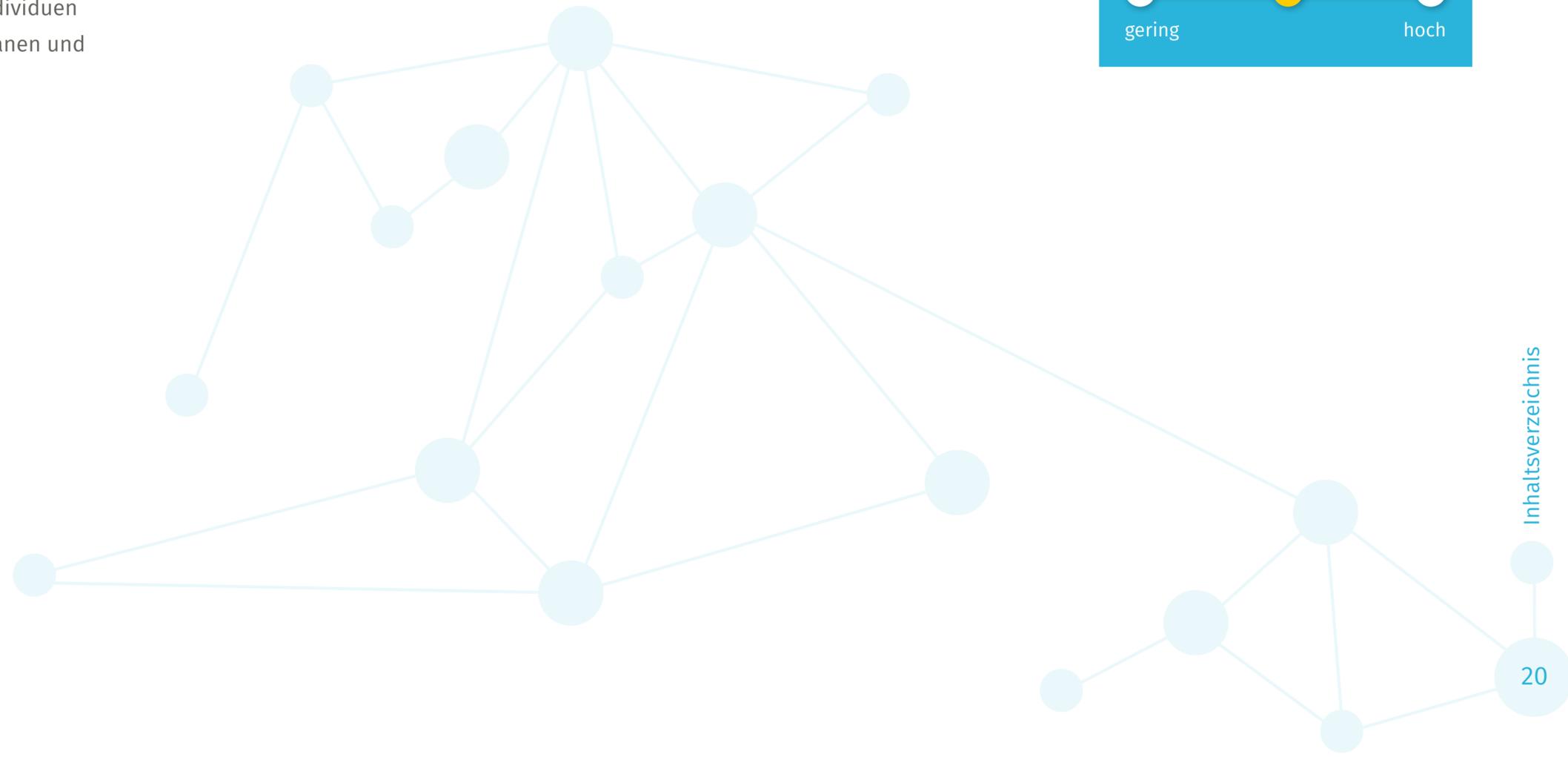
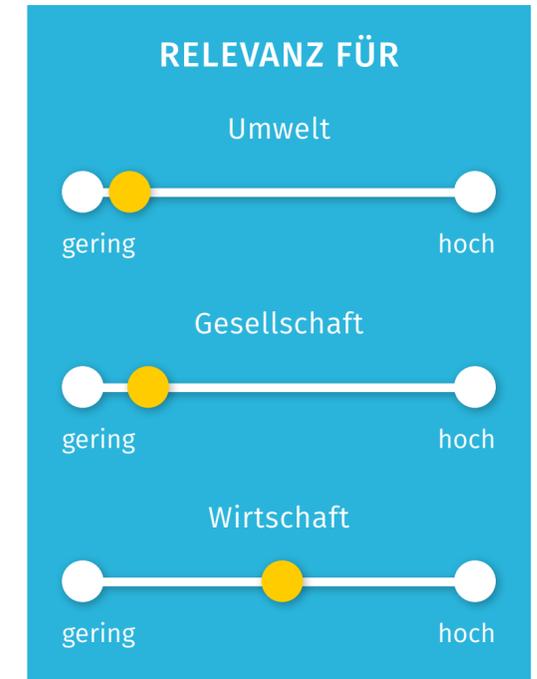
<sup>9</sup> search\_text = („roboter schwarmintelligenz“) OR („robot\* swarm intelligence“) OR („robots“ AND „self organized“) OR („roboter“ AND „management algorithmen“) OR („robots“ AND „management algorithms“)

AUSGEWÄHLTE AKTUELLE ENTWICKLUNGEN

- Unbemannte Luftfahrzeuge (UAV): Ein Bericht von Kanadas Security Intelligence Service (CSIS) „Rethinking Security: China und das Zeitalter der strategischen Rivalität“ zeigt auf, dass die chinesische Verteidigungsindustrie signifikante Fortschritte in der Schwarmintelligenz erzielt hat. Die China Electronics Technology Corporation (CETC) demonstrierte ihre Fortschritte bei der Schwarmintelligenz mit dem Test von 119 Drohnen. Das chinesische Militärmuseum zeigt in seiner Ausstellung einen Drohnen-Schwarm, der zur Aufklärung, zum Stören und zum Angriff auf einen Flugzeugträger genutzt wird.
- Die Forscher des IRIDIA Labor an der Brussels School of Engineering haben gezeigt, dass Roboter in der Lage sind, kollektiv zu entscheiden, in welcher Reihenfolge sie ihre Aufgaben erledigen sollen. Diese Fähigkeit zur Vorausplanung wird als komplexe kognitive Fähigkeit und resultiert aus den Interaktionen zwischen den Individuen einer Gruppe. Die Roboter waren in der Lage, eine Reihe von Aktionen zu planen und auszuführen, die ein einzelner Roboter allein nicht ausführen könnte.

ZUKUNFTSPOTENZIAL

- In der Zukunft können wir uns Schwärme von Nanorobotern vorstellen, die innere chirurgische Eingriffe durchführen oder Medikamente gezielt an Krebszellen im menschlichen Körper abgeben. In einem größeren Maßstab können wir uns Schwärme von robusten Robotern vorstellen mit der Fähigkeit, ihre kollektive Form je nach Bedarf zu verändern, um die Herausforderungen bei der Entsorgung radioaktiver Abfälle zu bewältigen.
- Projektstudien haben gezeigt, wie sich Systeme, die eine große Anzahl von autonomen, aber relativ einfachen Agenten beinhalten, kollektiv zu komplexen räumlichen Anordnungen organisieren können, obwohl jeder Agent nur ein lokales Bewusstsein hat. Ein Schwarm von kleinen, billigen Robotern könnte sich selbst koordinieren und dies in einer Vielzahl unterschiedlicher Formen und Größen.



# 10 SOFT ROBOTS

## KURZBESCHREIBUNG

Soft Robots sind Roboter, die aus hochgradig nachgiebigen Materialien gebaut sind, ähnlich denen, die in lebenden Organismen vorkommen. Die Bewegung dieser Roboter ist stark von der Art und Weise inspiriert, wie sich lebende Organismen bewegen und sich an ihre Umgebung anpassen. Im Gegensatz zu Robotern, die aus starren Materialien gebaut sind, ermöglichen Softroboter eine erhöhte Flexibilität und Anpassungsfähigkeit an Aufgaben sowie eine verbesserte Sicherheit bei der Arbeit in der Nähe von Menschen. Diese Eigenschaften ermöglichen den Einsatz der Roboter unter anderem im Medizinbereich, aber auch grundsätzlich bei jeder Interaktion zwischen Mensch und Roboter. „Weiche Roboter“, die aus Materialien wie Hydrogel, Latex oder Silikon bestehen, können zerbrechliche Objekte handhaben und mit sogenannten bionischen Greifern wesentlich sicherer mit dem Menschen interagieren.

## DYNAMIK

Das Interesse an Bioraffinerien der 2. Generation wächst stetig. Bisher existieren hauptsächlich Pilotanlagen aber zunehmend findet ein Upscaling statt.

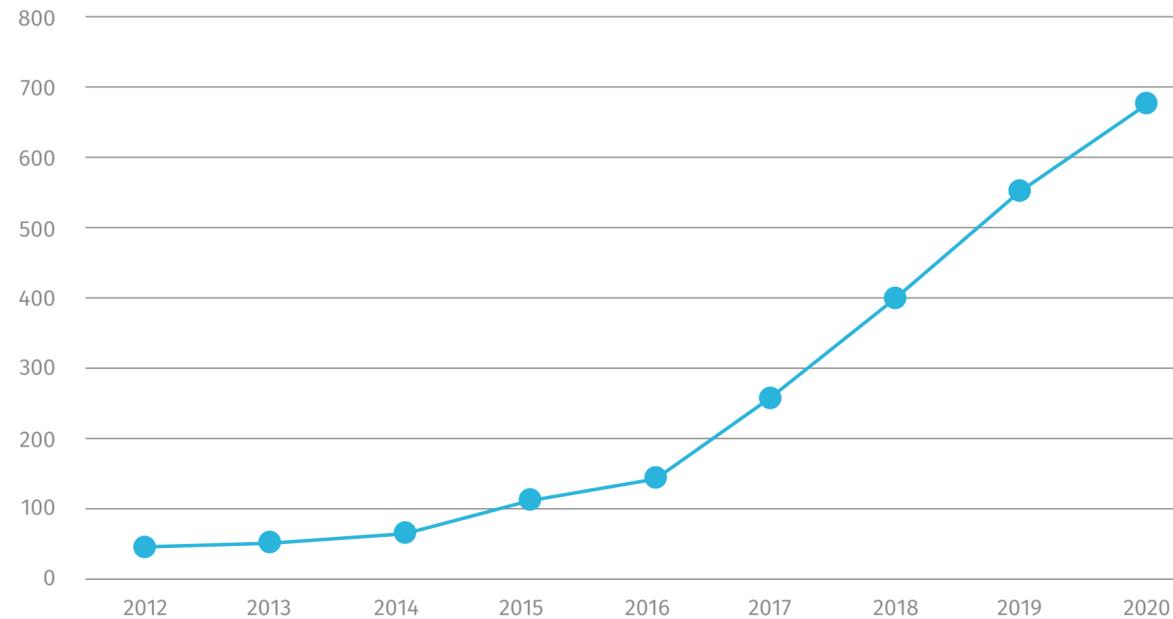
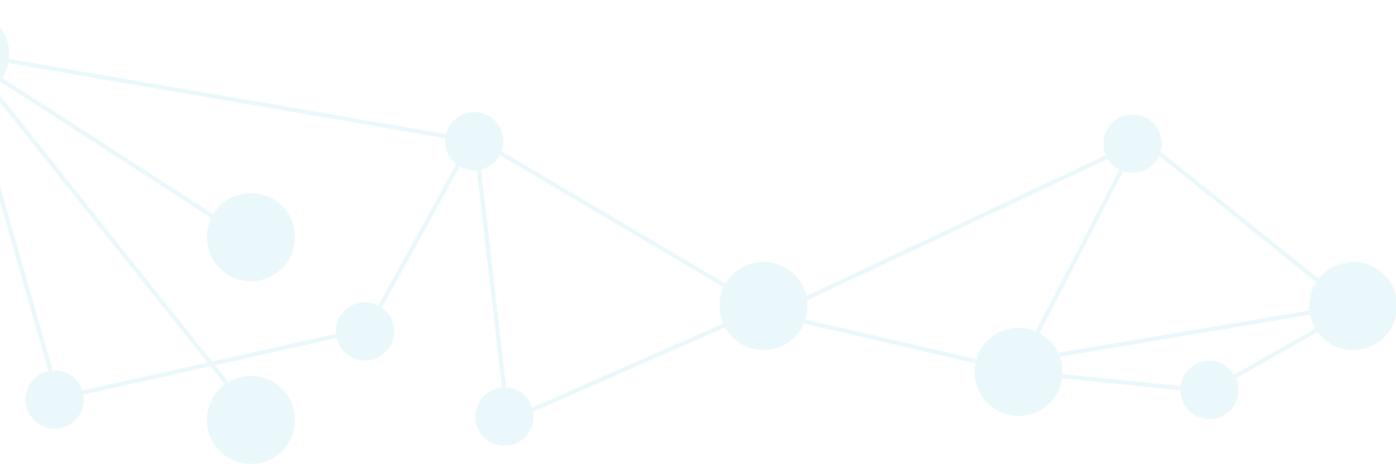


Abbildung 9: Anzahl der Publikationen pro Jahr zu Soft Robots<sup>10</sup>

## ZUM NACHLESEN

- Fraunhofer-Institut für Naturwissenschaftlich-Technische Trendanalysen INT: Soft Robots – Die weiche (R)Evolution der Maschinen
- Wirtschaft Digital BW: Soft Robotics
- Soft Robotic Technologies for Industrial Applications (researchgate.net)



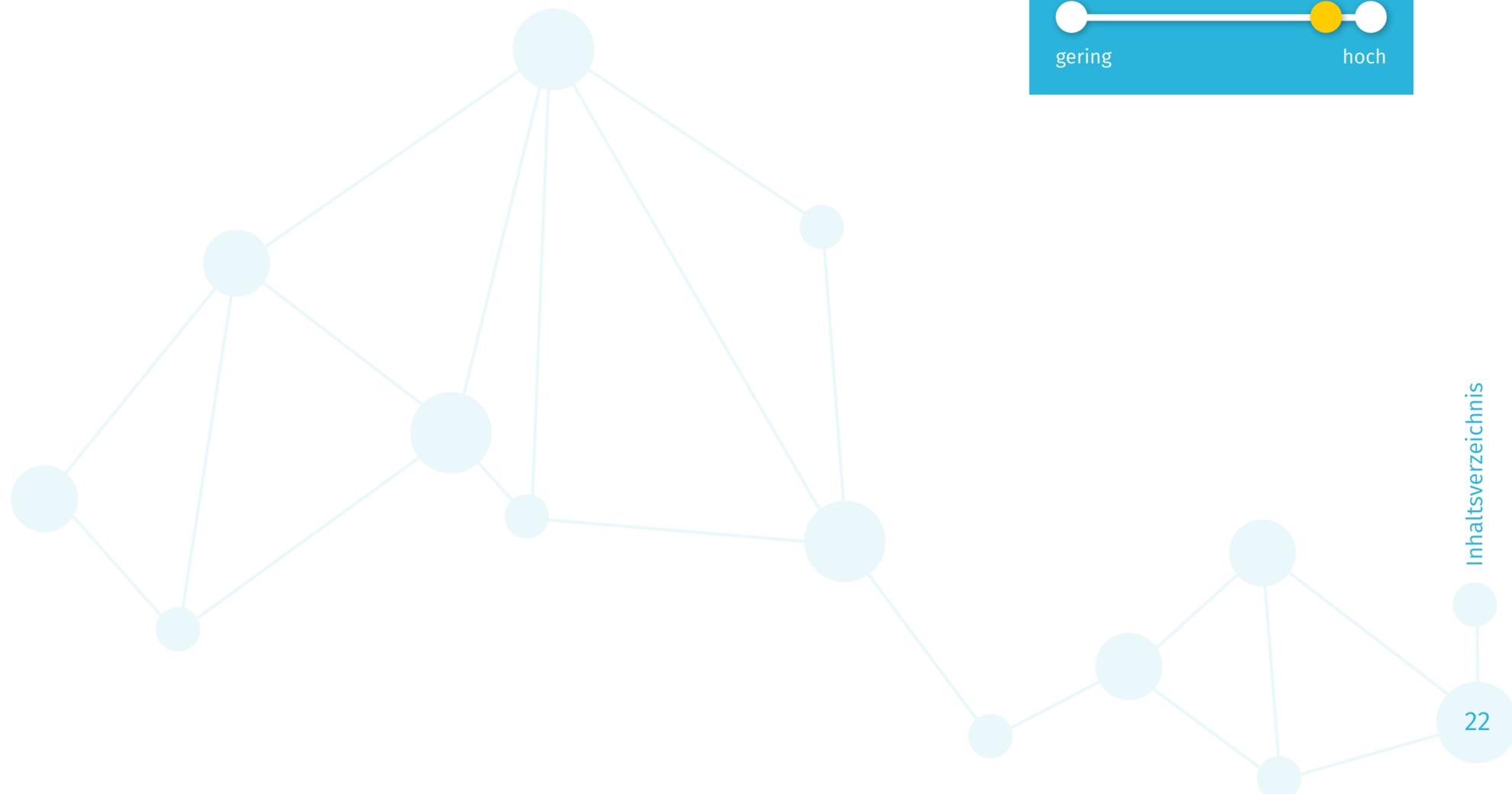
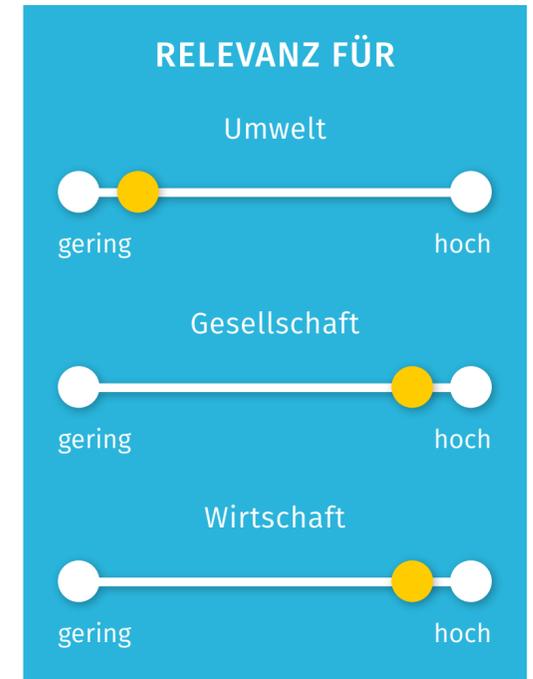
<sup>10</sup> search\_text = („soft robots“) OR („soft roboter“) OR („softroboter“) OR („soft matter machines“) OR („soft matter maschinen“)

AUSGEWÄHLTE AKTUELLE ENTWICKLUNGEN

- Lebendes Muskelgewebe: Durch die Kombination von Robotik und Tissue Engineering beginnen Forscher damit, Roboter zu bauen, die von lebenden Muskelzellen angetrieben werden. Forscher haben eine Art gehenden „Bio-Roboter“ entwickelt, der von Skelettmuskelzellen angetrieben wird und durch Licht gesteuert werden kann.
- Hydrogel: Inspiriert von Quallen haben Ingenieure einen Roboter auf Hydrogel-Basis entwickelt. Nach dem Vorbild des gallertartigen Kiefers eines Seewurms hat ein Team von Wissenschaftler Muskeln für weiche Roboter entwickelt, die aus einem hydrogelartigen synthetisiertem Protein bestehen. Wenn sich die Salzkonzentration in der Umgebung ändert, dehnt sich das Material aus oder zieht sich zusammen.
- Mechanisch: Ein Team von Ingenieuren hat einen hybriden weich-starren Roboterarm für die endoskopische Chirurgie entwickelt, der über integrierte Sensoren verfügt. Wissenschaftler haben ein dielektrisches Elastomer entwickelt, das eine geringe Spannung und keine starren Komponenten benötigt. Es könnte in tragbaren Geräten, weichen Greifern, laparoskopischen chirurgischen Werkzeugen völlig weichen Robotern oder künstliche Muskeln genutzt werden.
- Mit flüssigkristallinen Elastomeren (LCEs) haben Forscher einen bio-inspirierten Mikro-roboter demonstriert, der den Gang einer Raupe in natürlichem Maßstab nachahmt.
- Ein Team von Ingenieuren hat Magnetfelder verwendet, um Mikropartikelketten, die in Soft Robots eingebettet sind, zu manipulieren. Die Forscher haben bereits Roboter mit muskelähnlichen Aktuatoren aus Silikon und Gummi entwickelt, die durch Luftdruck angetrieben werden. Inspiriert von natürlichen Organismen, die Strecken durch Wachstum zurücklegen (Reben, Pilze und Nervenzellen), bauten Ingenieure einen Roboter, der Distanzen überwinden kann, ohne seinen ganzen Körper zu bewegen.

ZUKUNFTSPOTENZIAL

- In Anwendungsbereichen wie der medizinischen Co-Robotik werden Softmatter Maschinen und Roboter aus weicher Materie eine sichere und biomechanisch kompatible Interaktion mit dem Menschen ermöglichen.
- Bei der Katastrophenhilfe können Softroboter durch schwieriges Terrain navigieren und in enge Räume eindringen, indem sie ihre Form und Fortbewegungsstrategie ähnlich wie natürliche Organismen anpassen.
- Soft Robots könnten in Bereichen wie der Lebensmittelverarbeitung und der Landwirtschaft dazu beitragen, hoch automatisiert zu werden und Kosten zu senken.



# 11 ADDITIVE FERTIGUNGSVERFAHREN

## KURZBESCHREIBUNG

Additive Fertigungsverfahren (beispielsweise der 3D-Druck) basieren auf der schichtweisen Herstellung von Werkstücken und ersetzen dabei Verfahren, bei denen Material abgetragen wird. Vorteile bestehen nicht nur in der Materialeinsparung, sondern ergeben sich insbesondere durch die Formfreiheit und durch den Verzicht auf Werkzeuge, die aufwendig hergestellt werden müssen, wie z.B. Gussformen. Mittlerweile wird eine Vielzahl an Verfahren für ganz unterschiedliche Materialien und Baugrößen in der Einzelteil- und Kleinserienfertigung genutzt. Darüber hinaus können Werkstoffe kombiniert werden und einzelne Bereiche eines Werkstücks spezifisch bereits während der Herstellung beeinflusst werden.

Die Materialentwicklung spielt eine große Rolle bei der Weiterentwicklung der Technologien, da Fertigungsprozess und Material jeweils genau aufeinander abgestimmt werden müssen. Für Metalle und Kunststoffe werden überwiegend laserbasierte Verfahren eingesetzt, bei denen Pulver punktuell erhitzt wird, während für Keramiken und Photopolymere überwiegend 3D-Druckverfahren eingesetzt werden, bei denen der Werkstoff schichtweise aufgetragen wird.

## DYNAMIK

Das auf den 3D-Druck spezialisierte Beratungsunternehmen AMPOWER erwartet bis 2025 ein Marktwachstum von jährlich knapp 30% bei der Metallverarbeitung. Vor allem amerikanische Raketenbauer und Start-ups setzen mittlerweile intensiv die Technologie in der Triebwerks-Herstellung ein. Umsatzeinbrüche im Bereich der Luftfahrt konnten durch die verstärkten Aktivitäten in der Raumfahrt ausgeglichen werden. Für den Polymerbereich wird eine Wachstumsrate von ca. 15% erwartet. Beide Bereiche zusammen könnten 2025 demnach bei einem Marktvolumen von 17 Mrd. € liegen. Der Wohlers-Report zum 3D-Druck-Markt hat für die letzten 10 Jahre ein jährliches Wachstum von ca. 28% ausgewiesen (Ausnahme 2020 auf Grund der Pandemie).

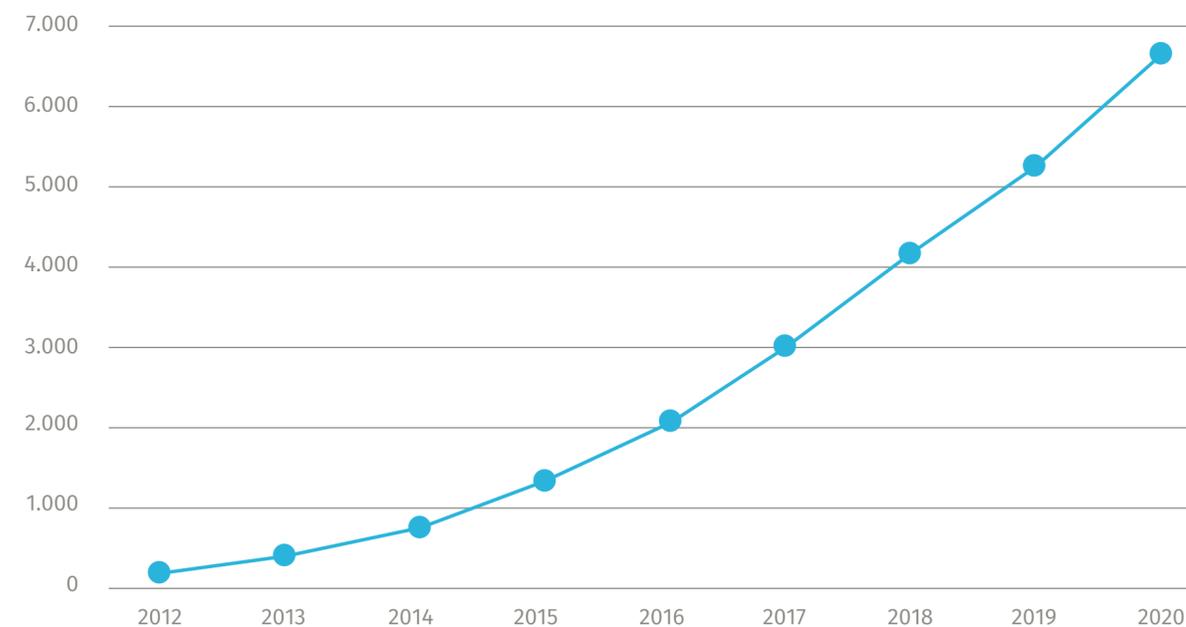


Abbildung 10: Anzahl der Publikationen pro Jahr zu additiven Fertigungsverfahren<sup>11</sup>

## ZUM NACHLESEN

- Fraunhofer-Institut für Gießerei-, Composite- und Verarbeitungstechnik IGCV: Additive Fertigung
- Institut für Integrierte Produktion Hannover: Additive Fertigung als zukunftsweisendes Fertigungsverfahren: Grundlagen und Potenziale
- additive, Magazin für generative Fertigung: Industrie 4.0: Der Vormarsch der additiven Fertigung



<sup>11</sup> search\_text = („additive fertigungsverfahren“) OR („3-d-druck“) OR („3-D-Druck“) OR („3D-Druck“) OR („3D Druck“) OR („3-D Druck“) OR („3D print“) OR („3-D print“) OR („additive manufacturing“) OR („additive manufacturing processes“) OR („additive manufacturing methods“)

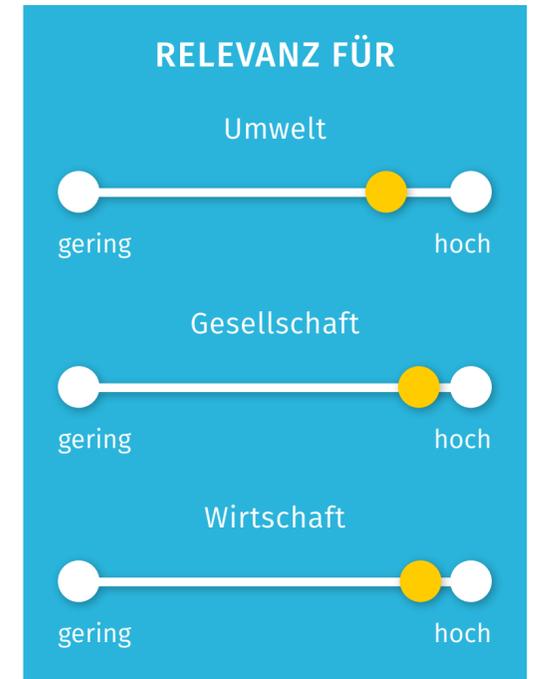


AUSGEWÄHLTE AKTUELLE ENTWICKLUNGEN

- Die Implantatherstellung auf Basis additiver Verfahren gewinnt aufgrund der fast uneingeschränkten geometrischen Freiheit bei Konstruktion und Fertigung und in Kombination mit neuen Werkstoffen immer mehr an Bedeutung. Exemplarisch für die wachsende Werkstoffpalette stehen bewährte, biokompatible Leichtmetalllegierungen auf Titanbasis (Ti6Al4V), genauso wie bekannte CoCr-basierte Werkstoffe. In Verbindung mit neuen Konstruktionsphilosophien und Simulationstechniken entstehen so neue Ansätze für Produkte – beispielsweise Implantate mit integrierten Reservoiren für eine Langzeitmedikation. (Fraunhofer IWU)
- Die Herstellung von Bauteilen mit Gitterstrukturen durch Laser-Strahlschmelzen kombiniert eine Gewichtsreduktion des Bauteils mit Zeit- und Kosteneinsparungen bei der Fertigung. Die für die Auslegung ihres mechanischen Verhaltens durch Simulation benötigten Kennwerte werden experimentell ermittelt. Durch die Automatisierung und Integration der mechanischen Auslegung in die CAD-Umgebung wird die Verwendung von Gitterstrukturen für den Nutzer vereinfacht.
- Relativity Space hat einen 3D-Drucker hergestellt, mit dem Raketen mit Materialeigenschaften gedruckt werden können, die für den Einsatz im Weltraum geeignet sind. Dieser 3D-Metalldruck ermöglicht es dem Unternehmen, neue Entwürfe konsequent zu testen und mehr zu iterieren als im normalen Designprozess. Da die 3D-gedruckten Teile bis zu 10 Meter hoch sein können, ist die Produktionsgeschwindigkeit 10-mal höher als bei einer durchschnittlichen Raketenproduktion. Da die Materialtests die Festigkeit der 3D-gedruckten Teile erhöhen, können bis zu 100x weniger Teile verwendet und mehr Funktionen eingebaut werden. Da die meisten Teile in 3D gedruckt werden, können komplexe Geometrien in der Lieferkette hergestellt werden.

ZUKUNFTSPOTENZIAL

Dr. Maximilian Munsch, Co-Autor und Partner bei AMPOWER: „Pulverbett-Systeme machen sowohl in Metall als auch in Kunststoff nach wie vor den größten Teil der 3D-Druck Anlagen im industriellen Bereich aus. Für 2025 erwarten wir einen Rückgang dieses Anteils und eine erhebliche Absatzsteigerung alternativer additiver Technologien wie Binder Jetting (BJT) in Metall und Area wise Vat Polymerization (DLP) in Kunststoff.“ 3D-Druck-Verfahren werden deutlich stärker wachsen als herkömmliche Fertigungstechnologien.



→ ZUM VERTIEFUNGSBERICHT ADDITIVE FERTIGUNGS-VERFAHREN

# 12 SMALL DATA ALGORITHMS – FEW-SHOT LEARNING

## KURZBESCHREIBUNG

In der industriellen Anwendung zeigt sich, dass der Einsatz von KI auf der Basis von Machine Learning mit Big Data nicht immer realisierbar ist, weil es sich oftmals um seltene Ereignisse handelt, so dass es keine ausreichenden Trainingsdaten gibt. Das menschliche Gehirn nutzt bei der Interpretation von kleinen Datenmengen die Übertragung von Lern-erfahrungen aus anderen Bereichen. Dies könnte auch bei KI eine zukünftige Möglichkeit sein.

Ziel dabei ist es, KI-Systemen allgemeines Wissen über die menschliche Welt zu vermitteln. Die Technik wird als „Transfer Learning“ bezeichnet und ermöglicht es, dass in einem Datensatz gelernte Wissen zu übertragen und auf einen anderen Datensatz anzuwenden. Deep Neural Networks sind im Vergleich zu den meisten anderen Techniken des maschi-nellen Lernens extrem flexibel. Dies hat zu allen möglichen neuartigen Situationen ge-führt, in denen Transfer Learning angewendet werden kann.

## DYNAMIK

Das Open-Source-ML-Modell BERT wurde ursprünglich entwickelt, um Sprache zu verstehen und kann nun für Transfer-Learning genutzt werden. Die Praxis, ein ML-Modell mit einer sehr kleinen und sehr spezifischen Auswahl an Trainingsdaten zu füttern, wird als „few-shot learning“ bezeichnet. Einige der leistungsstärksten ML-Modelle, – wie das GPT-3-Modell mit seinen 175 Milliarden Parametern (nicht quelloffen), nutzen um Größenordnungen mehr Daten als BERT – sie haben enorme Möglichkeiten für das Erlernen neuartiger Aufgaben mit nur wenigen Trainingsbeispielen bewiesen. GPT-3 nimmt im Wesentlichen das gesamte Internet als „tangente Domäne“ und wird schnell kompetent in neuartigen Aufgaben, indem es auf einer mächtigen Wissensgrundlage aufbaut. Und obwohl GPT-3 nicht quell-offen ist, wird die Anwendung ähnlicher „few-shot“-Lerntechniken neue ML-Anwendungs-fälle in Unternehmen ermöglichen – solche, für die es fast keine Trainingsdaten gibt.

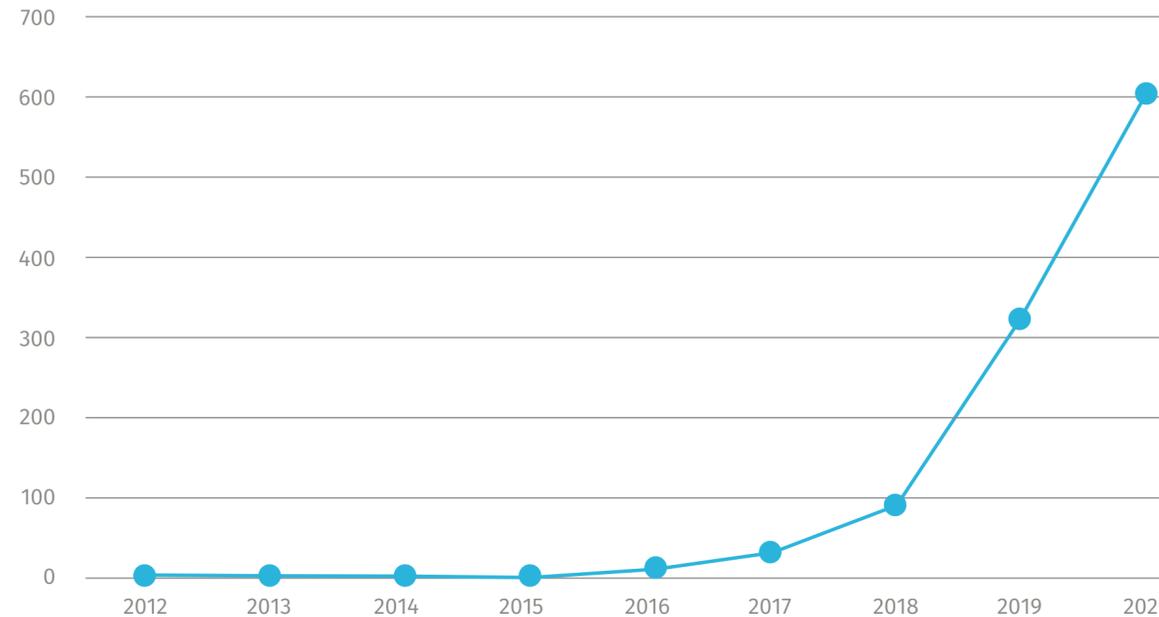


Abbildung 11: Anzahl der Publikationen pro Jahr zu Small Data Algorithms<sup>12</sup>

## ZUKUNFTSPOTENZIAL

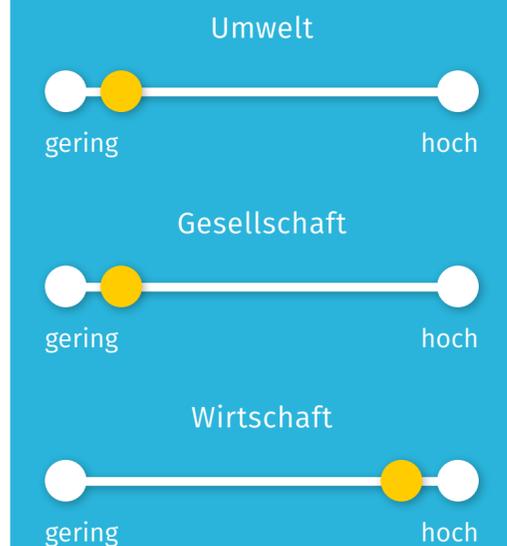
Wenn immer mehr Unternehmen die Anwendungspotenzial großer Datensätze ausgenutzt haben, wird in einer nächsten Phase die Automatisierung mit kleinen Datensätzen im Zen-trum stehen. Potenziale für die Industrie werden insbesondere dort gesehen, wo Daten nur in kleinem Umfang zur Verfügung stehen, wie z.B. die Ausfalldaten während der Pro-duktion. Wenn eine Skalierung der Daten kaum möglich ist, können diese neueren Ansätze wichtig werden.

## ZUM NACHLESEN

- VentureBeat: The secrets of small data: How machine learning finally reached the enterprise
- AI Multiple: Few-Shot Learning (FSL): What it is & its Applications



## RELEVANZ FÜR



Inhaltsverzeichnis

<sup>12</sup> search\_text = („small data algorithms“) OR (((„transfer learning“) AND ((„algorithms“) OR („machine learning“) OR („deep learning“))) OR („small data“) AND ((„artificial intelligence“) OR („AI“))) OR ((„kleine datenmengen“) AND ((„künstliche intelligenz“) OR („KI“))) OR ((„kleine datenmengen“) AND („algorithmen“) OR („few-shot learning“) OR („few-shot lerntechniken“) OR („deep neural networks“))

# 13 NEUE DIMENSIONEN BEI BILDGEBUNGSMETHODEN

## KURZBESCHREIBUNG

3D-Kamerasysteme und technische Fortschritte bei Mikroskopen, Sensoren der Signalverarbeitung sowie bei der Nachbearbeitung und Auswertung von Aufnahmen bildgebender Verfahren ermöglichen neue Einsatzmöglichkeiten und Erkenntnisse sowohl im Bereich technischer Systeme als auch auf biologischen und medizinischen Gebieten. So können lebende Zellen und Organismen in nahezu Echtzeit in verschiedenen Tiefen und auf größeren Flächen beobachtet werden, komplexe Molekülstrukturen schneller und einfacher erfasst und immer mehr Stoffe und Materialien von Mikroskopen und Kamerasystemen erkannt werden. Auch im Bereich Augmented Reality und autonomes Fahren tragen neue Bildgebungsverfahren zu enormen Entwicklungspotenzialen bei.

## DYNAMIK

Um Bildgebungsverfahren für die oben genannten Zwecke einzusetzen, sollte die auf den Bildern enthaltene Information optimal genutzt und verstanden werden. Allerdings werden über Segmentierung und dreidimensionale Darstellung hinausgehende Bildanalyseverfahren bisher nur in spezialisierten Zentren eingesetzt. Es kann jedoch davon ausgegangen werden, dass durch intelligente Merkmalsextraktion, Mustererkennungsverfahren und systembiologische Betrachtung der Bildinformation in Zusammenschau mit histologischer Pathologie, OMIC S-Daten und entsprechender Modellierung eine weit detailliertere und pathomechanistische Diagnostik gelingen kann.

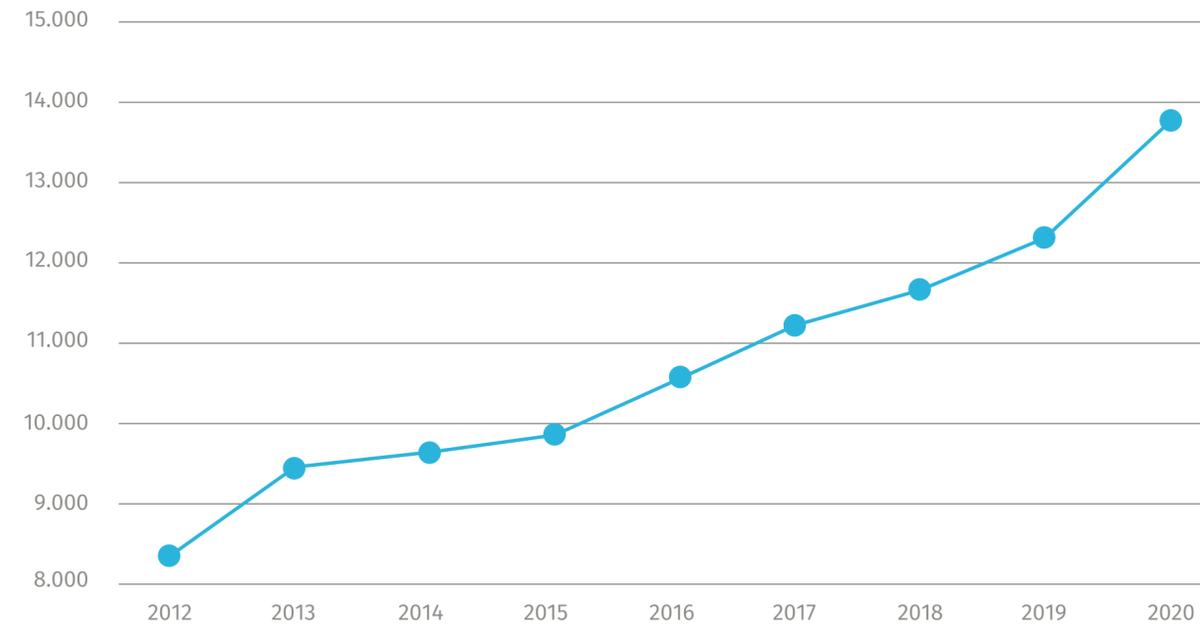


Abbildung 12: Anzahl der Publikationen pro Jahr zu Bildgebungsverfahren<sup>13</sup>

## ZUM NACHLESEN

- [Helmholtz Zentrum München: Neue Lösungen für die medizinische Bildgebung könnten Diagnostik und Behandlung verbessern – Helmholtz Zentrum München](#)
- [Medica Magazin: KI in der Bildgebung: wie Maschinen unsere Datenberge bezwingen](#)
- [Nature Photonics: Megapixel single-photon camera](#)



<sup>13</sup> search\_text = („bildgebungsverfahren“) OR („imaging processes“) OR („imaging methods“) OR („bildgebungsmodalitäten“) OR („bildgebende verfahren“) OR („imaging modalities“) OR („imaging techniques“) OR („imaging procedures“)

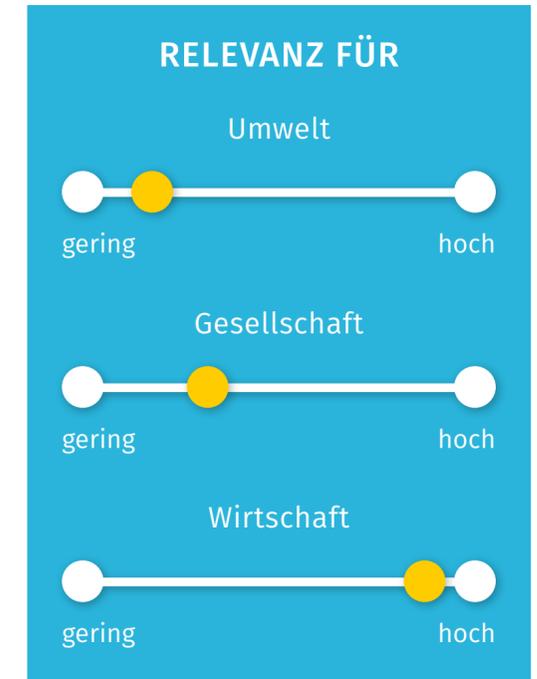
AUSGEWÄHLTE AKTUELLE ENTWICKLUNGEN

- Die Entwicklung eines Farbkamerasystems in Kombination mit Bildern einer Tiefenkamera ermöglicht erstmalig das zuverlässige Erkennen transparenter und reflektierender Objekte. Dazu werden Tiefenkamerabilder von undurchsichtigen Objekten kombiniert mit Farbbildern der gleichen Objekte verwendet. Tiefenkameras selbst ist das Erkennen von Formen nicht möglich, da deren Infrarotlicht durch klare Objekte hindurchgeht und von reflektierenden Oberflächen gestreut wird. Das neue Farbkamerasystem kann nicht nur einzelne transparente und reflektierende Objekte erfassen, sondern auch solche Objekte in unübersichtlichen Stapeln. Das System verwendet eine kommerzielle RGB-D-Kamera, die sowohl Farbbilder (RGB) als auch Tiefenbilder (D) aufnehmen und beispielsweise von Küchenrobotern genutzt werden kann oder auch, um Wertstoffe oder andere Sammlungen von Objekten verschiedener Beschaffenheit zu sortieren.
- Forscher haben die erste Megapixel-Photon-Counting-Kamera entwickelt, die auf einer neuen Generation von Bildsensoren basiert, die Single-Photon Avalanche Diodes (SPADs) verwenden. Die neue Kamera kann einzelne Lichtphotonen mit bisher unerreichter Geschwindigkeit erfassen, eine Fähigkeit, die Anwendungen vorantreiben könnte, die eine schnelle Erfassung von 3D-Bildern erfordern, wie z.B. Augmented Reality und LiDAR-Systeme für autonome Fahrzeuge. Dank der hohen Auflösung und der Fähigkeit zur Tiefenmessung könnte diese Kamera die virtuelle Realität realistischer machen und eine nahtlosere Interaktion mit Augmented-Reality-Informationen ermöglichen. In einer etwas fernerer Zukunft könnten Quantenkommunikation, Sensorik und Computing von photonenzählenden Kameras mit Multi-Megapixel-Auflösung profitieren.

ZUKUNFTSPOTENZIAL

Die Kombination bzw. Fusion unterschiedlicher Bildgebungsmodalitäten wird in Zukunft weiter an Bedeutung gewinnen, da dadurch die Vorteile verschiedener Verfahren wie bspw. hohe räumliche Auflösung und hohe zeitliche Auflösung genutzt werden können. Hochleistungsberechnungen könnten in Zukunft eine visuelle Übertragung und vor allem Verarbeitung der Aufnahmen von Mikroskopen in Echtzeit ermöglichen, was die Qualität der Aufnahmen enorm verbessern würde. Dies könnte zur Lösung eines Zielkonflikts beitragen, der sich daraus ergibt, dass die Erfassung von Bildern mit hoher Auflösung größere Datenmengen erzeugt, was wiederum zu längeren Übertragungszeiten führt und damit die Bildgebungsgeschwindigkeit beeinträchtigt. Hochgeschwindigkeitsereignisse können daher bisher nur sehr schwer mit hoher Auflösung erfasst werden.

Eine Herausforderung gibt sich aus den Kosten der Verfahren, die zukünftig noch stärker gesenkt werden müssen. Auch muss die Anwendbarkeit verbessert werden. Am wichtigsten ist es jedoch, den klinischen Nutzen kritischer zu diskutieren und in einem interdisziplinären Team ständig zu hinterfragen und zu optimieren. Die Entwicklung von Bildgebungsgeräten, Diagnostika und Therapeutika sollte hierbei eng verknüpft sein. Auch sollten Bildgebungsbiomarker in Zusammenschau mit serologischer Analytik, OMIC S, fortschrittlicher Bildanalyse und systembiologischen Betrachtungen erhoben werden. Hieraus ergeben sich dann auch Indikationen für die Entwicklung neuer Companion Diagnostika und Theranostika. Auch interventionelle optische, photoakustische sowie Ultraschallverfahren sind in diesem Zusammenhang zu nennen. Für alle genannten Aspekte einer translational ausgerichteten Forschung ist zudem die enge Interaktion zwischen Akademia und Industrie unabdingbar.



# 14 BEWERTUNG FÜR DAS MÜNSTERLAND

Nach der Vorstellung aller Themen in einer Denkfabrik wurden die Teilnehmenden jeweils gebeten einzuschätzen, wie das Thema zu den eigenen Interessen, Entwicklungs- und Forschungsschwerpunkten passt, wie sie die Passfähigkeit zu den wirtschaftlichen Stärken des Münsterlandes bewerten und mit welchem Aufwand die Erschließung des Themas verbunden sein könnte. Alle Themen wurden auf einer Skala von 1 (gering) bis 5 (hoch) bewertet. Es haben sich jeweils ca. 20 Teilnehmende an der Befragung beteiligt.

## #1 NACHHALTIGE BAUPLANUNG MIT BIM

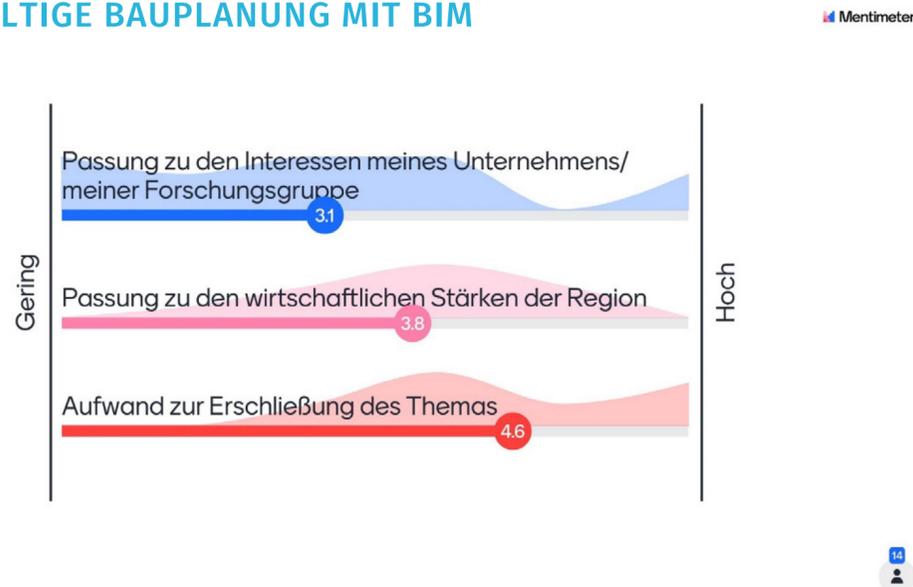


Abbildung 9: Beispiel für die Bewertung mit Mentimeter durch die Teilnehmenden

Das wichtigste Kriterium war jeweils die Passfähigkeit zu den Stärken der Region, aber auch der Aufwand für die Erschließung eines Themas sollte berücksichtigt werden. Die Ergebnisse der Befragung dienten als Ausgangspunkt für die Diskussion während der Denkfabrik:

- Die Relevanz der Bildgebungsverfahren für den Einsatz von KI wurde betont. Dabei geht es insbesondere um Mustererkennung durch Machine Learning. Die Bewertung der Relevanz durch die einzelnen Unternehmen war jedoch sehr unterschiedlich.
- Auch die Bedeutung von Small Data Algorithms für die Nutzung von KI in der Industrie wurde in der Diskussion hervorgehoben.
- Die Verbindung zwischen Additiven Fertigungsverfahren und Vernetzter Produktion scheint nur in ausgewählten Bereichen sehr eng zu sein. Die Relevanz war für einige Unternehmen sehr hoch, für andere jedoch nicht gegeben.
- Die große Bedeutung von resilienteren Wertschöpfungsnetzen wurde vor dem Hintergrund der aktuellen Problematik der Wertschöpfungsketten während der Pandemie betont, aber die Realisierungsmöglichkeiten wurden als schwierig eingeschätzt. Maßnahmen in diesem Bereich wurden mit umfangreichen zusätzlichen Kosten verbunden.
- Die Potenziale von VR/AR/XR wurden besonders groß bewertet. Dabei wurde darauf hingewiesen, dass eine abgestufte Nutzung und Einführung wichtig ist.
- Als Beispiel für die Relevanz von Ressourcen-schonende I4.0 wurden kritische Materialien bei der Batterieherstellung diskutiert.



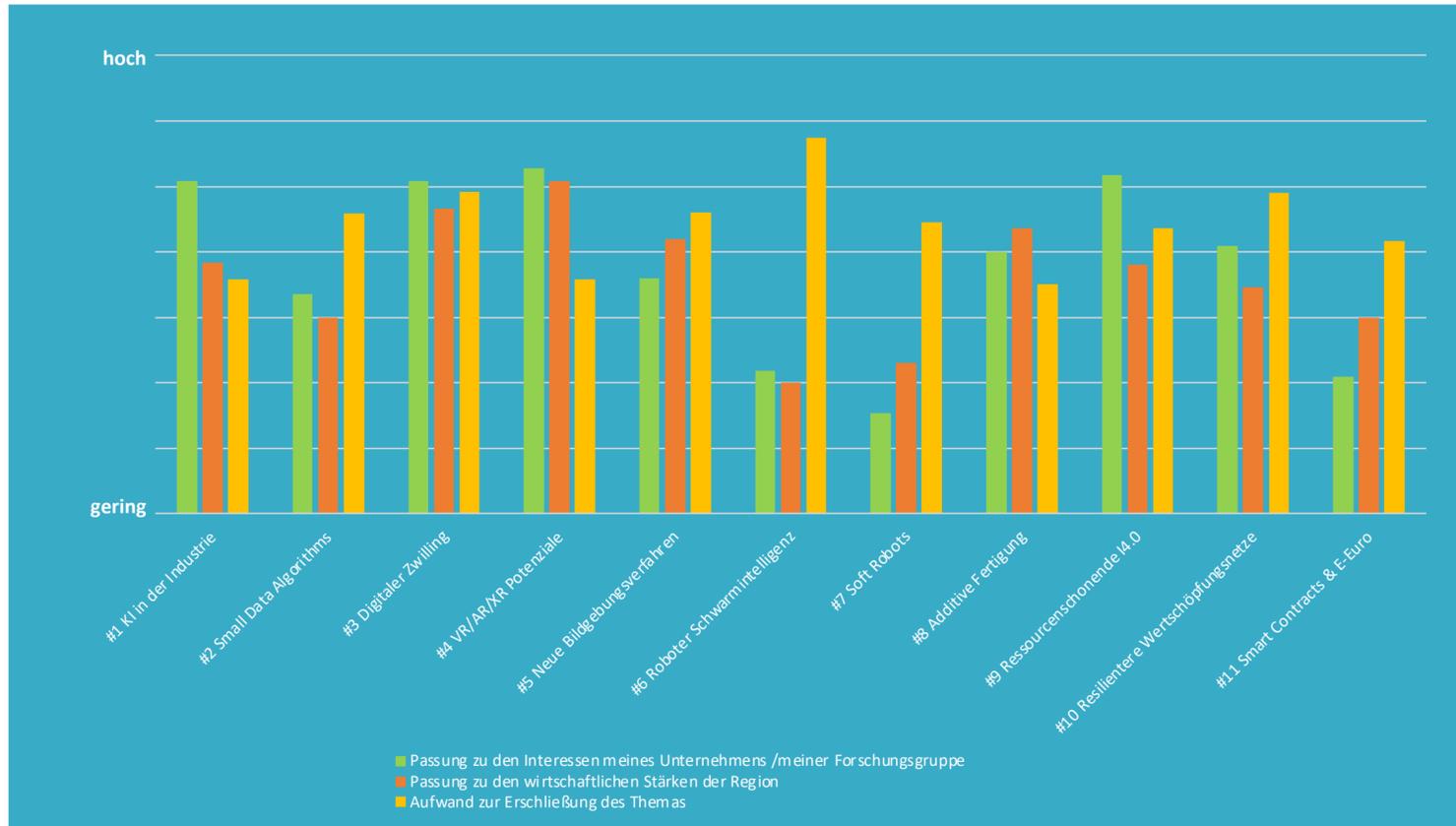


Abbildung 14: Bewertung der Zukunftsthemen

Für die vertiefte Analyse wurden additive Fertigungsverfahren (mit einem Fokus auf die Verarbeitung von Metallen), der digitale Zwilling und Extended Reality (VR/XR/AR Potenziale ausgewählt. Dies sind auch die drei Themen bei den die allgemeine Passfähigkeit zu den Stärken der Region Münsterland besonders positiv bewertet wurde. Während der Aufwand für die Erschließung von Extended Reality und additiver Fertigung als unproblematisch bewertet wurde, sieht man beim digitalen Zwilling einen deutlichen höheren Aufwand.

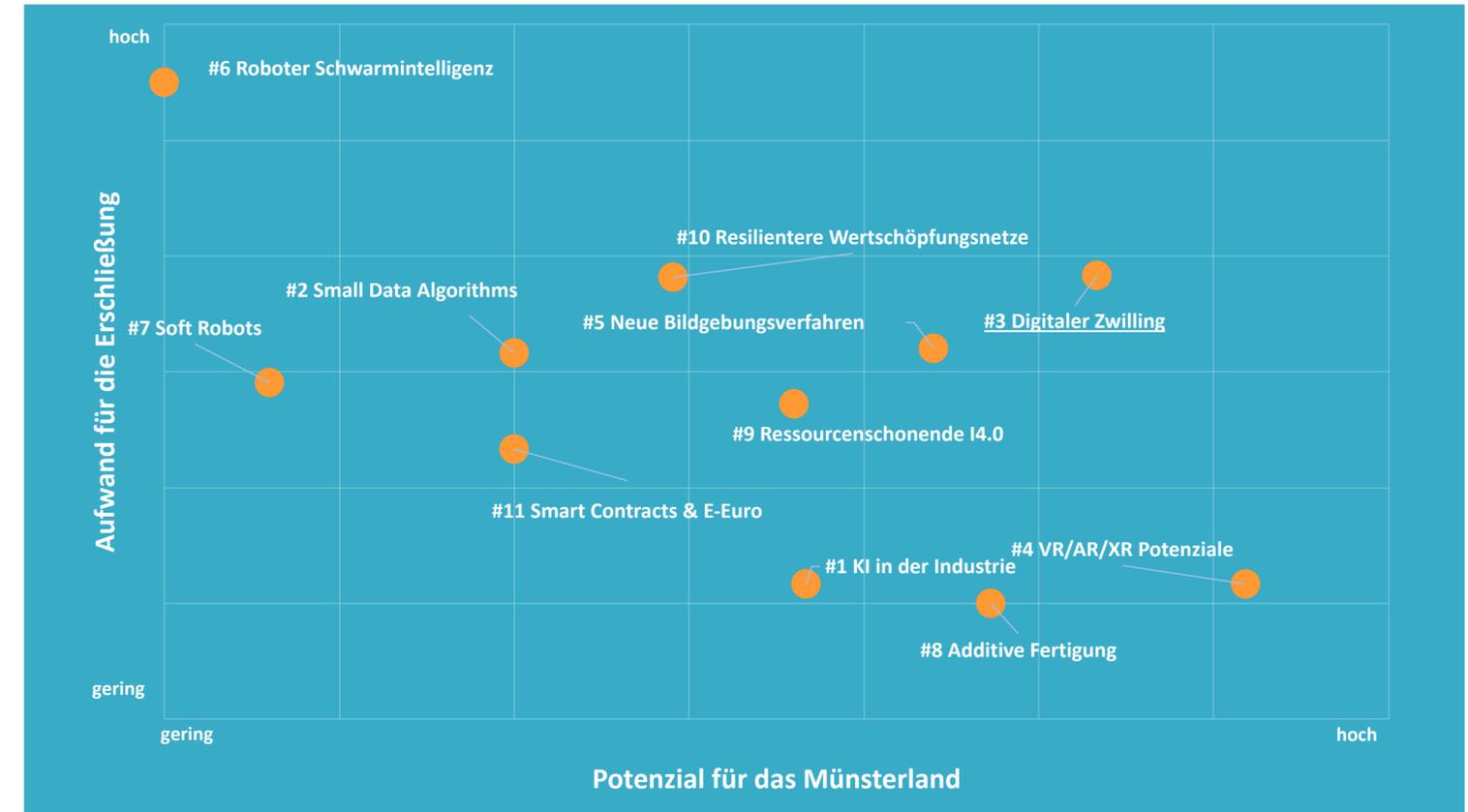


Abbildung 15: Potenzial und Aufwand für die Erschließung der Zukunftsthemen



# 15 LITERATUR

August, Urban (2019): Digitaler Zwilling für mehr Effizienz. ATZproduktion, Ausgabe 1/2019. Verfügbar unter: → <https://link.springer.com/article/10.1007/s35726-019-0008-0>

Bitkom (2020): Industrie 4.0 – so digital sind Deutschlands Fabriken. Verfügbar unter: → [www.bitkom.org/Presse/Presseinformation/Industrie-40-so-digital-sind-Deutschlands-Fabriken](http://www.bitkom.org/Presse/Presseinformation/Industrie-40-so-digital-sind-Deutschlands-Fabriken)

Bosch Rexroth AG (2016): Die vernetzte Produktion. Verfügbar unter: → [www.boschrexroth.com/de/de/trends-und-themen/know-how/die-vernetzte-produktion](http://www.boschrexroth.com/de/de/trends-und-themen/know-how/die-vernetzte-produktion)

Bundesministerium für Bildung und Forschung (2019): Deutschland druckt dreidimensional. Additive Fertigung revolutioniert die Produktion. Verfügbar unter: → [www.zukunft-der-wertschoepfung.de/files/Deutschland\\_druckt\\_dreidimensional\\_2019\\_barrierefrei.pdf](http://www.zukunft-der-wertschoepfung.de/files/Deutschland_druckt_dreidimensional_2019_barrierefrei.pdf)

Bundesministerium für Wirtschaft und Energie (2019): Vernetzte Wertschöpfung. Themenheft Mittelstand-Digital. Verfügbar unter: → [www.bmwi.de/Redaktion/DE/Publikationen/Mittelstand/mittelstand-digital-vernetzte-wertschoepfung.pdf?\\_\\_blob=publicationFile&v=6](http://www.bmwi.de/Redaktion/DE/Publikationen/Mittelstand/mittelstand-digital-vernetzte-wertschoepfung.pdf?__blob=publicationFile&v=6)

Bundesministerium für Wirtschaft und Energie (2020): Fortschrittsbericht 2020. Industrie 4.0 gestalten. Souverän. Interoperabel. Nachhaltig. Plattform Industrie 4.0. Verfügbar unter: → [www.de.digital/DIGITAL/Redaktion/DE/Digital-Gipfel/Download/2020/2020-fortschrittsbericht.pdf?\\_\\_blob=publicationFile&v=5](http://www.de.digital/DIGITAL/Redaktion/DE/Digital-Gipfel/Download/2020/2020-fortschrittsbericht.pdf?__blob=publicationFile&v=5)

Bundesministerium für Wirtschaft und Energie (2020): Corona und die Folgen. Thesenpapier. Plattform Industrie 4.0. Verfügbar unter: → [www.plattform-i40.de/PI40/Redaktion/DE/Downloads/Publikation/Corona\\_Thesen.pdf?\\_\\_blob=publicationFile&v=9](http://www.plattform-i40.de/PI40/Redaktion/DE/Downloads/Publikation/Corona_Thesen.pdf?__blob=publicationFile&v=9)

Bundesministerium für Wirtschaft und Energie (2020): Nachhaltige Produktion: Mit Industrie 4.0 die Ökologische Transformation aktiv gestalten. Impulspapier der Taskforce Nachhaltigkeit. Plattform Industrie 4.0. Verfügbar unter: → [www.plattform-i40.de/PI40/Redaktion/DE/Downloads/Publikation/Nachhaltige-Produktion.pdf?\\_\\_blob=publicationFile&v=4](http://www.plattform-i40.de/PI40/Redaktion/DE/Downloads/Publikation/Nachhaltige-Produktion.pdf?__blob=publicationFile&v=4)

Bundesministerium für Wirtschaft und Energie (2021): Vernetzte Produktion. Mittelstand Digital. Verfügbar unter: → [www.mittelstand-digital.de/MD/Redaktion/DE/Dossiers/A-Z/vernetzte-produktion.html](http://www.mittelstand-digital.de/MD/Redaktion/DE/Dossiers/A-Z/vernetzte-produktion.html)

Bundesministerium für Wirtschaft und Energie (2021): Der deutsche Gaia-X-HUB. Verfügbar unter: → [www.bmwi.de/Redaktion/DE/Dossier/gaia-x.html](http://www.bmwi.de/Redaktion/DE/Dossier/gaia-x.html)

Carnegie Mellon University (2020): Transparent, Reflective Objects Now Within Grasp of Robots. Byron Spice. Verfügbar unter: → [www.cmu.edu/news/stories/archives/2020/july/robots-grasp-transparent-objects.html](http://www.cmu.edu/news/stories/archives/2020/july/robots-grasp-transparent-objects.html)

Christopher M, Peck H. (2004): The Five Principles of Supply Chain Resilience. In: Logistics Europe, Vol.12, No.1, February 2004, pp.16-21

Deutsche Gesellschaft für Biomedizinische Technik (2015): Technologiefelder der Biomedizinischen Technik. Neue Dimensionen der Bildung. Fabian Kiessling. Verfügbar unter: → [www.vde.com/de/dgbmt/publikationen/expertenbericht](http://www.vde.com/de/dgbmt/publikationen/expertenbericht)



Federal Ministry for Economic Affairs and Energy: GAIA-X. Verfügbar unter:

→ [www.data-infrastructure.eu/GAIA-X/Navigation/EN/Home/home.html](http://www.data-infrastructure.eu/GAIA-X/Navigation/EN/Home/home.html)

Federal Ministry for Economic Affairs and Energy: Supply Chain Collaboration in a Connected Industry. GAIA-X. Verfügbar unter:

→ [www.data-infrastructure.eu/GAIA-X/Redaktion/EN/Artikel/UseCases/supply-chain-collaboration-in-a-connected-industry.html](http://www.data-infrastructure.eu/GAIA-X/Redaktion/EN/Artikel/UseCases/supply-chain-collaboration-in-a-connected-industry.html)

Fraunhofer-Gesellschaft: Kompetenzfeld Additive Fertigung. Forschungsthemen. Verfügbar unter: → [www.additiv.fraunhofer.de/de/forschungsthemen.html](http://www.additiv.fraunhofer.de/de/forschungsthemen.html)

Fraunhofer-Institut für Produktionstechnik und Automatisierung IPA (2021): START-UP YOUR AI. Verfügbar unter:

→ <https://www.startup-region-stuttgart.de/events/start-up-your-ai>

Frost & Sullivan (2020): Extended Reality: Making Immersive Experiences Commonplace. TechVision Analysis / D9DC / 00. Verfügbar unter:

→ <https://member.frost.com/login?reportID=D9DC-01-00-00-00>

Hewlett Packard Enterprise Development LP (2021): Was ist eine Referenzarchitektur?

Verfügbar unter: → [www.hpe.com/de/de/what-is/reference-architecture.html](http://www.hpe.com/de/de/what-is/reference-architecture.html)

KPMG International (2017): The Factory of the Future. Industry 4.0 – The challenges of tomorrow. Verfügbar unter:

→ <https://assets.kpmg/content/dam/kpmg/it/pdf/2017/03/TheFactoryoftheFuture.pdf>

Luber, Stefan (2018): Was ist ein Digitaler Zwilling? Big Data Insider. Verfügbar unter:

→ [www.bigdata-insider.de/was-ist-ein-digitaler-zwilling-a-728547](http://www.bigdata-insider.de/was-ist-ein-digitaler-zwilling-a-728547)

The Optical Society (OSA) (2020): New Photon-Counting Camera Captures 3D Images with Record Speed and Resolution. Verfügbar unter:

→ [www.osa.org/en-us/about\\_osa/newsroom/news\\_releases/2020/new\\_photon-counting\\_camera\\_captures\\_3d\\_images\\_with](http://www.osa.org/en-us/about_osa/newsroom/news_releases/2020/new_photon-counting_camera_captures_3d_images_with)

3Druck.com (2021): Globaler Markt für Additive Fertigung wächst 2020 leicht auf EUR 7,17 Mrd.

Verfügbar unter: → <https://3druck.com/industrie/additive-fertigung-markt-2020-2099420>



# Extended Reality

## DER WEG ZUR VERNETZTEN PRODUKTION

Eine Zukunfts-Analyse zu ausgewählten Technologie-Trends vom Fraunhofer-Institut für System- und Innovationsforschung in Zusammenarbeit mit den Münsterland Denkfabriken

06/2022

# INHALTSVERZEICHNIS

1	Einleitung.....	34
2	Innovationslandschaft.....	35
2.1	Wissenschaft.....	35
2.2	Wirtschaft.....	37
3	Leuchtturm-Beispiele.....	39
3.1	GetBaff.....	39
3.2	SCOPUS.....	39
3.3	NavVis.....	39
3.4	Augmentify.....	40
3.5	Zoo Utopie und lemontree.xyz.....	40
3.6	Digitaler Touristenguide für Münster.....	40
4	Ausblick für das Münsterland.....	41
5	Referenzen.....	41



# 1 EINLEITUNG

Durch mobile Kommunikationstechnologien in Smartphones, Wearables und anderen Produkten (Internet of Things) ist eine kontinuierliche, ortsunabhängige Anbindung an das Internet möglich. Das so entstehende „Outernet“ beschreibt eine erweiterte Realität, bei der sich Funktionen und Nutzungsmuster des Internets (Interaktion, Suchfunktion, Personalisierung) als zusätzliche Schicht über die Wahrnehmung der realen Umwelt legen. „Extended Reality“ (XR) umfasst unterschiedliche Technologien, die dieses Zusammenwachsen von digitaler und realer Welt ermöglichen. So erlaubt es Augmented Reality (AR), digitale Informationen in der realen Umgebung zu verankern und Virtual Reality (VR), sich in gänzlich digitalen Welten zu bewegen.

Das Verschwimmen von Online- und Offlineanwendungen birgt großes Veränderungspotenzial für alle Bereiche des privaten und öffentlichen Lebens – aber auch im industriellen Kontext, z.B. durch den Einsatz bei Wartungsarbeiten sowie die Unterstützung bei Entscheidungsprozessen.

Die Anbindung an das Internet erfolgt zunehmend automatisch und im Hintergrund. Das Umschalten zwischen realer und virtueller Welt erfolgt übergangslos und permanent. Die physische Mobilität ist exemplarisch für die Entwicklung in vielen Bereichen: so erfordern Car-Sharing, E-Ladestationen, Handy-Tickets, E-Bikes zum Ausleihen etc. jeweils einen kontinuierlichen Datenaustausch. Von sozialer Interaktion und Unterhaltung über Shopping, Lernen und Arbeiten bis hin zu therapeutischen Maßnahmen bietet Extended Reality Kostenreduktion durch Fernanwesenheit, Zeitersparnis durch dynamische Kollaboration, Gefahrenminimierung durch Simulation und Empathie durch Immersion („Eintauchen“).

Ein wichtiger Treiber für die zukünftige Entwicklung von Extended Reality wird das Metaversum (englisch metaverse) gesehen, das durch die Fokussierung des Unternehmens Meta Platforms, ehemals Facebook Inc., auf diesen Bereich erheblich an Bedeutung gewonnen hat. Beim Metaversum handelt es sich um einen kollektiven virtuellen Raum, der durch das Zusammenwachsen von virtueller und physischer Welt entsteht. Ziel ist es, dass im Metaversum die Nutzer die Welten mitgestalten, dort lernen, arbeiten und ihre Freizeit verbringen. Als enabling technologies für das Metaversum werden Blockchain, künstliche Intelligenz und Extended Reality gesehen<sup>1</sup>.

**ANSPRECHPARTNER:INNEN  
FRAUNHOFER ISI:**

**Elna Schirrmeister,  
Dr. Philine Warnke und  
Jan Rörden**



<sup>1</sup> → [www.xrtoday.com/mixed-reality/what-is-the-metaverse](http://www.xrtoday.com/mixed-reality/what-is-the-metaverse)

## 2 INNOVATIONSLANDSCHAFT

### 2.1 WISSENSCHAFT

FORSCHUNGSEINRICHTUNG	LAND	ANZAHL PUBLIKATIONEN
Universität Tokio	Japan	2.680
Harvard Universität	USA	1.862
Universität Osaka	Japan	1.751
Universität Tohoku	Japan	1.688
Universität Kyoto	Japan	1.516
Universität São Paulo	Brasilien	1.516
Universität Stanford	USA	1.436
Universität Washington	USA	1.434
Universität Michigan	USA	1.430
Johns Hopkins Universität	USA	1.342

Tabelle 1: Forschungseinrichtungen weltweit mit Publikationen im Bereich Extended Reality (2013–2021)<sup>2</sup>

Auch wenn bei den wichtigsten Forschungseinrichtungen auf diesem Gebiet in den letzten 10 Jahren fast nur amerikanische und japanische Universitäten aufgelistet sind, zeigt sich in der Summe der Publikationen doch ein anderes Bild. Hier liegt China auf dem 2. Platz und Deutschland auf dem 4. Platz. Mehrere große europäische Länder sind unter den ersten 10 Ländern bei den wissenschaftlichen Publikationen in diesem Bereich.

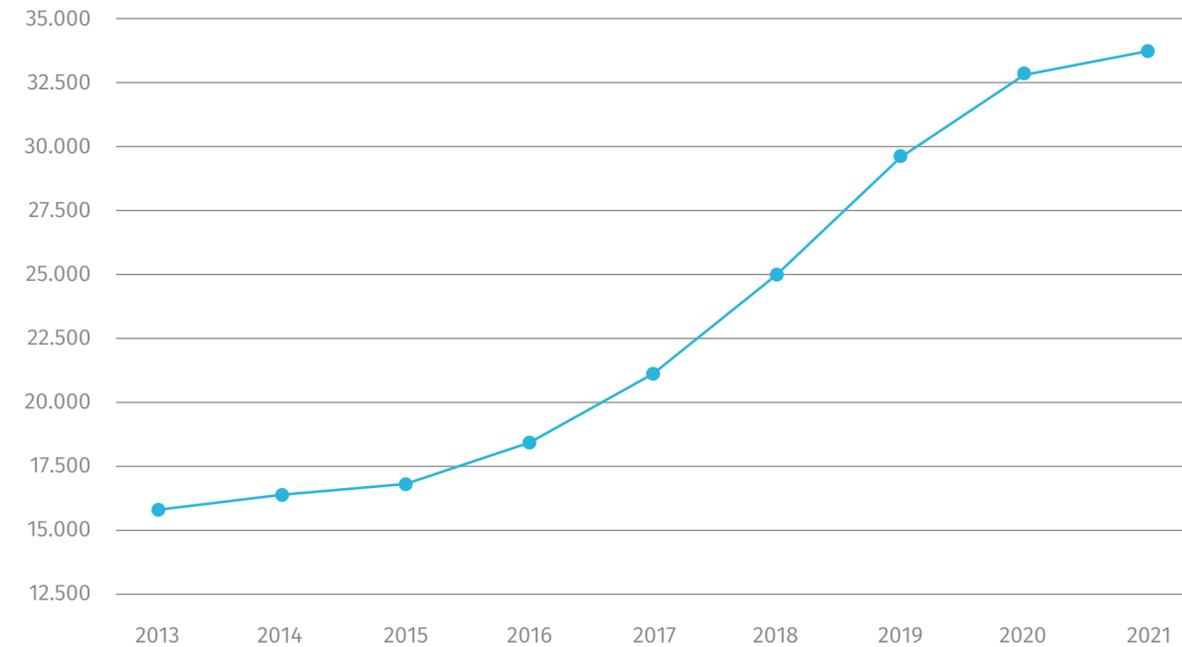


Abbildung 1: Anzahl wissenschaftliche Publikationen weltweit zum Thema Extended Reality



<sup>2</sup> (Suchstring: (virtual reality) OR (VR) OR (augmented reality) OR (AR) OR (extended reality) OR (XR) OR (outernet) OR (virtual surgery intelligence) OR (human augmentation) OR (metaverse) OR (Augmented Reality) OR (virtual environment) OR (virtual reality technology) nur in Titel und Abstrakt)

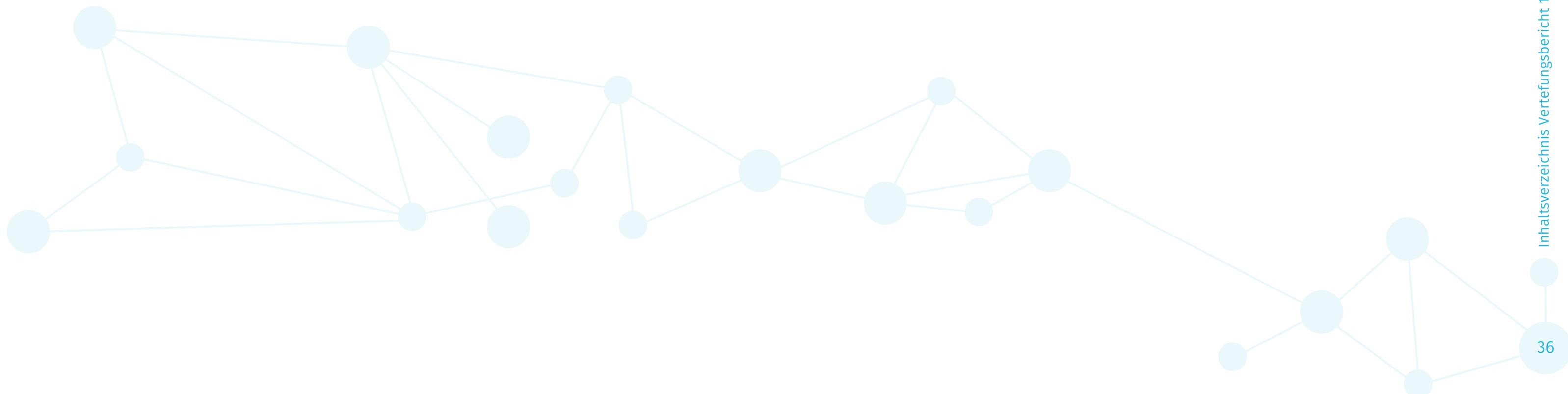
EINRICHTUNG	ANZAHL PUBLIKATIONEN
USA	92.308
China	40.516
Japan	32.434
Deutschland	28.594
Vereinigtes Königreich	25.922
Frankreich	16.403
Italien	13.883
Kanada	13.240
Südkorea	11.685
Spanien	10.567
Australien	9.942

Tabelle 2: Publikationen im Bereich Extended Reality nach Ländern

Bei den deutschen Forschungseinrichtungen zeigt sich ein Schwerpunkt im Süden von Deutschland, aber auch die Universitäten Aachen und Bochum in NRW sind unter den führenden Forschungseinrichtungen.

UNIVERSITÄT	ANZAHL PUBLIKATIONEN
TU München	1.277
RWTH Aachen	829
Ludwig-Maximilians-Universität München	733
Karlsruher Institut für Technologie	651
Universität Würzburg	645
Universität Erlangen-Nürnberg	609
Ruhr-Universität Bochum	592
Universität Heidelberg	570
Universität Ulm	515
TU Berlin	503

Tabelle 3: Publikationen im Bereich Extended Reality nach Forschungseinrichtungen (Deutschland, 2013–2021)



## 2.2 WIRTSCHAFT

Internationale Marktstudien sehen ein sehr großes Umsatz-Wachstumspotenzial in den nächsten Jahren. Als ein wichtiger Treiber für den Bereich Human Augmentation wird die technologische Durchdringung des Gesundheitswesens gesehen, sowie der militärische Bereich, in dem ebenfalls umfangreiche neue Anwendungen erwartet werden.

Wearable Human Augmentation (intelligente Brillen und Handschuhe, Head Mounted Displays, Kameras, Audiogeräte, in die Kleidung integrierte Sensoren) wird in den industriellen Anwendungen an Bedeutung gewinnen, da sich Tragbarkeit, Komfort und Effizienz verbessern werden. Im militärischen Bereich sowie in der Luft- und Raumfahrt wird ein Wachstum für die Kombination von Eye-Tracking und Handgesten-Technologien erwartet. Weltweit wird insbesondere mit einem starken Wachstum der Nachfrage in der Region APAC gerechnet, da sich hier sowohl die Anbieter als auch der Absatzmarkt dynamisch entwickelt.

Es gibt einige Herausforderungen, die das Marktwachstum behindern, darunter sind Unstimmigkeiten zwischen XR-Hardware und -Software sowie Gesundheitsprobleme beim Eintauchen in eine virtuelle Umgebung und fehlende Standards zu nennen.

Entwicklungspotenziale betreffen die Bereitstellung von Netzwerken mit hoher Bandbreite und geringer Latenz, die verbesserte Rendering-Verarbeitung und KI-basierte Inhaltsproduktion. Mit 5G, 6G, Edge Computing und KI-Ansätzen wird die virtuelle Realität (VR) um ein Vielfaches erweitert werden, mit ungebundenen Geo-Räumen und ohne Pufferung. Smartphones und -Geräte werden mit einer neuen Generation von Speicherchips ausgestattet, die riesige Datenmengen verarbeiten können und KI-gestützte XR-Technologien unterstützen.

Es wird erwartet, dass der weltweite AR- und MR-Markt bis 2026 einen Wert von rund 104 Milliarden Dollar erreichen. Allein das Softwaresegment der Branche wird bis 2026 über 30 Milliarden Dollar wert sein. Die Investitionen in augmented experiences, die virtuelle Inhalte in die reale Welt bringen, könnten sogar noch schneller wachsen als der VR-Markt. Die Menschen sind bereits heute mit AR-Umgebungen vertraut wie Snapchat und Instagram. Derzeit stellen Unternehmen wie Microsoft Konzepte wie die „Mesh“-Plattform vor, die den Weg für eine schnellere Entwicklung der Mixed Reality Technologie ebnen werden. Über Mixed Reality kann man mit Daten und Inhalten durch Gesten, Sprache und Augenbewegungen physisch interagieren. Das Ergebnis ist ein weitaus intensiveres Erlebnis, als es VR oder AR derzeit bieten können. Derzeit haben bereits mehr als 50 Unternehmen der Fortune-500-Liste die Mixed-Reality-Technologie in ihren Unternehmen eingesetzt. Besonders optimistische Prognosen erwarten bis 2025 in ganz Amerika ca. 14 Millionen Mitarbeiter:innen, die intelligente Brillen während der Arbeit verwenden<sup>3</sup>.

Gegenwärtig wird die Spielumgebung von den meisten Experten als „Ausgangspunkt“ des Metaversums betrachtet (59% der erwachsenen US-Bürger bezeichnen sich als Gamer). Spiele bieten den Verbrauchern neue Erfahrungen und haben während der Pandemie weiter an Bedeutung gewonnen.

Die TH Köln hat 2021 eine Studie mit dem Titel „Cross Reality in Deutschland 2021“ veröffentlicht, die das Mediennetzwerk.NRW beauftragt hatte. Die Studie untersuchte nicht das Konsumverhalten, sondern die Struktur und Potenziale des deutschen VR- und AR-Markts. Durch eine Vollerhebung und Sekundäranalyse konnte ein sehr umfassender Überblick über die deutschen Unternehmen in diesem Bereich gewonnen werden. Die Vorstellung der Studienergebnisse kann man sich als Video ansehen:

→ [www.youtube.com/watch?v=DSzbPNIXCqM&t=43s](https://www.youtube.com/watch?v=DSzbPNIXCqM&t=43s)

<sup>3</sup> → [www.xrtoday.com/mixed-reality/a-beginners-guide-to-the-mr-market](https://www.xrtoday.com/mixed-reality/a-beginners-guide-to-the-mr-market)



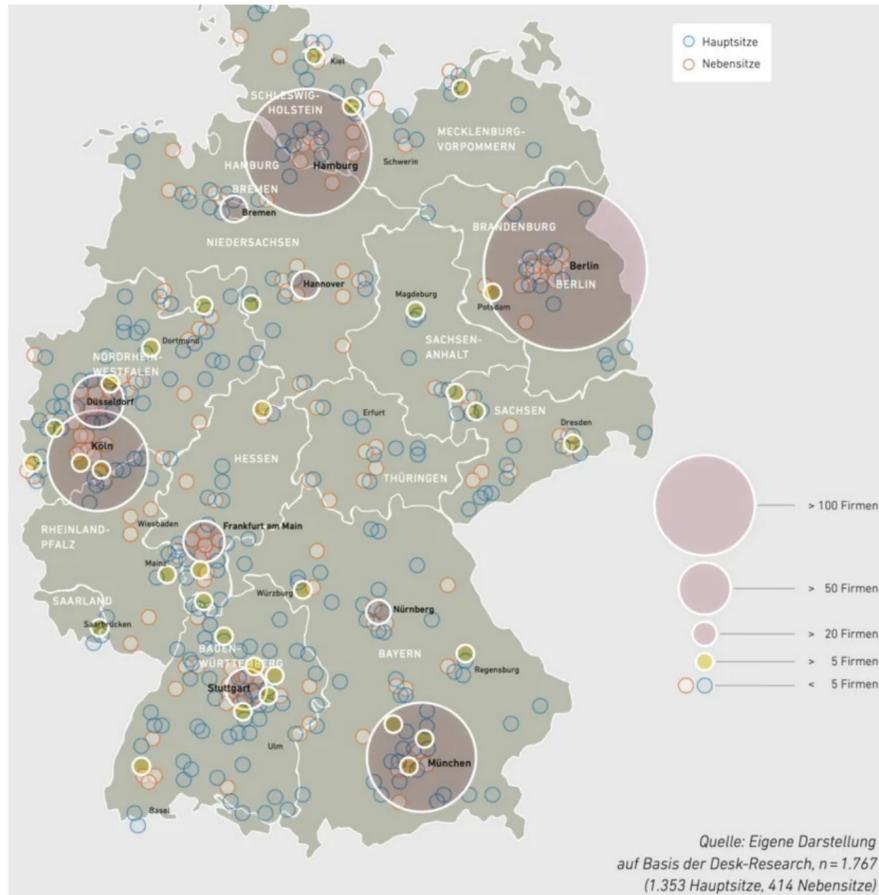


Abbildung 2: Die regionale Verteilung deutscher XR-Unternehmen (Grundgesamtheit). | Bild: XR-Studie 2021, Zabel, Heisenberg, Telkmann (TH Köln) im Auftrag Mediennetzwerk.NRW (Heisenberg et al. 2021)

	Gaming	Medizin	Arts / Architektur	Medien	Werbung/Marketing	Verarbeitendes Gewerbe	Tourismus	Logistik	Live Entertainment	Militär
<b>B2C</b>										
Information/Entertainment (z.B. Nachrichtenvideos, Games)	✓	✓	✓	✓	✓		✓		✓	✓
<b>B2B</b>										
Unterstützungssysteme (z.B. Navigation, Wayfinding in der Logistik)			✓	✓		✓	✓	✓		✓
Produktpräsentationen (z.B. Werbung, Point of Sale)	✓		✓	✓	✓		✓			
Training (z.B. Fortbildung von Mitarbeitern, Erlernen von Abläufen)		✓				✓		✓		✓
Wartung / Service / Fertigung (z.B. Unterstützung im Produktionsablauf)		✓				✓		✓		✓
Design/Simulation (z.B. Entwurf von Prototypen)		✓	✓			✓				✓
Conferencing & Collaboration (z.B. virtuelle Konferenzen)		✓				✓		✓		✓

Quelle: Zabel et al., 2021, S. 32

Abbildung 3: Die regionale Verteilung deutscher XR-Unternehmen (Grundgesamtheit). | Bild: XR-Studie 2021, Zabel, Heisenberg, Telkmann (TH Köln) im Auftrag Mediennetzwerk.NRW (Heisenberg et al. 2021)

NRW ist bereits seit einigen Jahren in diesem Bereich führend und dies hat sich auch 2021 bestätigt. Die Branche wächst kontinuierlich bezüglich des Marktvolumens und es kommen jedes Jahr Neugründungen hinzu. In den letzten Jahren wurden jährlich 70-90 Unternehmen in diesem Bereich in Deutschland gegründet.

Der Markt in Deutschland konzentriert sich auf den B2B-Bereich, während im B2C-Bereich insbesondere internationale Großkonzerne den Markt dominieren. Am häufigsten wird für das verarbeitende Gewerbe gearbeitet (68%), insbesondere für die Automobilbranche (42%) sowie im Maschinenbau (38%). Auf dem zweiten Platz folgt das Segment Kunst und Unterhaltung (53%) und dann der Bereich Medien, Information und Kommunikation (43%). Es wird überwiegend Full-Feature VR, Augmented Reality (Smartphone) und Mixed Reality/ Smart Glasses angeboten. Die Unternehmen sehen insbesondere Potenziale im Bereich virtueller Trainings, aber auch bei Lösungen für Conferencing und Kollaboration und Produkt-Experiences. Als größte Hindernisse wird die mangelnde Bekanntheit gesehen, der hohe Erklärungsbedarf und die nach wie vor geringe Verbreitung von VR-Brillen insbesondere im Vergleich zu anderen internationalen Regionen. Unternehmen in Deutschland sind oftmals sehr international ausgerichtet.



## 3 LEUCHTTURM-BEISPIELE

### 3.1 GetBaff

Das Düsseldorfer Start-up Getbaff will mit einer denkbar einfachen App die nächste Stufe der Verbreitung von Augmented Reality-Anwendungen erreichen. Wenn man die Funktionsweise beschreiben will, dann geht es um die Entwicklung von einer einfachen zu einer erlebbaren Oberfläche. Soll ein Bild erlebbar gemacht werden, wird die Datei auf die Plattform von Getbaff geladen. Die Bilderkennung analysiert die Datei und setzt sogenannte Trackingpoints. Das System verknüpft dann mit genau dieser Datei ein bestimmtes Video, das ebenfalls hochgeladen wurde. Wenn die App das Bild anhand der Trackingpoints erkennt, wird innerhalb weniger Sekunden das zugehörige Video abgespielt.

Die Besonderheit: Dafür muss die Oberfläche nicht mal mit einem QR-Code oder einem Chip versehen werden. Man braucht allein die App. Bloß einen Hinweis auf die integrierte Videobotschaft muss es trotzdem geben. Magazine können dies leicht handhaben, indem sie zum Beispiel auf der entsprechenden Seite ein Icon zeigen.

→ <https://getbaff.de>

### 3.2 SCOPUS

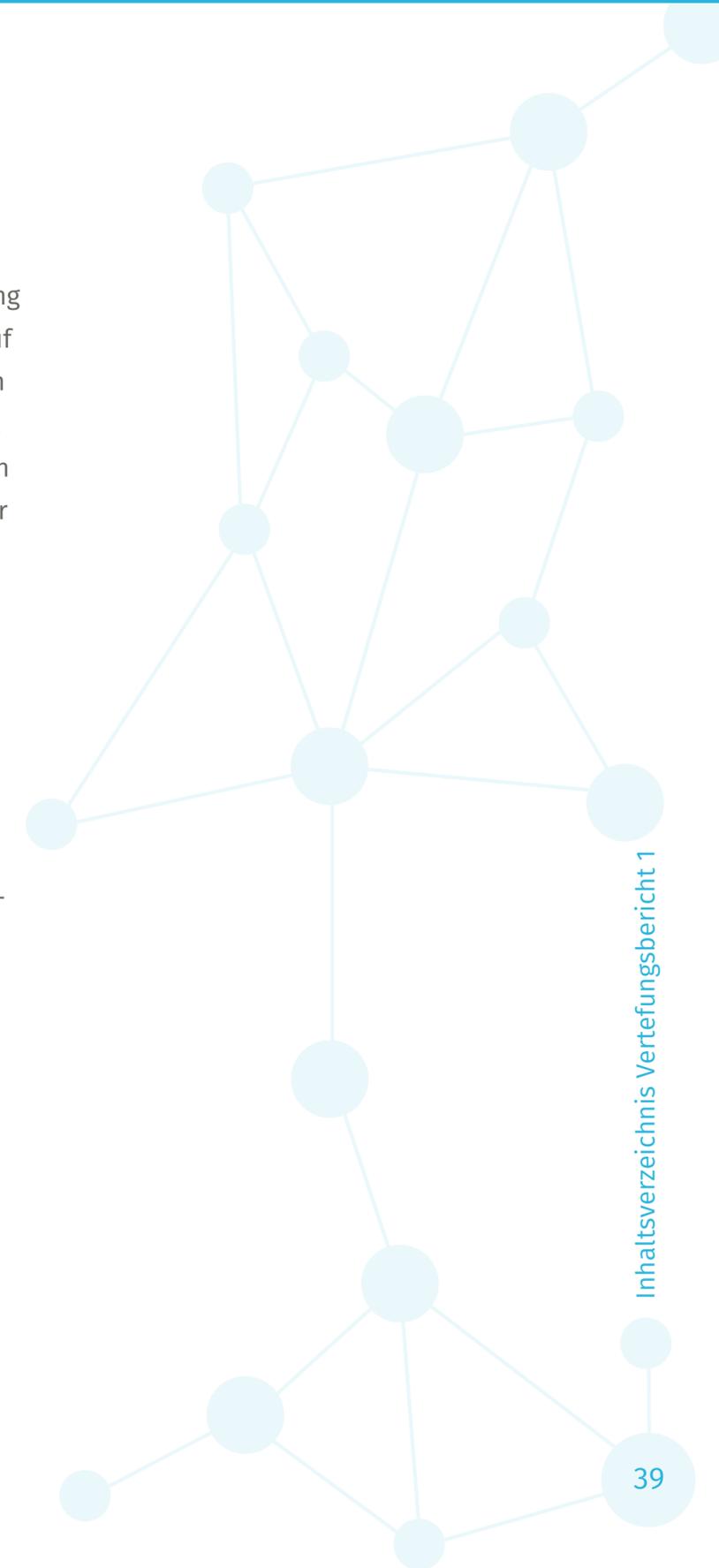
Das 2010 in Berlin gegründete Start-up SCOPuS bietet eine Anwendung zur Unterstützung von Chirurgen bei der Durchführung von Operationen. Durch Planung von Eingriffen auf Basis von CT Scans und Erstellung aktionsbasierter 3D-Bilder können Echtzeitaufnahmen um Informationen zur Ausführung der Operation angereichert werden. Das Start-up ist aus dem Berliner Zentrum für Mechatronische Medizintechnik (BZMM), einer Kooperation des Fraunhofer-Instituts für Produktionsanlagen und Konstruktionstechnik IPK und der Charité Berlin, hervorgegangen.

→ [www.scopus.com](http://www.scopus.com)

### 3.3 NavVis

NavVis wurde 2013 als Spin-off der Technischen Universität München gegründet. Das Unternehmen ist auf die Entwicklung von Soft- und Hardware zur Digitalisierung von Innenräumen spezialisiert. NavVis digitalisiert Innenräume durch eine 3D-Scan-Technologie. Hierfür wird ein Trolley mit hochauflösenden Kameras und Sensoren durch Lagerhallen, Museen oder Einkaufszentren gefahren. Neben der Hardware erstellt NavVis aus dem gesammelten Material zudem ganze Karten von Räumen.

→ [www.navvis.com](http://www.navvis.com)



### 3.4 AUGMENTIFY

Das Unternehmen ist ein Joint Venture von zwei Erfahrenen Gründern und hat seinen Sitz in Münster. Es wurde eine Plattform entwickelt, die es einfach möglich macht aus CAD-Daten und 3D-Modellen Augmented Reality-Inhalte zu erstellen, die den Kunden im Browser oder in ihrer App zur Verfügung gestellt werden.

Das Unternehmen hat Kunden in der Industrie, im Konsumgüter-Marketing sowie Agenturen und Druckdienstleister. Einsatzmöglichkeiten in der Industrie bestehen sowohl im Vertrieb, als auch bei E-Learning und Maintenance.

→ <https://augmentify.me/augmentify.html>

### 3.5 ZOO UTOPIE UND LEMONTREE.XYZ

Im Zuge der Digitalisierung des Münsteraner Allwetterzoos wird auch Augmented Reality in einer Zoo-App genutzt werden. Zur Außenstation des Zoos für Artenschutz und -erhalt, das Angkor Center for Conservation of Biodiversity (ACCB) in Kambodscha, sollen die Zoo-Besucher und -Besucherinnen durch Virtual Reality mitgenommen werden. Für die Umsetzung hat sich das Digitalisierungsteam u.a. mit dem Fellowship Start-up lemontree.xyz ausgetauscht, das sich auf diesen Bereich spezialisiert hat. Durch dieses Team wurde auch der historische Zoo Münster als VR-Erlebnis realisiert.

→ [www.digitalhub.ms/stories/kooperationen/2021-12-07/allwetterzoo-ipd-digitaler-zoo](http://www.digitalhub.ms/stories/kooperationen/2021-12-07/allwetterzoo-ipd-digitaler-zoo)

→ <https://lemontree.xyz/#about>

→ <https://lemontree.xyz/historischer-zoo>

### 3.6 DIGITALER TOURISTENGUIDE FÜR MÜNSTER

Die FH-Münster entwickelte zusammen mit dem AugmentLabs einen Touristenguide für Münster, der zerstörte Gebäude aus der Vergangenheit über Augmented Reality wieder erlebbar macht. Virtuelle Objekte können in einen Raum platziert werden und machen so eine Besichtigung für Touristen noch interessanter.

→ [www.fh-muenster.de/hochschule/aktuelles/news/index.php?newsId=2297](http://www.fh-muenster.de/hochschule/aktuelles/news/index.php?newsId=2297)



## 4 AUSBLICK FÜR DAS MÜNSTERLAND

NRW ist insgesamt in diesem Bereich sehr gut aufgestellt und die beiden Cluster um Köln und Düsseldorf sind vom Münsterland aus gut erreichbar. In Deutschland scheint eine Fokussierung auf den B2B-Bereich besonders erfolgsversprechend. Allerdings sind die Einsatzmöglichkeiten im B2B-Bereich sehr weit gefächert.

Anhand von Abbildung 3 lässt sich erkennen, dass einige Branchen, die gerade im Münsterland eine wichtige Rolle im B2B-Bereich spielen, große Potenziale durch Augmented Reality sehen. Hier sind z.B. Medizin, aber auch Touristik, Medien und Werbung zu nennen.

Die dynamische wirtschaftliche Entwicklung in diesem Bereich ergibt sich einerseits aus der Integration dieser Technologien in das Produkt/Service-Portfolio von existierenden Unternehmen und andererseits durch viele Startups.

### ZUKUNFTSSZENARIO



#### MÜNSTERLAND KALENDERBLATT 31.03.2031

##### Mixed Reality Tourismus im Münsterland

Die Idee entstand als 2021 der Allwetterzoo Münster digitalisiert wurde und neben der Optimierung der Abläufe auch Augmented Reality Anwendungen integriert wurden. Die Marketing-Leitung des Zoos fragte sich damals, wie man einem Besuch in Münster in zehn Jahren vorstellen könnte. Auch die zwei regionale Start-Ups konnten für die Idee gewonnen werden, das Münsterland zu „augmentieren“.

Die Entwicklung war dann sogar noch schneller als erwartet und so kann man heute nicht nur mit seinen Smart-Glasses im Zoo in ganz unterschiedliche Welten eintauchen. Jeder wählt dabei selbst aus, ob er lieber eine Phantasiewelt oder ein reales Land besuchen will. Man kann auch die Tiere über Mixed Reality streicheln oder aber ganz viel lernen über die Anatomie der Tiere, die Ernährung, die Biodiversität in der jeweiligen Umgebung und die Verbindung zu anderen Arten.

Diese erweiterten Welten machen aber nicht am Zoo-Eingang halt, sondern mittlerweile sind alle Tourismus-Spots in Münster durch Augmented Reality erlebbar geworden. Nur noch selten sieht man einen menschlichen Touristenführer, aber dafür arbeiten viele Leute bei der kontinuierlichen Weiterentwicklung der virtuellen Inhalte mit.

## 5 REFERENZEN

ABI Research (2020): Industrial Augmented and Mixed Reality Market Data. Verfügbar unter:  
→ [www.abiresearch.com/market-research/product/1032615-industrial-augmented-and-mixed-reality-mar](http://www.abiresearch.com/market-research/product/1032615-industrial-augmented-and-mixed-reality-mar)

ABI Research (2021): Augmented Reality in Industrial Applications. Verfügbar unter:  
→ [www.abiresearch.com/market-research/product/1032620-augmented-reality-in-industrial-applicatio](http://www.abiresearch.com/market-research/product/1032620-augmented-reality-in-industrial-applicatio)

Frost & Sullivan (2020): Extended Reality: Making Immersive Experiences Commonplace. Verfügbar unter: → <https://member.frost.com/login?reportID=D9DC-01-00-00-00>

Frost & Sullivan (2020): Innovations in Artificial Intelligence and Virtual Reality. Verfügbar unter: → <https://member.frost.com/login?reportID=D881-00-36-00-00>

Frost & Sullivan (2021): Global Automotive Virtual Reality Growth Opportunities, Verfügbar unter: → <https://member.frost.com/login?reportID=PBED-01-00-00-00>

Gartner (2019): Augmented and Virtual Reality in the Digital Workplace: Top Use Cases. Verfügbar unter: → [www.gartner.com/en/documents/3905469](http://www.gartner.com/en/documents/3905469)

Heisenberg, Gernot; Telkmann, Verena; Zabel, Christian (2021): CROSS REALITY IN DEUTSCHLAND 2021. Entwicklung der Branchen und Netzwerkstrukturen der XR-Unternehmen in Deutschland. Mediennetzwerk.NRW. Online verfügbar unter → [https://medien.nrw/wp-content/uploads/sites/8/2021/10/XR-Studie-DE-2021\\_RZ\\_websiteversion.pdf](https://medien.nrw/wp-content/uploads/sites/8/2021/10/XR-Studie-DE-2021_RZ_websiteversion.pdf), zuletzt geprüft am 25.02.22.

Klöß, Sebastian (2021): Augmented und Virtual Reality. Potenziale und praktische Anwendung immersiver Technologien. Hg. v. Bitkom e.V. Online verfügbar unter → [https://www.bitkom.org/sites/default/files/2021-04/210330\\_lf\\_ar\\_vr.pdf](https://www.bitkom.org/sites/default/files/2021-04/210330_lf_ar_vr.pdf)

MarketsandMarkets (2019): Human Augmentation Market by Technology (Wearable, Virtual Reality, Augmented Reality, Exoskeleton, Intelligent Virtual Assistants), Functionality (Body Worn, Non-body Worn), Region – Global Forecast to 2024. Verfügbar unter: → [www.marketsandmarkets.com/Market-Reports/human-augmentation-market-177215310.html](http://www.marketsandmarkets.com/Market-Reports/human-augmentation-market-177215310.html)

Statista GmbH (2020): Virtual Reality (VR) in Europe.

Statista GmbH (2021): Extended Reality (XR): AR, VR, and MR Verfügbar unter: → [www.statista.com/study/71389/extended-reality-xr](http://www.statista.com/study/71389/extended-reality-xr)



# Digitaler Zwilling

## DER WEG ZUR VERNETZTEN PRODUKTION

Eine Zukunfts-Analyse zu ausgewählten Technologie-Trends vom Fraunhofer-Institut für System- und Innovationsforschung in Zusammenarbeit mit den Münsterland Denkfabriken

06/2022

# INHALTSVERZEICHNIS

1	Einleitung.....	45
2	Innovationslandschaft .....	46
2.1	Wissenschaft .....	46
2.2	Wirtschaft.....	47
3	Leuchtturm Beispiele.....	50
3.1	Infinite Foundry.....	50
3.2	REACH Solutions .....	50
3.3	TREE-TOWER.....	50
3.4	Hochschule Hof.....	50
3.5	Virtual Twins – Platform for Indoor Navigation.....	51
3.6	FoFeBat – digitaler Zwilling für die Batteriezellenfertigung.....	51
3.7	Smart-City-Modellprojekte in Münster.....	51
4	Ausblick Münsterland.....	52
5	Ausgewertete Marktstudien .....	53
6	Zitierte Literatur .....	54



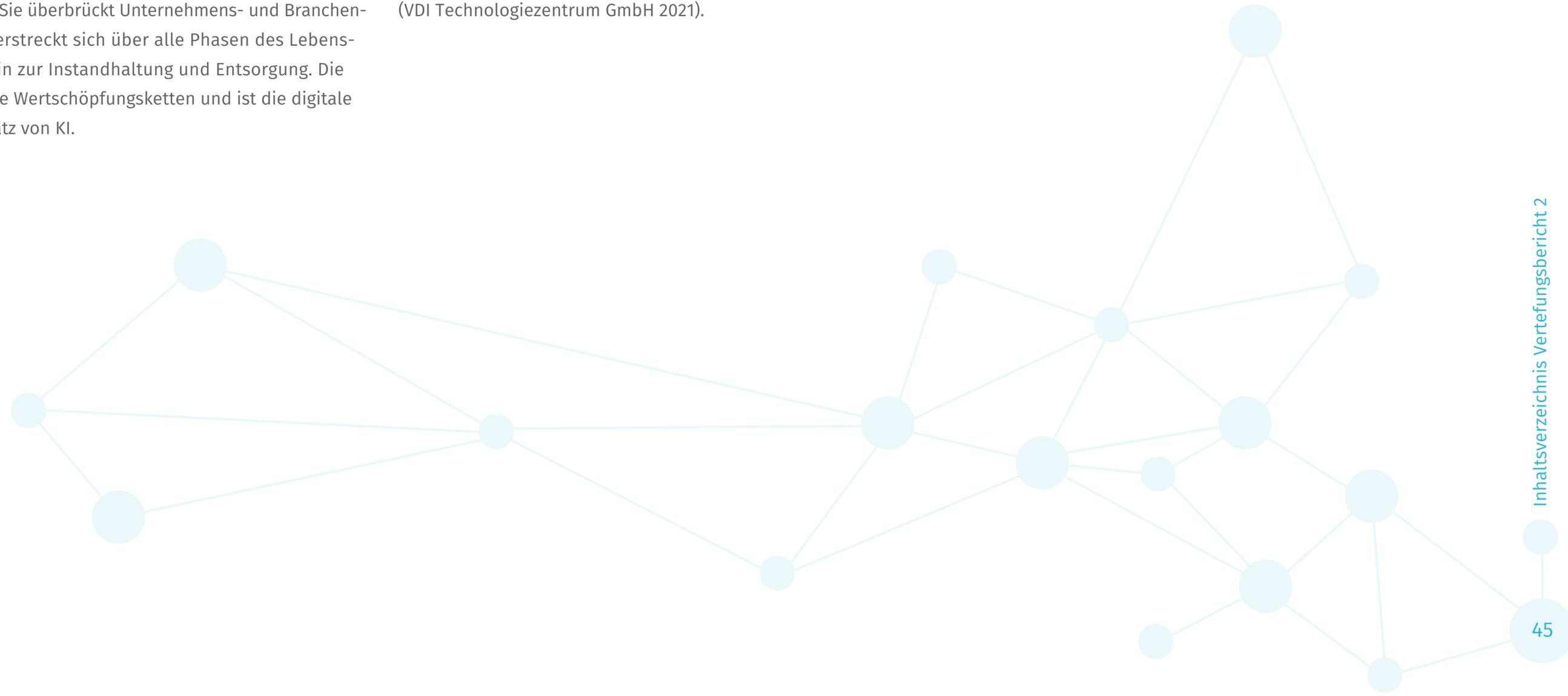
# 1 EINLEITUNG

Ein digitaler Zwilling ist „eine formelle digitale Repräsentation eines Assets, Prozesses oder Systems, welches Attribute und Verhalten dieser Entität erfasst, die für die Kommunikation, Speicherung, Interpretation oder Verarbeitung in einem gewissen Kontext geeignet sind“ (Boss et al. 2018). Der digitale Zwilling erlaubt als digitales Abbild eines physischen Assets dessen Simulation, Steuerung und Verbesserung. Die „Verwaltungsschale“ ist die technische Umsetzung des digitalen Zwillings, wie sie durch die Plattform Industrie 4.0 vorgeschlagen wird. Sie ist eine generische Möglichkeit, Informationen für I4.0-Use Cases zusammenzuführen und diese sowohl für nicht-intelligente als auch für intelligente Produkte verfügbar zu machen. Sie überbrückt Unternehmens- und Branchengrenzen, ist skalier- und erweiterbar und erstreckt sich über alle Phasen des Lebenszyklus, vom Design über den Betrieb bis hin zur Instandhaltung und Entsorgung. Die Verwaltungsschale ermöglicht durchgängige Wertschöpfungsketten und ist die digitale Basis für autonome Systeme und den Einsatz von KI.

„Beispiele für Anwendungen digitaler Zwillinge in der intelligenten Fertigung sind die Echtzeit-Simulation, die Optimierung sowie die Verfolgung der Produktqualität, von Produktionsprozessen und die vorausschauende Wartung von Maschinen und Anlagen, sowie ihre virtuelle Inbetriebnahme oder auch die Optimierung der Energieeffizienz.“ In der Automobilindustrie können durch die virtuelle Abbildung des Fahrzeuges beispielsweise prädiktive Wartungsdienste im laufenden Betrieb durchgeführt werden, die Schäden am Fahrzeug vor ihrem Eintritt erkennen. Es können zudem virtuelle Crash-tests so oft wie nötig durchgeführt werden, was hilft, teure Experimente zu reduzieren (VDI Technologiezentrum GmbH 2021).

## ANSPRECHPARTNER:INNEN FRAUNHOFER ISI:

**Elna Schirrmeister,  
Dr. Philine Warnke und  
Jan Rörden**



## 2 INNOVATIONSLANDSCHAFT

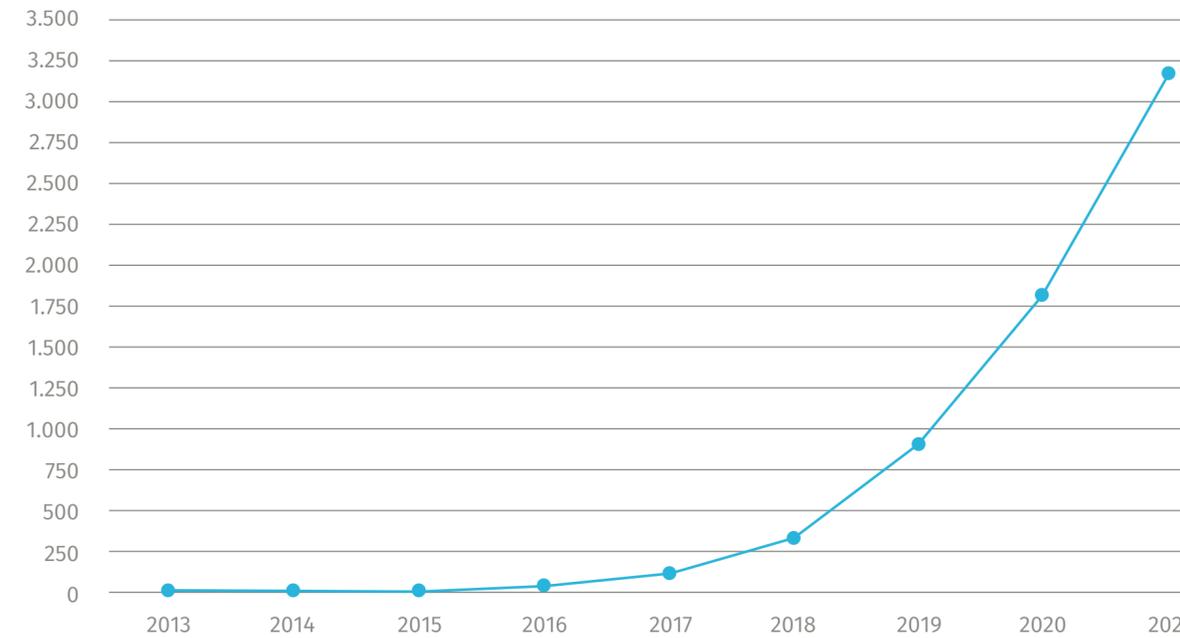
### 2.1 WISSENSCHAFT

Die Forschung am digitalen Zwilling wird vor allem von technischen Universitäten vorangetrieben. Alleine in Deutschland sind hier die RWTH Aachen, die TU München und die Universität Stuttgart als wichtige Akteure (neben anderen) zu nennen. Die wissenschaftlichen Publikationen weisen darauf hin, dass aber auch Unternehmen umfangreich Forschung in diesem Bereich betreiben. So ist z.B. Siemens unter den wichtigsten Forschungsakteuren.

Seit 2019 gibt es im Bereich der Publikationen eine eindeutige Steigerung, die sich wohl in Zukunft weiter fortsetzen wird. Die ausgesprochen gute Positionierung deutscher Akteure deutet darauf hin, dass in anderen Ländern auch unter anderen Begrifflichkeiten in diesem Feld Forschungsergebnisse veröffentlicht werden.

FORSCHUNGSAKTEURE	LAND	ANZAHL PUBLIKATIONEN
Universität Beihang	China	70
RWTH Universität Aachen	Deutschland	66
Universität Cambridge	England	54
Polytechnische Universität Mailand	Italien	46
Nationaluniversität Singapur	Singapur	45
Polytechnische Universität St. Petersburg	Russland	43
Norwegische Universität für Wissenschaft und Technologie	Norwegen	42
Technische Universität München	Deutschland	39
Siemens	Deutschland	36
Universität Stuttgart	Deutschland	33

**Tabelle 1:** Forschungsakteure weltweit mit Publikationen im Bereich digitale Zwillinge  
(Suchstring “digital twin” OR “digitale zwilling” in Titel und Abstrakt)



**Abbildung 1:** Anzahl der weltweiten Publikationen pro Jahr zu digitalen Zwillingen  
(Suchstring “digital twin” OR “digitale zwilling” in Titel und Abstrakt)



2.2 WIRTSCHAFT

Die Zahl der Patente steigt – mit etwas Verzug gegenüber den wissenschaftlichen Publikationen – vor allem seit 2020 stark an. Den größten Anteil daran hat mit Siemens ein deutsches Unternehmen, allerdings ist auch der Beitrag chinesischer Universitäten und US-amerikanischer Unternehmen nennenswert. Für Siemens und General Electric lässt sich vermuten, dass die Ursache hierfür im Fokus auf Maschinenbau und der Konstruktion großer Anlagen (zum Beispiel Windräder oder Turbinen), die nicht leicht gewartet werden können, liegt, oder in der Abbildung komplexer, verteilter Systeme (Stromnetze).

FORSCHUNGSAKTEURE	LAND	ANZAHL PATENTE
Siemens	Deutschland	116
General Electric	USA	65
Beihang Universität	China	60
Technische Universität Guangdong	China	42
Universität Xi'an Jiaotong	China	27
Universität für Luft- und Raumfahrttechnik Nanjing	China	18
Universität Zhejiang	China	17
IBM	USA	17
Universität Tsinghua	China	16
Institut für Technologie Beijing	China	15

Tabelle 2: Forschungseinrichtungen weltweit mit Publikationen im Bereich digitale Zwillinge (Volltext)

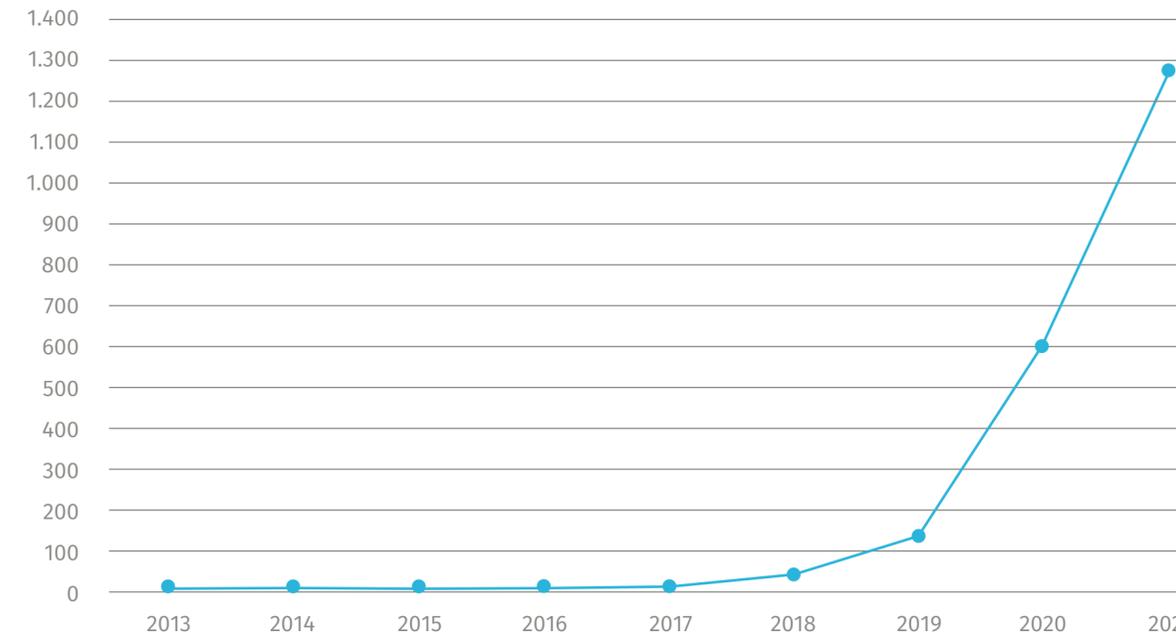


Abbildung 2: Anzahl der weltweiten Patente pro Jahr zu digitalen Zwillingen (Suchstring "digital twin" OR "digitale zwilling" in Titel und Abstrakt)



Der weltweite Markt für digitale Zwillinge wurde von Marktanalysten im Jahr 2020 auf ca. 3 Mrd. USD geschätzt und wird bis 2026 voraussichtlich knapp 50 Mrd. USD erreichen. Dies bedeutet ein extrem dynamisches Wachstum. Es wird erwartet, dass er während dieses Prognosezeitraums mit einer CAGR von 58% wachsen wird. Der Markt für digitale Zwillinge für die „vorausschauende Wartung“ hatte 2019 einen großen Anteil.

Die Energie- und Kraftwerksindustrie, die Automobil- und Transportbranche sowie die Luft- und Raumfahrt- und Verteidigungsindustrie gehören zu den wichtigsten Endnutzern der digitalen Zwillingstechnologie. In diesen Branchen ist die Nachfrage aktuell aufgrund der Pandemie rückläufig. Es wird jedoch erwartet, dass der Fokus auf die Digitalisierung von Prozessen in den verschiedenen Branchen in der Zeit nach COVID-19 zunehmen wird. Auch die steigende Nachfrage im Energie- und Stromsektor dürfte das Wachstum des Segments von 2021 bis 2026 ankurbeln. Predictive Maintenance-Anwendungen auf dem Digital Twin-Markt werden in den nächsten 5 Jahren den größten Anteil haben.

- Das Segment Automobil- und Transportwesen hatte 2019 den größten Marktanteil am Markt für Digitale Zwillinge. Dieses Wachstum lässt sich auf die zunehmende Verwendung digitaler Zwillinge für Design, Simulation, MRO (Wartung, Reparatur und Überholung), Produktion und Kundendienst zurückführen. Die Automobil- und Transportbranche ist eine der Branchen, die in der Zeit nach COVID-19 ein hohes Wachstum verzeichnen wird, da die Akteure der Branche versuchen werden, digitale Lösungen für ihre End-to-End-Operationen zu übernehmen, um die durch die Pandemie entstandenen Verluste zu minimieren.
- Der Markt für „system-digital-twin“ hatte 2019 den größten Marktanteil inne. Dieses Wachstum ist auf den zunehmenden Einsatz des digitalen Zwillings für Systeme in verschiedenen Anwendungen zurückzuführen. In der Luft- und Raumfahrt- und Verteidigungsbranche hat LOCOMACHS beispielsweise einen digitalen Zwilling für die gesamte Montagelinie eines Flugzeugflügels zur Leistungsüberwachung implementiert. In der Automobil- und Transportbranche setzt Tesla Motors eine digitale Zwillingslösung für jedes von ihm hergestellte Auto ein, um die Leistung zu steigern und das Geschäft zu verbessern.

Auch im Gesundheitswesen wird eine steigende Nachfrage erwartet:

- Digitale Zwillinge spielen eine wichtige Rolle bei der Überwachung des Gesundheitszustands und der Wirkung von Tabletten. Exactcure, ein französisches Start-up-Unternehmen, das eine Softwarelösung zur Verringerung von Medikationsfehlern entwickelt, hat beispielsweise eine digitale Zwillingslösung entwickelt, um die Auswirkungen von ungenau dosierten Medikamenten zu verringern. Mit dieser digitalen Zwillingslösung werden die Wirksamkeit und die Wechselwirkungen von Medikamenten im Körper eines Patienten auf Grundlage seiner persönlichen Merkmale, wie Alter, Geschlecht und Nierenstatus, überwacht.
- Die Akteure in der Gesundheitsbranche investieren zunehmend in Forschung und Entwicklung im Zusammenhang mit den neuen Veränderungen im täglichen Leben, die durch die COVID-19-Pandemie entstanden sind. So versuchen die Akteure beispielsweise, eine digitale Zwillingslösung zu entwickeln, um Personen zu identifizieren, die Symptome haben, infiziert sind oder sich mit Antikörpern erholt haben sowie Personen, die mit einer infizierten Person in Kontakt gekommen sind. Solche Lösungen können in „Smart Cities“ wirksam eingesetzt werden.



Die Implementierung digitaler Technologien wie Cloud, Big Data, IoT und künstliche Intelligenz nimmt in verschiedenen Bereichen der Wirtschaft zu. Der digitale Zwilling umfasst die Integration verschiedener IoT-Sensoren und aller digitalen Technologien zur Virtualisierung des physischen Zwillings. Mit der zunehmenden Konnektivität steigt auch das Risiko der Sicherheit, der Einhaltung von Vorschriften und des Datenschutzes sowie der Regulierung. Mit der Zunahme von Cyberangriffen auf kritische Infrastrukturen in den letzten zehn Jahren ist die Cybersicherheit zu einem Hauptanliegen von Anwendern und Anbietern von Industrieautomation geworden. Die zunehmende Bedrohung der Sicherheit von Daten, die mit der Cloud verbunden sind, wird daher voraussichtlich ein wesentliches Hemmnis für das Wachstum des Marktes für digitale Zwillinge darstellen.

- Die Zunahme von Viren und Cyberangriffen hat zu Bedenken hinsichtlich der Datensicherheit geführt. Wenn Anbieter von IoT-Infrastrukturen und Cloud-Plattformen bei der Umsetzung angemessener Sicherheitsmaßnahmen versagen, kann dies zu Unterbrechungen des Informationsflusses führen. Die Branchen, die digitale Zwillinge mit solchen Plattformen eingeführt haben, sind anfällig für Malware-Angriffe, die aufgrund der zunehmenden Abhängigkeit vom webbasierten Datenaustausch und von IT-Lösungen auf industrielle Systeme abzielen.
- Ein großes Datenvolumen birgt ein höheres Sicherheitsrisiko. Der digitale Zwilling fasst Informationen aus vielen Bereichen des Unternehmens an einem Ort zusammen. Zu den Daten gehören IPs, sensible Daten sowie der Zugang zu Vermögenswerten, die allesamt kritische Informationen darstellen. Der enorme Zustrom von Daten ist sowohl für Unternehmen als auch für Hacker wertvoll. Bei der Unternehmensplanung müssen Datensicherheit, Datenintegrität, Datenschutz und Compliance berücksichtigt werden. Daher muss sichergestellt werden, dass bereits bei der Einführung des digitalen Zwillings – sei es für ein Produkt, einen Prozess oder ein komplettes System bzw. eine Einheit – gute Sicherheitspraktiken angewandt werden.

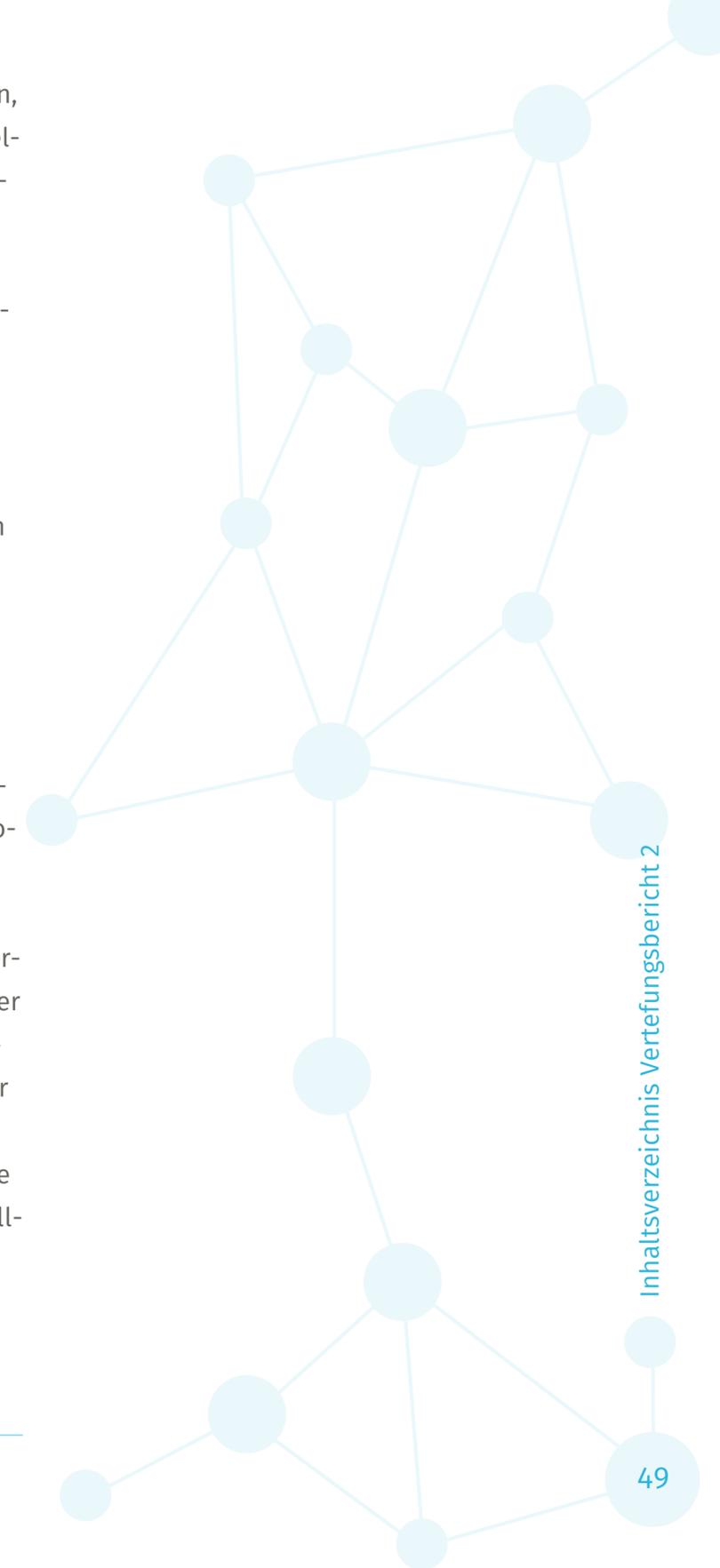
Ein digitaler Zwilling kann zur Erstellung von Zwillingen von Komponenten, Baugruppen, Personen oder einer ganzen Fertigungsanlage verwendet werden und lässt sich auf vielfältige Weise kombinieren, um eine Lösung mit zahlreichen Daten- und Informationsquellen zu schaffen. Digitale Zwillinge tragen dazu bei, Fähigkeiten zu erweitern, die Flexibilität zu erhöhen und das Risiko von Geschäftsausfällen zu mindern. Rolls-Royce hat beispielsweise interoperable Ökosysteme auf der Grundlage digitaler Zwillinge eingeführt, um die nächste Generation des Kundendienstes zu ermöglichen.

Viele Unternehmen haben keinen konkreten Plan für die Einführung von digitalen Zwillingen für das Produktmanagement und noch keine nennenswerten Investitionen getätigt. Da die Technologie für viele Unternehmen neu ist und erhebliche Änderungen erfordert, sind sich die Unternehmen über den wirtschaftlichen Nutzen, die damit verbundenen Investitionen und die Kostenvorteile in naher Zukunft nicht im Klaren. Die Ermittlung des Potenzials eines digitalen Zwillings wird als sehr komplex und vielfältig angesehen, was die Einführung dieser Technologie weiter erschwert.

Digitale Zwillinge können helfen, Prozesse nachhaltiger zu gestalten, indem sie vorausschauend deren Auswirkungen auf die Umwelt transparent machen. Zum Beispiel regionale Optimierung von Wasserressourcen oder Vorhersagen von Extremereignissen.

Der IT-Berater und Systemintegrator MSG aus München hat zusammen mit dem Fraunhofer-Institut für Produktionsanlagen und Konstruktionstechnik (IPK) den Reifegrad deutscher Unternehmen in einer Studie näher beleuchtet: Die Studie zeigt, dass bei vielen Unternehmen ein breites Verständnis von Digitalen Zwillingen existiert, deren Potenzial aber bei weitem noch nicht gehoben wird. So haben zwar 85% der befragten Unternehmen bereits Konzepte für den Digitalen Zwilling entwickelt. Jedoch verfügen nur 54% über eine durchgängige Strategie für Digitale Zwillinge und nur 8% haben diese heute bereits vollständig implementiert. 2020 wurde die IDTA – Industrial Digital Twin Association<sup>1</sup> gegründet, der umfangreich Use Cases und Informationsmaterial zur Verfügung stellt und die umfangreiche Nutzung in der Industrie unterstützen will.

<sup>1</sup> <https://industrialdigitaltwin.org/content-hub>



## 3 LEUCHTTURM-BEISPIELE

### 3.1 INFINITE FOUNDRY

Infinite Foundry ist von Portugal und Brasilien aus tätig und stellt digitale Zwillinge für Produktionsstätten her. Das Startup ermöglicht es Fertigungsunternehmen, Produktionsanlagenentwürfe zu erstellen, Produktionsprozesse zu überwachen und den Fabrikbetrieb zu optimieren. Beispielsweise nutzt Infinite Foundry die virtuelle Realität, um die Gesamteffizienz zu verbessern und VR-basierte Schulungen für Ingenieure durchzuführen. Das 3D-Anlagenmodell ermöglicht auch eine 3D-Echtzeitanimation des Produktionsprozesses zur Bewertung von Fertigungsengpässen.

→ [www.infinitefoundry.com/foundry](http://www.infinitefoundry.com/foundry)

### 3.2 REACH SOLUTIONS

REACH Solutions ist ein ungarisches Start-up, das einen auf Echtzeit basierenden Analytics and Collaboration Hub entwickelt (Real-time Events-based Analytics and Collaboration Hub (REACH)). Die IoT-Plattform unterstützt jede IoT-Bereitstellung als einheitliche Plattform zum Sammeln, Organisieren und Aktivieren von Daten aus beliebigen Quellen. Darüber hinaus stellt REACH Ingenieuren und Bedienern die Daten zur Verfügung, um sie später für die gezielte Ausführung und Leistungsanpassung zu verwenden. Einige der von der REACH-Plattform aktivierten Anwendungen umfassen die kontinuierliche Überwachung der Taktzeit, Echtzeit-Visualisierungen der Gesamteffizienz und die Kontrolle von Fertigungsressourcen in Echtzeit.

→ <https://reach-i4.com>

### 3.3 TREE-TOWER

Das italienische Start-up TREE-TOWER ermöglicht eine intelligente, flexible Fertigung mithilfe einer Reihe von Technologien. Das Start-up nutzt digitale Zwillinge und Virtual Reality (VR) um schnelles Prototyping und das Testen neuer Designs und Materialien zu ermöglichen. Darüber hinaus arbeitet TREE-TOWER an einer Software zur Integration computergestützter Konstruktions- und Engineering-Tools, die die additive Fertigung der endgültigen Konstruktionen ermöglichen.

→ <https://www.tree-tower.eu/#services>

### 3.4 HOCHSCHULE HOF

In einem aktuellen Projekt des neuen Kompetenzzentrums „Digitale Verwaltung“ erschafft die Hochschule Hof einen digitalen Zwilling einer deutschen Behörde. Dieses Abbild soll sowohl für die angewandte Forschung genutzt als auch als virtueller Lernort für die Studierenden sowie als virtuelle Testumgebung für den Einsatz neuer digitaler Technologien in öffentlichen Verwaltungen dienen. Die Forschung zielt zum einen darauf ab, Best Practice Prozesse zu entwickeln, zum anderen neue Technologien zu identifizieren und auf ihre Einsatztauglichkeit in der öffentlichen Verwaltung hin zu untersuchen.

Der digitale Zwilling soll

- für angewandte Forschung zur Verfügung stehen,
- in der Lehre eingesetzt werden und
- öffentlichen Einrichtungen zur Verfügung stehen, um im risikofreien Raum neue Prozesse und Technologien mit anonymisierten Echtdateien zu testen.

→ <https://kompetenzzentrum-digitale-verwaltung.de/forschungsprojekte.html>



### 3.5 VIRTUAL TWINS – PLATFORM FOR INDOOR NAVIGATION

Dieses Unternehmen aus Münster bietet Indoor-Navigationslösungen auf der Basis eines digitalen Zwillings des Gebäudes an. Der digitale Zwilling des Gebäudes oder der Anlage wird von Virtual Twins erstellt und kann später unabhängig von Virtual Twins aktualisiert werden. Die High-End Visualisierung ermöglicht eine einfache Nutzung auf dem Smartphone oder PC.

Anwendungsbranchen sind Kliniken, Messen, Unternehmen und Universitäten, bei denen Besuchern eine einfache Navigation zur Verfügung gestellt wird. Gerade bei vielen Besuchern und einer wechselnden Nutzung von Gebäuden oder Flächen ist eine digitale Navigation einfach anzupassen.

→ [www.virtual-twins.com/en](http://www.virtual-twins.com/en)

### 3.6 FoFeBat – DIGITALER ZWILLING FÜR DIE BATTERIEZELLENFERTIGUNG

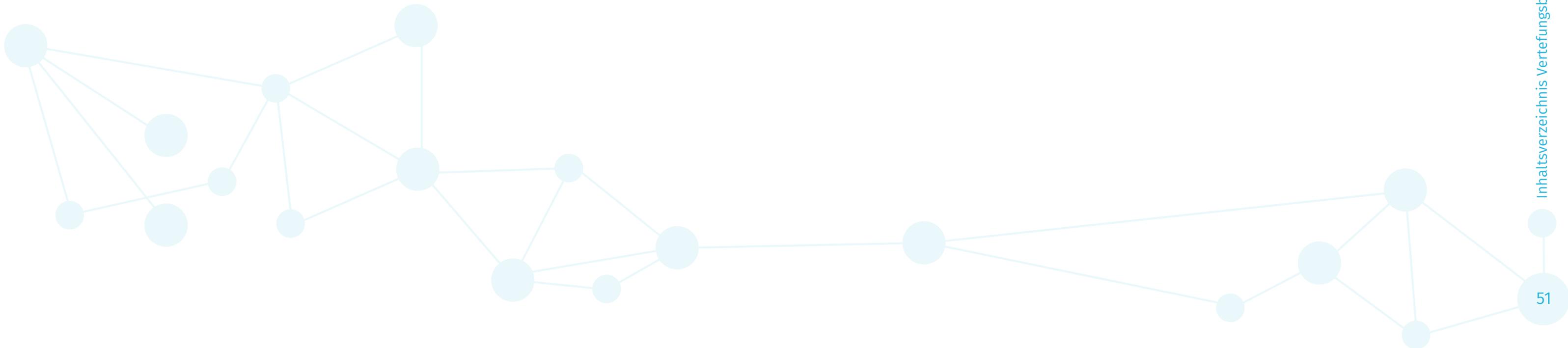
Im Rahmen des Projekts „FoFeBat“ wurde vom Fraunhofer FFB in Münster ein Konzept für die zukünftigen „digitalen Zwillinge“ der Batteriezellenforschung entwickelt. Die Forschenden differenzieren zwischen drei konkreten Anwendungsgebieten für die Batteriezellenfertigung: den Gebäudezwilling, den Anlagenzwilling und den Produkt- beziehungsweise Batteriezellzwilling.

→ [www.electrive.net/2022/01/18/ffb-muenster-konzept-fuer-digitale-zwillinge-steht](http://www.electrive.net/2022/01/18/ffb-muenster-konzept-fuer-digitale-zwillinge-steht)

### 3.7 SMART-CITY-MODELLPROJEKTE IN MÜNSTER

Die Stadt Münster erhält vom Bundesministerium des Innern für Bau und Heimat (BMI) über das Programm „Modellprojekte Smart Cities: Stadtentwicklung und Digitalisierung“ einen Förderzuschlag von rund 9,5 Millionen Euro. Der Zuschlag wurde im Sommer 2021 erteilt. Mit diesem Geld werden insgesamt 12 Smart-City Projekte finanziert. Eines dieser Projekte ist NICO: *NetzInfrastrukturCOckpit*: Entwicklung einer zentralen Datenplattform und eines digitalen Zwillings für städtische Infrastrukturen.

→ [www.muenster.de/pressemitteilungen/web/frontend/index.php?show=1076774](http://www.muenster.de/pressemitteilungen/web/frontend/index.php?show=1076774)



## 4 AUSBLICK MÜNSTERLAND

Die Einsatzmöglichkeiten für digitale Zwillinge sind vielfältig, und dementsprechend wird sich auch (wie oben beschrieben) die Nachfrage auf verschiedenste Industriezweige erstrecken. Dabei sind sowohl Anwendungen für Maschinenbau im weitesten Sinne denkbar, also für allgemeine Fertigungsprozesse in der Produktion, zur Simulation von Prozessen, aber auch für die Simulation von Systemen. Relevante Industrien und Sektoren sind beispielsweise die Luft- und Raumfahrt, Transport und Logistik (von Menschen und Gütern), die Gesundheitsbranche, der Energiesektor, aber auch Landwirtschaft, Bau und Telekommunikation sowie der Einzelhandel.

Schlüsseltechnologien, die hier zu nennen sind, umfassen 5G (und Nachfolger), Augmented/Virtual/Mixed Reality-Anwendungen, KI und Machine Learning sowie allgemein die Fähigkeit zur Analyse großer Datenmengen (bevorzugt in Echtzeit), was sowohl Hard- als auch Software-Anforderungen mit sich bringt. Ebenfalls können Internet of Things-Technologien und -Implementationen eine Rolle spielen; möglicherweise finden sich auch Anwendungen für die Blockchain.

Da der Betrieb von digitalen Zwillingen keine besonderen Anforderungen an Gewerbeflächen stellt, sind hier also vielfältige Ideen im Umfeld der jeweiligen Industrien und Sektoren denkbar. Besonderes Augenmerk wird dann auf data privacy & security gelegt werden müssen, um den Abfluss sensibler (Unternehmens-)Daten auszuschließen. In Münster sind die Rahmenbedingungen für eine Fokussierung auf die Weiterentwicklung und Nutzung von digitalen Zwillingen in ganz unterschiedlichen Bereichen gegeben. Da es sowohl Unternehmen gibt, die hier einen relevanten Beitrag leisten können, als auch Forschungseinrichtungen und Modellprojekte im öffentlichen Raum.

### ZUKUNFTSSZENARIO



#### MÜNSTERLAND KALENDERBLATT 16.07.2031

##### Kommunen erstellen digitale Zwillinge für städtische Infrastruktur

Was für viele Kommunen im Münsterland einst der Übergang zur Smart City war, ist nun der Übergang zur Smart-Twin-City geworden. Dafür werden zentrale Datenplattformen für einen digitalen Zwilling für städtische Infrastrukturen entwickelt. Dieser ermöglicht es beispielsweise Stoffströme im städtischen Bau besser zu managen. Durch die Kooperation mit einem Entwicklungsunternehmen für digitale Zwillinge in produzierenden Unternehmen, entstand die Idee, digitale Zwillinge konsequent bei allen städtischen Baumaßnahmen zu nutzen.

Bereits 2021 wurden digitale Zwillinge für die Produktionsanlagen der Batterieforschungsfabrik des Fraunhofer FFB in Münster erstellt.

Durch die neuen Simulationsmöglichkeiten können die Stoffströme optimal genutzt werden und bei Neubauten kann die Nutzung und die Nachhaltigkeit von Infrastrukturen und Gebäuden verbessert werden. Die digitalen Zwillinge der kommunalen Bauvorhaben werden heute vorab allen Bürger:innen zur Verfügung gestellt. Es können Verbesserungsvorschläge eingebracht werden und erst dann erfolgt die Freigabe.

## 5 AUSGEWERTETE MARKTSTUDIEN

ABI Research (2019): Manufacturing Plant Virtualization, Visualization, and Simulation.  
→ [www.abiresearch.com/market-research/product/1032704-manufacturing-plant-virtualization-visuali](http://www.abiresearch.com/market-research/product/1032704-manufacturing-plant-virtualization-visuali)

ABI Research (2021): Industrial Digital Twins: What's New and What's Next.  
→ [www.abiresearch.com/market-research/product/7779095-industrial-digital-twins-whats-new-and-wha](http://www.abiresearch.com/market-research/product/7779095-industrial-digital-twins-whats-new-and-wha)

Gartner (2019): What to Expect When You're Expecting Digital Twins. Verfügbar unter:  
→ [www.gartner.com/en/documents/3905979](http://www.gartner.com/en/documents/3905979)

Kroker, Michael (2020): Industrie 4.0: Nur 8% der deutschen Unternehmen setzen bereits digitalen Zwilling ein. Kroker's Look @ IT. Verfügbar unter:  
→ <https://blog.wiwo.de/look-at-it/2020/09/23/industrie-4-0-nur-acht-prozent-der-deutschen-unternehmen-setzen-bereits-digitalen-zwilling-ein>

Markets and Markets (2020): Digital Twin Market by Technology, Type (Product, Process, and System), Application (predictive maintenance, and others), Industry (Aerospace & Defense, Automotive & Transportation, Healthcare, and others), and Geography – Global Forecast to 2026. Verfügbar unter:  
→ [www.marketsandmarkets.com/Market-Reports/digital-twin-market-225269522.html](http://www.marketsandmarkets.com/Market-Reports/digital-twin-market-225269522.html)

## 6 ZITIERTE LITERATUR

Boss, Birgit; Malakuti, Somayeh; Lin, Shi-Wan; Usländer, Thomas; Clauer, Erich; Hoffmeister, Michael; Stojanovic, Ljiljana (2018): Digital Twin and Asset Administration Shell Concepts and Application in the Industrial Internet and Industrie 4.0. An Industrial Internet Consortium and Plattform Industrie 4.0 Joint Whitepaper. Hg. v. Birgit Boss und Shi-Wan Lin. Online verfügbar unter:

→ [www.plattform-i40.de/IP/Redaktion/DE/Downloads/Publikation/Digital-Twin-and-Asset-Administration-Shell-Concepts.html](http://www.plattform-i40.de/IP/Redaktion/DE/Downloads/Publikation/Digital-Twin-and-Asset-Administration-Shell-Concepts.html), zuletzt geprüft am 15.02.2022.

VDI Technologiezentrum GmbH (Hg.) (2021): Digitale Zwillinge – Heute schon weit verbreitet, morgen allerorten (VDI Research). Online verfügbar unter:

→ [www.vditz.de/service/publikationen/details/digitale-zwillinge-heute-schon-weit-verbreitet-morgen-allerorten](http://www.vditz.de/service/publikationen/details/digitale-zwillinge-heute-schon-weit-verbreitet-morgen-allerorten), zuletzt geprüft am 15.02.2022.

# Additive Fertigung

## DER WEG ZUR VERNETZTEN PRODUKTION

Eine Zukunfts-Analyse zu ausgewählten Technologie-Trends vom Fraunhofer-Institut für System- und Innovationsforschung in Zusammenarbeit mit den Münsterland Denkfabriken

06/2022

# INHALTSVERZEICHNIS

1	Einleitung.....	57
2	Innovationslandschaft .....	58
2.1	Wissenschaft .....	58
2.2	Wirtschaft.....	59
2.3	Politik und Gesellschaft.....	62
3	Leuchtturm Beispiele.....	63
3.1	Fokusgruppe 3D-Druck im Münsterland.....	63
3.2	FabLab Münster.....	63
3.3	FabLab München.....	64
3.4	FabLab Kamp-Lintfort .....	64
3.5	Netzwerk MGA .....	65
4	Schlussfolgerung.....	66
5	Quellen und weitere Marktstudien .....	67



# 1 EINLEITUNG

Additive Fertigungsverfahren, auch als 3D-Druck bezeichnet, basieren auf der schichtweisen Herstellung von Werkstücken und ersetzen dabei Verfahren, bei denen Material abgetragen wird. Vorteile bestehen nicht nur in der Materialeinsparung, sondern ergeben sich insbesondere durch die Formfreiheit und durch den Verzicht auf Werkzeuge, die aufwendig hergestellt werden müssen, wie z. B. bei Gussformen. Mittlerweile wird eine Vielzahl an Verfahren für ganz unterschiedliche Materialien und Baugrößen in der Einzelteil- und Kleinserienfertigung genutzt. Darüber hinaus können Werkstoffe kombiniert werden und die Materialeigenschaften einzelner Bereiche eines Werkstücks bereits während der Herstellung gezielt optimiert werden.

Die Materialentwicklung spielt eine große Rolle bei der Weiterentwicklung der Technologien, da Fertigungsprozess und Material jeweils genau aufeinander abgestimmt werden müssen. Für Metalle und Kunststoffe werden überwiegend laserbasierte Verfahren eingesetzt, bei denen Pulver punktuell erhitzt wird, während für Keramiken und Photopolymer überwiegend 3D-Druckverfahren eingesetzt werden, bei denen der Werkstoff schichtweise aufgetragen wird.

Einschränkungen für den Einsatz dieser Technologien gibt es im Moment noch bezogen auf die Oberflächenqualität, die Fertigungsdauer und die Materialkosten. Obwohl bereits seit vielen Jahren mit einem umfangreichen Einsatz in der Industrie gerechnet wird, ist die Diffusion bisher langsamer verlaufen als erwartet, weil die bestehenden Produktionsverfahren für große Stückzahlen noch deutlich kostengünstiger sind. Bei der Einzelstückfertigung sind die additiven Verfahren bereits heute oftmals wirtschaftlich – so werden z.B. bei Implantaten diese Verfahren umfangreich genutzt.

**ANSPRECHPARTNER:INNEN  
FRAUNHOFER ISI:**

**Elna Schirrmeister,  
Dr. Philine Warnke und  
Jan Rörden**



## 2 INNOVATIONSLANDSCHAFT

### 2.1 WISSENSCHAFT

Zusammengefasst über alle additiven Fertigungstechnologien zeigt sich in den letzten Jahren ein sehr starker und gleichmäßiger Anstieg der wissenschaftlichen Publikationen. Allein in den letzten 5 Jahren haben sich die Publikationen mehr als verdreifacht. Damit liegt die Dynamik deutlich über der allgemeinen Zunahme der Publikationsaktivitäten.

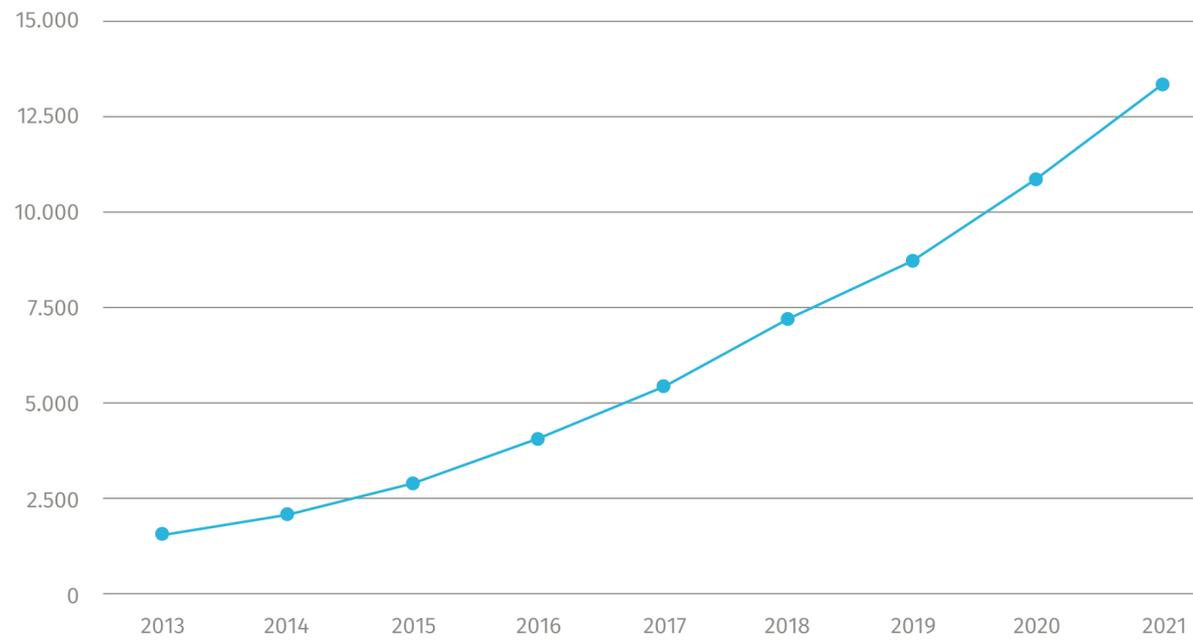


Abbildung 1: Anzahl wissenschaftliche Publikationen weltweit zum Thema additive Fertigungsverfahren

Forschungsinstitute <i>international</i> :	
Huazhong University of Science and Technology	695
Nanyang Technological University	676
Pennsylvania State University	538
Georgia Institute of Technology	508
<b>University of Erlangen-Nuremberg</b>	<b>493</b>
Oak Ridge National Laboratory	470
National University of Singapore	440
Shanghai Jiao Tong University	439
Xi'an Jiaotong University	412
KU Leuven	409
Polytechnic University of Milan	398

Im internationalen Kontext steht Deutschland bei den wissenschaftlichen Publikationen auf Platz drei hinter den USA und China. Die Forschungsaktivitäten verteilen sich auf sehr viele unterschiedliche Akteure in ganz Deutschland. Die deutschen Forschungseinrichtungen kooperieren insbesondere untereinander und mit Partnern aus den USA. Die europäischen Forschungsaktivitäten insgesamt liegen deutlich über den Aktivitäten in den USA.

- United States 15.784
- China 10.002
- Germany 6.117
- United Kingdom 4.527
- India 3.218



Für das Münsterland sind unter regionalen Aspekten insbesondere Forschungseinrichtungen in Aachen und Paderborn zu nennen. Dabei ist jedoch zu berücksichtigen, dass wissenschaftliche Publikationen nur ein Indikator für Forschungsaktivitäten sind und bei weitem nicht alle Forschungsaktivitäten abgedeckt werden.

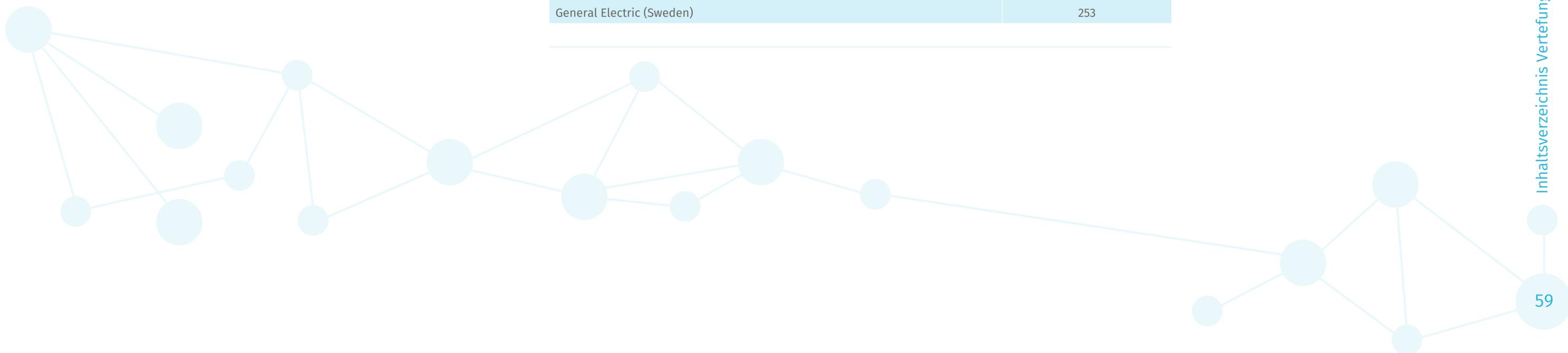
Forschungsinstitute <i>national</i> :	
University of Erlangen-Nuremberg	493
Technical University of Munich	386
<b>RWTH Aachen University</b>	<b>384</b>
Karlsruhe Institute of Technology	253
TU Dresden	216
<b>Fraunhofer Institute for Laser Technology (Aachen)</b>	<b>185</b>
TU Darmstadt	178
Leibniz University Hannover	146
University of Stuttgart	140
Technical University of Berlin	126
<b>University of Paderborn</b>	<b>122</b>

## 2.2 WIRTSCHAFT

Patentanmeldungen werden oftmals genutzt, um die Aktivitäten der Akteure aus Forschung und Wirtschaft zu erfassen. Im Vergleich zu den wissenschaftlichen Veröffentlichungen spielen bei Patentanmeldungen Akteure aus der Wirtschaft eine deutlich größere Rolle.

Bei den Patentanmeldungen im Bereich der additiven Fertigungsverfahren dominieren die Unternehmen gegenüber den Forschungseinrichtungen – insbesondere amerikanische Unternehmen. Mit Siemens ist nur ein deutsches Unternehmen unter den wichtigsten Patentanmeldern vertreten. Die Patente haben sich in den letzten 10 Jahren sehr dynamisch entwickelt.

Patente ( <i>granted and pending</i> ):	
General Electric, (GE Additive, United States)	1.763
United Technologies (United States)	1.000
Hewlett-Packard (United States)	976
<b>Siemens (Germany)</b>	<b>699</b>
Stratasys (United States)	567
Boeing (United States)	490
Applied Materials (United States)	456
Renishaw (United Kingdom)	347
Stratasys (Israel)	282
General Electric (Sweden)	253



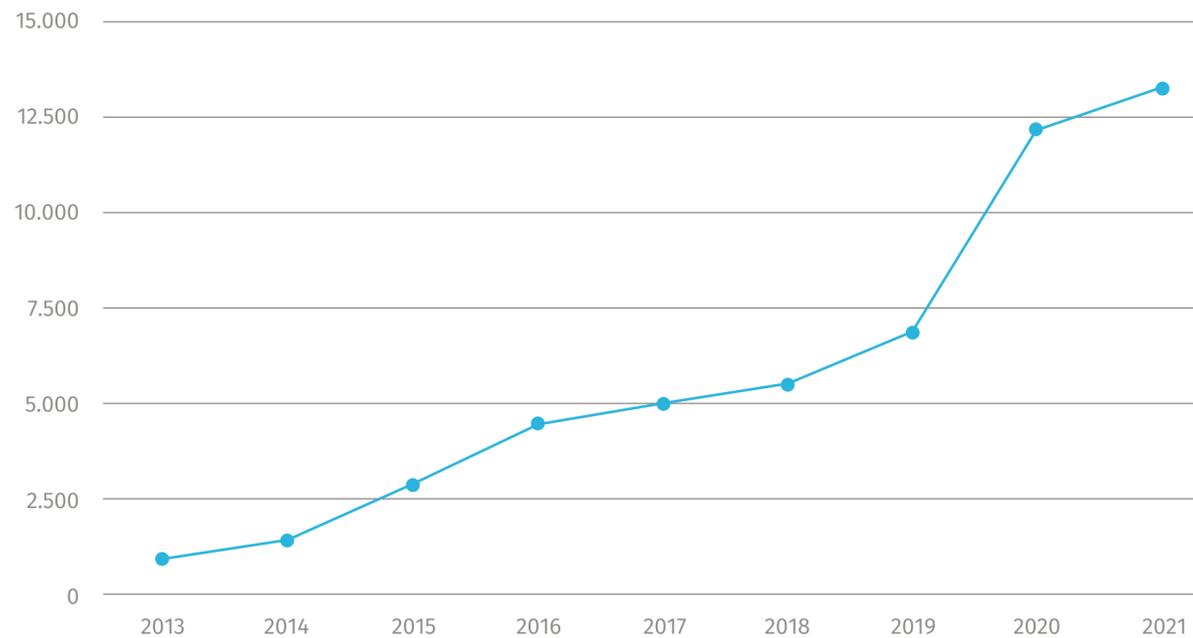


Abbildung 2: Entwicklung der Patentanmeldungen weltweit

Additive Fertigungsverfahren sind nicht auf eine bestimmte Branche fokussiert, sondern es wird ein breiter Einsatz in der Luft- und Raumfahrt, dem Automobilbau, in der industriellen Fertigung, dem Gesundheitswesen, dem Energiesektor und in der Elektronikbranche erwartet. Im Gesundheitswesen hat der Einsatz zunächst im Bereich der Implantatherstellung begonnen, aber aktuell nutzt auch die Pharmaindustrie additive Herstellungsverfahren. Eine Branche, die sehr spezielle Materialien und Technologien einsetzt, ist die Baubranche, da hier besonders große Volumina verarbeitet werden.

Das auf den 3D-Druck spezialisierte Beratungsunternehmen AMPPOWER erwartet bis 2025 ein Marktwachstum von jährlich knapp 30% bei der Metallverarbeitung. Vor allem amerikanische Raketenbauer und Start-ups setzen mittlerweile intensiv die Technologie in der Triebwerksherstellung ein. Die Vorteile ergeben sich hier überwiegend aus der Formfreiheit, die deutlich verbessert ist gegenüber der Herstellung mit Gussverfahren oder durch Materialabtrag (Fräsen, Bohren, Schleifen ...). Der 3D-Metalldruck hat in der nordamerikanischen Region, gefolgt von der europäischen Region, eine enorme technologische

Entwicklung und Akzeptanz erfahren. Die Finanzierungsanalyse von Frost & Sullivan zeigt diese beiden Schwerpunktregionen. Sowohl die Fertigungszeiten als auch die Herstellungskosten sind durch neue Maschinen für die Verarbeitung von Metallen deutlich gesunken. In den letzten 10 Jahren konnten die Kosten pro Volumeneinheit auf ca. 1/3 reduziert werden und es wird erwartet, dass sich diese Entwicklung noch weiter fortsetzen wird. Besonders vielversprechend ist auch die Kombination von generativem Design und Metall 3D-Druck, da der Materialeinsatz geringer wird, Fertigungsschritte entfallen können und der Energieaufwand geringer ist. Gerade für Ersatzteile wird 3D-Metalldruck bereits heute genutzt, da die Lagerkosten reduziert werden können.

Es wird eine Technologiekonvergenz beobachtet, bei der Robotik, Automatisierung, und künstliche Intelligenz zunehmend mit additiven Fertigungsverfahren kombiniert werden. Vor- und nachgelagerte Arbeitsschritte können dadurch integriert werden. So kann z.B. die Auslegung von Teilen, die mit additiven Verfahren hergestellt werden, durch KI unterstützt werden und die nachgelagerte Oberflächenbearbeitung kann automatisiert abgeschlossen werden.

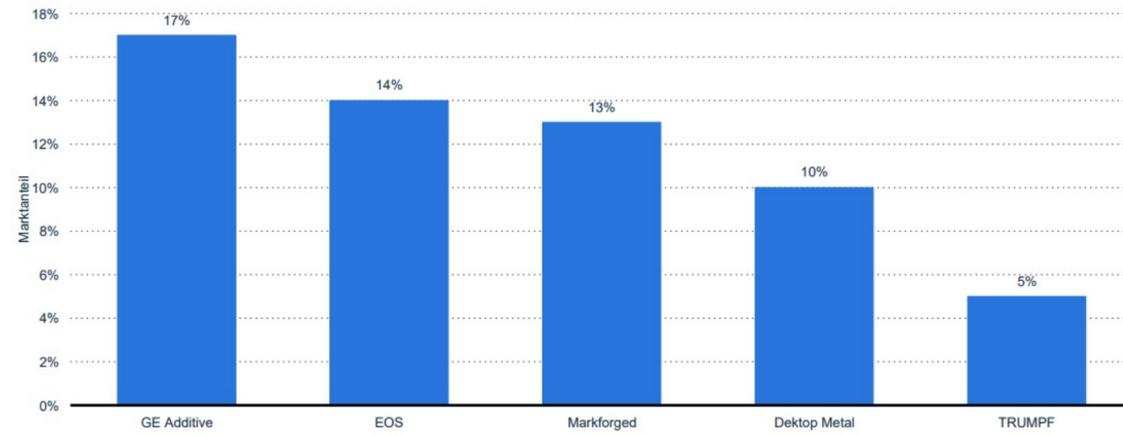
Mit EOS und Trumpf haben zwei der weltweit größten Hersteller von Metall-3D-Druckern ihren Hauptsitz in Deutschland, aber noch zahlreiche weitere deutsche Unternehmen sind in diesem Bereich tätig, so entwickelt z.B. BASF Fillamente für den 3D-Druck. Insgesamt gibt es in Deutschland ein vielfältiges Innovationssystem, das sowohl Forschungseinrichtungen, als auch Start-ups und Großunternehmen umfasst.



Inhaltsverzeichnis Vertefungsbericht 3

WICHTIGSTE HERSTELLER VON METALL-3D-DRUCKERN NACH MARKTANTEIL 2019

Metall-3D-Druck-Unternehmen weltweit nach Marktanteil



Hinweis(e): Weltweit  
 Weitere Angaben zu dieser Statistik, sowie Erläuterungen zu Fußnoten, sind auf Seite 70 zu finden.  
 Quelle(n): Context, ID 1168464

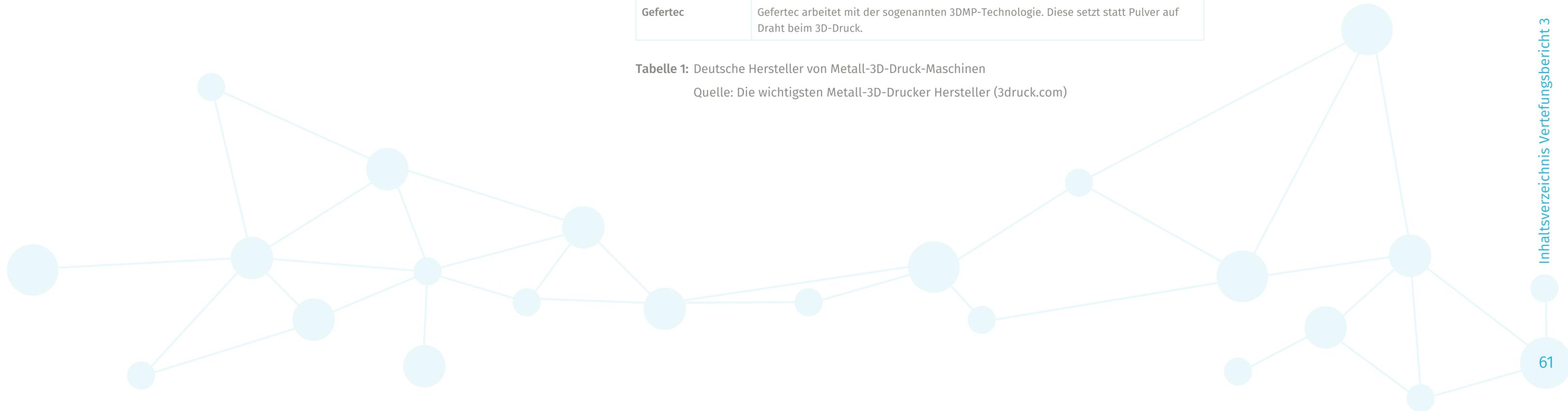
Unternehmen **statista**

Abbildung 3: Wichtigste Hersteller von Metall-3D-Druckern, Quelle Statista

<b>EOS</b>	EOS ist eines der führenden Unternehmen der Lasertechnologie. Die Firma ist weltweit vertreten und wurde schon 1989 gegründet. Neben Metall-Systeme hat EOS auch Systeme für Kunststoffe im Angebot.
<b>SLM Solutions</b>	Das Unternehmen wurde 2006 gegründet und ist einer der größten Hersteller von Metall-3D-Drucker. 2016 wollte GE SLM Solutions übernehmen.
<b>Trumpf</b>	Das deutsche Unternehmen ist seit Jahren für Werkzeugmaschinen bekannt. 2015 kamen 3D-Druckmaschinen für metallische Bauteile hinzu. Insgesamt hat Trumpf um die 200 Mitarbeiter, die sich um den 3D-Druck-Bereich kümmern. 2017 wurde eine eigene Einheit in Aachen gegründet, welche sich mit AM-Technologien beschäftigt.
<b>DMG Mori</b>	Das Unternehmen hat 2013 mit Lasertec 65 ein hybrides 3D-Metall-System präsentiert, welches Directed Energy Deposition mit CNC Fräsen kombiniert. 2017 wurde mit Lasertec 30 SLM mit Realizer entwickelt. Die Maschine setzt auf das Selective Laser Melting Verfahren. 2017 wurde auch eine Mehrheit von Realizer übernommen.
<b>OR Laser</b>	Der deutsche Hersteller von industriellen Lasersystemen hat 2016 einen Metall-3D-Drucker Oracle Creator vorgestellt, der auf ein Powder Bed Fusion System setzt. 2017 wurde ein Hybrid-System vorgestellt.
<b>Aim3D</b>	Das deutsche Start-up hat einen 3D-Drucker auf den Markt gebracht, der mit Hilfe des FFF-Verfahren und konventionellem Spritzgussgranulat Metallteile herstellen kann.
<b>Gefertec</b>	Gefertec arbeitet mit der sogenannten 3DMP-Technologie. Diese setzt statt Pulver auf Draht beim 3D-Druck.

Tabelle 1: Deutsche Hersteller von Metall-3D-Druck-Maschinen

Quelle: Die wichtigsten Metall-3D-Drucker Hersteller (3druck.com)



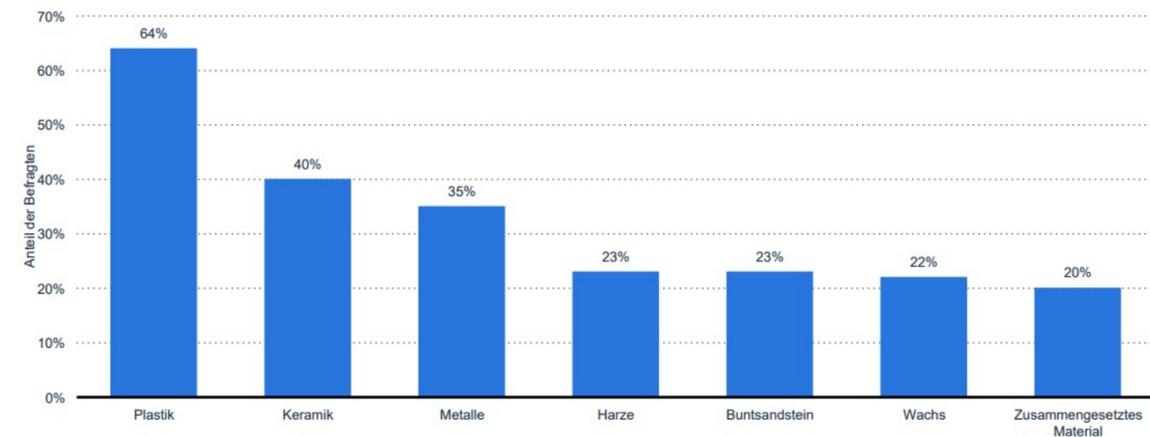
Die dynamische Entwicklung im Bereich der additiven Fertigungsverfahren könnte in den nächsten Jahren durch steigende Energie- und Logistikkosten gefördert werden. Damit könnte eine Verlagerung von Produktionsstätten in die Nähe der Absatzmärkte einhergehen. Bei der Umstrukturierung der Wertschöpfungsketten, die während der Corona-Pandemie unter Druck geratenen sind, könnten additive Fertigungsverfahren einen Beitrag leisten zur Flexibilisierung von Lieferketten.

Für den Polymerbereich wird eine Wachstumsrate von ca. 15% erwartet. In diesem Bereich könnte die zunehmende Massenindividualisierung eine Rolle spielen. Beispiele für diese Entwicklung finden sich nicht nur im medizinischen Bereich, sondern zunehmend auch im Mode-Bereich (z.B. Herstellung von Schuhen nach Maß und Design-Wünschen).

3D-Druck für Metalle und Polymere zusammen könnten 2025 demnach bei einem Marktvolumen von 17 Mrd. € liegen. Der Wohlers-Report zum 3D-Druck-Markt hat für die letzten 10 Jahre ein jährliches Wachstum von ca. 28% ausgewiesen (Ausnahme 2020 auf Grund der Pandemie).

### MEISTGENUTZTE MATERIALIEN BEIM 3D-DRUCK IM JAHR 2020

3D-Druck-Umfrage zu den meistgenutzten Materialien 2020



Hinweis(e): Weltweit, 2020, über 1.600 Befragte aus 71 Ländern  
Weitere Angaben zu dieser Statistik, sowie Erläuterungen zu Fußnoten, sind auf Seite 55 zu finden.  
Quelle(n): Sculpteo; ID 760387

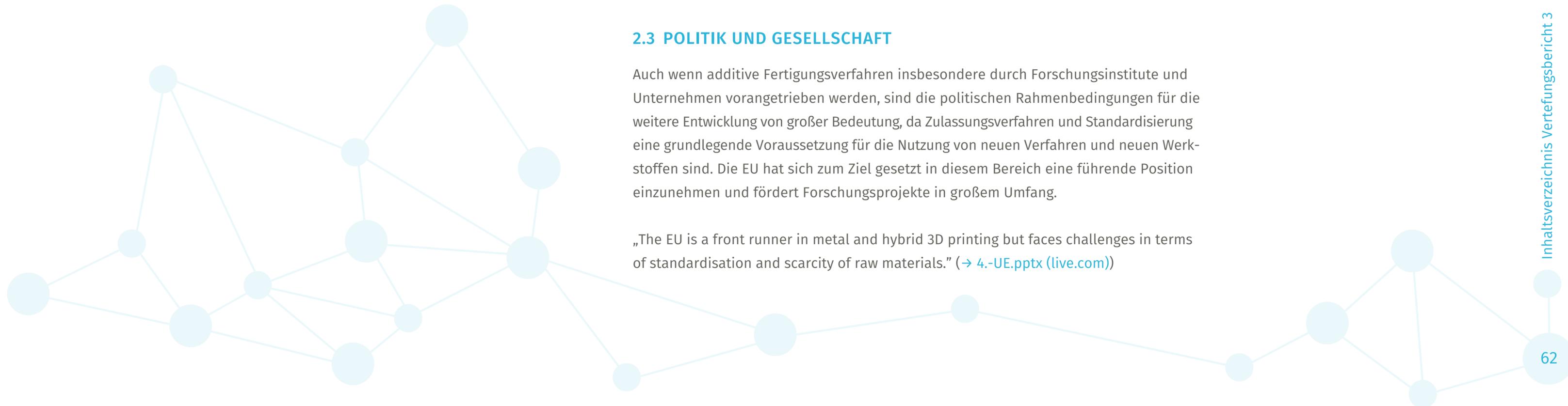
Industrielle Nutzung statista

Abbildung 4: Meistgenutzte Materialien beim 3D-Druck im Jahr 2020, Quelle Statista

### 2.3 POLITIK UND GESELLSCHAFT

Auch wenn additive Fertigungsverfahren insbesondere durch Forschungsinstitute und Unternehmen vorangetrieben werden, sind die politischen Rahmenbedingungen für die weitere Entwicklung von großer Bedeutung, da Zulassungsverfahren und Standardisierung eine grundlegende Voraussetzung für die Nutzung von neuen Verfahren und neuen Werkstoffen sind. Die EU hat sich zum Ziel gesetzt in diesem Bereich eine führende Position einzunehmen und fördert Forschungsprojekte in großem Umfang.

„The EU is a front runner in metal and hybrid 3D printing but faces challenges in terms of standardisation and scarcity of raw materials.“ (→ [4.-UE.pptx \(live.com\)](#))



# 3 LEUCHTTURM-BEISPIELE

## 3.1 FOKUSGRUPPE 3D-DRUCK IM MÜNSTERLAND

Im Rahmen der Fokusgruppe „3D-Druck“ tauschen sich produzierende Unternehmen aus dem Münsterland zu additiven Fertigungstechnologien und darauf basierenden Geschäftsmodellen aus. Die Fokusgruppe wurde im Jahr 2021 gestartet und wird voraussichtlich noch bis September 2022 weitere Treffen organisieren. Im Rahmen der Fokusgruppe wurden sowohl internationale Marktführer als auch Start-ups aus der Region Münsterland miteinander vernetzt. Die Fokusgruppe war nicht auf ein bestimmtes Verfahren oder eine bestimmte Branche fokussiert, sondern breit angelegt.



Im Rahmen der Fokusgruppe zum Thema ‚3D-Druck‘ tauschen sich produzierende Unternehmen aus dem Münsterland über additive Fertigungs-Technologien und darauf basierende Geschäftsmodelle aus.

Du möchtest mehr über unsere Fokusgruppen erfahren oder selbst eine starten? Melde dich gern bei uns.

Abbildung 6: Fokusgruppe 3D-Druck im Münsterland, Quelle: Fokusgruppe 3D-Druck Digitalradar münsterLAND (→ [digitalradar-muensterland.de](https://digitalradar-muensterland.de))

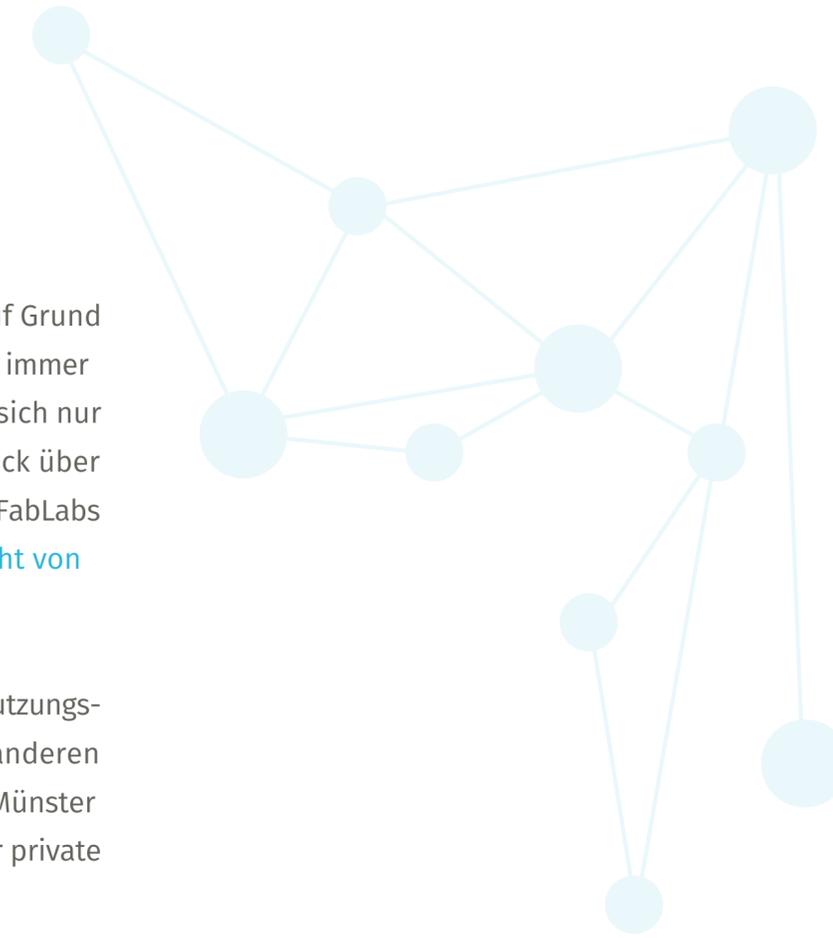
## 3.2 FabLab MÜNSTER

Viele FabLabs sind auf bestimmte Materialien und Produkte spezialisiert, aber auf Grund der vielfältigen Einsatzmöglichkeiten von additiven Fertigungsverfahren werden fast immer auch 3D-Druck-Möglichkeiten angeboten. Das Onlinemagazin → [3Druck.com](https://3Druck.com), das sich nur mit additiven Fertigungsverfahren beschäftigt, gibt nicht nur einen guten Überblick über die aktuellen Forschungstrends, sondern bietet auch eine Übersicht zu den über 60 FabLabs in Deutschland, die sich mit diesen Fertigungsverfahren beschäftigen (→ [Übersicht von Forschungsinstituten und FabLabs – 3Druck.com](#)).

Auch das FabLab Münster bietet die Möglichkeit 3D-Drucker zu nutzen. Neben der Nutzungsmöglichkeit werden auch Schulungen angeboten und durch die Verbindung mit anderen Technologien ergeben sich ganz neue Wertschöpfungsmöglichkeiten. Das FabLab Münster wendet sich an Maker, Student:innen und Unternehmen und kann damit sowohl für private Interessen als auch für professionelle Zwecke genutzt werden.



Abbildung 7: Zielsetzung des FabLab Münster mit Bezug zu additiven Fertigungsverfahren, Quelle: → <https://fablab-ms.de/about>



### 3.3 FabLab MÜNCHEN

Ein Beispiel für ein FabLab, das bereits vor 10 Jahren gegründet wurde und mit 400 Mitgliedern zu den größeren FabLabs gehört, ist das FabLab in München (3D-Druck (→ [fablab-muenchen.de](http://fablab-muenchen.de)). Hier werden viele unterschiedliche 3D-Drucker genutzt. Trotz der Formfreiheit beim 3D-Druck zeigt sich, dass für die Nutzung von 3D-Druck in unterschiedlichen Kontexten sehr unterschiedliche Maschinen und Anlagen geeignet sind.

#### 3D-Drucker im FabLab München:

- 7 Ultimaker
- 2 Lulzbot TAS 6
- 3 Prusa i3 MK3
- 2 Delta Kossels
- 1 Creatbot DX Plus Dual Extruder
- 1 Formlabs Form1+
- 1 Formlabs Form2

### 3.4 FabLab KAMP-LINTFORT

Das FabLab in Kamp-Lintfort, das an die Hochschule angebunden ist, bietet z.B. die Nutzung von 16 unterschiedlichen 3D-Druckern (siehe Bild, Fab Tools – FabLab Kamp-Lintfort (→ <https://fablab.hochschule-rhein-waal.de/fab-tools>). Andere FabLabs, die alle auch 3D-Druck anbieten, sind aus Fahrrad-Repaircafés hervorgegangen, an Fraunhofer Institute angeschlossen oder gehören zum Chaos-Computer Club.

The screenshot shows the website for FabLab Kamp-Lintfort, which is part of Hochschule Rhein-Waal. The page is titled 'Unsere Tools' and lists various equipment available in the lab. The navigation menu includes 'ÜBER UNS', 'VISIER', 'FAB ACTIVITIES', 'FAB MOMENTS', and 'KONTAKT'. There is also a small UK flag icon.

**Unsere Tools**

Das FabLab Kamp-Lintfort erstreckt sich über 2 Etagen, auf insgesamt ca. 600m<sup>2</sup>. In der oberen Etage befindet sich öffentlicher Bereich des FabLab. Hier stehen Maschinen zur Nutzung bereit und es existieren verschiedene Arbeits- und Seminarbereiche, welche nachfolgend ausführlicher beschrieben sind. Die Technikhalle im Erdgeschoss beheimatet primär großformatige Maschinen und Arbeitsbereiche in denen üblicherweise mehr Dreck und Lärm anfällt. Teilweise erfordern die hier positionierten Maschinen und Werkzeuge eine besondere Qualifikation, welche die persönliche Benutzung gestattet.

In der ersten Etage des Gebäude 3 befinden sich folgenden Arbeitsbereiche:

- 3D Drucker (16 unterschiedliche Drucker stehen bereit)
- 3D Scanner (4 verschiedene Scanner)
- 3D Modellierung (PC-Arbeitsplätze mit Digitizer-Boards, etc.)
- CNC Fräse (4-Achs und 5-Achs)
- Laserschneider
- Formen & Gießen (Vakuum-Tiefziehanlage, Vakuumgießanlage, Temperöfen)
- Plotter & Cutter (1 Großformat-Plotter/Cutter, 1 Desktop-Cutter)
- Elektronik & Löten
- Kleinmaschinen (div. Proxxon)

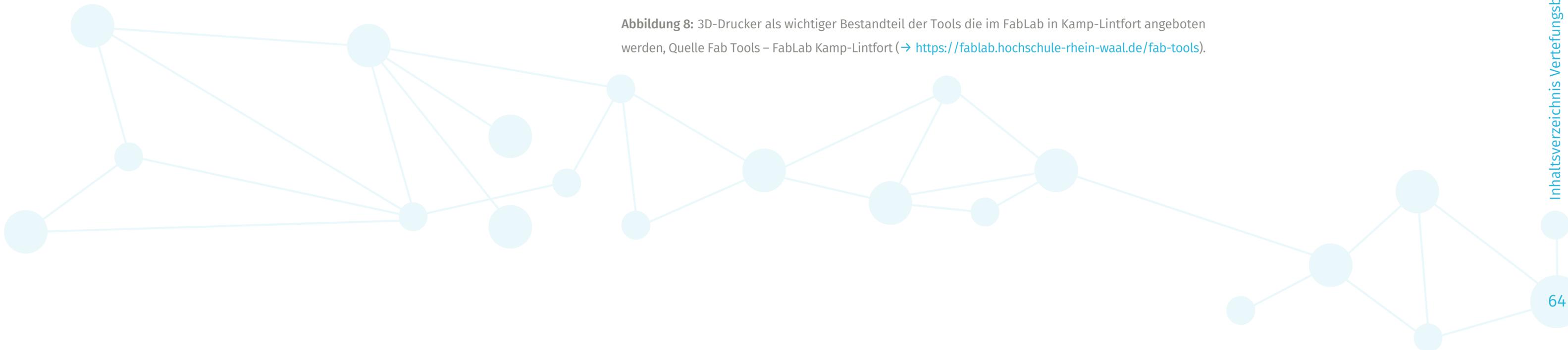
- Textilbearbeitung (CNC Stickmaschine, Nähmaschine, Thermotransferpresse)
- 5 Werkzeuge (3x Metallbearbeitung, 2x Elektrowerkzeug)
- 2 Workshop- bzw. Gruppenarbeitsplätze (je mit 55" Monitoren)
- diverse Handmaschinen
- weitere technische Ausstattung

In dem Erdgeschoss befinden sich weitere Arbeitsbereiche für:

- 3D Druck (Großformat)
- Holzbearbeitung, konventionell (Formatkreissäge, Bandsäge, Abriecher/Hobel, Standbohrmaschine, div. Handmaschinen und Werkzeuge)
- CNC Holz- und Metallbearbeitung (Portalfräse)
- Metallbearbeitung, konventionell (Oberfräse, Drehbank, Kantbank, Kappsäge, Gehrungssäge, stat. Schleifmaschinen)
- Schweißen (Elektro, MIG, MAG, WIG)
- Vakuum-Tiefziehanlage (Großformat)
- diverse Handmaschinen
- weitere technische Ausstattung

Nachfolgend findet sich eine bebilderte Auflistung der Maschinen entsprechend der oben beschriebenen Bereiche.

Abbildung 8: 3D-Drucker als wichtiger Bestandteil der Tools die im FabLab in Kamp-Lintfort angeboten werden, Quelle Fab Tools – FabLab Kamp-Lintfort (→ <https://fablab.hochschule-rhein-waal.de/fab-tools>).



### 3.5 NETZWERK MGA

Neben den eher kleineren regional ausgerichteten FabLabs gibt es auch größere Netzwerke, die sehr viel stärker auf die Nutzung von 3D-Druck im professionellen Umfeld ausgerichtet sind. In Deutschland ist insbesondere das in Berlin angesiedelte Netzwerk MGA zu nennen, das zwei Arbeitsgruppen umfasst „Mobility goes Additive“ und „Medical goes Additive“. Insgesamt hat sich Berlin innerhalb von Deutschland zu einem Zentrum für additive Fertigung entwickelt (auch wenn sich dies nicht in den wissenschaftlichen Publikationen gezeigt hat). Hier findet z. B. im März das 6. Additive Manufacturing Forum Berlin 2022 statt, an dem sich 135 Unternehmen beteiligen und mehr als 3000 Teilnehmende angemeldet sind.



Abbildung 9: mga, ein internationales Netzwerk für industrielle additive Fertigung, Quelle: → <https://mga-net.com/?lang=de>



## 4 SCHLUSSFOLGERUNG

Über die Fokusgruppe 3D-Druck wurde bereits ein Austausch zwischen Forschung und Unternehmen in der Region angestoßen, bei dem sich unterschiedliche Akteure über die Einsatzmöglichkeiten und über die Erfahrungen austauschen konnten. Ergänzend wurde das FabLab Münster aufgebaut, das einen praktischen Zugang zu diesen Technologien für ganz unterschiedliche Personengruppen und Unternehmen bietet. Eine Fortsetzung und Verstärkung dieser Aktivitäten könnte förderlich sein und durch weitere Aktivitäten ergänzt werden. Insbesondere der Übergang von einer Nutzung im privaten und wissenschaftlichen Kontext, hin zu einer wirtschaftlichen Nutzung der Anlagen im FabLab könnte weitere Unterstützung erfordern.

Additive Fertigungsverfahren können in sehr unterschiedlichen Branchen und Kontexten eingesetzt werden und bieten die Möglichkeit zur Regionalisierung von Wertschöpfungsketten mit einem Fokus auf kleineren Losgrößen. In den letzten Jahren haben sich die Forschungsaktivitäten darauf fokussiert auch nachhaltige Materialien für den 3D-Druck zur Verfügung zu stellen, sodass zukünftig dieser Aspekt auch abgedeckt werden kann. Diese spezifischen Merkmale der additiven Fertigungsverfahren sind besonders passfähig zur Wirtschaftsstruktur im Münsterland. Vorstellbar wäre z. B. der Ausbau des FabLabs zu einem regionalen Zentrum für nachhaltige, additive Fertigung als Kooperation zwischen Forschung und Unternehmen mit dem Ziel, Test-, Fertigungs- und Service-Möglichkeiten sowohl für Privatpersonen als auch für Unternehmen anzubieten. Um die unterschiedlichen Einsatzmöglichkeiten abdecken zu können, müssen Anlagen für alle Materialien mit unterschiedlichen Bauteildimensionen zur Verfügung gestellt werden und auch eine professionelle Betreuung der Anlagen ist erforderlich.

Ähnlich dem mga-Netzwerk in Berlin, das sich zunächst auf den Bereich Mobilität fokussiert hatte und dann den Bereich Medical aufgebaut hat, könnte man im Münsterland spezifische Anwendungsbereiche mit einer guten Passfähigkeit zur Region identifizieren und sich zu-

nächst auf Anlagen fokussieren, welche die in diesem Kontext üblichen Materialien verarbeiten können. Dabei könnten nachwachsende und Recycling-Materialien besondere Aufmerksamkeit bekommen, um sich hier als Vorreiter zu positionieren.

### ZUKUNFTSSZENARIO



#### MÜNSTERLAND KALENDERBLATT 20.01.2031

Heute vor 10 Jahren wurde die Initiative Additives Münsterland gegründet. Um die Potenziale dieser Technologien, die damals erst in den Kinderschuhen steckten, den Unternehmen näher zu bringen und einen kreativen Austausch zwischen den Akteuren zu fördern, wurde zunächst das Technikum Additive Care aufgebaut.

Gemeinsam mit Akteuren aus dem Pflegebereich wollte man neue Produkte entwickeln und testen, die an die individuellen Besonderheiten der Pflegebedürftigen angepasst waren. Während man bei Implantaten schon länger 3D-Druck nutzte und man im Hochleistungssport schon mit 3D-Druck gefertigte Turnschuhe hatte, war dies damals für viele Produkte in der Pflege noch nicht der Fall.

Einige Jahre später wurde dann das Technikum um den Bereich Additive Farming ergänzt. Zunächst ging es vor allen Dingen um die Herstellung von Ersatzteilen in der Landwirtschaft und damit um die Lebensdauerverlängerung. Der Wandel der Landwirtschaft hin zum Precision Farming förderte und erforderte jedoch gerade in den Jahren nach 2025 Innovationen in allen Bereichen der Nahrungsmittelherstellung und diese konnten durch 3D-Druck mit geringem Aufwand erprobt und auch hergestellt werden.

## 5 QUELLEN UND WEITERE MARKTSTUDIEN

ABI Research (2019): Additive Manufacturing Market Tracker. Verfügbar unter:

→ [www.abiresearch.com/market-research/product/1032412-additive-manufacturing-market-tracker](http://www.abiresearch.com/market-research/product/1032412-additive-manufacturing-market-tracker)

ABI Research (2019): Additive Manufacturing Platforms Competitive Assessment.

Verfügbar unter: → [www.abiresearch.com/market-research/product/1032403-additive-manufacturing-platforms-competiti](http://www.abiresearch.com/market-research/product/1032403-additive-manufacturing-platforms-competiti)

Frost & Sullivan (2020): Growth Opportunities in Robotics and Additive Manufacturing.

Verfügbar unter: → <https://member.frost.com/login?reportID=D718-00-85-00-00>

Frost & Sullivan (2020): Expanding Applications for Additive Manufacturing: The Road Ahead.

Verfügbar unter: → <https://member.frost.com/login?reportID=D965-01-00-00-00>

Journal of Materials Research and Technology 6(1) (2017): 3D metal droplet printing development and advanced materials additive manufacturing. Verfügbar unter:

→ [www.researchgate.net/publication/312649901\\_3D\\_metal\\_droplet\\_printing\\_development\\_and\\_advanced\\_materials\\_additive\\_manufacturing](http://www.researchgate.net/publication/312649901_3D_metal_droplet_printing_development_and_advanced_materials_additive_manufacturing)

Statista GmbH (2020): Additive Fertigung. Verfügbar unter: → <https://de.statista.com/statistik/studie/id/29177/dokument/additive-fertigung-statista-dossier>

Statista GmbH (2020): Studie über den 3D-Druck Markt 2020. Verfügbar unter:

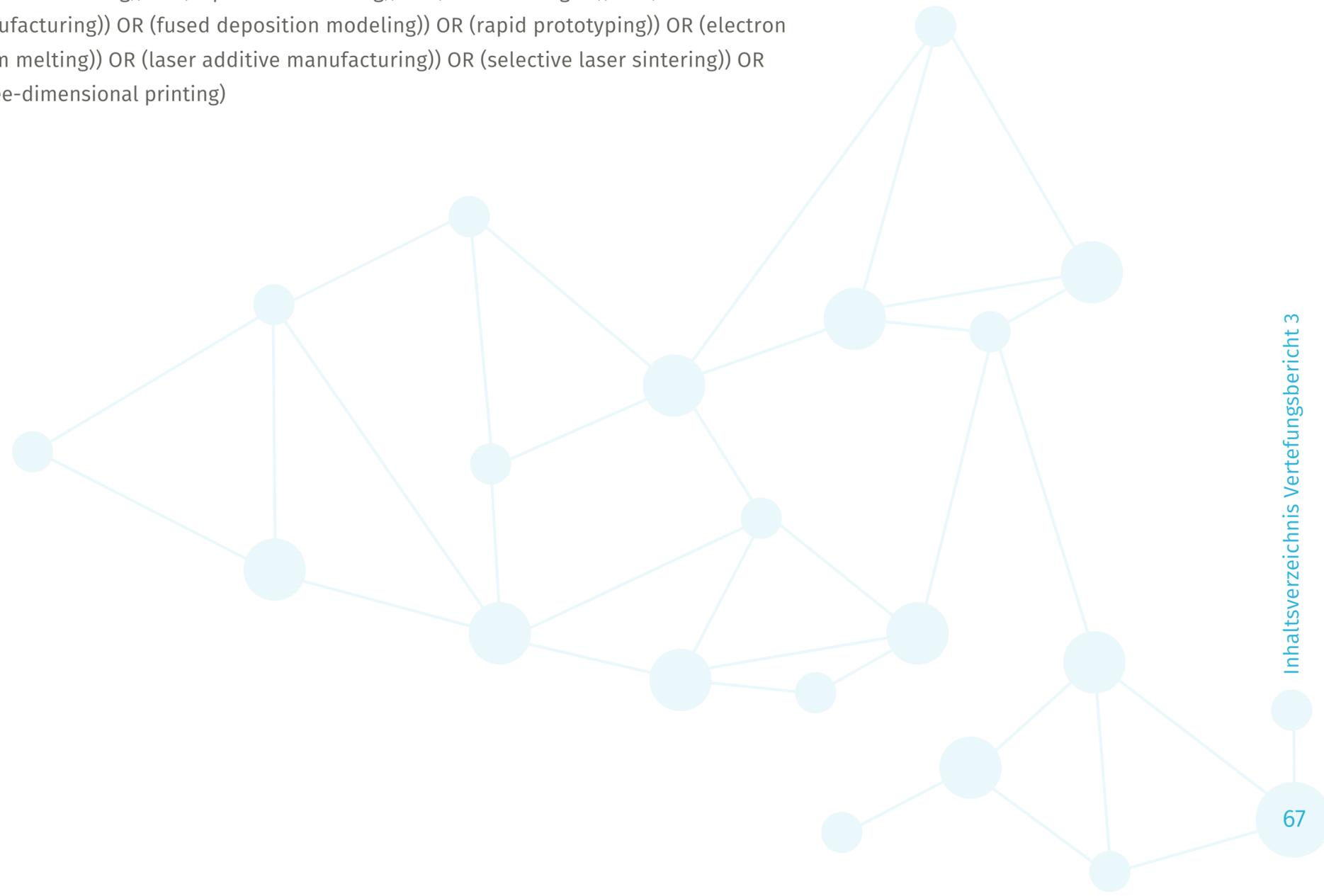
→ <https://de.statista.com/statistik/studie/id/78977/dokument/studie-ueber-den-3d-druck-markt-2020>

Strategic Business Insights (2019): Metal-Droplet Additive Manufacturing. Market Report.

Verfügbar unter: <http://www.strategicbusinessinsights.com/explorer/NC-techmap.shtml>

Suchstring:

((additive fertigungsverfahren) OR (3d-druck) OR (3d druck) OR (3-d druck) OR (3d print) OR (3-d print) OR (additive manufacturing) OR (additive manufacturing process) OR (additive manufacturing method)) OR (selective laser melting)) OR (additive manufacturing techniques)) OR (powder bed fusion)) OR (AM processes)) OR (laser powder bed fusion)) OR (laser sintering)) OR (deposition modeling)) OR (AM technologies)) OR (metal additive manufacturing)) OR (fused deposition modeling)) OR (rapid prototyping)) OR (electron beam melting)) OR (laser additive manufacturing)) OR (selective laser sintering)) OR (three-dimensional printing)



**KONTAKT:**

Münsterland e.V.

Telefon +49 2571 94 93 27

[buedding@muensterland.com](mailto:buedding@muensterland.com)

[raiber@muensterland.com](mailto:raiber@muensterland.com)

[www.muensterland.com](http://www.muensterland.com)

**PROJEKTPARTNER WIRTSCHAFTSFÖRDERUNG:**



**PROJEKTPARTNER TRANSFER:**



**PROJEKTPARTNER INNOVATIONSKOMPETENZFELDER:**



**FÖRDERER:**



**UNTERSTÜTZER:**



**PROJEKTLEAD:**



