

Fraunhofer-Forschungsfokus



Reimund Neugebauer *Hrsg.*

# Digitalisierung

Schlüsseltechnologien  
für Wirtschaft & Gesellschaft

---

Digitalisierung

Schlüsseltechnologien  
für Wirtschaft und Gesellschaft

---

Fraunhofer-Forschungsfokus:

Reimund Neugebauer

# Digitalisierung

Schlüsseltechnologien  
für Wirtschaft und Gesellschaft

1. Auflage



Springer Vieweg

Reimund Neugebauer  
Zentrale der Fraunhofer-Gesellschaft,  
München, Germany

ISBN 978-3-662-55889-8

ISBN 978-3-662-55890-4 (eBook)

Die Deutsche Nationalbibliothek verzeichnet diese Publikation in der Deutschen Nationalbibliografie; detaillierte bibliografische Daten sind im Internet über <http://dnb.d-nb.de> abrufbar.

Springer Vieweg

© Springer-Verlag GmbH Deutschland 2018, korrigierte Publikation 05/2018

Das Werk einschließlich aller seiner Teile ist urheberrechtlich geschützt. Jede Verwertung, die nicht ausdrücklich vom Urheberrechtsgesetz zugelassen ist, bedarf der vorherigen Zustimmung des Verlags. Das gilt insbesondere für Vervielfältigungen, Bearbeitungen, Übersetzungen, Mikroverfilmungen und die Einspeicherung und Verarbeitung in elektronischen Systemen.

Die Wiedergabe von Gebrauchsnamen, Handelsnamen, Warenbezeichnungen usw. in diesem Werk berechtigt auch ohne besondere Kennzeichnung nicht zu der Annahme, dass solche Namen im Sinne der Warenzeichen und Markenschutz-Gesetzgebung als frei zu betrachten wären und daher von jedermann benutzt werden dürften.

Der Verlag, die Autoren und die Herausgeber gehen davon aus, dass die Angaben und Informationen in diesem Werk zum Zeitpunkt der Veröffentlichung vollständig und korrekt sind. Weder der Verlag noch die Autoren oder die Herausgeber übernehmen, ausdrücklich oder implizit, Gewähr für den Inhalt des Werkes, etwaige Fehler oder Äußerungen.

Gedruckt auf säurefreiem und chlorfrei gebleichtem Papier

Springer Vieweg ist Teil von Springer Nature

Die eingetragene Gesellschaft ist „Springer-Verlag GmbH Berlin Heidelberg“

---

# Inhaltsverzeichnis

<b>1</b>	<b>Digitale Information – der „genetische Code“ moderner Technik . . .</b>	<b>1</b>
1.1	Einleitung: Digitalisierung als hochdynamischer Prozess . . . . .	1
1.2	Der „genetische Code“ moderner Technik . . . . .	2
1.3	Die Dynamik des digitalen Alltags . . . . .	3
1.4	Resilienz und Sicherheit . . . . .	5
1.5	Fraunhofer forscht für die Anwendung . . . . .	6
<b>2</b>	<b>Digitalisierung – Anwendungsfelder und Forschungsziele . . . . .</b>	<b>9</b>
2.1	Einleitung . . . . .	9
2.2	Datenanalyse und Datenübertragung . . . . .	10
2.3	Arbeit und Produktion . . . . .	12
2.4	Sicherheit und Resilienz . . . . .	15
<b>3</b>	<b>Virtuelle Realität in Medien und Technik . . . . .</b>	<b>19</b>
3.1	Einleitung: Digitalisierung realer Objekte am Beispiel von Kulturgütern . . . . .	19
3.1.1	Automatisierung des 3D-Digitalisierungsprozesses mittels CultLab3D . . . . .	21
3.1.2	Ergebnisse, Anwendungsszenarien und Weiterentwicklung . . . . .	25
3.2	Virtual und Augmented Reality-Systeme optimieren Planung, Konstruktion und Produktion . . . . .	27
3.2.1	Virtual Reality . . . . .	27
3.2.2	Augmented Reality . . . . .	30
3.2.3	Visualisierung über Linked-3D-Data-Schemas . . . . .	34
3.2.4	Integration von CAD-Daten in AR . . . . .	37
3.2.5	Augmented-Reality-Tracking . . . . .	38
3.2.6	Tracking as a Service . . . . .	39
<b>4</b>	<b>Verarbeitung von Videodaten . . . . .</b>	<b>43</b>
4.1	Einleitung: Die Bedeutung von Video in der Digitalen Welt . . . . .	43
4.2	Videoverarbeitung am Fraunhofer Heinrich-Hertz-Institut . . . . .	47
4.3	Kompressionsverfahren für Videodaten . . . . .	48
4.4	Dreidimensionale Videoobjekte . . . . .	55
4.5	Ausblick . . . . .	59

<b>5</b>	<b>Audiocodecs</b> .....	65
5.1	Einleitung: Der Traum von High Fidelity .....	65
5.2	Hi-Fi Technologien von analog bis digital .....	66
5.3	Aktuelle Forschungsschwerpunkte .....	68
5.3.1	Gehör und Gehirn .....	68
5.3.2	Vom Audiokanal zum Audioobjekt .....	70
5.3.3	Audioobjekte in der praktischen Umsetzung .....	72
5.4	Ausblick .....	78
<b>6</b>	<b>Digitaler Rundfunk</b> .....	81
6.1	Einleitung .....	81
6.2	Frequenzökonomie ermöglicht mehr Sender .....	82
6.3	Programmviefalt .....	83
6.4	Neuartige Dienste: Von Stauwarnungen bis Katastrophenschutz ..	84
6.5	Diskriminierungsfreier Zugang .....	86
6.6	Hybride Anwendungen .....	86
6.7	Ausblick .....	86
<b>7</b>	<b>5G-Datentransport mit Höchstgeschwindigkeit</b> .....	89
7.1	Einleitung: Generationen der Mobilkommunikation – von 2G zu 5G .....	90
7.2	5G-Vision und neue technische Herausforderungen .....	92
7.3	Technische Kernkonzepte: Spektrum, Technologie und Architektur .....	97
7.4	5G-Forschung am Fraunhofer HHI .....	104
7.5	Ausblick .....	108
<b>8</b>	<b>Industrial Data Space</b> .....	113
8.1	Einleitung: Digitalisierung der Industrie und die Rolle der Daten ..	114
8.2	Industrial Data Space .....	116
8.2.1	Anforderungen und Ziele .....	116
8.2.2	Referenzarchitekturmodell .....	118
8.2.3	Stand der Entwicklungen .....	120
8.3	Fallstudien zum Industrial Data Space .....	122
8.3.1	Kollaboratives Supply Chain Management in der Automobilindustrie .....	122
8.3.2	Transparenz in Lieferketten der Stahlindustrie .....	123
8.3.3	Datentreuhänderschaft für Industriedaten .....	125
8.3.4	Digitale Vernetzung von Fertigungslinien .....	126

8.3.5	Produktlebenszyklusmanagement im Geschäftsökosystem	127
8.3.6	Agile Vernetzung in Wertschöpfungsketten	129
8.4	Fallstudienanalyse	130
<b>9</b>	<b>Forschungsprojekt EMOIO</b>	<b>135</b>
9.1	Einleitung: Gestaltung von Technik der Zukunft	137
9.2	Adaptive Systeme und Assistenzsysteme	138
9.3	Brain-Computer-Interface und neuro-adaptive Technologie	139
9.4	EMOIO – Von der Grundlagenforschung zur angewandten Gehirnforschung	142
9.4.1	Entwicklung eines interaktiven Experimentalparadigmas zur Erforschung der affektiven Effekte von Assistenz- funktionen	142
9.4.2	Untersuchung der Detektions- und Diskriminationsfähig- keit von Affekten mit EEG und fNIRS	144
9.5	Fazit und Ausblick	147
9.5.1	Fazit und Ausblick aus den Arbeiten im Projekt EMOIO	147
9.5.2	Ausblick und Anwendungen von Brain-Computer- Interfaces	148
<b>10</b>	<b>Fraunhofer-Allianz Generative Fertigung</b>	<b>153</b>
10.1	Einleitung: Entwicklung der Generativen Fertigung	153
10.2	Generative Fertigung bei Fraunhofer	155
10.3	Additive Manufacturing – die Revolution der Produktherstellung im Digitalzeitalter	161
10.4	Mesoskopischer Leichtbau durch generativ gefertigte Sechseckwaben	163
10.5	Ästhetische Gebrauchsgüter mittels biomimetischer Strukturen	164
10.6	Hochleistungswerkzeuge für die Blechwarmumformung mittels Laserstrahlschmelzen	166
10.7	Generative Fertigung keramischer Bauteile	168
10.8	Druckbare Biomaterialien	170
10.9	Entwicklung und Bau einer hochproduktiven Fertigungsanlage zur generativen Herstellung großformatiger Bauteile aus wahl- freien Kunststoffen	172
10.10	Integration sensorisch-diagnostischer und aktorisch- therapeutischer Funktionen in Implantate	175
10.11	Generierung drei-dimensionaler Multimaterialbauteile	176

<b>11 Future Work Lab</b> .....	179
11.1 Einleitung: Megatrend Digitalisierung und Industrie 4.0 .....	180
11.2 Future Work Frame – Rahmenbedingungen für eine zukunftsfähige Arbeitsgestaltung .....	181
11.2.1 Mensch-Technik-Interaktion .....	181
11.2.2 Flexibilität, Entgrenzung und Work-Life-Balance .....	182
11.2.3 Kompetenzentwicklung und Qualifizierung .....	183
11.3 Future Work Trends – Arbeitsgestaltung in der Industrie 4.0 .....	183
11.3.1 Vernetzte Arbeitssysteme .....	184
11.3.2 Kontextsensitive Arbeitssysteme .....	185
11.3.3 Assistierende Arbeitssysteme .....	185
11.3.4 Intuitive Arbeitssysteme .....	186
11.4 Future Work Lab – Die Industriearbeit der Zukunft erleben .....	187
11.4.1 Demowelt: „Future Work erleben“ .....	188
11.4.2 Lernwelt: „Fit für die Arbeit der Zukunft“ .....	189
11.4.3 Ideenwelt: „Work in Progress weiterdenken“ .....	190
11.5 Future Work Cases - Gestaltungsbeispiele für die Industriearbeit der Zukunft .....	190
11.5.1 Future Work Case „Assistierte Montage“ .....	190
11.5.2 Future Work Case „Mensch-Roboter-Kooperation mit dem Großroboter“ .....	192
11.6 Ausblick .....	194
<b>12 Cyber-Physische Systeme</b> .....	197
12.1 Einleitung .....	197
12.2 CPS in der Produktion .....	200
12.3 Transformation von Produktionssystemen zu Cyber-Physischen Systemen .....	203
12.3.1 Evolution im Produktionsprozess .....	203
12.3.2 „LinkedFactory“ – Daten als Ressource der Zukunft .....	208
12.4 Herausforderungen beim Entwurf von CPS .....	215
12.4.1 Systems Engineering als Schlüssel zum Erfolg .....	215
12.4.2 Leistungsstand und Handlungsbedarf in der Praxis .....	216
12.5 Zusammenfassung und Entwicklungsperspektiven .....	218
<b>13 Leitprojekt „Go Beyond 4.0“</b> .....	223
13.1 Einleitung .....	224
13.2 Massenproduktion .....	225
13.3 Digitale Fertigungsverfahren .....	226

---

13.3.1 Digitaldruck-Verfahren	227
13.3.2 Laserverfahren	229
13.4 Demonstratoren	232
13.4.1 Smart Door	232
13.4.2 Smart Wing	233
13.4.3 Smart Luminaire	235
13.5 Zusammenfassung und Ausblick	236
<b>14 Kognitive Systeme und Robotik</b>	<b>239</b>
14.1 Einleitung	239
14.2 Grundlegende und zukünftige Technologien für kognitive Systeme	240
14.2.1 Was sind künstliche neuronale Netze?	241
14.2.2 Zukünftige Entwicklungen	244
14.3 Kognitive Robotik in Produktion und Dienstleistung	245
14.3.1 Intelligente Bildverarbeitung als Schlüsseltechnologie für wirtschaftliche Robotikanwendungen	246
14.3.2 Ein vielseitiger Gentleman: Der Serviceroboter Care-O-bot® 4	249
14.4 Im Gelände und unter Wasser: Autonome Systeme für besonders anspruchsvolle Umgebungen	251
14.4.1 Autonome mobile Roboter in unstrukturiertem Gelände	251
14.4.2 Autonome Baumaschinen	252
14.4.3 Autonome Unterwasserroboter	254
14.4.4 Zusammenfassung	255
14.5 Maschinelles Lernen für die virtuelle Produktentwicklung	255
14.5.1 Untersuchung von Crashverhalten in der Automobilindustrie	256
14.5.2 Design von Materialien und Chemikalien	258
<b>15 Fraunhofer-Allianz Big Data</b>	<b>261</b>
15.1 Einleitung: Eine Allianz für viele Branchen	261
15.2 Angebote für alle Reifegrade	265
15.3 Daten monetarisieren	267
15.4 Datenschätze heben durch maschinelles Lernen	268
15.5 Data Scientist – ein neues Berufsbild im Datenzeitalter	270
15.6 Fazit	271
<b>16 Safety and Security</b>	<b>275</b>

16.1	Einleitung: Cybersicherheit – Top-Thema der Digital- wirtschaft .....	276
16.2	(Un-)Sicherheit heutiger Informationstechnologie .....	276
16.3	Cybersicherheit: Relevant für alle Branchen .....	279
16.4	Wachsende Bedrohung .....	282
16.5	Cybersicherheit und Privatsphärenschutz im Technologie- und Paradigmenwandel .....	282
16.6	Cybersicherheit und Privatsphärenschutz auf allen Ebenen .....	284
<b>17</b>	<b>Ausfallsichere Systeme</b> .....	295
17.1	Einleitung .....	295
17.2	Herausforderungen für ausfallsichere Systeme .....	297
17.3	Resilienz als Sicherheitskonzept für die vernetzte Welt. ....	300
17.4	Angewandte Resilienzforschung: Komplexe, vernetzte Infrastrukturen ausfallsicher gestalten .....	305
17.5	Ausblick .....	308
<b>18</b>	<b>Blockchain</b> .....	311
18.1	Einleitung .....	311
18.2	Funktionsweise .....	313
18.3	Methoden der Konsensbildung .....	314
18.4	Implementierungen und Klassifizierung .....	316
18.5	Anwendungen .....	317
<b>19</b>	<b>E-Health</b> .....	321
19.1	Einleitung .....	321
19.2	Integrierte Diagnostik und Therapie .....	323
19.2.1	Nachzügler der Digitalisierung .....	323
19.2.2	Innovative Sensorik und intelligente Software- assistenten .....	324
19.2.3	Populationsbezogene Forschung .....	325
19.2.4	Multiparametrisches Gesundheitsmonitoring .....	326
19.2.5	Digitalisierung als Katalysator integrierter Diagnostik ...	328
19.3	Fleißiger „Kollege“ K.I. ....	331
19.3.1	Deep Learning bricht Rekorde .....	331
19.3.2	Mustererkennung als potentes Werkzeug in der Medizin ..	332
19.3.3	Radiomics als möglicher Wegbereiter .....	333
19.3.4	Intuition und Vertrauen auf dem Prüfstand .....	334

---

19.4	Rollenverteilung im Wandel	336
19.4.1	Integrierte Diagnostikteams	336
19.4.2	Der mündige Patient	336
19.5	Gesundheitsökonomische Potenziale	338
19.5.1	Kosteneinsparungen durch objektivierte Therapieentscheidungen	338
19.5.2	Effizienzsteigerung durch Früherkennung und Datenmanagement	339
19.6	Veränderungen im Marktgefüge	340
19.6.1	Disruptive Innovation und der Kampf um die Standards	340
19.6.2	Neue Wettbewerber im Gesundheitsmarkt	340
19.7	Ausblick	341
<b>20</b>	<b>Smart Energy</b>	<b>347</b>
20.1	Einleitung: Der Megatrend „Digitale Transformation“	347
20.2	Digitale Transformation im Energiesektor	349
20.3	Die Energiewende erfordert Sektorenkopplung und IKT	351
20.4	Zellulares Organisationsprinzip	354
20.5	Herausforderungen für Energie-IKT	357
20.6	Herausforderung Resilienz und umfassende Sicherheit	359
20.7	Energiewende als Transformationsprozess	362
<b>21</b>	<b>Advanced Software Engineering</b>	<b>365</b>
21.1	Einleitung	365
21.2	Software und Software Engineering	367
21.3	Ausgewählte Eigenschaften von Software	369
21.4	Modellbasierte Methoden und Werkzeuge	370
21.5	Risikobewertung und automatisierte Sicherheitstests	372
21.6	Softwarevermessung und Visualisierung	374
21.7	Modell-basiertes Testen	375
21.8	Testautomatisierung	377
21.9	Weitere Ansätze	379
21.10	Weiterbildungsangebote	379
21.11	Ausblick	380
<b>22</b>	<b>Automatisiertes Fahren</b>	<b>385</b>
22.1	Einleitung	386
22.2	Autonomes Fahren im Automobilbereich	387
22.2.1	State of the Art	387

---

22.2.2	Autonomes Fahren in komplexen Verkehrssituationen . . . . .	390
22.2.3	Kooperative Fahrmanöver . . . . .	393
22.2.4	Latenzarme, breitbandige Kommunikation . . . . .	394
22.2.5	Wegseitige Absicherungssysteme . . . . .	396
22.2.6	Digitale Vernetzung und Funktionssicherheit fahrerloser Fahrzeuge . . . . .	397
22.2.7	Reichweiteverlängerung und Schnellladefähigkeit von autonomen Elektrofahrzeugen . . . . .	400
22.2.8	Fahrzeugdesign, modularer Fahrzeugaufbau und skalierbare Funktionalität . . . . .	401
22.3	Autonome Transportsysteme der Logistik . . . . .	403
22.4	Fahrerlose Arbeitsmaschinen in der Landtechnik . . . . .	404
22.5	Autonome Schienenfahrzeugtechnik . . . . .	406
22.6	Unbemannte Schiffe und Unterwasserfahrzeuge . . . . .	407
<b>23</b>	<b>Erratum zu Kapitel 16: Safety and Security . . . . .</b>	<b>E1</b>

---

# Digitale Information – der „genetische Code“ moderner Technik

1

Prof. Dr.-Ing. Reimund Neugebauer  
Präsident der Fraunhofer-Gesellschaft

---

## 1.1 Einleitung: Digitalisierung als hochdynamischer Prozess

Das Digitale Zeitalter begann vergleichsweise langsam. Als erster Computer, der den binären Code verwendete und programmierbar war, gilt Zuse Z3, entwickelt und gebaut von Konrad Zuse und Helmut Schreyer 1941 in Berlin. 1971 wurde der erste Mikroprozessor patentiert; er enthielt 8000 Transistoren. Zehn Jahre später war man bei etwa der zehnfachen Transistorenzahl angekommen, 2016 schließlich bei etwa 8 Mrd.

Diese exponentielle Steigerung von Komplexität und Leistung digitaler Rechner hat Gordon Moore 1965 prognostiziert. Das nach ihm benannte „mooresche Gesetz“ – dem Wesen nach eher eine Faustregel – besagt nach gängiger Interpretation, dass sich die Anzahl an Transistoren, die in einen integrierten Schaltkreis festgelegter Größe passen, etwa alle 18 Monate verdoppelt. Über Auslegung und Wirkdauer dieser Regel mag man diskutieren, sie bildet aber ausreichend genau ab, mit welcher Dynamik sich die Entwicklung der Digitaltechnik vollzieht.

Die Gründe für die enorme Beschleunigung des Fortschritts liegen unter anderem darin, dass die Digitalisierung neben allen technischen und praktischen Anwendungsfeldern auch die Forschungs- und Entwicklungsarbeit selbst verändert hat. Ein Prozessor mit Transistoren in Milliardenzahl etwa ist nur mit weitgehend automatisierten, digitalisierten Verfahren zu konstruieren und herzustellen. Komplexe Programme wiederum werden ganz oder teilweise von Rechnern selbst entworfen, umgesetzt und geprüft. Die immensen Datenmengen aus Forschungsprojekten, Produktionsanlagen und sozialen Medien können nur mit massiver Rechnerunterstützung ausgewertet werden. Dann jedoch lassen sich daraus Erkenntnisse gewinnen, die vor einigen Jahren noch praktisch unzugänglich waren. Maschinelles Lernen

wird zum Standard: Künstliche Systeme sammeln Erfahrungen und können diese anschließend verallgemeinern. Sie erzeugen Wissen.

Die Dynamik der Entwicklung wird aber auch dadurch verstärkt, dass die Anwendungsfelder der Technologien ebenso rasch wachsen. Der Bedarf an digitalen Systemen erscheint unerschöpflich, da sich fast überall damit Verbesserungen in Leistungen und Eigenschaften sowie in Effizienz und Ressourcenschonung von Produkten und Verfahren erzielen lassen. Der Entwicklungsschub ist so umfassend, dass man – durchaus berechtigt – von einer „digitalen Revolution“ sprechen kann.

---

## 1.2 Der „genetische Code“ moderner Technik

Maschinen brauchen zum Funktionieren eine Anweisung. Bei einfachen Vorgängen reicht eine manuelle Bedienung; den Ansprüchen moderner Produktionsmaschinen und Anlagen genügt man damit aber längst nicht mehr. Zahlreiche Sensoren liefern Unmengen von Daten; die Maschine speichert und interpretiert sie und reagiert nach Direktiven, die in einem digitalen Programmcode hinterlegt sind. In einem solchen System summieren sich das Wissen der Entwickler, das Ergebnis des maschinellen Lernens und aktuelle Daten.

Auch ein biologischer Organismus sammelt zahlreiche Daten aus seiner Umgebung und interpretiert sie. Der Bauplan zur Konstruktion des Organismus, der in jeder Zelle vorhandene genetische Code, summiert das gesammelte Wissen aus der Evolution des Organismus.

Idealerweise stellen aber in beiden Fällen – Organismus und Maschine – die gesammelten und gespeicherten Informationen passende Antworten für alle denkbaren Anforderungen bereit. Der digitale Code erinnert daher – trotz vieler Unterschiede im Detail – in Funktion und Wirkung an den genetischen Code der biologischen Systeme. Gemeinsam ist beiden:

- Damit beschrieben sind die Informationen über Aktionen, Reaktionen und Eigenschaften einer Organisationseinheit, sei es eine Zelle oder eine Maschine.
- Komplexe Informationen sind auf eine umfangreiche Abfolge weniger „Buchstaben“ komprimiert. Die DNA kommt dabei mit vier solchen Buchstaben aus, nämlich den Nukleotiden Adenin, Guanin, Thymin und Cytosin; der Digitalcode benutzt dazu zwei, nämlich 0 und 1.
- Gespeichert werden können mit diesen Codes nicht nur Bau und Verhaltensrahmen kleiner Einheiten, sondern auch der Gesamtstruktur – im Falle des genetischen Codes etwa eines Organismus, im Falle des digitalen Codes einer Produk-

tionsanlage oder Fabrik. Flexibilität und Lernfähigkeit lassen beide Systeme grundsätzlich zu.

- Eine Vervielfältigung der gespeicherten Information ist fast unbegrenzt und im Grundsatz verlustlos möglich. Eine identische Replikation der DNA erfolgt über die Auftrennung der Doppelhelix und die Ergänzung der frei werdenden Bindungsstellen durch Anlagerung komplementärer neuer DNA-Basen. Die Vervielfältigung einer digitalen Information erfolgt durch verlustfreies Auslesen und erneutes Hinterlegen auf einem Speichermedium.
- Die Informationen bleiben bei der Vervielfältigung erhalten. Sie können aber, wenn ein Anpassungsbedarf vorliegt, auch modifiziert werden: Beim genetischen Code z. B. durch Mutationen oder durch Neukombination vorhandener Teilinformationen mit anschließender Auslese; beim digitalen Code durch Ersetzen oder Ergänzen von Teilen des Skripts.

Somit ergibt sich für den Digitalcode ebenso wie für den genetischen Code ein konservatives und ein innovatives Potenzial, und beides ist miteinander kombinierbar: Veränderungen können deshalb auf dem bereits Erreichten aufbauen. Damit lässt sich bereits erklären, warum die Digitalisierung in der Welt der Technik für einen solchen Innovationsschub sorgt. Sie hebt das Potenzial des evolutionären Fortschritts durch Forschung und Entwicklung auf einen im Bereich der Technik noch nicht da gewesenen Level.

Was die Wirksamkeit des digitalen Codes als Evolutions- und Innovationstreiber aber noch weiter verstärkt – auch im Vergleich mit dem genetischen Code – sind die Tatsachen, dass neue digitale Informationen zum einen sehr zielgerichtet eingefügt werden können und zum anderen via Internet in Echtzeit weltweit transportierbar sind. Eine evolutionäre Verbesserung von Technologien ist also schnell zu realisieren und sofort überall verfügbar – gebremst allenfalls von patentrechtlichen oder politischen Einschränkungen.

---

### 1.3 Die Dynamik des digitalen Alltags

In der Konsequenz hat die Digitalisierung auf die aktuelle und weitere Entwicklung der Technik eine enorm dynamisierende Wirkung. Es ist gerade zehn Jahre her, als das erste Smartphone auf den Markt kam, und das Leben der Menschen hat sich allein infolgedessen weltweit stark verändert. Wir können unabhängig vom realen Aufenthaltsort akustisch und optisch in Kontakt sein mit wem wir wollen. Auf das Privat- und Berufsleben, aber selbst auf das Mobilitäts- und Migrationsverhalten hat diese Option bereits erkennbaren Einfluss.

Das gesamte Arbeits- und Lebensumfeld ist im Umbruch. Hochkomplexe Steuerungen steigern Effizienz, Geschwindigkeit und Leistungen von praktisch allen technischen Geräten, mit denen wir täglich zu tun haben. Mobilität, energieeffiziente Klimatisierung der Räume, automatisierte Haushaltsgeräte, ubiquitäre Verfügbarkeit von Kommunikations- und Arbeitsmöglichkeiten, von Informationen und Zerstreuung – um nur einige zu nennen – schaffen uns ungeahnte Möglichkeiten. Die Entwicklung des taktilen Internets lässt es zu, dass ein Klick oder Knopfdruck praktisch zeitgleich am anderen Ende der Welt Wirkung zeigt. Effiziente und flexible Produktionstechniken erlauben ein individuelles Produktdesign und eine Herstellung vieler Produkte auf privaten 3D-Druckern.

Die dezentrale Erzeugung von Inhalten oder Waren wie im letztgenannten Beispiel ist eine bemerkenswerte Begleiterscheinung der Digitalisierung. Die schnelle Veröffentlichung von individuell entstandenen Büchern, Bildern, Filmen, Musikstücken, Gegenständen, Ideen und Meinungen – meist ohne Kontrolle durch Verlage und andere Instanzen – ist über den Verteilungsweg Internet gängig geworden. Sie schafft neue, schnelle Möglichkeiten der wirtschaftlichen Verwertung und der Selbstverwirklichung, aber auch Gefahren sozialer Art, mit denen umzugehen wir in vielen Fällen noch lernen müssen.

Aus den neuen Möglichkeiten erwachsen Erwartungen und Ansprüche: Wir gewöhnen uns beispielsweise nicht nur an den komfortablen Status Quo, sondern auch an die Dynamik der Entwicklung. Wir erwarten morgen mehr von all dem, was digitalbasierte Produkte und Medien heute bieten. Und das bedeutet, dass die internationalen Märkte für technische Produkte ebenso wie die Technologien selbst der gleichen enorm gestiegenen Veränderungs- und Wachstumsdynamik unterliegen.

Auch deshalb hat die Digitalisierung auf den Arbeitsmarkt keine dämpfende, sondern eine antreibende Wirkung. Im Gegensatz zu der oft geäußerten Befürchtung, Digitaltechnik vernichte Arbeitsplätze, hat sie in erster Linie zu einer Veränderung der Tätigkeitsprofile geführt – und insgesamt gesehen sogar zu einer Zunahme des Job- und Erwerbsangebots. Von berufstätigen Menschen wird heute und in Zukunft gleichwohl mehr Flexibilität, Lernbereitschaft und vielleicht auch ein gewisses Maß an professioneller Neugier erwartet. Unternehmen müssen schneller und sehr flexibel auf Marktveränderungen reagieren – mit neuen Produkten oder auch mit disruptiv veränderten Geschäftsmodellen. Sie müssen vorausahnen, welche Bedarfe der Markt in Zukunft entwickelt, um rechtzeitig die passenden Produkte anbieten zu können.

Das lebenslange Lernen ist für alle, die am wirtschaftlichen Prozess teilnehmen, zur unausweichlichen Realität geworden, und die Digitalisierung mit der damit verbundenen Dynamisierung der Entwicklungen ist der Hauptgrund dafür.

## 1.4 Resilienz und Sicherheit

Mit Digitaltechnik werden heute praktisch alle Bereiche technisch gesteuert, die für Wirtschaft, Wissenschaft und öffentliches sowie privates Leben essenziell sind: Sicherheit, Gesundheit, Energieversorgung, Produktion, Mobilität, Kommunikation und Medien. Je mehr technologische Bereiche wir aber der Datentechnik anvertrauen, desto wichtiger wird für uns deren Zuverlässigkeit. Das betrifft einzelne Systeme wie Autos oder Flugzeuge ebenso wie komplexe Strukturen wie Versorgungssysteme und Kommunikationsnetze. Resilienz – die Fähigkeit eines Systems, auch beim Ausfall einzelner Komponenten weiter zu funktionieren – wird mit dem Fortschreiten der Digitalisierung daher ein zentrales Entwicklungsziel.

Informationen werden heute fast ausschließlich digital gespeichert und transportiert. Wir konsumieren aber nicht nur Daten, wir produzieren sie auch, und mit uns machen das alle digital gesteuerten Produkte und Produktionsanlagen. Die Menge der täglich erzeugten Digitaldaten steigt kontinuierlich an. Diese Daten sind aufschlussreich und nützlich – und deshalb auch wertvoll. Das betrifft persönliche Daten ebenso wie solche, die von Maschinen erzeugt werden und dazu verwendbar sind, Verfahren zu erklären, zu verbessern oder zu steuern. Digitaldaten werden daher gehandelt, und man kann schon heute sagen, dass sie zu den wichtigsten Waren des 21. Jahrhunderts gehören.

Das automatisierte Fahren – eine konkrete technische Vision, die nur mit hochentwickelter Digitaltechnik zu realisieren ist – lässt sich erst dann sinnvoll in die Praxis umsetzen, wenn man dem Auto ohne Bedenken und auf Dauer die gesamte Steuerung überlassen kann. Dazu muss eine erhebliche Menge an automatisierter Kommunikation reibungslos und zuverlässig stattfinden, und zwar innerhalb des Autos zwischen Steuerung und Sensoren, zwischen den Verkehrsteilnehmern und auch mit der Infrastruktur, beispielsweise mit Verkehrsleitsystemen und Standortdiensten.

Und dies ist nur ein Beispiel dafür, wie stark moderne Produkte und Infrastrukturen vom Funktionieren digitaler Technik abhängen. Das betrifft ebenso die gesamte Informations- und Kommunikationstechnik, die Produktions- und Gesundheitstechnik sowie die Logistik und vernetzte Sicherheitssysteme. Man kann also ohne Übertreibung sagen: Die Digitaltechnik ist schon heute zu einem Fundament einer technisch orientierten Zivilisation geworden.

Aus all dem ergibt sich: Die Sicherheit ist das Kernthema schlechthin bei der Digitalisierung. Produkte, Systeme und Infrastrukturen so zu realisieren, dass sie immer und ausnahmslos im Interesse der Menschen funktionieren und agieren, wird zu einem zentralen Ziel der technischen Entwicklung. Hierin sieht die Fraunhofer-

Gesellschaft mit ihrer umfassenden Kompetenz im Bereich Informationstechnik und Mikroelektronik eine entscheidende Herausforderung und ein wichtiges Arbeitsfeld für die angewandte Forschung.

Der Begriff Sicherheit wird bei der Digitalisierung mit den beiden Fachbegriffen Safety (Betriebssicherheit) und Security (Sicherheit vor Angriffen) spezifiziert. In beiden Bereichen ist ein permanenter hoher Forschungsbedarf erkennbar. Da bei Cyberattacken auf digitale Infrastrukturen erfahrungsgemäß neueste Techniken zum Einsatz kommen, müssen Schutz und Sicherheit durch kontinuierliche Forschung so gestärkt werden, dass sie den Angreifern stets einen Schritt voraus sind. Verglichen mit dem Schadenspotenzial heutiger Cyberattacken und großräumiger Ausfälle der IT-Infrastruktur erscheint auch ein relativ hoher Aufwand an Sicherheitsforschung gerechtfertigt.

Ebenso gilt es aber, die Aus- und Weiterbildung von Fachleuten zu fördern und ein ausgeprägtes Sicherheitsbewusstsein bei den einschlägigen Spezialisten und professionellen Anwendern zu erzeugen. Hier setzt beispielsweise das Konzept des Lernlabors Cybersicherheit an, das von Fraunhofer in Zusammenarbeit mit Hochschulen und mit Förderung des Bundesministeriums für Bildung und Forschung (BMBF) an neun Standorten umgesetzt wurde.

Auch Politik und Gesellschaft müssen hinsichtlich des Datenschutzes stärker sensibilisiert und informiert werden. Nicht zuletzt sind die einzelnen Menschen gefordert, auf ihre digitale Sicherheit ebenso selbstverständlich zu achten wie auf das Verschließen von Türen und Fenstern. Eine Technologie, die in vielen Punkten die Dezentralisierung fördert, fordert auch vermehrt die Verantwortlichkeit der Einzelnen – sicherheitstechnisch ebenso wie ethisch.

---

## 1.5 Fraunhofer forscht für die Anwendung

Die Fraunhofer-Gesellschaft hat unter den Wissenschaftsorganisationen eine besondere Rolle übernommen. Auf der einen Seite betreibt sie Forschung mit dem Anspruch auf wissenschaftliche Exzellenz, auf der anderen Seite mit dem erklärten Ziel, Ergebnisse für die Anwendung in der Praxis zu erzielen. Damit steht Fraunhofer bei der Erfindung und Weiterentwicklung neuer Technologien an vorderster Front. Wir sind Key Player bei Schlüsseltechnologien und steuern vielfach deren weiteren Fortschritt und ihre Verbreitung. Daraus erwächst eine besondere Verantwortung, denn in modernen Industriegesellschaften haben Technologien einen bestimmenden Einfluss auf das Leben der Menschen.

Im Bereich Digitalisierung ist Fraunhofer an entscheidend wichtigen Initiativen, Entwicklungen und Kooperationen federführend beteiligt. Darunter sind die folgen-

den, die vom Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF) gefördert werden:

- Das Lernlabor Cybersicherheit; Konzept und Umsetzung liegen bei Fraunhofer.
- Die Initiative Industrial Data Space: Sie zielt darauf ab, einen sicheren und selbstbestimmten Datenaustausch von Unternehmen als Voraussetzung für das Angebot von Smart Services und innovativer Geschäftsmodelle zu ermöglichen. Inzwischen hat Fraunhofer additiv weitere Aspekte wie den Material Data Space und den Medical Data Space entwickelt und eingebunden.
- Das Internet-Institut für die vernetzte Gesellschaft: Fraunhofer ist mit dem Fraunhofer-Institut für Offene Kommunikationssysteme FOKUS daran beteiligt.
- Die Forschungsfabrik Mikroelektronik Deutschland: Sie geht auf ein Konzept aus dem Fraunhofer-Verbund Mikroelektronik zurück.

Mit unserer Erfahrung als marktorientierter Anbieter von Forschungs- und Entwicklungsdienstleistungen definieren wir Technologiebereiche mit großer aktueller und künftiger Bedeutung. Sie rücken damit in den Fokus unserer Aktivitäten. Drei große Forschungsfelder greifen wir heraus, die das Potenzial haben, das Leben der Menschen in Zukunft gravierend zu beeinflussen. Es sind:

- Ressourceneffizienz
- Digitalisierung
- Biologisierung

Um diese drei Themenfelder in ihrer Bedeutung zu unterstreichen und sie wirksam im Bewusstsein von Wissenschaft, Wirtschaft und Öffentlichkeit zu verbreiten, haben wir – zusammen mit Springer Vieweg – die Buchreihe „Fraunhofer-Forschungsfokus“ ins Leben gerufen. Den zweiten Band dieser Reihe halten Sie in den Händen. Er gibt einen Überblick über wichtige Projekte an den Fraunhofer-Instituten im Bereich der Digitalisierung.

Dr.-Ing. Sophie Hippmann · Dr. Raoul Klingner · Dr. Miriam Leis  
Fraunhofer-Gesellschaft

---

## 2.1 Einleitung

Für die meisten Leser dieses Buchs ist die Digitalisierung inzwischen zu einem selbstverständlichen Teil des Alltags geworden. Prinzipiell bedeutet „Digitalisierung“ die binäre Repräsentation von Texten, Bildern, Tönen, Filmen sowie Eigenschaften physischer Objekte in Form von aneinandergereihten Sequenzen aus „1“ und „0“, die von heutigen Computern mit extrem hoher Geschwindigkeit – Milliarden von Befehlen pro Sekunde – verarbeitet werden können.

Die Digitalisierung fungiert gewissermaßen wie ein „Universalübersetzer“, der die Daten unterschiedlicher Quellen für den Computer bearbeitbar macht und damit viele Möglichkeiten bereitstellt, die ansonsten undenkbar wären. Darunter fallen z. B. komplexe Analysen und Simulationen von Objekten, Maschinen, Prozessen, Systemen und sogar dem menschlichen Körper und Organen, wie sie etwa bei der 3D-Body-Reconstruction-Technologie des Fraunhofer-Instituts für Nachrichtentechnik, Heinrich-Hertz-Institut, HHI realisiert sind. Mit digitalisierten Daten von sensorisch erfassten Gehirnsignalen können auch Computer und Roboter angesteuert werden. Inzwischen ist es auch umgekehrt möglich, mittels digitaler Signale haptische Empfindungen an Prothesen zu erzeugen. Hier agiert die Digitalisierung als direktes Bindeglied zwischen biologischer und cyber-physischer Welt.

Obwohl die Digitalisierung fast universell einsetzbar ist, widmet sich dieses Einleitungskapitel hier den folgenden Anwendungsbereichen, die auf das Leben der Menschen besonders großen Einfluss haben:

- Datenanalyse und Datenübertragung
- Arbeit und Produktion
- Sicherheit und Versorgung

## **2.2 Datenanalyse und Datenübertragung**

### **2.2.1 Die Digitalisierung der materiellen Welt**

Um materielle Objekte rekonstruieren zu können, ist die Information über ihre Zusammensetzung, ihren Aufbau und ihre Form entscheidend. Diese Parameter sind digitalisierbar und können in Computern rekonstruiert werden. So können inzwischen komplexe Maschinen, Materialien und Medikamente am Computer entworfen und in Simulationen auf ihre Tauglichkeit hin überprüft werden, noch bevor sie real entstanden sind. Virtual-Reality-Projektionen visualisieren Objekte detailgetreu und reagieren auf die Interaktion mit dem Nutzer. Die Digitalisierung gewinnt daher auch für Kunst- und Kulturschaffende an Interesse. Mithilfe von 3D-Scanning- und Digitalisierungstechnologien können z. B. wertvolle Kunst- und Kulturgüter detailgetreu in digitalisierter Form „informatisch“ erhalten werden, wie es etwa am Fraunhofer-Institut für Graphische Datenverarbeitung IGD durchgeführt wird. Somit können Kulturgüter jedem zugänglich gemacht werden – auch für wissenschaftliche Untersuchungen –, ohne dass die Gefahr einer Beschädigung des Originals besteht.

### **2.2.2 Intelligente Datenanalysen und Simulationen für bessere Medizin**

Auch in der Medizin spielt die Digitalisierung von Daten – z. B. von medizinischen Bildaufnahmen, von Textinformationen oder molekularen Konfigurationen – eine bedeutende Rolle. Hier spielen auch effektive, sichere und effiziente Verfahren zur Analyse sehr großer Datenmengen eine wichtige Rolle. Multimodale Datenanalysen, d. h. der computergestützte Abgleich von unterschiedlichen Bildaufnahmen (Röntgen, MRT, PET etc.) in Kombination mit Laborbefunden, individuellen physischen Parametern und Informationen aus der Fachliteratur können den Weg zu genaueren Diagnosen bis hin zu individualisierten Therapien ebnen, die von keinem Experten allein in diesem Ausmaß bewerkstelligt werden könnten. Die Digitalisierung der Medizin ist ein Spezialgebiet des Fraunhofer-Instituts für Bildgestützte Medizin MEVIS. Wie auch in anderen Bereichen muss hier „Big Data“ in „Smart Data“ gewandelt werden. Ebenso sollen die digitalen Assistenzen die Fähigkeit erlangen, ergänzende, fehlende oder widersprüchliche Informationen automatisch zu erkennen und durch gezielte Nachfragen Informationslücken zu schließen, wie es derzeit in einem Projekt der Fraunhofer „Young Research Class“ entwickelt wird.

### **2.2.3 Gleiche Qualität bei geringerer Größe durch Datenkomprimierung**

Die immense Verbreitung der Digitalisierung hat dazu geführt, dass die Menge an Daten exponentiell anwächst und dass es trotz des Ausbaus der Kapazitäten zu Engpässen bei der Datenübertragung kommen kann. Einige Hochrechnungen gehen davon aus, dass sich die weltweit pro Jahr erzeugte Datenmenge bis 2025 gegenüber 2016 verzehnfachen und auf 163 Zettabyte (eine 163 mit 21 Nullen oder 41.000 Mrd. DVDs) ansteigen könnte.

Heutzutage nimmt das Musik- und Video-Streaming einen großen Teil des weltweiten Datentransfers ein. Der verlustfreien Datenkompression kommt daher eine sehr wichtige Rolle zu, um die Größe digitaler Datenpakete zu reduzieren und damit die Übertragungszeit zu verkürzen und weniger Speicher in Anspruch zu nehmen. Seit der bahnbrechenden Entwicklung der mp3-Kodierung durch Forschungsleistungen der Fraunhofer-Institute für Integrierte Schaltungen IIS und für Digitale Medientechnologie IDMT, entwickelt Fraunhofer kontinuierlich Verfahren zur Kompression von Audio- und Videodaten weiter, um immer bessere Übertragungsqualität bei möglichst geringem Datenvolumen zu erzielen. Nichtkomprimierte Audiodateien sind z. B. bei gleicher Klangqualität bis zu zehnmal größer als mp3-Dateien.

### **2.2.4 Digitaler Rundfunk – besserer Radioempfang für alle**

Eine weitere Errungenschaft im Bereich der Audiotechnologien – der digitale Rundfunk – wurde mit seinen Basis-, Sende- und Empfangstechnologien ebenfalls maßgeblich vom Fraunhofer IIS mitentwickelt. Digitaler Rundfunk bietet erhebliche Vorteile gegenüber den analogen Verfahren. Er ist ebenfalls terrestrisch via Funk auch ohne Internetzugang kostenfrei zu empfangen. Energieeffiziente Übertragung, störungsfreier Empfang, hohe Klangqualität, die Option auf zusätzliche Datendienste und zugleich Platz für mehr Sender gehören zu den überzeugenden Vorteilen. Ebenfalls ist es mit digitalem Rundfunk möglich, Verkehrs- und Katastrophenvorwarnungen in Echtzeit mit sehr hoher Zuverlässigkeit und Reichweite zu kommunizieren, auch wenn der Internetzugang nicht verfügbar ist. In Europa wird der digitale Rundfunk die analogen Systeme in den nächsten Jahren weitgehend ersetzen. Auch in Schwellenländern wie Indien ist die Umstellung in vollem Gang.

## **2.2.5 Mehr Daten in kürzerer Zeit übertragen: 5G, Edge Computing & Co.**

Eine schnelle Datenübertragung mit minimaler Verzögerungs- bzw. Latenzzeit, oftmals als „Taktiles Internet“ bezeichnet, ist Grundlage für eine Vielzahl neuer technischer Anwendungen. Dazu gehören vernetzte Maschinen, autonome Fahrzeuge und Objekte, die in Echtzeit mit dem Menschen und miteinander kommunizieren können, Augmented-Reality-Anwendungen, die punktaktuelle Updates einspielen oder Spezialisten, die auf der anderen Seite des Globus hochkomplexe chirurgische Eingriffe mittels Teleroboter sicher durchführen können. In Zukunft wird sich die globale Datenmenge von Video- und Audiodaten hin zu (Sensor-)Daten aus dem Industriebereich, der Mobilität und dem „Internet of Things“ verlagern. Der neue 5G-Mobilfunkstandard, dessen Entwicklung, Austestung und Verbreitung unter maßgeblicher Beteiligung von Fraunhofer vorangetrieben wird, soll mit einer Datenübertragungsrate von 10 Gbit/s zehnmal schneller sein als das heutige 4G/LTE. Die Anforderungen an das Industrial Internet sind hoch und fordern v. a. Skalierbarkeit, Echtzeitfähigkeit, Interoperabilität und Datensicherheit.

In den vier Transferzentren in Berlin – dem Internet of Things Lab (Fraunhofer-Institut für Offene Kommunikationssysteme FOKUS), dem Cyber Physical Systems Hardware Lab (Fraunhofer-Institut für Zuverlässigkeit und Mikrointegration IZM), dem Industrie 4.0 Lab (Fraunhofer-Institut für Produktionsanlagen und Konstruktionstechnik IPK) und dem 5G Testbed (Fraunhofer-Institut für Nachrichtentechnik, Heinrich-Hertz-Institut, HHI) – sollen neue Technologien für das Taktile Internet entwickelt und getestet werden. Neben 5G-Technologien spielen in diesem Kontext auch industrielles Cloud Computing und Edge Computing eine bedeutende Rolle. Bei Letzterem wird ein Großteil der Rechenleistung in den einzelnen Maschinen und Sensorknoten selbst durchgeführt – was die Latenzzeiten verkürzt, da nicht alle Daten in der Cloud verarbeitet werden müssen.

---

## **2.3 Arbeit und Produktion**

### **2.3.1 Die Digitalisierung der Arbeitswelt**

Die Digitalisierung hat unsere Arbeitswelt tiefgreifend verändert, und sie wird dies auch noch weiter tun. Heute hat das E-Mail (oder der Chat) den klassischen Brief in der schriftlichen Alltagskommunikation fast vollständig abgelöst. Ingenieure entwerfen ihre Prototypen am Rechner statt am Reißbrett und in Zukunft werden uns Roboter und interaktive digitale Assistenzsysteme bei alltäglichen Aufgaben

helfend zur Seite stehen. Technologien zur Sprach-, Gesten- und Emotionserkennung erlauben, dass Mensch und Maschine auf intuitive Weise miteinander kommunizieren. Zudem helfen Erkenntnisse aus den Neurowissenschaften dabei zu erkennen, worauf der Mensch seine Aufmerksamkeit bei der Nutzung von Maschinen lenkt, um auf diese Weise bessere, sichere und nutzerfreundliche Designs und Schnittstellen entwerfen zu können. Das Fraunhofer-Institut für Arbeitswirtschaft und Organisation IAO analysiert z. B., was im Gehirn von Nutzern technischer Geräte vorgeht, um die Interaktionsschnittstellen zu optimieren. In der Arbeitswelt der Zukunft kommt es zu einer stärkeren interaktiven Kooperation zwischen Menschen und Maschinen, wobei der Mensch dennoch immer weiter in den Mittelpunkt rückt. Das verändert nicht nur die Produktionsarbeit, sondern ermöglicht auch neue Prozesse und Dienstleistungen; im Future Work Lab des Fraunhofer IAO finden Forschungen dazu statt.

### **2.3.2 Digital und vernetzt produzieren**

Moderne Maschinen sind inzwischen zu Cyber-physischen Systemen (CPS) geworden; das ist eine Kombination aus mechanischen, elektronischen und digitalen Komponenten, die über das Internet kommunizieren können. Auf ihnen basiert Industrie 4.0: Hier sind Produktionsanlagen und -systeme durchgehend vernetzt; Computer, Internetanbindungen, Echtzeit-Sensormessungen, digitale Assistenzsysteme und kooperierende Robotersysteme gehören zu den Komponenten künftiger Produktionsstätten. Das Fraunhofer-Institut für Werkzeugmaschinen und Umformtechnik IWU forscht und entwickelt Innovationen für die digitale Fabrik.

Ebenfalls eingesetzt werden digitale Kopien von Maschinen, die „digitalen Zwillinge“. Sie sind im virtuellen Raum mit allen Eigenschaften ausgestattet, die unter realen Bedingungen betriebsrelevant werden können. So lassen sich Optimierungsmöglichkeiten und potenzielle Fehler frühzeitig erkennen und das Verhalten kann unter wechselnden Bedingungen im Vorfeld ausgiebig getestet werden. Industrie 4.0 soll dazu beitragen, Prozesse ressourceneffizient zu optimieren, die Arbeitsbedingungen für die Menschen zu verbessern und preiswert individualisierte Produkte herzustellen.

### **2.3.3 Die Umwandlung von Daten in Materie**

Besonders deutlich wird die Verbindung zwischen digitaler und physischer Welt bei der generativen Fertigung, dem „3D-Druck“. Damit ist es möglich, Informati-

onen über den Aufbau von Objekten per Computer zu versenden, um diese an einem anderen Ort zu „materialisieren“. Ähnlich wie Lebewesen durch die in ihrer DNA enthaltenen Informationen ihre physische Gestalt erhalten, wird bei der generativen Fertigung das Objekt anhand der Digitaldaten automatisch materiell realisiert.

Materialvielfalt und -qualität sowie Detailtiefe bei der generativen Fertigung verbessern sich stetig. Dieses Verfahren ermöglicht eine relativ kostengünstige Fertigung von Prototypen, Ersatzteilen, Sonderanfertigungen oder passgenauen individuellen Prothesen. Weitere Vorteile bei generativen Fertigungsverfahren sind die Materialeffizienz – da das Objekt direkt aus einer Materialmasse aufgebaut und nicht aus einem vorhandenen Block durch Abtragung herausgearbeitet wird – sowie die Möglichkeit, sehr kleine oder komplexe Geometrien zu fertigen. Generative Fertigungsverfahren sollen daher als fester Bestandteil in die Industrie-4.0-Konzepte integriert werden. Dieser Herausforderung widmet sich das Fraunhofer-Institut für Elektronische Nanosysteme ENAS zusammen mit anderen Fraunhofer-Instituten in einem groß angelegten Leitprojekt.

### **2.3.4 Kognitive Maschinen stehen uns zur Seite**

Künstliche Intelligenz wird vielseitiger und entwickelt sich in Richtung „kognitiver Maschinen“, die über Interaktionsfähigkeit, Erinnerungsvermögen, Kontexterfassung, Anpassungs- sowie Lernfähigkeit verfügen. Das maschinelle Lernen gilt inzwischen als Schlüsseltechnologie für die Entwicklung von kognitiven Maschinen. Anstatt alle Schritte für die Lösung eines Problems vorab einzuprogrammieren, bringt man die Maschine dazu, aus einer sehr großen Menge von Beispieldaten eigenständig Muster zu erkennen, Regeln abzuleiten und so ihre Leistung zu verbessern. Voraussetzungen hierfür sind schnelle Prozessoren und große Datenmengen – „Big Data“. Im Ergebnis lernen Maschinen, natürliche Sprache zu verarbeiten, kleinste Unregelmäßigkeiten in Prozessen zu identifizieren, komplexe Anlagen zu steuern oder subtile Auffälligkeiten in medizinischen Bildern zu entdecken.

Die Einsatzbereiche kognitiver Maschinen sind universell – sie reichen vom autonomen Fahren über Medizintechnik bis hin zur Zustandsüberwachung von Industrie- und Stromerzeugungsanlagen. An ihrer Verbesserung forschen Fraunhofer-Institute mit verschiedenen Schwerpunkten. Dazu gehören z. B. das effektive maschinelle Lernen mit weniger Daten, die Verbesserung der Transparenz, v. a. beim Lernen in „tiefen neuronalen Netzen“ (Deep Learning), oder die Einbeziehung von physikalischen Daten und Expertenwissen in „Grey Box“-Modellen.

## 2.4 Sicherheit und Resilienz

### 2.4.1 Daten – das Elixier der modernen Welt

Daten sind die DNA und der Treibstoff unserer modernen Welt. Wie im Beispiel der generativen Fertigung gibt die Information über den Aufbau und die Zusammensetzung von Materie dem Objekt seine Funktion und damit seinen Wert. Wer die Daten über das 3D-Modell hat, könnte es prinzipiell überall erstellen. Ähnlich verhält es sich mit Pharmazeutika, die zwar aus häufig vorkommenden Atomen bestehen, jedoch ihre Struktur – die Anordnung der Atome – über die Wirksamkeit entscheidet. Die richtige Konfiguration und den Weg der Synthese zu finden kann jedoch Jahre in Anspruch nehmen. Wer relevante Daten und Informationen hat und kontrolliert, besitzt einen Wettbewerbsvorteil. Die Fraunhofer-Allianz Big Data hilft dabei, solche Datenschätze zu heben, aber dabei die Qualität und den Datenschutz nicht aus dem Auge zu verlieren.

Je komplexer technische Systeme sind, desto anfälliger sind sie auch für Störungen und ihre Auswirkungen. Deshalb müssen komplexe technische Systeme auf Resilienz getrimmt werden, d. h. sie müssen widerstandsfähig gegen Störungen sein und auch im Schadensfall noch hinreichend zuverlässig funktionieren. Dem Ziel, unsere Hightech-Systeme und die davon abhängigen Infrastrukturen sicherer zu machen, widmet sich besonders das Fraunhofer-Institut für Kurzzeitdynamik, Ernst-Mach-Institut EMI.

### 2.4.2 Industrial Data Space – Datensouveränität behalten

Datensicherheit ist ein äußerst wichtiges Thema. Man muss Informationen austauschen können, um Forschung zu betreiben oder bedarfsgerechte Dienstleistungen anbieten zu können, andererseits müssen Daten aber auch vor unerlaubtem Zugriff geschützt werden. Aber nicht nur der Diebstahl von Daten ist ein Problem, sondern auch ihre Verfälschung. Je mehr datengetrieben gesteuert wird, desto gravierender können die Auswirkungen von fehlerhaften oder gefälschten Daten sein.

Die Initiative der Fraunhofer-Gesellschaft zum Industrial Data Space zielt darauf ab, einen sicheren Datenraum zu schaffen, der Unternehmen verschiedener Branchen und aller Größen die souveräne Bewirtschaftung ihrer Datengüter ermöglicht. Schutz-, Governance-, Kooperations- und Kontrollmechanismen für die sichere Verarbeitung und den sicheren Austausch der Daten sind der Kern des Industrial Data Space. Dessen Referenzarchitekturmodell soll eine Blaupause für eine Vielzahl von Anwendungen liefern, wo eine solche Form des Datenaustauschs essenzi-

ell ist. Dazu gehören Anwendungen des Maschinellen Lernens, die Verbesserung der Ressourceneffizienz in der Produktion, die Sicherheit im Straßenverkehr, bessere Diagnosen in der Medizin, die intelligente Steuerung der Energieversorgung und die Entwicklung neuer Geschäftsmodelle und verbesserter Dienste der öffentlichen Hand. Für eine erfolgreiche Energiewende ist die Digitalisierung ebenfalls wichtig, denn Verbrauch, Verfügbarkeit und Lasten zu analysieren und intelligent zu steuern ist eine Aufgabe digitaler Systeme. Hier liegt ein zentrales Aktivitätsfeld des Fraunhofer-Instituts für Experimentelles Software Engineering IESE.

### **2.4.3 Herkunfts- und Fälschungssicherheit in der digitalen Welt**

Ein wichtiges Thema der Digitalisierung ist neben der Datenverschlüsselung auch die Validierung und sichere Dokumentation von digital durchgeführten Transaktionen. Daten sind nämlich leichter zu manipulieren als physische Objekte, da sie schnell kopiert werden können und die Veränderung nur weniger Befehle im Computercode ausreichen kann, um die Wirkung des gesamten Systems abzuändern. Eine Papierbanknote oder ein materielles Objekt zu fälschen ist hingegen viel aufwendiger. Zur Validierung der Echtheit von digitalen Einträgen und Transaktionen werden die Möglichkeiten der Blockchain-Technologie getestet und ausgebaut.

Bekannt geworden ist dieses Verfahren vor allem durch seinen Einsatz bei Kryptowährungen (verschlüsselte, digitale Währungen) wie Bitcoin oder Ethereum. Die Blockchain ist prinzipiell eine Datenbank, die dem Hauptbuch der doppelten Buchführung ähnelt, bei der aufeinanderfolgende Transaktionen in chronologischer Weise festgehalten werden und mithilfe von Verschlüsselungsverfahren gegen Manipulation gesichert sind. Diese Blockchain-Datenbanken können auch dezentral, auf mehrere Benutzer verteilt, geführt werden. Das Fraunhofer-Institut für Angewandte Informationstechnik FIT erforscht die Potenziale und entwickelt Innovationen für Blockchain-Anwendungen.

### **2.4.4 Cyber-Sicherheit als Grundlage für moderne Gesellschaften**

IT-, Daten- und Cyber-Sicherheit sind essenziell für das Funktionieren der digitalen Gesellschaft. Dies betrifft den Schutz vor unbefugtem Zugriff auf und Manipulation von Daten und Dateninfrastrukturen sowie die Sicherheit persönlicher und personenbezogener Daten. Sei es im Auto, das inzwischen mehr Programmiercode enthalten kann als ein Flugzeug, sei es bei der Energie- und Wasserversorgung, die von Computern gemanagt wird, oder sei es in hochvernetzten Anlagen der Industrie 4.0

oder des Smart Home – Cyber-Gefährdungen können schwerwiegende Probleme verursachen und müssen deshalb frühzeitig erkannt und abgewehrt werden.

Ausfälle digitaler Systeme können dazu führen, dass ganze Versorgungsnetze zusammenbrechen; das betrifft z. B. Strom, Mobilität, Wasser oder Nahrungsmittel. Neben technischen Innovationen wie der Früherkennung von potenziellen Cyber-Gefährdungen mithilfe des Maschinellen Lernens bieten die Fraunhofer-Institute für Sichere Informationstechnologie SIT und für Angewandte und Integrierte Sicherheit AISEC auch Cyber-Sicherheitsschulungen und Lernlabore an.

### **2.4.5 Anpassung der Cyber-Sicherheitstechnik an den Menschen**

Für die Sicherheit ist es wichtig, dass IT- und Cyber-Sicherheitsanwendungen nutzerfreundlich gestaltet und einfach zu bedienen sind. Ist die Anwendung nämlich zu komplex und aufwendig, wird sie oft gar nicht genutzt – und damit steigt das Risiko. Deshalb wird am Fraunhofer-Institut für Kommunikation, Informationsverarbeitung und Ergonomie FKIE erforscht, wie die Bedienerfreundlichkeit von Informationstechnik und Cyber-Sicherheitssystemen maximiert und so ergonomisch wie möglich gestaltet werden kann. Mit dem neuen Forschungsprojekt „Usable Security“ sollen die bestehenden Grenzen der Bedienbarkeit von Computersystemen erweitert werden. Die Technik soll sich dem Menschen anpassen, nicht wie bisher umgekehrt. Nur wenn der Faktor Mensch im Mittelpunkt des Interesses steht, können die Handlungsfähigkeit und der Schutz im Cyberspace das höchstmögliche Niveau erreichen.

### **2.4.6 Der Mensch im Mittelpunkt der Digitalisierung**

Ein Zurück aus der Digitalisierung ist für eine Hightech-Gesellschaft undenkbar und würde wohl einer Katastrophe gleichkommen. Aber es gibt noch viele neue Anwendungen, die auf uns warten: automatisiertes Fahren, kooperierende Roboter und Assistenzsysteme, Telemedizin, Virtual Reality und digitale öffentliche Dienste. Die Fraunhofer-Institute für Materialfluss und Logistik IML und für Verkehrs- und Infrastruktursysteme IVI entwickeln Fahrerassistenzsysteme weiter zu sicherem und zuverlässigem automatisierten Fahren in den Bereichen Straßenverkehr, Landwirtschaft und Logistik.

Mit der Weiterentwicklung der digitalen Welt sind aber auch etliche Herausforderungen verbunden wie der Schutz digitaler Daten und Infrastrukturen, der effiziente, effektive und intelligente Umgang mit „Big Data“, schnellere Datenübertra-

gung und Verringerung der Latenzzeiten sowie die Weiterentwicklung von Prozess-technologien und Rechenverfahren.

Die nächste Phase der Entwicklung könnte durch die Verbindung von digitalen und biologischen Konzepten charakterisiert sein – da sich genetischer und binärer Code ähnlich sind. Lernende Robotiksysteme, Schwarmintelligenz in der Logistik, Biosensorik, 3D-Druck und programmierbare Materialien weisen bereits in diese Richtung. Die Fraunhofer-Gesellschaft widmet sich den Lösungen für Herausforderungen und Innovationen, um den Prozess der Digitalisierung weiterhin zu verbessern und voranzutreiben – wobei der Mensch stets im Mittelpunkt bleibt.

## Digitalisierung von Kulturartefakten und industriellen Produktionsprozessen

Prof. Dr. Dieter W. Fellner

Fraunhofer-Institut für Graphische Datenverarbeitung IGD

---

### Zusammenfassung

Technologien der virtuellen und erweiterten Realität konnten sich bereits in zahlreichen Engineering-Anwendungsfeldern etablieren. Auch im Bereich von Kultur und Medien werden zunehmend interaktive dreidimensionale Inhalte zu Informationszwecken zur Verfügung gestellt und für wissenschaftliche Forschung genutzt. Diese Entwicklung wird zum einen durch den aktuellen Fortschritt von Smartphones, Tablets und Head-Mounted-Displays beschleunigt. Sie unterstützen komplexe 3D-Anwendungen in mobilen Anwendungsszenarien und ermöglichen es, unsere reale Umgebung durch multimodale Sensorik zu erfassen, um das reale Umfeld mit der 3D-Datenwelt zu korrelieren. Zum anderen erlauben neue, automatisierte Digitalisertechnologien wie CultLab3D des Fraunhofer-Instituts für Graphische Datenverarbeitung IGD, die dafür notwendigen digitalen Repliken von realen Objekten wirtschaftlich, schnell und in hoher Qualität zu generieren.

---

### 3.1 Einleitung: Digitalisierung realer Objekte am Beispiel von Kulturgütern

Um kulturelles Erbe bestmöglich zu erhalten und zu dokumentieren, wurden digitale Strategien auf politischer Ebene weltweit formell etabliert. Neue Initiativen wie die „iDigBio Infrastruktur“ oder „Thematic Collections Networks“ in den USA fördern die fortgeschrittene Digitalisierung von biologischen Sammlungen. Auch sind die EU-Mitgliedstaaten durch die Europäische Kommission aufgefordert, ihre Digitalisierungsbemühungen zu verstärken. Der Exekutivvorgang ist Teil der Digitalen Agenda für Europa und unterstreicht die Notwendigkeit, verbesserte Bedingungen für die Online-Zugänglichkeit von historischem Kulturgut im großen Maß-