

# 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 Weiter- entwicklung . . . . .	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>Audiocodex</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 Assistenzfunktionen	142
9.4.2	Untersuchung der Detektions- und Diskriminationsfähigkeit 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</b>	<b>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</b>	<b>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</b>	<b>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</b>	<b>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</b>	<b>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</b>	<b>Safety und 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>	<b>295</b>
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>	<b>311</b>
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>	<b>321</b>
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	Reichweitereverlängerung 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