Hans-Jörg Bullinger · Michael ten Hompel (Hrsg.)

# Internet der Dinge

Hans-Jörg Bullinger · Michael ten Hompel (Hrsg.)

# Internet der Dinge

www.internet-der-dinge.de

Mit 149 Abbildungen

Springer

Professor Dr. Hans-Jörg Bullinger

Fraunhofer-Gesellschaft zur Förderung
der angewandten Forschung e.V.
Hansastraße 27c
80686 München
Germany

*hans-jörg.bullinger@zv.fraunhofer.de*

Professor Dr. Michael ten Hompel

Fraunhofer-Institut für Materialfluss und Logistik
Joseph-von-Fraunhofer-Straße 2–4
44227 Dortmund
Germany

*michael.ten.hompel@iml.fraunhofer.de*

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

ISBN 978-3-540-36729-1 Springer Berlin Heidelberg New York

Dieses Werk ist urheberrechtlich geschützt. Die dadurch begründeten Rechte, insbesondere die der Übersetzung, des Nachdrucks, des Vortrags, der Entnahme von Abbildungen und Tabellen, der Funksendung, der Mikroverfilmung oder der Vervielfältigung auf anderen Wegen und der Speicherung in Datenverarbeitungsanlagen, bleiben, auch bei nur auszugsweiser Verwertung, vorbehalten. Eine Vervielfältigung dieses Werkes oder von Teilen dieses Werkes ist auch im Einzelfall nur in den Grenzen der gesetzlichen Bestimmungen des Urheberrechtsgesetzes der Bundesrepublik Deutschland vom 9. September 1965 in der jeweils geltenden Fassung zulässig. Sie ist grundsätzlich vergütungspflichtig. Zuwiderhandlungen unterliegen den Strafbestimmungen des Urheberrechtsgesetzes.

Springer ist ein Unternehmen von Springer Science+Business Media

springer.de

© Springer-Verlag Berlin Heidelberg 2007

Die Wiedergabe von Gebrauchsnamen, Handelsnamen, Warenbezeichnungen usw. in diesem Buch 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. Sollte in diesem Werk direkt oder indirekt auf Gesetze, Vorschriften oder Richtlinien (z. B. DIN, VDI, VDE) Bezug genommen oder aus ihnen zitiert worden sein, so kann der Verlag keine Gewähr für die Richtigkeit, Vollständigkeit oder Aktualität übernehmen. Es empfiehlt sich, gegebenenfalls für die eigenen Arbeiten die vollständigen Vorschriften oder Richtlinien in der jeweils gültigen Fassung hinzuzuziehen.

Satz: Digitale Vorlage der Autoren
Herstellung: LE-TEX Jelonek, Schmidt & Vöckler GbR, Leipzig
Einbandgestaltung: WMXDesign, Heidelberg, nach Vorlage von Lars Besten, Dortmund

Gedruckt auf säurefreiem Papier 68/3180/YL – 5 4 3 2 1 0

# Inhaltsverzeichnis

**Abkürzungsverzeichnis ..... XIII**

**Zum Geleit ..... XIX**

**Vorwort: Intelligenteres Leben im „Internet der Dinge“ ..... XXIII**

**Vorwort: Wie das „Internet der Dinge“ die Welt der Logistik verändert ..... XXIX**

**Marktübersicht und politisches Umfeld ..... 1**
1 Wirtschaftliches und politisches Umfeld der Radiofrequenz-Identifikation ..... 1
2 Potenzial ..... 2
3 Marktentwicklung in Deutschland ..... 4
4 Mittelstand ..... 8
5 Politische Dimension ..... 11
6 Ausblick ..... 15
Literatur ..... 16

**Der RFID-Markt aus Sicht der Anwender und Anbieter ..... 19**
1 Einführung ..... 19
2 Marktbefragung ..... 19
3 Charakteristika der Studien-Teilnehmer ..... 20
4 AutoID-Technologien im Vergleich ..... 26
5 Technologische Komponenten ..... 28
6 Standardisierung und der hieraus bedingte Handlungsbedarf ..... 31
7 Anwendungsbereiche und Einflussfaktoren ..... 33
8 Zusammenfassung und Ausblick ..... 37
Literatur ..... 38

**Mit Low-Power-Funktechnologie auf dem Weg zu ubiquitous computing ..... 39**
1 Einführung ..... 39
2 Anwendungsgebiete ..... 40
3 Funktechnologien ..... 42
4 Die Auswahl der richtigen Funktechnologie ..... 46
5 Zusammenfassung ..... 47

**Internet der Dinge – Anwendung von RFID- und Tracking-Technologien zur intelligenten kooperativen Assistenz im Arbeitsprozess .... 49**
1 Einführung ..... 49
2 MICA ..... 50
2.1 Multimodalität und Interaktion ..... 50
2.2 Lokalisierung und Tracking ..... 54
2.3 MICA Assistenz im Lager ..... 56
3 Kooperationsaktive Dokumente: ContextDesk ..... 60
Literatur ..... 61

**Internet – eine Infrastruktur in der Pubertät ..... 63**
1 IP-fizierung – mehr als ein Internet-Kühlschrank ..... 64
1.1 Neue Player – neues Internet ..... 64
1.2 Voice over IP – ein Beispiel für die IP-fizierung ..... 65
1.3 IP-TV – die nächste Generation der Medien ..... 65
1.4 Vehicular Networking – das Internet auf Rädern ..... 66
1.5 Communities – Soziale Netzwerke im Internet ..... 67
2 Internet – „Selbst“ ist das Netz ..... 68
3 (Dienst-)Welten verbinden – Internet und Telekommunikation ..... 70
4 Service-115 – ein Dienst für alle ..... 72
5 (e)Migration und Interoperabilität – aus Alt mach Neu ..... 73
6 Internet – Übergänge sicher stellen ..... 74
7 Standardisierung und Innovation – untrennbar miteinander verbunden ..... 74
8 Das Internet wird erwachsen ..... 75

**Telematik und RFID – Elektronische Beobachter gestalten die gesicherte Warenkette ..... 77**
1 Funktechnologien erobern das logistische Objekt ..... 77
2 RFID/Telematik in der gesicherten Warenkette ..... 79
3 Der intelligente Ladungsträger ..... 82
4 Standardisierung und Zertifizierung ..... 86
5 Zusammenfassung ..... 88
Literatur ..... 88

**Selbstorganisation: Dinge in eigenverantwortlicher Kooperation – eine Systemanalyse ..... 91**
1 Einführung ..... 91
2 Dinge bieten ihre Dienste an ..... 92
3 Dinge als kooperative autonome Einheiten ..... 97
4 Kooperation durch gemeinsame Strategieausführung ..... 99
5 Zusammenfassung ..... 102
Literatur ..... 103

**Sensornetzwerke und Lokalisierungsverfahren als Schlüsseltechnologien für die intelligente logistische Umwelt von morgen ..... 107**
1 Auf dem Weg zum Internet der Dinge – das Versprechen innovativer Smart-Object-Technologien ..... 107
2 Bemerkungen zum State of the Art der RFID-Technologie: Die aktuellen Weiterentwicklungsbedarfe ..... 108
3 Technologische Lösungsansätze: Kostenreduktion durch Einsatz neuer Materialien und Erweiterung des Funktionsumfangs elektronischer Tags ..... 109
4 Die Technologie der Sensornetzwerke im Fokus: Vernetzung und Lokalisierung ..... 111
5 Ein Technologiebeispiel: Sensornetzprotokoll „Slotted MAC“ ..... 113
6 Ein Anwendungsbeispiel: Sicherung von Waren im Distributionsprozess mithilfe von Sensornetzwerken ..... 115
7 Offene Fragestellungen und Ausblick ..... 117
Literatur ..... 118

**Simulation selbststeuernder Transportnetze ..... 119**
1 Einführung ..... 119
2 Simulationsmodell ..... 120
3 Forschungsgrundlagen ..... 121
4 Algorithmen ..... 122
5 Simulationsergebnisse ..... 123
6 Ausblick ..... 125
Literatur ..... 126

**Modellbasiertes Requirements Engineering ..... 127**
1 Einführung ..... 127
2 Technologisches Umfeld für das Internet der Dinge ..... 128
2.1 Basistechnologien ..... 128
2.2 Perspektive für zukünftige Anwendungen ..... 133
3 Domänenbeschreibung ..... 135
3.1 Warehouse Logistics ..... 136

3.2 Baggage Handling Logistics ..... 141
4 Modellbasierte Erfassung von Anforderungen ..... 146
4.1 Motivation ..... 146
4.2. Modell und Achsen ..... 148
5 Anwendung des modellgestützten Requirements Engineering ..... 153
6 Ausblick ..... 154
Literatur ..... 155

**Technologische Trends bei RFID-Systemen für den Einsatz im Internet der Dinge ..... 157**
1 Einführung ..... 157
2 Anwendung der RFID-Technologie in verschiedenen Branchen ..... 159
3 Funktionsweise und derzeitige Kennwerte der RFID-Technologie 162
4 Spezielle Lösungen und neue Funktionen ..... 165
4.1 Die Kombination von RFID und Sensoren ..... 165
4.2 Antennen für UHF-Transponder ..... 169
4.3 Integrationsfähigkeit von Transpondern in Verpackungen ..... 172
4.4 Mehrfrequenztransponder ..... 173
4.5 Lokalisierung passiver Tags ..... 174
4.6 Semiaktive Transponder ..... 176
5 Ausblick ..... 176
Literatur ..... 177

**Sicherer Informationsaustausch im Internet der Dinge ..... 179**
1 Einführung ..... 179
2 Organisationsübergreifende Verarbeitung von Objektdaten ..... 179
3 Informationsverarbeitung in der Netzwerkebene ..... 182
4 Sicherheitsrisiken im ONS ..... 184
5 Reduktion von Sicherheitsrisiken ..... 187
Literatur ..... 189

**RFID im Gesundheitswesen – Nutzenpotenziale und Stolpersteine auf dem Weg zu einer erfolgreichen Anwendung ..... 191**
1 Ausgangslage im deutschen Gesundheitswesen ..... 191
2 Anwendungskategorien von RFID im Gesundheitswesen ..... 192
2.1 Anwendungskategorie 1 „Lokalisierung“ ..... 193
2.2 Anwendungskategorie 2 „Messdatenüberwachung“ ..... 193
2.3 Anwendungskategorie 3 „Prozesssteuerung“ ..... 194
2.4 Anwendungskategorie 4 „Berechtigungsmanagement“ ..... 194
3 RFID-Anwendungen in der Praxis ..... 195
3.1 Kurzbeschreibung der vom ISST durchgeführten Studie ..... 195
3.2 Studienergebnisse ..... 195

3.3 Erfolgsfaktoren und Hemmnisse bei der Umsetzung ..... 199
4 Zusammenfassung und Ausblick ..... 200
Literatur ..... 201

**Polytronik und das Internet der Dinge ..... 203**
1 Flexible elektronische Systeme für eine vernetzte Welt ..... 203
2 Polytronik – eine umwälzende Systemintegrationsplattform für die vernetzte Welt ..... 207
3 Technologische Möglichkeiten für die flexible Elektronik ..... 212
3.1 Monokristallines Silizium ..... 212
3.2 Dünnfilm-Silizium ..... 213
3.3 Organische Halbleiter ..... 214
4 Die interdisziplinäre Entwicklung der Polytronik unterstützen ..... 216
Literatur ..... 218

**Ambient Intelligence im Rahmen Service-orientierter Architekturen ..... 219**
1 RFID in Diensten und Systemen ..... 221
2 RFID-Technik: Gefahren kennen, Chancen nutzen ..... 222
3 RFID-Einsatzbereiche ..... 225
3.1 Objektverfolgung/-identifizierung ..... 225
3.2 Personenidentifizierung ..... 226
3.3 Kombinierte Prozesse mit Personen und Objekten ..... 226
3.4 Sicherer transparenter Umschlagplatz ..... 227

**RFID-Einsatz innerhalb der DaimlerChrysler AG ..... 231**
Abstract ..... 231
RFID-Einsatz im Leergutlager des DaimlerChrysler-Werkes Sindelfingen ..... 231
1 Anforderungsspezifikation ..... 232
1.1 Ziele ..... 232
1.2. Prozesse ..... 233
1.3 Technologie ..... 234
1.4 IT-Infrastruktur ..... 235
2 Vorabtests bei Fraunhofer IML ..... 236
2.1 Testreihen ..... 237
2.2 Test der Erfassungsszenarien ..... 239
3 Fazit ..... 242

**Der Einsatz von RFID-Hardware – Aspekte der Frequenzbereiche, Einsatzmöglichkeiten und Grenzen im industriellen Umfeld ..... 243**
1 Einführung ..... 243

2 Eigenschaften der Frequenzbereiche ... 244
3 Die Parameter der Frequenzbereiche im Einzelnen ... 245
3.1 LF-Bereich (119 ... 148,5 kHz) ... 246
3.2 HF-Bereich (13,56 MHz) ... 247
3.3 UHF-Bereich ... 248
3.4 GHz-Bereich (2,4 ... 2,5 GHz) ... 250
4 Technik ... 251
4.1 Transponder ... 251
4.2 Speichertypen ... 252
5 Physikalische Aspekte ... 253
5.1 Auslesung von bewegten Systemen ... 253
5.2 Lesereichweiten in der Praxis ... 254
6 Zusammenfassung und Blick in die Zukunft ... 254
Literatur ... 256

**Prozesse in offenen Systemen gestalten ... 257**
1 Einführung ... 257
2 EPCglobal-Netzwerk ... 259
3 EPC-Showcase ... 262
3.1 Produktionsbetrieb ... 263
3.2 Distributionszentrum ... 264
4 Blick in die Zukunft ... 265

**Integrierte RFID sorgt für mehr Qualität bei Life Sciences ... 267**

**Kühlketten lückenlos online überwachen – Intelligente Sendungsverfolgung schließt Lücke bei unternehmensübergreifenden Transportprozessen ... 273**
1 Einführung ... 273
2 Intelligente Sendungsverfolgung bei unternehmensübergreifenden Transportprozessen ... 274
3 Standort- und Unternehmensgrenzen überwinden ... 275
4 Lückenlose Überwachung sensibler Güter ... 277
5 Intelligentes Behälter- und Asset-Management ... 279
6 Ausblick ... 280

**Multiagentensysteme im Internet der Dinge – Konzepte und Realisierung ... 281**
1 Software-Agenten ... 281
2 Adaptivitätsanforderungen ... 283
3 Agentifizierung von intralogistischen Systemen ... 284
4 Entwicklung einer Multiagenten-basierten Steuerung ... 285

5 Enterprise Application Integration ..... 292
Literatur ..... 293

**LogAgency SCM-Datenprozessplattform – RFID-Anwendungen als SaaS-Lösung ..... 295**
1 Einführung ..... 295
2 SaaS, die Weiterentwicklung von ASP ..... 295
3 SCM-Datenprozessplattform ..... 296
4 RFID mittels SaaS-Technologie ..... 298
5 Das Internet der Dinge als Verbindung zwischen Ware und Daten 303
6 Ausblick ..... 303

**RFID – Schlüsseltechnologie für die Zukunft des Handels ..... 305**
1 Der Handel im Umbruch ..... 305
2 RFID-Einsatz auf Paletten und Kartons ..... 306
3 Vorteile für alle Marktteilnehmer ..... 308
4 Standards sind die Voraussetzung ..... 308
5 Erfolgsfaktor METRO Group RFID Innovation Center ..... 309
6 Unsere Vision: RFID auf Artikelebene ..... 312
7 Den Weg gemeinsam gehen ..... 313

**Das X-Internet – Verbindung zwischen physischer und Cyber-Welt ..... 315**
1 Einführung ..... 315
2 Technologien, die nahtlose Mobilität in der X-Internet-Welt ermöglichen ..... 317
2.1 Kontextbewusstsein ..... 319
2.2 Peer-to-Peer-Bewusstsein, Selbstorganisation und autonomes Handeln ..... 321
2.3 Neue Formfaktoren ..... 322
3 Supply Chain Management/Produktlebenszyklusmanagement ..... 323
4 Beispiele, bei denen X-Internet-Technologie bereits auf dem Vormarsch ist ..... 329
Literatur ..... 330

**RFID im praktischen Einsatz ..... 331**
1 Supply Chain Management ..... 331
1.1 Der Warenfluss mit RFID ..... 332
1.2 Der Informationsfluss mit AutoID Backbone ..... 334
2 AutoID Backbone ..... 335
2.1 Schichtenmodell von AutoID Backbone ..... 336
2.2 Sicherheit im AutoID Backbone ..... 337

3 Real-Time Enterprise ..... 338
4 RFID-Einsatz außerhalb der Warenlogistik ..... 340
5 Ausblick ..... 343
5.1 Standardisierung ..... 343
5.2 Massenmarkt ..... 344
5.3 PolyApply ..... 344

**RFID im mittelständischen Einsatz ..... 347**
1 Einleitung ..... 347
2 Ist der Mittelstand bereit für RFID? ..... 347
2.1 Mit Barcode schon heute komplexe Handels-Logistik in den Griff bekommen ..... 349
2.2 RFID unterstützt das Ersatzteilgeschäft im Maschinenbau ..... 352
3 Effizienzsteigerung durch RFID entlang der Supply Chain ..... 355
4 Rolle des ERP-Systems für die informationslogistische Kette ..... 360
5 Zusammenfassung ..... 363

**Rechtliche Dimensionen der Radio Frequency Identification ..... 365**
1 Einführung ..... 365
2 Rechtliche Bewertung von RFID ..... 366
2.1 Recht des Datenschutzes ..... 367
2.2 Recht der Datensicherheit ..... 387
2.3 Schutz der vertraulichen Kommunikation (Fernmeldegeheimnis) ..... 402
3 Rechtspolitische Debatte ..... 408
3.1 Technologischer Wandel und das Prinzip der Verantwortung ..... 408
3.2 Hohes Schutzniveau durch bestehende rechtliche Vorkehrungen ..... 410
3.3 Optimierung des Schutzinstrumentariums ..... 410
3.4 Zukünftige Entwicklung ..... 414
4 Zusammenfassung ..... 416
Literatur ..... 418

**Wahrnehmungen im Spannungsfeld neuer Technologien – Welchen Einfluss haben weiche Faktoren auf die Entwicklung von RFID? ... 421**
1 Wahrnehmungen als Gradmesser für den Erfolg von Technologien 423
2 Situation im Kontext RFID ..... 426
3 Die vier W der Risikokommunikation: Wann? Was? Wie? Mit Wem? ..... 432
4 Kommunikative Chancen und Risiken für die RFID-Technologie ..... 437
5 Fazit ..... 439
Literatur ..... 440

# Abkürzungsverzeichnis

| | |
|---|---|
| AM-Display | Aktiv-Matrix-Display |
| AS2 | Applicability Statement 2 |
| a-Si | Amorphous Silicon |
| ASIC | Application Specific Integrated Circuit |
| ASM | Anschaltmodul |
| ASP | Application Service Providing |
| B2B | Business to Business |
| B2C | Business to Consumer |
| BDSG | Bundesdatenschutzgesetz |
| BGB | Bürgerliches Gesetzbuch |
| BHICS | Baggage Handling Information and Control System |
| BHS | Baggage Handling System |
| BMBF | Bundesministerium für Bildung und Forschung |
| BSCW | Basic Support for Cooperative Work |
| BSI | Bundesamt für Sicherheit in der Informationstechnologie |
| BVerfG | Bundesverfassungsgericht |
| CA | Certificate Authority |
| CCD | Charge-coupled Device |
| CCO | Capacitiv Controlled Oscillator |
| CEPT | Conférence Européenne des Administrations des Postes et des Télécommunications |
| CMOS | Complementary Metal Oxide Semiconductor |
| CRC | Cyclic Redundancy Check |
| CRM | Customer Relationship Management |
| DDoS | Distributed Denial of Service |
| DECT | Digital Enhanced Cordless Telecommunications |
| DESADV | Despatch Advise |
| DFG | Deutsche Forschungsgemeinschaft |
| DNS | Domain Name System |
| DNSSEC | DNS Security Extensions |
| DoS | Denial of Service |
| DRG | Diagnosis Related Groups |
| DVB | Digital Video Broadcasting |
| EAI | Enterprise Application Integration |

| | |
|---|---|
| EAN | International Article Number, früher European Article Number |
| EAS | Elektronische Artikelsicherung |
| EAS | Electronic Article Surveillance |
| EDI | Electronic Data Interchange |
| EDIFACT | Electronic Data Interchange For Administration, Commerce and Transport |
| EDV | Elektronische Datenverarbeitung |
| EEPROM | Electrically Erasable Programmable Read-Only Memory |
| EGStGB | Einführungsgesetz zum Strafgesetzbuch |
| EICAR | European Expert Group for IT Security |
| EL | Elektrolumineszenz |
| EMC | Electromagnetic Compatibility |
| EMV | Elektromagnetische Verträglichkeit |
| EPC | Electronic Product Code |
| EPCIS | EPC Information Services |
| ERP | Enterprise Resource Planning |
| ESP | Event Stream Processing |
| ETSI | European Telecommunications Standards Institute |
| F&E | Forschung und Entwicklung |
| FET | Feldeffekttransistor |
| FFD | Full Function Devices |
| FIFO | First In – First Out |
| FIPA | Foundation for Intelligent Physical Agents |
| FMCG | Fast Moving Consumer Goods |
| FSK | Frequency Shift Keying (Frequenzumtastung) |
| FTF | Fahrerloses Transportfahrzeug |
| FTK | Forschungsinstitut für Telekommunikation |
| FTS | Fahrerloses Transportsystem |
| GG | Grundgesetz |
| GIAI | Global Individual Asset Identification |
| GPRS | General Packet Radio Service |
| GPS | Global Positioning System |
| GRAI | Global Returnable Asset Identification |
| GS1 | Global Standards 1 |
| GSM | Global System for Mobile Communications |
| HBS | Hold Baggage Screening System |
| HF | High Frequency |
| HSDPA | High Speed Downlink Packet Access |
| HSUPA | High Speed Uplink Packet Access |
| HTTP | Hypertext Transfer Protocol |
| HW | Hardware |

| | |
|---|---|
| IATA | International Air Transport Association |
| IC | Integrated Circuit |
| IEEE | Institute of Electrical and Electronics Engineers |
| IETF | Internet Engineering Task Force |
| IMEI | International Mobile Equipment Identity |
| IMS | IP Multimedia System |
| IO | Input Output |
| IP | Internet Protocol |
| IPC | Industrie-PC |
| IRTF | Internet Research Task Force |
| ISO | Internationale Organisation für Normung |
| ISUP | ISDN User Part |
| IT | Informationstechnik |
| ITU-T | International Telecommunication Union – Telecommunication Standardization Sector |
| IuK | Information und Kommunikation |
| JADE | Java Agents Development Framework |
| KEP | Kurier-, Express- und Paketdienste |
| KI | Künstliche Intelligenz |
| KLT | Kleinladungsträger |
| KQML | Knowledge Query and Manipulation Language |
| LAN | Local Area Network |
| LBT | Listen Before Talk |
| LED | Light Emitting Diode |
| LF | Low Frequency |
| LVS | Lagerverwaltungssystem |
| MAC | Medium Access Control |
| MDS | Mobiler Datenspeicher |
| MEMS | Micro-Electro-Mechanical System |
| MFC | Material Flow Control |
| MFR | Materialflussrechner |
| MIMO | Multiple Input Multiple Output |
| MIT | Massachusetts Institute of Technology |
| MMS | Multimedia Messaging Service |
| NBIC | Nano-Bio-Info-Cogno |
| NC | Numerical Control |
| NFC | Near Field Communication |
| NVE | Nummer der Versandeinheit |
| Odette | Organization for Data exchange by Tele Transmission in Europe |
| OEM | Original Equipment Manufacturer |
| OFET | Organischer Feldeffekttransistor |

| | |
|---|---|
| OLED | Organic Light-emitting Diode |
| ONS | Object Name Service |
| OR | Operations Research |
| OTP | One Time Programmable |
| OWiG | Ordnungswidrigkeitengesetz |
| PDA | Personal Digital Assistant |
| PECVD | Plasma Enhanced Chemical Vapour Deposition |
| PKI | Public Key Infrastructure |
| PLC | Programmable Logic Controller |
| PoC | Proof of Concepts |
| PWB | Printed Wired Board |
| QVGA | Quarter Video Graphics Array |
| RAM | Random Access Memory |
| RE | Requirements Engineering |
| RFC | Request for Comments |
| RFD | Reduced Function Devices |
| RFID | Radio Frequency Identification |
| RFOL | Radio Frequency Object Localization |
| ROI | Return on Investment |
| ROM | Read-only Memory |
| RSSI | Received Signal Strength Indication |
| SaaS | Software as a Service |
| SC | Supply Chain |
| SCE | Supply Chain Execution |
| SCM | Supply Chain Management |
| SCTP | Stream Control Transmission Protocol |
| SGTIN | Serialised Global Trade Item Number |
| SIP | Session Initiation Protocol |
| SLK | Shipment Localisation Kits |
| SMD | Surface-mounted Device |
| SMS | Short Message Service |
| SOA | Service-oriented Architecture |
| SOAP | Service-orientiertes Architektur-Protokoll |
| SPS | Speicherprogrammierbare Steuerung |
| SRAM | Static Random Access Memory |
| SSCC | Serial Shipping Container Code |
| SSL | Secure Sockets Layer |
| StGB | Strafgesetzbuch |
| SW | Software |
| TA | Transportauftrag |
| TCO | Total Cost of Ownership |
| TCP/IP | Transmission Control Protocol/Internet Protocol |

| | |
|---|---|
| TDMA | Time Division Multiple Access |
| TDoA | Time Difference of Arrival |
| TE | Transporteinheit |
| TKG | Telekommunikationsgesetz |
| TLS | Transport Layer Security |
| ToA | Time of Arrival |
| TOR | The Onion Router |
| TTCN | Testing and Test Control Notation |
| UCC | Uniform Code Council |
| UDP | User Datagram Protocol |
| UHF | Ultra High Frequency |
| UML | Unified Modeling Language |
| UMTS | Universal Mobile Telecommunications System |
| URI | Uniform Resource Identifier |
| URL | Uniform Resource Locator |
| UWB | Ultra Wide Band |
| UWG | Gesetz gegen den unlauteren Wettbewerb |
| VDA | Verband der Automobilindustrie e. V. |
| VoIP | Voice over IP |
| VPN | Virtual Private Network |
| WLAN | Wireless Local Area Network |
| WMS | Warehouse Management System |
| XML | Extensible Markup Language |

# Zum Geleit

Das Internet, der globale Zusammenschluss vieler Millionen Computer zu einem ungemein leistungsfähigen und vielfältigen Netzwerk, ist aus unserer Welt nicht mehr wegzudenken. Es hat mit seinen technischen Möglichkeiten und Diensten wie E-Mail, dem World Wide Web oder IP-Telefonie in den letzten zehn Jahren den Impuls für zum Teil grundlegende ökonomische und soziale Wandlungsprozesse geliefert. Obwohl das Netz bereits heute umfassend in unseren beruflichen wie auch privaten Alltag integriert und auch gesellschaftlich akzeptiert ist, scheint mit seiner Entwicklung noch lange nicht Schluss zu sein: Heute endet das Internet am Computerbildschirm, sein technisches Wirkungsfeld beschränkt sich auf die digitale Welt der Rechner daheim oder am Arbeitsplatz. Noch nicht automatisiert ist bis heute die Verbindung zwischen dieser Welt digitaler Informationsflüsse mit der Welt physischer Dinge, zu der wir selbst mit allen unseren Dingen gehören und in der wir leben und arbeiten. Diese Verknüpfung muss nach wie vor von Menschen in einem manchmal mühsamen und fehleranfälligen Prozess hergestellt werden.

Hier setzt die Metapher vom *Internet der Dinge* an. Sie steht für eine grandiose Vision, in der das Internet über den Bildschirm hinaus Teil der physischen Welt wird, und in der jeder Gegenstand der realen Welt umgekehrt ein Teil des Internets werden kann. Alltagsdinge können so in direkter oder indirekter Weise mit Information versehen werden oder als physische Zugangspunkte zu Internet-Services dienen. Damit tun sich weitreichende und bis dato ungeahnte Möglichkeiten auf.

Realisierbar wird die Vision vom Internet der Dinge durch den technischen Fortschritt der letzten Jahre, insbesondere durch die Miniaturisierung von elektronischen Bauteilen wie Mikroprozessoren, Speichermodulen, Sensoren und Kommunikationskomponenten bei gleichzeitiger Preisdegression. Sie lässt die Herstellung von „Kleinstcomputern“ zu, die so winzig und billig sind und mit so wenig Energie auskommen, dass sie ohne großen Aufwand in nahezu beliebige Dinge des privaten wie wirtschaftlichen Lebens integriert werden können. Alltagsgegenstände wie Medikamente, Konsumgüter oder auch Transportbehälter können so mit einem Stück digitaler Logik ergänzt werden, was die physische Funktion des Gegenstands um die flexiblen Fähigkeiten einer verschwindend klei-

nen mikroelektronischen Komponente erweitert und eine Vernetzung mit anderen Gegenständen sowie Diensten des Internets möglich macht.

Mit dem Internet der Dinge erhalten Computer und Informationssysteme somit im wahrsten Sinn des Wortes zum ersten Mal Augen und Ohren. Wo heute noch Menschen aufwendig, teuer und fehleranfällig den Rechner per Tastatur oder Barcodescan mit Informationen über ihre physische Umgebung versorgen, können in naher Zukunft physische Objekte diese Informationen selbstständig zu einem Bruchteil bisheriger Kosten wahrnehmen und automatisch weitergeben. Wo wirtschaftlich vorteilhaft, führt dies zwangsläufig zur Erhebung von wesentlich feingranulareren Daten, die in der Folge völlig neue Prozesse, Dienstleistungen und Produkte ermöglichen.

Wie lässt sich diese enorme ökonomische Bedeutung erklären? Auch heute noch gilt die klassische Managementweisheit, dass Unternehmen nur managen können, was sie messen können. Vorgänge, die heute nicht zu vernünftigen Kosten genau genug messbar sind, beispielsweise die exakten Warenbestandsänderungen im Regal eines Supermarkts, können auch nicht hinreichend genau gesteuert werden. Die Folge sind kostspielige Ineffizienzen, im Fall des Supermarktregals etwa hohe so genannte „Out-of-Shelf"-Quoten bei Produkten, die nachgefragt werden, aber für Kunden nicht verfügbar sind. Wäre ein Regal nun aber mit der notwendigen Sensorik ausgestattet, so dass es seinen Bestand automatisch und in Echtzeit messen kann, so könnte seine Wiederbefüllung wesentlich feiner und besser an die Nachfrage angepasst gesteuert werden, was eine höhere Warenverfügbarkeit zur Folge hat. Aus dem gewöhnlichen Metallgestell würde auf diese Weise ein „smartes" Regal und ein Enabler für einen Prozess, der zuvor mangels entsprechender Informationsgrundlage nicht realisierbar war.

Die Entwicklung des Internets der Dinge hat für die Wirtschaft ähnliche Bedeutung wie die Einführung bildgebender Verfahren in der Medizin, die einen gewaltigen Fortschritt für die gesamte Disziplin initiierte. Erst Technologien, wie die vor etwa dreißig Jahren entwickelte Magnetresonanztomographie, ermöglichten eine „Anatomie am Lebenden" und führten so zu einer zuvor nicht gekannten Präzision und Informationsfülle in der Diagnostik. Analog ist aus Sicht der Managementlehre auch das Internet der Dinge – hier als Sammelbegriff für die Anwendung der Technologien aus dem Bereich Ubiquitous bzw. Pervasive Computing, RFID, Real World Awareness und Sensornetze verstanden – ein letztlich nur logischer nächster Schritt in der Entwicklung der betrieblichen Informationsverarbeitung. Waren die monolithischen Mainframe-Systeme der EDV bis in die 70er Jahre hinein noch auf die Unterstützung einzelner, isolierter Funktionsbereiche eines Unternehmens ausgerichtet, brachten die 80er Jahre mit dem

Aufkommen betriebswirtschaftlicher Standardsoftware die unternehmensinterne Integration und Eliminierung von Medienbrüchen in Form mehrfacher manueller Erfassung derselben Daten auf unterschiedlichen Medien. Die 90er Jahre standen im Zeichen der überbetrieblichen Integration auf der Basis von E-Business-Systemen, durch die Medienbrüche beseitigt wurden, die in der Kommunikation zwischen verschiedenen Unternehmen entstanden. Das Internet der Dinge überwindet nun den letzten großen Medienbruch: jenen zwischen der realen und der digitalen Welt. Erste Vertreter dieser Informationssysteme sind in Form von RFID-Infrastrukturen bereits im Entstehen.

Jede der zuvor genannten technischen Entwicklungsphasen brachte auch neue betriebswirtschaftliche Konzepte hervor, die die Managementlehre nachhaltig prägen sollten. Im Fall der ERP-Standardsoftware war es das Paradigma der durchgängigen Geschäftsprozessgestaltung, welches das klassische Denken in Organisationseinheiten ablöste. Die Möglichkeit zur Integration von Informationssystemen über Unternehmensgrenzen hinweg führte zu einer verstärkten Koordination zwischen Partnern entlang der Lieferkette, die sich in den Techniken des Supply Chain Managements niederschlug. Im Fall des Internet der Dinge ist es die technische Möglichkeit, Datenerfassung und teilweise auch Prozesslogik aus dem zentralen Informationssystem heraus in physische Objekte zu verlagern, aus der sich heute erste Ansätze eines „High Resolution Management" entwickeln. Die zentrale Idee ist es hier, Prozesse eines Unternehmens, die sich durch eine hohe Variantenvielfalt in Bezug auf Produkte und Abläufe auszeichnen, zahlreiche ungeführte manuelle Tätigkeiten umfassen und sich aufgrund ihrer Komplexität einer Automatisierung entziehen, durch „smarte Objekte" genauer und flexibler zu steuern, als dies bisher aufgrund einer Prozesskontrolle mittels Statistiken und Extrapolationen möglich ist.

Dieser Logik folgend beteiligten sich Unternehmen wie METRO, Wal-Mart und Gillette am 1999 gegründeten Auto-ID Center. Die Vision der Auto-ID-Center-Forscher am MIT, in Cambridge und St. Gallen war es, eine Infrastruktur zu spezifizieren, die in der Lage sein sollte, jedes Objekt dieser Welt überall und automatisch zu identifizieren („identify any object anywhere automatically"). Dazu wurde ein Nummerierungsschema zur Benennung physischer Dinge entwickelt, der sogenannte „Electronic Product Code" (EPC), ferner Konzepte zur Herstellung von billigsten Transponderchips („5 Cent Tag"), Funkprotokolle für die sogenannte „Luftschnittstelle" zwischen diesen Chips und Lesegeräten auf Basis der RFID-Technologie, Schnittstellenstandards für Hardware und Software, welche Daten zu „smarten Dingen" über das Internet austauschen (EPCIS) sowie ein Lookup-Service (Object Name Service, ONS), der es erlaubt, weltweit Informationen aus dezentral organisierten Datenbeständen zu je-

dem „smarten Ding“ zusammenzutragen. Die Ergebnisse des Forschungsprojekts wurden im Jahr 2003 an die weltweit führende Standardisierungsorganisation GS1 auslizenziert, die sie heute der Wirtschaft unter dem Namen *EPCglobal* als ersten globalen Infrastrukturstandard für das Internet der Dinge zur Verfügung stellt.

Die technische Entwicklung des Internet der Dinge steckt trotz großer Anfangserfolge im Bereich des Electronic Product Code nach wie vor in den Kinderschuhen. Der Forschungsbedarf im Bereich Hardware (z. B. Sensorik, Kommunikation, Energie, Aktuatorik), Software (z. B. Sicherheit) und Netzwerke (z. B. „Google der Dinge“, Verknüpfung zur Mobiltelefonie) ist enorm. Gewaltige Anstrengungen erfordert neben der Arbeit an den Basistechnologien auch die anwendungsnahe Forschung. Die Geschichte technischer Entwicklungen zeigt, dass Anwendungen im Gegensatz zum rein technischen Fortschritt praktisch nicht vorhersagbar sind. Eine frühzeitige oder einseitige Fokussierung auf potenzielle Risiken unter Ausblendung der möglichen Nutzeneffekte einer neuen Technologie kann ganze Anwendungsklassen zeitlich ausbremsen und damit auch die wirtschaftliche Entwicklung von Regionen. Eine ausgewogene und konstruktive Diskussion in Wissenschaft, Wirtschaft, Politik und Gesellschaft ist daher von zentraler Bedeutung.

Nicht zuletzt deshalb ist es außerordentlich begrüßenswert, dass sich die renommierte Fraunhofer-Gesellschaft, die in vielen Bereichen der europäischen Technologie- und Wissenschaftslandschaft eine traditionell führende Stellung einnimmt, in einem ihrer Schwerpunkte – und eingebettet in einen internationalen Kontext – mit dem Internet der Dinge beschäftigt. Forschung in Europa, insbesondere auf einem so zukunftsträchtigen und bedeutenden Gebiet, ist die Voraussetzung nicht nur für eine führende Rolle Europas im Wettbewerb von Wirtschaft und Wissenschaft, sondern auch für eine hohe Lebensqualität seiner Bürgerinnen und Bürger heute und in Zukunft.

Prof. Elgar Fleisch, Prof. Friedemann Mattern

ETH Zürich

# Vorwort

## Intelligenteres Leben im „Internet der Dinge“ – RFID als Grundlage für autonome Objekte und selbstorganisierende Systeme in intelligenten Umgebungen

Heute verlässt das Internet die Welt unter unseren Schreibtischen und wird zum allgegenwärtigen Medium. Die Dinge, die uns umgeben, fangen an, sich auf Basis von RFID zu vernetzen. Es ist die Rede von *Ubiquitous Computing*, von der Allgegenwärtigkeit künstlicher Intelligenz. Der Weg zur *Ambient Intelligence* im Sinne einer intelligenten Umgebung, die sich auf die Bedürfnisse des Menschen einstellt, ist vorgezeichnet und – wie das *Internet der Dinge* – eines der zentralen Forschungsthemen der Fraunhofer-Gesellschaft.

Richtig angewendet und umgesetzt schafft die RFID-Technologie die Möglichkeit, in Zukunft intelligenter mit unserer Umgebung umzugehen. Dies zu erreichen und Europa einen vorderen Platz bei dieser Entwicklung zu sichern, erfordert wiederum den intelligenten und verantwortungsvollen Umgang mit dieser neuen Welt. Eines scheint für die Protagonisten und Auguren der aktuellen Diskussion in jedem Fall unumkehrbar: Das *Internet der Dinge* wird in der einen oder anderen Weise Teil unserer Umgebung werden. Zunächst in logistischen und produktiven Systemen, werden intelligente Umgebungen zunehmend den Menschen im Alltag dienen können, wenn wir es verstehen, die Möglichkeiten dieser Technologie richtig zu nutzen.

2005 hat die Fraunhofer-Gesellschaft als führende Forschungsorganisation Europas das Thema RFID und das *Internet der Dinge* als eines ihrer zwölf Top-Themen benannt. Dies sagt schon viel über die wissenschaftliche, wirtschaftliche und gesellschaftliche Bedeutung dieses Themas aus. Die folgenden Entwicklungen weisen immer deutlicher darauf hin, dass die Welt in den nächsten Jahren im wahrsten Sinne des Wortes *durch RFID bewegt* wird.

## Unterwegs im Internet der Dinge

Was ist an dieser Technologie so umwälzend? Es ist nicht der Einsatz einer seit vielen Jahren bekannten Technik zum Speichern und Übertragen von Daten mittels elektromagnetischer Felder. Es ist der Paradigmenwechsel, der durch den konsequenten Einsatz dieser Technologie ins Haus steht. Die neue RFID-Technologie ermöglicht die Verschmelzung logischer Information und physischer Umgebung. Dank RFID können nun Gegenstände eigene Informationen mit sich tragen.

Das *Internet der Dinge* hat zwei Seiten. Zunächst bezeichnet es die umfassende RFID-basierte Kennzeichnung von Dingen mit einem elektronischen (Produkt-)Code (EPC) und die Speicherung von Informationen in großen Datenbanken (Data Warehouses). Überschriften wie „Jedem Ding seine Homepage" verdeutlichen den Zusammenhang: Der EPC ist einem einzelnen Objekt zugeordnet und verweist auf eine Internet-Adresse, unter der sich weitere Informationen wie Gebrauchsanweisungen, Downloads, Herkommensnachweise usw. finden.

Die andere Seite des *Internet der Dinge* nutzt darüber hinaus die Möglichkeit, die Daten im RFID-Tag zu verändern und mehr Informationen zu speichern, als zur reinen Identifikation notwendig sind. Mit diesen Informationen „wissen" die Pakete, Behälter und Paletten in der Logistik der Zukunft von Beginn an, wohin sie müssen und finden auch selbst dorthin. In einigen Jahren werden sie untereinander kommunizieren und ihre Transportmittel selbstständig anfordern – so, wie wir uns ein Taxi rufen. In der Logistik von morgen steuern diese Ware-Informations-Einheiten sich mittels verteilter, dezentraler Intelligenz letztlich selbst. In Analogie zum dezentral strukturierten Internet sprechen wir von dem *Internet der Dinge*.

Möglich wird dieser Technologieumbruch durch serviceorientierte Infrastrukturen. Mit den Empfängerinformationen, die ein Kunde bei einer Bestellung hinterlegt, werden Waren vom Lager eines Lieferanten aus auf die Reise geschickt. Anstelle einer konventionellen zentralen Disposition mit einer vorausgehenden Planung aller Prozesse werden im *Internet der Dinge* alle Informationen auf den Tag jeder Sendung geschrieben, die diese brauchen, um entlang eines vorgegebenen Weges (Routing) zum Ziel zu finden.

Da zu jedem Zeitpunkt die zu erbringenden Arbeitsschritte einer Sendung bekannt sind, kann sie an ihrem jeweiligen Aufenthaltsort die notwendigen Dienste wie Transport und Umschlag, aber auch Montage oder Assemblierung von den im Umfeld verfügbaren Ressourcen anfordern und so schrittweise die Prozessketten durchlaufen. Einfach nachzuvollziehen ist eine solche serviceorientierte Architektur bei Fördersystemen, wie sie typisch für den innerbetrieblichen Transport sind: Über eine funkgestützte

Infrastruktur (RFID) kommuniziert ein Behälter beispielsweise mit einer Rollenbahn und fordert den Transport zum nächstliegenden Zwischenziel an. Dort angekommen wird z. B. ein Montageprozess als Service von der intelligenten Umgebung angefordert, anschließend der Transport zur Verpackung und so fort.

Dies bedeutet nicht das Ende zentral organisierter Produktionsplanungs- oder Auftragsverwaltungssysteme. Ganz im Gegenteil, Zielvorgaben und Prozesssteuerung erfolgen wie bisher; was sich jedoch gravierend ändert, ist die sogenannte echtzeitnahe Steuerung. Die Optimierung im Kleinen, die schnelle Reaktion vor Ort – dies sind Aufgaben, die im Echtzeitunternehmen von morgen durch intelligente, serviceorientierte Umgebungen ermöglicht werden. Herr Claus Heinrich, Vorstandsmitglied der SAP, spricht in seinem Buch „RFID and Beyond“ von *Realtime Awareness* auf Basis von RFID.

## Warum sich die Welt auf den Kopf stellen soll

Es gibt viele Beispiele, in denen der Nutzen von RFID und dem *Internet der Dinge* unmittelbar erkennbar ist. Bessere Rückverfolgbarkeit von Lebensmitteln, sichere Medikamente oder der Gepäcktransport auf internationalen Flughäfen sind typische Beispiele. Die eigentliche Idee des *Internet der Dinge* trägt jedoch viel weiter und ist viel grundsätzlicher. Um die Zwangsläufigkeit seiner Entwicklung zu beleuchten, müssen wir uns vergegenwärtigen, wie sie unsere Welt verändert.

Zum ersten Mal in der Menschheitsgeschichte leben wir – dank Internet – in einer Welt, in der globale Kommunikation Wirklichkeit geworden ist. Die babylonische Sprachverwirrung ist durch das Internet Esperanto ein gutes Stück aufgehoben worden. Dies lässt die Welt zusammenrücken. Sie ist zum sprichwörtlichen Dorf geworden.

*Das werden auch die rund 2 Milliarden Menschen merken, die bisher keinen Zugang zur Wissensgesellschaft der Industrienationen hatten.*

Nicht nur die Logistiker bemerken sehr deutlich, dass globales Handeln und damit globale Netzwerke für Produktion und Logistik mehr und mehr Realität werden. Zugleich steigt aber auch die Dynamik – ein Prozess der im internationalen Bankenhandel schon vollzogen wurde. Das virtuelle Business hat den realen Handel – Bares gegen Ware – nicht nur an den Börsen längst überholt.

Diese Dynamik erreicht – nicht zuletzt durch den Internet-Handel – nun auch die physische Welt. Die Räder der *Internet-Gesellschaft* drehen sich mit jedem Tag schneller, und zwar sehr viel schneller, als es die absehbare Entwicklung konventioneller Technologie steuern kann. Die vielfachen

Antriebskräfte führen zum gleichzeitigen exponentiellen Anstieg von Komplexität *und* Dynamik.

Die Frage, wie die Organisation globaler Strukturen, die zugleich immer schneller werden, zu kontrollieren ist, lässt sich nicht durch den zentralen Supercomputer lösen, der sich jederzeit um alle seine Dinge kümmert. Das Gegenteil führt zum *Internet der Dinge*.

Gib den Dingen ein Stück Intelligenz mit und sorge dafür, dass sie ihren Weg selbst finden. So ist RFID nicht nur ein kleines Stück Technik, sondern, konsequent zu Ende gedacht, die Basis für eine Technologie, welche die Welt verändern und im eigentlichen Sinne des Wortes bewegen wird.

## Das „Internet der Dinge" in unserer Umgebung

Das Entwicklungspotenzial für intelligente Anwendungen im *Internet der Dinge* ist allumfassend und reicht bis in den privaten Bereich. Täglich entstehen neue Anwendungen für die RFID-Technologie. Viele beruhen auf der sicheren Identifikation des einzelnen Warenstücks. Diese ist gerade im medizinischen Bereich besonders wichtig. In den USA sterben, wie in Deutschland, mehr Menschen an Medikationsfehlern als bei Verkehrsunfällen. Auch in Europa erhalten zwischen fünf und zehn Prozent der Klinikpatienten falsche Medikamente oder die richtigen in der falschen Dosis. Die ökonomischen Folgen sind kaum zu kalkulieren, sie liegen in den USA zwischen 17 und 29 Milliarden Dollar jährlich[1]. Medikamente werden zukünftig mit Tags gekennzeichnet sein, und Apotheken wie auch der private Medizinschrank werden mit RFID-Technologie ausgestattet. Verfallsdaten, Dosierungen, Kontraindikationen, all dies kann durch die neue Technologie indiziert werden.

Nicht nur in der medizinischen Versorgung erwartet der Mensch mehr Sicherheit, auch die Qualität alltäglicher Lebensmittel kann durch die RFID-Technologie gesichert werden. Die Forderung der Europäischen Gemeinschaft nach besseren Möglichkeiten zur Rückverfolgbarkeit von Lebensmitteln[2] kann wesentlich effektiver und sicherer gestaltet werden, da die gewünschten Informationen unmittelbar und unverlierbar am Gut gespeichert werden können. So wird die Joghurtsteige künftig Informationen darüber tragen, welche Kühe die Milch gaben und welche Futtermittel gegeben wurden.

---

[1] KlinikManagement Aktuell, KMA 10/2005 062 (60), WIKOM GmbH. S. auch Pressemitteilung Gesundheit des Bundesministeriums für Gesundheit vom 03.01.2006.

[2] Vgl. EU-Verordnung 178/2002.

Es gibt noch viele Beispiele, wie ein intelligenteres und sicheres Leben mit dem *Internet der Dinge* möglich wird. Nicht wenige stammen aus den Instituten der Fraunhofer-Gesellschaft und finden sich in diesem Buch.

Prof. Dr.-Ing. habil. Prof. e.h. Dr. h.c. mult. Hans-Jörg Bullinger

Präsident der Fraunhofer-Gesellschaft zur Förderung der angewandten Forschung e. V.

# Vorwort

## Wie das „Internet der Dinge“ die Welt der Logistik verändert

### Panta rhei – alles fließt. (Heraklit)

Sobald die *Dinge* anfangen, sich zu bewegen, ist die Logistik gefragt. Die *Dinge* und Informationen im (Material-)Fluss zu halten, könnte als erstes Axiom der Logistik postuliert werden. Mit dem *Internet der Dinge* tritt die Logistik in eine völlig neue Dimension ein. Material- und Informationsfluss werden eins.

### Grundsätze und der Status Quo der Intralogistik

Im Zentrum der Intralogistik steht die Kommissionierung, also die Zuordnung von Waren zu Aufträgen. Dieser zunächst trivial erscheinende Vorgang erfolgt in Distributionszentren, in denen er täglich tausendfach abläuft. Die Komplexität solcher Distributionssysteme liegt in der hohen Anzahl logistischer Operationen, deren zeitlicher Ablauf wiederum einer Vielzahl von Restriktionen unterliegt.

Der *erste Grundsatz der Intralogistik* gibt vor, die richtige Ware in der richtigen Menge zur richtigen Zeit bereitzustellen. So arbeiten Verkehrsträger nach einem vorgegebenen Fahrplan, der die Bereitstellung einer Sendung im Versand zu einer festgelegten Zeit erfordert. Das Gleiche gilt für die Anlieferung der Ware und für die Bereitstellung zur Kommissionierung. Letzteres ließe sich durch große Pufferläger gewährleisten, in denen immer genügend Artikel bereitstehen. Dies würde jedoch den *zweiten Grundsatz der Intralogistik* verletzen, der besagt, dass Bestände und Ressourcen auf das notwendige Minimum zu begrenzen sind. Eine idealtypische Logistik käme hiernach ohne große Läger aus; alle Warenbewegun-

gen wären so aufeinander abgestimmt, dass ein ununterbrochener Materialfluss entsteht.

Ein wesentlicher Teil der täglichen intralogistischen Arbeit besteht darin, diesen gordischen Knoten zwischen minimalem Bestand und maximaler Liefertreue zu lösen. Hierzu werden EDV-Systeme eingesetzt, die eine vorausschauende Planung und Steuerung des Materialflusses gewährleisten sollen. Mithilfe von Prognosen, Simulationen und Heuristiken werden Abläufe vorausberechnet und optimiert. Dies führt zum *dritten Grundsatz der Intralogistik*: die Synchronisation von Informations- und Materialfluss. Es gilt, die virtuellen Bestände intralogistischer Datenbanken ständig mit der Realität abzugleichen. Jede Warenbewegung muss penibel gebucht werden, um Fehlbestände zu vermeiden. Hierzu werden die Waren immer wieder reserviert, avisiert und identifiziert. In größeren Distributionszentren laufen diese Vorgänge jede Stunde millionenfach ab. Es liegt in der Natur der Sache, dass es hierbei immer wieder zu Fehlbuchungen und Fehlbeständen kommt, die wiederum zur Verletzung der beiden ersten Grundsätze führen.

Der *vierte Grundsatz der Intralogistik* ist die permanente Planungsbereitschaft. Sie beschreibt die Reaktion auf die Volatilität von Auftragslast und Artikelspektrum, die eine permanente Neuplanung logistischer Abläufe unter stetig veränderten Rahmenbedingungen erfordert.

In Summe führt das Bestreben, diese Grundsätze einzuhalten und damit die Logistik effizient und effektiv zu organisieren, zu dem Wunsch, alle Abläufe und Prozesse innerhalb eines Systems zu vereinheitlichen und zu standardisieren. Untersuchungen wie *warehouse logistics* des Fraunhofer-Instituts für Materialfluss und Logistik weisen jedoch aus, dass dieses Bestreben schon innerhalb eines Distributionszentrums einer vorgegebenen Branche zu mehr als tausend Standardprozessen führt, die wiederum individuell organisiert werden müssen – eine Vielfalt, die sich in Anbetracht der notwendigen Reaktionszeiten nicht mehr beherrschen lässt.

Der Status Quo der Intralogistik besteht in der Anwendung individuell gestalteter materialflusstechnischer Systeme, die wiederum mithilfe individueller Heuristiken organisiert werden. Die Anpassung auf die sich täglich verändernden Anforderungen und Restriktionen erfolgt manuell; eine Übertragbarkeit auf andere Systeme ist selbst innerhalb der gleichen Branche nicht gegeben. So weist eine Untersuchung zur automobilen Ersatzteillogistik[1] nach, dass bei drei vergleichbaren Distributionszentren nur etwa die Hälfte der Prozesse in gleicher Weise gestaltet ist.

[1] Dissertationsschrift Dipl.-Ing. Olaf Figgener, Fraunhofer-Institut für Materialfluss und Logistik 2007.

## Warum das Internet der Dinge die Intralogistik auf den Kopf stellen wird

Das Internet der Dinge, wie es von der Fraunhofer-Gesellschaft zu einem der Topthemen deutscher Forschung ausgerufen wurde, begegnet den intralogistischen Herausforderungen in dreierlei Weise.

### *Real World Awareness*

Zunächst werden die einzelnen logistischen Objekte, die Paletten, Behälter und Pakete, mit intelligenten Etiketten (RFID-Tags) versehen. Auf die Tags werden all die Informationen geschrieben, die zur Identifikation der Ladehilfsmittel und Artikel benötigt werden. Hierdurch wird der Konflikt zwischen virtueller Bestandsführung und echtzeitnaher Materialflusssteuerung gelöst. Vor Ort können Menschen und Maschinen die *Dinge* identifizieren, indem sie mithilfe eines Scanners nicht nur wie bisher eine Referenznummer, sondern alle notwendigen Informationen unmittelbar am Gut auslesen können. Dies wird dadurch ermöglicht, dass im Tag mehr Informationen gespeichert werden können. Zudem ist die Information veränderbar, so dass z. B. ein Kommissioniervorgang unverlierbar am Behälter gespeichert werden kann. Auch fürderhin werden zentrale Datenbanken die Bestände speichern, jedoch kann der Abgleich nun direkt vor Ort erfolgen. Der echtzeitnahe Datenaustausch erfolgt damit vollständig dezentral, während Buchung, Warenverfolgung und Disposition – wie bisher – zentral erfolgen. Dieser erstmals von Prof. Claus Heinrich als *Real World Awareness* bezeichnete Umstand ermöglicht die folgerichtige Organisation intralogistischer Bestandsführung: Die Datenbank speichert ein Abbild der Realität zu einem definierten Zeitpunkt.

### *Dezentralisierung*

Um ein materialflusstechnisches System flexibel und wandelbar zu gestalten, ist es zunächst erforderlich, dieses zu modularisieren. Nur so können einzelne Komponenten, Elemente und Module zu neuen Architekturen arrangiert werden. Im maschinenbaulichen Bereich wurde diese Modularisierung seitens der Hersteller bereits vollzogen. Einheitliche Schnittstellen für Mechanik, Netzwerke und Energie sorgen für eine kostengünstige Produktion und für ein flexibles Layout. Die hierarchische, zentralistische Organisation der Software erfordert jedoch eine individuelle Abbildung jedes einzelnen Layouts.

Eine konsequente Dezentralisierung zur Erzielung von Wandelbarkeit und Flexibilität erfordert jedoch die Fähigkeit zur Entscheidungsfindung

innerhalb einzelner Module. Nur auf diese Weise kann z. B. die Anordnung fördertechnischer Module wie Weichen, Zusammenführungen oder Staubahnen verändert werden, ohne zwingend die Materialflusssteuerung neu zu programmieren. Die notwendige Intelligenz im Sinne eines leistungsfähigen Mikrocontrollers ist – bedingt durch standardisierte Fertigung und preisgünstige Hardware – zumeist schon integrierter Bestandteil der Module. Eine Entscheidung vor Ort kann jedoch nur auf Grundlage entsprechender Information getroffen werden. Diese wird von den Tags im Internet der Dinge mitgeführt. So ist lediglich eine Parametrierung des jeweiligen Moduls notwendig.

### *Selbstorganisation*

Durch die konsequente Dezentralisierung können einfache Regeln zur Steuerung des Materialflusses abgebildet werden. Hierzu werden den Tags und damit den logistischen Objekten Zielinformationen und Prioritäten mitgegeben. Damit können einzelne materialflusstechnische Module einfache Entscheidungen vor Ort selbstständig treffen und die Dinge finden ihren Weg zum Ziel – unabhängig vom individuellen Layout, das wiederum den jeweiligen logistischen Anforderungen angepasst werden kann. Diese einfachste Form des Internet der Dinge erzeugt einen hohen Durchsatz, jedoch werden die Forderungen nach Rechtzeitigkeit, Flexibilität und Adaptabilität noch nicht erfüllt.

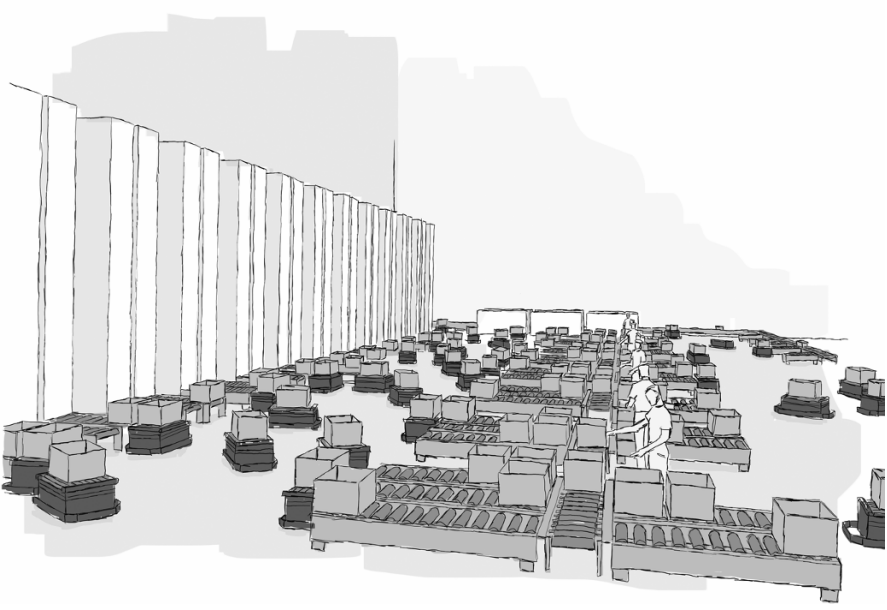
Hierzu bedarf es der Abstimmung der einzelnen intralogistischen Prozesse. Um dies zu erreichen, werden weitere Informationen in den Tag geschrieben, die es ermöglichen, die Software vor Ort in den einzelnen Modulen in Echtzeit zu parametrieren. Das favorisierte informationstechnische Modell für eine derartige Umsetzung basiert auf einer in den Neunzigerjahren entwickelten Form künstlicher Intelligenz: dem Multiagentensystem. Hierzu werden die Informationen aus dem Tag ausgelesen und ein Agent (Programm) wird in einheitlicher Weise in der dezentralen Steuerung des jeweiligen Moduls instanziiert. Diese Agenten kommunizieren mit ihrer Umgebung und mit benachbarten Agenten. Sie ermöglichen die Umsetzung einer Mission, die in den Tags gespeichert wird. So können Vorfahrtregeln, Reihenfolgebildungen oder Kommissionieraufträge initiiert und zwischen den Agenten ausgehandelt werden.

Die Einheit von logistischem Objekt und Agentensoftware verhält sich ähnlich wie eine Ameise im Ameisenstaat. Einfachster Datenaustausch und begrenzte Kommunikationstiefe führen zu einem emergenten Materialfluss. Konsequent zu Ende gedacht, entsteht das Internet der Dinge, in dem sich die logistischen Objekte – ähnlich wie die Datenpakete im Internet der Daten – selbstständig durch intralogistische Netzwerke bewegen.

Dies stellt die herkömmliche Steuerung logistischer Netze in der Tat auf den Kopf: Wurden bisher die Pakete durch zentrale Systeme zum Ziel geführt, so steuern im Internet der Dinge die Pakete die Systeme. Dieses Grundprinzip der agentenbasierten Steuerung lässt sich auch auf größere logistische Netze übertragen, wie in einem Artikel dieses Buches zu lesen ist.

## Intralogistik braucht intelligente Umgebungen

Das Internet der Dinge ermöglicht die dringend notwendige Standardisierung der Daten in den Tags und in der Folge die Vereinheitlichung der materialflusstechnischen Umgebungen, in denen sich die intelligenten logistischen Objekte bewegen. Durch die Umkehrung tradierter Steuerungsphilosophien wird es möglich, den gordischen Knoten eines flexiblen Standards für die Intralogistik zu durchschlagen.



Selbstorganisierte Vorzone