

# Inhaltsverzeichnis

|                                                                                    |           |
|------------------------------------------------------------------------------------|-----------|
| <b>An Stelle eines Vorworts: Wünsche zur Digitalisierung</b> .....                 | <b>7</b>  |
| <b>1 Internet der Dinge für Verdichter, Pumpen, Ventilatoren und Hebezeuge</b> ... | <b>13</b> |
| 1.1 Die vierte industrielle Revolution .....                                       | 13        |
| 1.2 Unterschiede zu Werkzeugmaschinen, Autos oder eCommerce. ....                  | 14        |
| 1.3 Der Weg zur Digitalisierung .....                                              | 16        |
| <b>2 Sensoren für Arbeitsmaschinen</b> .....                                       | <b>19</b> |
| 2.1 Besondere Anforderungen an die Sensoren .....                                  | 19        |
| 2.2 Wicklungstemperatur des Motors .....                                           | 20        |
| 2.3 Lagertemperatur .....                                                          | 21        |
| 2.4 Medientemperatur .....                                                         | 22        |
| 2.5 Motorstrom .....                                                               | 23        |
| 2.6 Netzspannung .....                                                             | 24        |
| 2.7 Flüssigkeitsstand .....                                                        | 26        |
| 2.8 Vibration .....                                                                | 27        |
| 2.8.1 Schwingungssignale .....                                                     | 28        |
| 2.8.2 Auswertung der Signale .....                                                 | 29        |
| 2.8.3 Probleme bei der Schwingungsanalyse .....                                    | 31        |
| 2.9 Druckmessung .....                                                             | 31        |
| 2.10 Sensoren aus dem Smartphone. ....                                             | 32        |
| <b>3 Daten vernetzter Maschinen</b> .....                                          | <b>33</b> |
| 3.1 Typische Daten von Investitionsgütern .....                                    | 33        |
| 3.2 Arbeitspunkt der Maschine .....                                                | 33        |
| 3.3 Kritische Zustände der Maschine erkennen .....                                 | 36        |
| 3.4 Datenreihen der Maschine .....                                                 | 36        |
| <b>4 Digitalisierung und Übertragung der Messwerte</b> .....                       | <b>39</b> |
| 4.1 Analoge Sensorsignale müssen digitalisiert werden .....                        | 39        |
| 4.1.1 Analog und Digital: zwei Welten .....                                        | 39        |
| 4.1.2 Technologie der Digitalisierung .....                                        | 40        |
| 4.1.3 Neue Möglichkeiten durch Digitalisierung. ....                               | 41        |

|          |                                                                                    |           |
|----------|------------------------------------------------------------------------------------|-----------|
| 4.2      | Digitale Einzelkomponenten und das Gesamtsystem . . . . .                          | 42        |
| 4.2.1    | Systemebene für Daten beachten . . . . .                                           | 42        |
| 4.2.2    | Top-Down-Ansatz: Wo und wie sollen die Daten ausgewertet werden? . . . . .         | 43        |
| 4.2.3    | Daten: Vollständigkeit erreichen, Redundanz vermeiden . . . . .                    | 46        |
| 4.2.4    | Verbindungstechnologie auswählen . . . . .                                         | 46        |
| 4.3      | Anlagen auf zukünftige Entwicklungen vorbereiten . . . . .                         | 47        |
| 4.4      | Ausblick in die Zukunft . . . . .                                                  | 49        |
| 4.4.1    | Mehr Sensoren und Elektronik direkt in der Maschine . . . . .                      | 49        |
| 4.4.2    | Sensoren durch Modellbildung ersetzen . . . . .                                    | 49        |
| 4.4.3    | Vereinfachte Kommunikation durch Standardisierung . . . . .                        | 50        |
| <b>5</b> | <b>Geschäftsmodelle finden: wie verdient man mit der Digitalisierung Geld? . .</b> | <b>51</b> |
| 5.1      | Einführung . . . . .                                                               | 51        |
| 5.1.1    | Vernetzte Maschinen und Soziale Netzwerke? . . . . .                               | 51        |
| 5.1.2    | Business Canvas Modelling . . . . .                                                | 51        |
| 5.1.3    | Disruptive oder evolutionäre Veränderung . . . . .                                 | 52        |
| 5.1.4    | Rechtliche Rahmenbedingungen . . . . .                                             | 52        |
| 5.2      | Predictive Maintenance: Fehler frühzeitig erkennen . . . . .                       | 53        |
| 5.2.1    | Zeitreihen auswerten . . . . .                                                     | 54        |
| 5.2.2    | Mehrdimensionale Datensätze bewerten . . . . .                                     | 56        |
| 5.2.3    | Datenbanken analysieren . . . . .                                                  | 56        |
| 5.3      | Maschinenausfälle und Fehler durch Nutzung von Daten vermeiden . . . . .           | 57        |
| 5.4      | Geodaten nutzen . . . . .                                                          | 58        |
| 5.5      | Kundenbeziehung durch Apps und Software verbessern . . . . .                       | 60        |
| 5.6      | Energiesparend regeln . . . . .                                                    | 62        |
| 5.6.1    | Klimaanlagen bedarfsorientiert regeln . . . . .                                    | 62        |
| 5.6.2    | Ineffizienzen vermeiden . . . . .                                                  | 62        |
| 5.6.3    | Frequenzumrichter optimal einsetzen . . . . .                                      | 63        |
| 5.6.4    | Vorteile des EC-Motors ausnutzen . . . . .                                         | 64        |
| 5.7      | Notbetrieb für Ausnahmezustände . . . . .                                          | 65        |
| 5.8      | Betreibermodelle: Maschinennutzung statt Maschinen (ver-)kaufen . . . . .          | 66        |
| 5.9      | Retrofitting bestehender Anlagen . . . . .                                         | 66        |
| 5.10     | Adaption an fluktuierende Energieerzeugung . . . . .                               | 68        |
| <b>6</b> | <b>Cyber-Security . . . . .</b>                                                    | <b>69</b> |
| 6.1      | Unterschiede zwischen Maschinen und Bürocomputern . . . . .                        | 70        |
| 6.2      | Angriffsmöglichkeiten auf Arbeitsmaschinen . . . . .                               | 72        |
| 6.2.1    | Angriffe über das Internet . . . . .                                               | 72        |
| 6.2.2    | Angriffe über USB-Ports . . . . .                                                  | 74        |

|       |                                                                      |     |
|-------|----------------------------------------------------------------------|-----|
| 6.2.3 | Angriffe über Raspberry Pi etc. ....                                 | 75  |
| 6.2.4 | Angriffe über Bluetooth oder WLAN ....                               | 75  |
| 6.2.5 | Gefahren für vernetzte Maschinen ....                                | 76  |
| 6.3   | Risikoanalyse durchführen ....                                       | 76  |
| 6.4   | Wichtige Sicherheitsmaßnahmen ....                                   | 78  |
| 6.4.1 | Phase 1: Architektur und Planung ....                                | 78  |
| 6.4.2 | Phase 2: Installation im Feld ....                                   | 79  |
| 6.4.3 | Phase 3: Wartung und Pflege während der Lebensdauer im Feld ....     | 80  |
| 6.4.4 | Phase 4: Außerbetriebnahme und Entsorgung ....                       | 82  |
| 6.5   | Allgemeine Sicherheits-Konzepte der IT ....                          | 82  |
| 6.6   | Sicherheits-Konzepte fokussiert auf vernetzte Arbeitsmaschinen. .... | 83  |
| 6.6.1 | Unidirektionale Vernetzung ....                                      | 83  |
| 6.6.2 | Schaltbare Vernetzung ....                                           | 84  |
| 6.6.3 | Sicherer Fern-Reset ....                                             | 86  |
| 6.6.4 | Trennung von Vernetzung und Grundfunktion über Gateways ....         | 86  |
| 6.6.5 | Zwei Prozessoren ....                                                | 87  |
| 7     | <b>Wichtige Grundlagen der IT zur Vernetzung von Maschinen</b> ....  | 89  |
| 7.1   | Einführung ....                                                      | 89  |
| 7.1.1 | Schicht 1 – Bitübertragungsschicht (Physical Layer) ....             | 90  |
| 7.1.2 | Schicht 2 – Sicherungsschicht (Data Link Layer) ....                 | 92  |
| 7.1.3 | Schicht 3 – Vermittlungsschicht (Network Layer) ....                 | 92  |
| 7.1.4 | Schicht 4 – Transportschicht (Transport Layer) ....                  | 94  |
| 7.1.5 | Schicht 5 – Sitzungsschicht (Session Layer) ....                     | 95  |
| 7.1.6 | Schicht 6 – Darstellungsschicht (Presentation Layer) ....            | 95  |
| 7.1.7 | Schicht 7 – Anwendungsschicht (Application Layer) ....               | 96  |
| 7.2   | Programme, Maschinendaten und Parameter ....                         | 97  |
| 7.3   | Cloud-Computing und Edge-Computing. ....                             | 98  |
| 7.3.1 | Cloud-Computing: Daten in der Wolke ....                             | 98  |
| 7.3.2 | Edge-Computing als Alternative ....                                  | 99  |
| 7.4   | Künstliche Intelligenz. ....                                         | 100 |
| 7.4.1 | Einführung ....                                                      | 100 |
| 7.4.2 | Neuronale Netze ....                                                 | 101 |
|       | <b>Literatur</b> ....                                                | 105 |
|       | <b>Sachregister</b> ....                                             | 107 |