



Guido Sand (Hrsg.)

Wege zur autonomen Produktion

Ein Kompass von Innovatoren für Innovatoren

Guido Sand (Hrsg.)

Wege zur autonomen Produktion

Ein Kompass von Innovatoren für Innovatoren

Impressum

© 2022 Steinbeis-Edition

Alle Rechte der Verbreitung, auch durch Film, Funk und Fernsehen, fotomechanische Wiedergabe, Tonträger jeder Art, auszugsweisen Nachdruck oder Einspeicherung und Rückgewinnung in Datenverarbeitungsanlagen aller Art, sind vorbehalten.

Hinweis im Sinne des Gleichbehandlungsgesetzes: Aus Gründen der leichteren Lesbarkeit wird auf eine geschlechtsspezifische Differenzierung verzichtet. Entsprechende Begriffe gelten im Sinne des Gleichbehandlungsgesetzes für alle Geschlechter.

Guido Sand (Hrsg.)

Wege zur autonomen Produktion. Ein Kompass von Innovatoren für Innovatoren

1. Auflage, 2022 | Steinbeis-Edition, Stuttgart

ISBN 978-3-95663-278-5

Diese Publikation ist auch als Print-Version erhältlich: ISBN 978-3-95663-277-8

Redaktion: Sophia Zundel

Satz: Steinbeis-Edition

Druck: e.kurz+co druck und medientechnik gmbh, Stuttgart

Titelbild: Wang An Qi/shutterstock.com

Vollflächige Anzeigen: U2, IX, 1, 4, 18, 21, 27, 30, 149, 155, 165, U3

Steinbeis ist mit seiner Plattform ein verlässlicher Partner für Unternehmensgründungen und Projekte. Wir unterstützen Menschen und Organisationen aus dem akademischen und wirtschaftlichen Umfeld, die ihr Know-how durch konkrete Projekte in Forschung, Entwicklung, Beratung und Qualifizierung unternehmerisch und praxisnah zur Anwendung bringen wollen. Über unsere Plattform wurden bereits über 2.000 Unternehmen gegründet. Entstanden ist ein Verbund aus mehr als 6.000 Experten in rund 1.100 Unternehmen, die jährlich mit mehr als 10.000 Kunden Projekte durchführen. So werden Unternehmen und Mitarbeiter professionell in der Kompetenzbildung und damit für den Erfolg im Wettbewerb unterstützt. Die Steinbeis-Edition verlegt ausgewählte Themen aus dem Steinbeis-Verbund.

222939-2022-09 | www.steinbeis-edition.de

Vorwort

Autonomisierung und Digitalisierung im Kontext von Industrie 4.0, verbunden mit dem wichtigen Zukunftsthema Künstliche Intelligenz, sind DIE zentralen Herausforderungen für eine innovative Region wie den Nordschwarzwald mit seinen mittelständisch geprägten Unternehmen. Ihr „Erfindergeist“, ihre Innovationskraft machen den Erfolg dieser Region aus. Darum müssen wir intensiv an diesen Themen arbeiten, um die Wirtschaftskraft in unserer Region erhalten zu können und auch weiterhin auf dem globalen Markt eine bedeutende Rolle zu spielen.

In diesem Bewusstsein hat sich die Idee zu diesem Buch aus dem Kreis namhafter Unternehmen heraus gemeinsam mit der Industrie- und Handelskammer Nordschwarzwald (IHK) und der Hochschule Pforzheim entwickelt. Es ist sicherlich in seiner Entstehung und Zusammensetzung ein ungewöhnliches Werk, denn die beteiligten Unternehmen geben in ihren Praxisbeispielen einen tiefen Einblick in ihre Unternehmens- und Autonomisierungsprozesse.

Gemeinsam wurde in den vergangenen beiden Jahren an diesem Wegweiser gearbeitet, immer intensiv unterstützt und begleitet von der Industrie- und Handelskammer Nordschwarzwald. Vorbildlich dabei war und ist das Zusammenspiel von Theorie und Praxis, die Verknüpfung von Forschung und Input aus den Unternehmen. Eines zeigt dieses Buch außerdem sehr deutlich: die ungeheure Innovationskraft der „Hidden“ Champions im Nordschwarzwald!

Mein persönlicher Dank gilt deshalb allen Beteiligten, die konstruktiv und offen an diesem Weißbuch gearbeitet haben und nun ihr Wissen einer interessierten Leserschaft zur Verfügung stellen. Das ist Wissenstransfer in der idealen Weise im Sinne einer starken Wirtschaftsregion. Umso mehr freut es mich, dass Sie dieses Werk heute in den Händen halten können. Ich bin sicher, Sie können aus den vielfältigen Ergebnissen Erkenntnisse, Nutzen und zahlreiche Impulse ziehen.

*Pforzheim, Juni 2022
Claudia Gläser*

Inhaltsverzeichnis

Abbildungsverzeichnis.....	X
Tabellenverzeichnis	XII
1 Motivation.....	2
2 Relevanz	5
2.1 Abgrenzung.....	5
2.2 Technologien.....	9
2.3 Potenziale.....	11
3 Erwartungen.....	13
3.1 MartinMechanic Friedrich Martin GmbH & Co KG.....	16
3.1.1 Steckbrief.....	16
3.1.2 Vordenker.....	17
3.2 Gindele GmbH.....	19
3.2.1 Steckbrief.....	19
3.2.2 Vordenker.....	20
3.3 Richard Wolf GmbH.....	22
3.3.1 Steckbrief.....	22
3.3.2 Vordenker.....	24
3.4 UF automation GmbH	25
3.4.1 Steckbrief.....	25
3.4.2 Vordenker.....	26
3.5 GEMÜ Gebr. Müller Apparatebau GmbH & Co. KG.....	28
3.5.1 Steckbrief.....	28
3.5.2 Vordenker.....	29
3.6 STÖBER Antriebstechnik GmbH & Co. KG	31
3.6.1 Steckbrief.....	31
3.6.2 Vordenker.....	32
3.7 Industrie- und Handelskammer Nordschwarzwald	33
3.7.1 Steckbrief.....	33
3.7.2 Vordenker.....	35
3.8 Hochschule Pforzheim	37
3.8.1 Steckbrief.....	37
3.8.2 Vordenker.....	39
4 Ziele.....	40
5 Vorgehensweise.....	42

5.1 Herausforderung	42
5.2 Ansatz	44
6 Forschung.....	45
6.1 Agenda	45
6.1.1 acatech.....	47
6.1.2 BMBF.....	50
6.1.3 BMWi	52
6.1.4 International.....	52
6.2 Ergebnisse	53
6.2.1 Fahrerlose Transportsysteme.....	54
6.2.2 Flugroboter	61
6.2.3 Auftragsgesteuerte Produktion	67
6.2.4 Werkerführung	74
6.2.5 Cobots	81
6.2.6 Maschineneinrichtung	85
6.2.7 Qualitätskontrolle.....	88
6.2.8 Pumpenoptimierung	95
6.2.9 Anomalie-Erkennung.....	99
6.3 Fähigkeiten.....	102
6.3.1 Lernfähigkeit.....	103
6.3.2 Entscheidungsfähigkeit.....	104
6.3.3 Agilität	105
6.3.4 Wandlungsfähigkeit	106
6.3.5 Kollaborationsfähigkeit.....	107
6.3.6 Fazit	108
7 Innovation.....	110
7.1 Informationsrückkopplung im 3D-Druck	110
7.1.1 Additiver Fertigungsprozess	110
7.1.2 Langwieriger manueller Prozess	112
7.1.3 Autonome Entscheidungen.....	115
7.1.4 Forschungstransfer	117
7.2 Maschineneinstellung	118
7.2.1 Spritzgussmaschine mit integrierter Roboterzelle	118
7.2.2 Stand der Automatisierung	120
7.2.3 Autonome Maschineneinstellung	122
7.2.4 Forschungstransfer	125

7.3	Dynamische Fertigungsplanung.....	126
7.3.1	Montageprozesse	126
7.3.2	Fertigungsplanung.....	126
7.3.3	Nutzen einer dynamischen Fertigungsplanung..	128
7.3.4	Forschungstransfer	130
7.4	Betrieb von Bandgalvanikanlagen	130
7.4.1	Galvanikprozess	130
7.4.2	Bandanlagen	132
7.4.3	Qualitätssicherung.....	135
7.4.4	Autonomisierter Betrieb	136
7.4.5	Forschungstransfer	137
7.5	Performante Prozessregelsysteme.....	138
7.5.1	Prozessfunktionen und Einflussgrößen	138
7.5.2	Automatisierung versus Autonomisierung	141
7.5.3	Forschungstransfer	142
7.6	Prädiktive Instandhaltung.....	142
7.6.1	Getriebemotoren.....	142
7.6.2	Wartungsprinzipien	144
7.6.3	Fehlentscheidungen minimieren	147
7.6.4	Forschungstransfer	148
8	Management	150
8.1	Klare Darstellung des Nutzens für Anwender/Kunden..	150
8.2	Intensiver Austausch mit Pilotkunden	151
8.3	Mit Widerständen und Barrieren umgehen	152
8.4	Anwendungsorientierte Weiterentwicklung.....	153
9	Nur Mut!.....	156
10	Nachwort	158
	Autorenverzeichnis	160
	Literaturverzeichnis.....	166

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Stufen des Industrie 4.0-Entwicklungspfads	5
Abbildung 2: Anwendungsgebiete für autonome Systeme und ausgewählte Beispiele	9
Abbildung 3: Verteilung der Unternehmen nach dem durchschnittlichen Gesamtreifegrad	12
Abbildung 4: Welche Bedeutung hat Industrie 4.0 für Ihr Unternehmen?.....	12
Abbildung 5: Drei Roboter fertigen Integralgehäuse	16
Abbildung 6: CAD, Werkzeug und Spritzguss-Teil	19
Abbildung 7: Der vernetzte Richard-Wolf-OP	23
Abbildung 8: Bandgalvanikanlage	25
Abbildung 9: Automatisierte Medienregulierung	28
Abbildung 10: STÖBER-Produktportfolio	31
Abbildung 11: IHK-Haus in Pforzheim	34
Abbildung 12: Fakultät für Technik	38
Abbildung 13: Vom automatisierten zum autonomen Betrieb ..	42
Abbildung 14: AGV-Typen	54
Abbildung 15: Autonome Gabelstapler	56
Abbildung 16: Technologien zur Realisierung des autonomen Gabelstaplers.....	60
Abbildung 17: Autonomes Flugroboter-System „InventAIRy“	62
Abbildung 18: Autonomes Flugrobotersystem „InventAIRyXL“ ..	64
Abbildung 19: Aibotics X6	66
Abbildung 20: Konzept des Projekts „InnoCyFer“	69
Abbildung 21: Interaktion zwischen Produktionsplaner und PPS-System	73
Abbildung 22: Schlauer Klaus Assistenzsystem.....	75
Abbildung 23: Anwendungsfall des APPsist-Systems.....	77
Abbildung 24: Werker führt Qualitätsprüfung durch.....	83
Abbildung 25: Profilmantelungsanlage; Roboter von Mitsubishi Electric, Anlage von Duespohl Maschinenbau GmbH	86
Abbildung 26: Schemen des Querkeilwalzens	89
Abbildung 27: Echtzeit-Prozessprognose und -steuerung.....	91
Abbildung 28: Beispiel Dashboard iPRODIGE.....	95
Abbildung 29: Optimaler Betriebspunkt.....	96

Abbildung 30: Selbstoptimierendes Pumpensystem	97
Abbildung 31: Aufbau der Mustermaschine	100
Abbildung 32: Prinzipdarstellung Ablauf SLM-Verfahren.....	111
Abbildung 33: Mittels SLM gefertigter Radträger	112
Abbildung 34: Prozesskette SLM	113
Abbildung 35: Versuchsanordnung: Entwicklung einer Zelle zum automatischen Entfernen der Stütz- strukturen mittels eines Sechssachsroboters	114
Abbildung 36: Prozessstruktur bei Autonomisierung.....	116
Abbildung 37: Robotersystem an einer Spritzgussmaschine ...	118
Abbildung 38: Applikation zum Entnehmen und Abtrennen des Füllkanals.....	119
Abbildung 39: Neukonfigurierung von Abläufen in der Zelle durch einen Bediener	120
Abbildung 40: Luftkissenunterstütztes Verschieben der Roboterzelle an eine andere Maschine	122
Abbildung 41: Cloudbasierte Prozesssteuerung einer Maschine	123
Abbildung 42: Theoretisches Beispiel für die Anordnung und per- sonelle Besetzung eines Produktionsbereichs ...	127
Abbildung 43: Grundprinzip des Galvanisierens	131
Abbildung 44: Ein Band galvanisierter Kontakte	133
Abbildung 45: Zellen einer Bandgalvanikanlage	134
Abbildung 46: Blick in eine Galvanikzelle	135
Abbildung 47: Prinzip dezentraler Prozessregeleinheiten.....	138
Abbildung 48: Oszillografische Messgeräteaufnahme: Regel- charakteristik einer Armatur im Neuzustand und nach Verschleiß von Dichtelementen.....	140
Abbildung 49: Verschleiß einer EPDM-Ventilmembrane.....	141
Abbildung 50: Herstellung von Fertigbetonteilen mittels Portalroboter	143
Abbildung 51: Wartungsprinzipien und Gesamtkosten- betrachtung.....	145
Abbildung 52: Indikator für einen Ausfall während der Betriebszeit	146
Abbildung 53: Beispiel für einen beginnenden Schaden und bevorstehenden Ausfall.....	146
Abbildung 54: „Confusion Matrix“.....	147

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Technologien autonomer Systeme (exemplarische Auswahl)	9
Tabelle 2: Grobe Korrespondenz zwischen Entwicklungsstufen und Technologieklassen	10
Tabelle 3: Themenübersicht	46
Tabelle 4: Projektsteckbrief „FTF out of the Box“	57
Tabelle 5: Projektsteckbrief „InventAIRy“	63
Tabelle 6: Projektsteckbrief „InnoCyFer“	70
Tabelle 7: Projektsteckbrief „APPsist“	78
Tabelle 8: Projektsteckbrief „TRACTAT“	83
Tabelle 9: Projektsteckbrief „Intelligente Werkzeugmaschine“ ..	87
Tabelle 10: Qualitätsprüfungen in der Stahlindustrie	90
Tabelle 11: Projektsteckbrief iPRODIGIT	92
Tabelle 12: Projektsteckbrief „Data-e-Pump“	98
Tabelle 13: Projektsteckbrief „SEMAfusion“	101
Tabelle 14: Ausprägungen von Lernfähigkeit	104
Tabelle 15: Ausprägungen von Entscheidungsfähigkeit	105
Tabelle 16: Ausprägungen von Agilität	106
Tabelle 17: Ausprägungen von Wandlungsfähigkeit	107
Tabelle 18: Ausprägungen von Kollaborationsfähigkeit	108
Tabelle 19: Fähigkeiten Autonomer Produktionssysteme	109

1 Motivation | Guido Sand

„Autonome Produktion“ klingt vielversprechend. Aber ist das mehr als ein neues Schlagwort im KI- und 4.0-Hype? Welche Technologien verbergen sich eigentlich dahinter und wie reif sind sie? Und können sie für meine Produkte oder meine Produktion nützlich sein? Oder welche meiner betrieblichen Probleme lösen sie?

Ist „Autonome Produktion“ mehr als ein neues Schlagwort?

Diese Gedanken gehen vielen technischen und nichttechnischen Entscheidern in kleinen und mittleren Unternehmen der produzierenden Branche durch den Kopf. Auch wenn sie sich mit großer Expertise in ihren Produkten und Produktionsprozessen zu Marktführern entwickelt haben, fehlen ihnen oft Forschungs- und Entwicklungskapazitäten, um die Potenziale digitaler Neuerungen für ihr Unternehmen zu bewerten.

Kleinen und mittleren Unternehmen fehlen oft Forschungskapazitäten.

Dieses Buch dokumentiert einen Ansatz, den sechs Unternehmen unter dem Dach der Industrie- und Handelskammer Nordschwarzwald und unter der wissenschaftlichen Leitung der Hochschule Pforzheim gewählt haben, um sich Innovationen im Themenfeld „Autonome Produktion“ zu nähern. Die Unternehmen verstehen sich überwiegend als Anwender, nicht als Anbieter, von Technologien autonomer Systeme. Zielgruppe dieses Buches sind daher vor allem andere innovative Entscheider in produzierenden Unternehmen und Akademiker, die sich für den Wissenstransfer in diesem Themenfeld engagieren.

Wenn auch zu Beginn die Relevanz des Themas auf Basis abstrakter Definitionen begründet wird (siehe Kapitel 2), folgt dieses Buch einem eher induktiven Ansatz: Argumentativer Startpunkt sind die Erwartungen der Unternehmen an die Autonomisierung der Produktion (siehe Kapitel 3). Um relevantes Orientierungswissen für eigene Innovations- und Technologietransfervorhaben aufzubauen (siehe Kapitel 4), werden einschlägige Forschungsprojekte beleuchtet, die bereits greifbare Ergebnisse erzielt haben (siehe Kapitel 5). Mit Blick auf den regionalen und nationalen Adressatenkreis dieses Buches, stützt sich die Analyse der Forschung auf neun abgeschlossene Projekte, die überwiegend von deutschen Forschungsförderern mitfinanziert wurden (siehe Kapitel 6).

Startpunkt sind Erwartungen der Unternehmen an die Autonomisierung.

Der Blick in die Zukunft autonomer Produktionsprozesse stützt sich auf konkrete Innovationsansätze sechs kleiner und mittlerer Unternehmen vor allem aus der Wirtschaftsregion Nordschwarzwald: Sie beschreiben in Kapitel 7, wie Autonomisierung ihre Produkte oder ihre Produktion nutzbringend verändern kann. Allerdings passiert Innovation selten von alleine: Kapitel 8 gibt fundierte Hinweise, wie Innovation trotz Widerständen und Barrieren erfolgreich gemanagt werden kann. Trotz aller vielversprechender Technologien und Managementmethoden liegt ein Schlüssel erfolgreicher Innovation in der inneren Haltung der Entscheidungsträgerinnen und Entscheidungsträger. Kapitel 9 ruft die Unternehmerinnen und Unternehmer des Nordschwarzwaldes (und darüber hinaus) dazu auf, die Wege zur autonomen Produktion gemeinsam zu beschreiten.

Der Blick in die Zukunft stützt sich auf konkrete Innovationsansätze.

Dieses Buch ist kein Ratgeber. Es enthält auch keine einfachen Checklisten oder Patentrezepte. Allerdings: Dieses Buch macht Mut – ganz sicher denen, die es geschrieben haben, und bestimmt auch vielen, die es lesen werden.

Viele Forscher, Berater und auch Technologieanbieter haben den Begriff der digitalen Transformation aufgenommen. Aber was ist bei den produzierenden Unternehmen angekommen? Welche Technologien verbergen sich eigentlich genau hinter Industrie 4.0? Wie reif sind sie? Können sie für ihre Produkte oder ihre Produktion nützlich sein? Welche ihrer betrieblichen Probleme lösen sie? Und schließlich: Sollen sie auf die Digitalisierungswelle aufspringen oder sie einfach ignorieren?

Ignorieren ist für viele keine Option. Auf der anderen Seite lassen die personellen Ressourcen vieler Unternehmen auch keine ausschweifenden Analysen dieser für viele noch fremden Technologiewelten zu.

Gibt es einen Weg aus diesem Dilemma? Ich denke nicht, dass es den einen Weg gibt. Zu verschieden sind die Problemstellungen, die Digitalisierung lösen kann. Zu unterschiedlich sind die Unternehmen – und vor allem: Zu unterschiedlich sind die klugen Köpfe, die digital innovieren wollen. Deshalb habe ich der IHK auch nicht den „einzig wahren“ Vorschlag gemacht, um hier weiterzukommen, sondern einen möglichen. Und dieser Vorschlag lautete: Lasst uns ein Buch schreiben. Ein Buch mit innovativen Unternehmen aus der produzierenden Branche über die Autonomisierung der Produktion. Über die gemeinsame Arbeit an dem Buch lernen wir miteinander und voneinander über die Digitalisierung. Der Weg ist das Ziel.

Dieses Buch ist ein ungewöhnliches Buch. Es wurde in erster Linie geschrieben, um es zu schreiben; und zwar von Menschen und Unternehmen, die sich auf ihren eigenen Weg gemacht haben – hin zur Autonomisierung der Produktion. Für andere kann es Inspiration, Kompass oder Mutmacher sein.

Mit Unterstützung von

ARBURG