

HANSER



Leseprobe

zu

Greifer beim Robotereinsatz

von Andreas Wolf und Henrik Schunk

Print-ISBN: 978-3-446-47961-6

E-Book-ISBN: 978-3-446-48069-8

Weitere Informationen und Bestellungen unter

<https://www.hanser-kundencenter.de/fachbuch/artikel/9783446479616>

sowie im Buchhandel

© Carl Hanser Verlag, München

Geleitwort Henrik Schunk

Die zentrale Aufgabe unserer Zeit ist, den Wandel zu einer nachhaltigen, wettbewerbsfähigen und widerstandsfähigen Industrie im digitalen Zeitalter zu gestalten. Dafür sollten uns Ressourceneffizienz und CO₂-Minimierung nicht nur als wirtschaftliche, sondern auch als ökologische Imperative leiten. Gleichzeitig sind für die Zukunftsfähigkeit der Industrie intelligente Lösungen zur Bewältigung von Fachkräftemangel und Digitalisierung essenziell.

Nachhaltigkeit und technologischer Fortschritt müssen daher Hand in Hand gehen und zu einer gesunden Fabrik führen. Gesund bedeutet dabei sowohl stabile, effiziente und rentable Prozesse, die steigenden Kosten- und Qualitätsansprüchen gerecht werden, als auch ein gesundes Arbeitsumfeld mit klimafreundlichen Technologien.

Automatisierung ist ein wesentlicher, enorm wirkungsvoller Hebel, um dieses Ziel zu erreichen. Sie wird immer einfacher und bedienfreundlicher und dadurch auch für das Rückgrat der Industrie – den Mittelstand – zugänglicher und leichter umsetzbar. Hier liegt ein riesiges, bislang vernachlässigtes Potenzial. So verbrauchen beispielsweise die neuesten Robotergenerationen deutlich weniger Energie und steigern die Effizienz durch Geschwindigkeit und Flexibilität. Außerdem nimmt die Komplexität im Umgang mit ihnen weiter ab. Arbeitskräfte können auch ohne Vorerfahrung in die Programmierung einsteigen. Künstliche Intelligenz wird diese Entwicklung noch potenzieren: Zum einen wird sie Automatisierungssoftware einfacher, schneller, effektiver und anwendungsspezifischer machen. Zum anderen beschleunigt sie die autonome Handhabung und Bearbeitung mit Robotik.

Auf diese Entwicklungen müssen wir unsere Investitionskraft richten, um die Möglichkeiten einer flexiblen, aber auch energie- und ressourcenschonenden Fertigung voll auszuschöpfen. Hier sind Mut und Risikobereitschaft der Unternehmen gefragt, sowohl im Umgang mit KI und Automatisierung als auch beim Teilen der dabei entstehenden Daten über die Unternehmens- und Landesgrenzen hinweg entlang der gesamten Wertschöpfungskette. Ein Beispiel hierfür ist die branchenübergreifende Datenraum-Initiative Manufacturing-X. Generell werden – internationale – Kooperationen und Partnerschaften entscheidend dazu beitragen, Innovationen schnell und erfolgreich umzusetzen. Solche Initiativen gestalten die Industrie von morgen mit, erschließen neue Geschäftsmöglichkeiten und stärken gemeinsame Werte für eine gesunde Zukunft. Die Internationalisierung dieser Bemühungen zu einer globalen Bewegung und die Förderung offener Standards und Lösungen sind dabei entscheidend.

Europa als eine der größten Wirtschaftsregionen der Welt ist dafür ein idealer Raum. Dazu braucht es aber auch die entsprechend fortschrittlichen wie innovationsfreundlichen gesetzlichen Rahmenbedingungen.

Wenn wir all diese Aufgaben jetzt gemeinsam angehen, werden wir nicht nur die eingangs beschriebene Herausforderung lösen, sondern auch den Weg für Europa als Wirtschaftsmacht in diesen neuen Technologien ebnen.

Unabhängig von diesem „Überbau“, will dieses Buch beim praxisnahen Einstieg in diese Technologien unterstützen: Es zeigt sowohl Effizienzpotenziale als auch Anforderungen automatisierter Greif- und Handhabungsprozesse auf und dient Anwendern so als Wegweiser zur beschriebenen hoch performanten und gesunden Fabrik.

Lauffen am Neckar im Juni 2024

Henrik Schunk

Vorwort zum Buch „Greifer beim Robotereinsatz“

Die Produktionstechnik in Europa steht vor großen Herausforderungen. Entkopplung und Resilienz sind die Schlagworte für die Fertigung von Gütern des täglichen Bedarfs, Produkten, Maschinen und Anlagen. Hinzu kommt nicht nur der Fachkräfte, sondern ein genereller Arbeitskräftemangel in den alternden Industrienationen. War früher eine Verlagerung in günstigere Standorte die schnelle Lösung, so ist diese heute deutlich kritischer zu sehen.

Automatisierung und Digitalisierung als mögliche Lösungen für die Fertigung von morgen, sind seit einigen Jahren keine „Angstmacher“ im Sinne eines Arbeitsplatzverlustes mehr. Im Gegenteil, sind beide Technologien für sich oder im Verbund „Hoffnungsbringer“ hinsichtlich der Gestaltung möglicher Lösungen zur Erhaltung des Produktionsstandortes Deutschland bzw. Europas.

So kann die Forschung hinsichtlich der Digitalisierung von Produktionsabläufen mit der dazugehörigen Datenverwaltung einige Fortschritte aufweisen. So sind wir inzwischen bei komplett digitalen Produktionen von Losgröße 1 z.B. in der Blechteilefertigung angelangt, in der vom Bestelleingang bis zur Auslieferung kein Mitarbeiter mehr einen Auftragszettel oder eine Arbeitsanweisung auf Papier bekommt. Die Industrie 4.0 Szenarien von vor 10 Jahren sind zwischenzeitlich umgesetzt bzw. in Manufacturing-X-Szenarien erweitert worden.

Auf der Steuerungsebene und deren Schnittstellen kommen heute bereits cloudbasierte Lösungen zum Einsatz, welche enorme Vorteile für die Betreiber aber auch für die Geschäftsmodelle der Maschinenbauer und Softwareanbieter haben. Das ISW als Forschungsinstitut hat über viele Jahre hier Pionierarbeit geleistet und bietet heute gemeinsam mit dem Fraunhofer IAQ eine breite Palette an Forschungsdienstleistungen an. Auch in der Lehre sind hier in den letzten Jahren neue Lehrveranstaltungen zum Thema entstanden, um den studentischen Nachwuchs die Möglichkeiten dieser Technologien nahe zu bringen.

Stehen Realisierungsprojekte an, so kann das ISW auf eine gute Infrastruktur von Roboterzellen und Softwarepaketen zurückgreifen. Hier kommen dann die Lehrveranstaltungen der Robotik mit viel Praxisbezug zum tragen und bringen die Studenten vom Laptop in die Labore. Die Handhabungs- und Greifertechnik ist dabei ein wichtiger Baustein, um eine Applikation erfolgreich umzusetzen. Die Vorlesung von Herrn Dr. Wolf bringt dabei die Inhalte dieses

Buches den Studenten näher. Mit diesem überarbeiteten Werk zeigt Herr Wolf, wie vielfältig die Aufgabenstellungen der Handhabungstechnik sein können und welche Lösungen heute in Automatisierung zur Verfügung stehen.

Gerne bieten wir diese Vorlesung weiter an und unterstützen Herrn Wolf bei seiner wissenschaftlichen Arbeit, indem wir gemeinsame Forschungsprojekte mit der robomotion GmbH durchführen. Wir freuen uns auf die weitere Zusammenarbeit und wünschen den Lesern viele Ideen und Anregungen für Ihre eigenen Projekte.

Stuttgart im Juni 2024

Univ.-Prof. Dr.-Ing. Oliver Riedel

Univ.-Prof. Dr.-Ing. Alexander Verl

Vorwort von Dr.-Ing. Andreas Wolf

Über 20 Jahre ist es her, dass ich bei der Gründung von robomotion das erste „Greiferbuch“ gemeinsam mit der Firma SCHUNK umsetzen durfte. Anfangs war dies nur als Zusammenfassung und Überblick zu meiner Vorlesung an der Universität Stuttgart gedacht. Durch die Möglichkeiten einer professionellen Marketingabteilung bei der Firma SCHUNK, einer hervorragenden Grafikagentur und der Mithilfe von Mitarbeitern der Firmen SCHUNK, robomotion und Premium Robotics konnte ich ein Werk zusammentragen, das neben dem spezifischen Fachwissen auch die Anwendungen der Greiftechnik in der Handhabungstechnik zeigt. Interessant ist für mich hierbei die Entwicklung der Robotertechnologie in den vergangenen Jahren, die mit der Greiferentwicklung einherging. Ca. 50 Jahre ist es her, dass die Robotik in der Automobilindustrie ihre erste Abnehmerbranche gefunden hat und viele Firmen hier ihren Anfang in der Automation nahmen.

Technisch stehen wir aktuell vor spannenden Entwicklungen in der Handhabungstechnik. Mit künstlicher Intelligenz und Manufacturing-X als Schlüsseltechnologien für die Industrie der Zukunft bestehen heute neue Möglichkeiten, welche die Branche weiter verändern werden. Durch die Weiterentwicklung von Sensorik, schnellere Prozessoren und schier unbegrenzte Speichermöglichkeiten lassen sich heute Datenmengen kostengünstig erzeugen und verarbeiten, wie dies zu keinem Zeitpunkt vorher der Fall gewesen ist. Schnellere Übertragungsraten gepaart mit dem Ausbau von intelligenten Komponenten zu einem Industrie 4.0 Netzwerk lässt den Einsatz von Künstlicher Intelligenz dadurch erst möglich werden.

Dieses Buch beginnt mit dem Rückblick auf die Anfänge der Handhabungstechnik. Entsprechend der Systematik bei Automatisierungsprojekten beschreiben die folgenden Kapitel den Workflow des Werkstücks und die zu lösende Handhabungsaufgabe. Ausgehend von der Analyse des Werkstücks und dessen Ordnungszustand führen die weiteren Kapitel des Buches wie ein roter Faden über die Greiferauswahl und der Fingergestaltung zum kompletten Handhabungssystem.

Hierdurch wird deutlich, dass Roboteranwendungen weit mehr sind als eine „App“, die man sich in einem „Ökosystem“ oder einem Appstore herunterladen kann. Es erfordert nach wie vor viel Erfahrung und Anwenderwissen, um für die Produktion die optimale Lösung zu finden. Die Arbeit der Ingenieure und Techniker hat sich dabei durch den Einsatz von Simulation und digitalem Zwilling mehr in die digitale Welt verlagert. Das softwaretechnische Verschmelzen von Produktionsplanungssystemen und der Steuerungsebene auf dem Shopfloor wird die Arbeit des Systemintegrators effizienter gestalten. Der Bedarf an Applikationswissen wird bleiben.

Die Applikationsbeispiele in diesem Buch, die bei SCHUNK, robomotion, Premium Robotics aber auch vielen anderen Systemintegratoren erarbeitet wurden, zeigen dies. Daher möchte ich mich bei der Familie Schunk und den Mitarbeitern für die Möglichkeit und Unterstützung für diese neue Auflage des „Greiferbuchs“ bedanken. Ich habe über Frau Neuburger viel

Bild- und Grafikmaterial zur Verfügung gestellt bekommen. Mit Prof. Schraft und der Mithilfe der Fraunhofer IPA Bibliothek konnte ich den geschichtlichen Teil weiter detaillieren. Auch Ralf Becker von BOSCH Rexroth und die Arbeit mit dem Institut der Steuerung der Werkzeugmaschinen war für mich Inspirationsquelle.

Durch meine Verbandsarbeit als Vorstandsmitglied im VDMA Baden-Württemberg konnte ich Einblicke in andere Branchen und Unternehmen erhalten, welche mit Automatisierung und Maschinenbau in Verbindung stehen. Diese Arbeit hat mir geholfen, das Buch weiter zu entwickeln und umzugestalten.

Der Firma REFORM DESIGN Grafik GmbH aus Stuttgart möchte ich für die ansprechende grafische Umsetzung danken. Hier gilt mein Dank besonders Frau Muriel Engelbrecht und Herrn Christian Kellner, die sich um die Aufbereitung und grafische Gestaltung verdient gemacht haben. So lässt sich der zum Teil trockene Stoff in ansprechende Inhalte verwandeln.

Die Mitarbeiter und Geschäftsführungskollegen von robomotion und Premium Robotics haben großen Anteil an diesem Buch, denn ohne ihre tägliche Arbeit gäbe es dieses Buch einfach nicht. Viele Beispiele sind aus unserem Arbeitsalltag entnommen.

Besonders möchte ich auch meiner Frau für ihre Geduld danken, die so viele Stunden auf mich verzichten musste. Auch mein Vater hat Zeit in das Lesen einzelner Passagen investiert und damit zu wichtigen Fragen geführt, die eine unklare Darstellung nochmals auf den Prüfstand brachte.

Ein intensives Lektorat durch den HANSER Verlag hat dem Buch nochmals gutgetan. Bedanken möchte ich mich hier insbesondere bei Frau Lennartz und Herrn Borck, die akribisch das Manuskript durchgegangen sind. Frau Dr. Philippa Söldenwagner-Koch hat das Projekt professionell mit ihrem Team durch den Verlag gesteuert, vielen Dank auch dafür.

Auch diese Ausgabe möchte ich wieder Herrn Carsten Schmeer widmen, dem ersten Mitarbeiter von robomotion, der uns in der Gründungsphase der Firma engagiert geholfen hat und leider durch einen tragischen Unfall verstorben ist. Viele Anwendungsbeispiele in diesem Buch wurden von ihm mit umgesetzt.

Leinfelden-Echterdingen im Juni 2024

Dr.-Ing. Andreas Wolf

Inhaltsverzeichnis

1	DER HANDHABUNGSPROZESS	14
1.1	Handhabung – ein nutzloser Prozess?	19
1.2	Was treibt die Automatisierung an?	26
1.3	Begriffe der Handhabungs- und Produktionstechnik	36
2	GREIFER UND ROBOTER - EINE EROLOGSGESCHICHTE	46
2.1	Historische Entwicklung der Greiftechnik	49
2.2	Geschichte der Robotik	62
2.3	Roboter erobern die Märkte	80
3	GREIFEN BEGREIFEN	92
3.1	Das Werkstück als Ausgangspunkt	99
3.2	Kontaktebene – Greiffinger als Wirkelemente.....	118
3.3	Greiferhände mit aktiven Wirkflächen	155
3.4	Greifkraft.....	161
3.5	Greifbereich.....	185
3.6	Greifzeit.....	190
3.7	Greifsituation.....	195
3.8	Der Greifer als Informationsquelle.....	214
3.9	Greiferauswahl	240
3.10	Greifen und Sicherheit.....	253
4	BEWEGUNG BRINGT WERTSCHÖPFUNG	264
4.1	Auswirkungen der Bewegung	269
4.2	Bewegung ermöglichen.....	291
4.3	Layout.....	329
4.4	Bearbeitung von Werkstücken.....	332
4.5	Unterschiedliche Applikationen mit einem Roboter	336
5	ZUKUNFT DER GREIF- UND HANDHABUNGSTECHNIK	340
	Literaturverzeichnis.....	358
	Bildverzeichnis	362



1 DER HANDHABUNGSPROZESS

1.1	Handhabung – ein nutzloser Prozess?	19
1.2	Was treibt die Automatisierung an?	26
1.3	Begriffe der Handhabungs- und Produktionstechnik	36

Wir tun es täglich ein paar hundert, ja vielleicht ein paar tausend Mal – wir handhaben Dinge. Das bedeutet, dieser Prozess ist uns in Fleisch und Blut übergegangen und wir denken nicht groß darüber nach – ein Automatismus, den wir aber erst erlernen mussten!

Wir greifen die Kaffeetasse, bewegen diese bis zum Mund und führen eine Kippbewegung aus. Nebenbei haben unsere Augen die Position der Kaffeetasse erfasst und das Gehirn ermittelt ohne merkliche Anstrengung die Greifsituation und einen möglichen Weg, auf dem die Tasse ohne Kollision mit anderen Gegenständen erreicht werden kann. Der Automatismus, mit dem wir diese Prozesse ausführen, lässt uns ähnliche Aufgabenstellungen in Produktionsumgebungen lächerlich erscheinen, ja nicht beachtenswert.

Aber das genauere Nachdenken über den „Handhabungsprozess beim Trinken aus der Kaffeetasse“

zeigt, dass hier sowohl das Erkennen und die Bewegung als auch das Greifen der Tasse für eine Maschine eine gewaltige Herausforderung ist. Nicht ohne Grund fehlen uns heute noch in allen Haushalten die häufig gewünschten Assistenzroboter zum Bügeln oder zum Einräumen der Spülmaschine. Ein wesentliches Problem dabei ist die Vielfalt der Greifobjekte und der Greifsituationen, in denen diese Assistenzsysteme unterwegs sein müssen. Jede Küche und jede Wohnung sind anders eingerichtet und selbst die Kaffeetasse kann in Form, Farbe und Größe stark variieren.

Kein Wunder, finden wir doch nach wie vor auch in der Industrie massenhaft Beispiele solcher scheinbar „nutzloser“ oder wie Fachleute sagen „nicht wertschöpfender“ Handhabungsvorgänge. Darunter werden Vorgänge verstanden, die das Bauteil nicht bearbeiten, also beispielsweise in seiner Form, Oberfläche oder



Abbildung 1.1 Handhabung der Kaffeetasse als Beispiel für komplexe Prozesse in der Industrie (Quelle: REFORM DESIGN)¹

Textur verändern. Immer wenn Werkstücke in der Produktion transportiert, gelagert, kommissioniert oder montiert werden, ist die Handhabung der Bauteile erforderlich. Die Werkstücke müssen gegriffen und bewegt werden, häufig ist dazu die menschliche Handarbeit notwendig. Aber auch bereits automatisierte Abläufe können handhabungstechnisch aufwendig oder effizient gestaltet sein.

Mit steigenden Stückzahlen und Lohnkosten werden in der Entwicklung und der Produktion immer mehr Anstrengungen unternommen, die Anzahl der Handhabungsvorgänge auf ein Minimum zu beschränken und sich nur auf die eigentliche Bearbeitung des Bauteils zu fokussieren. Wenn sich die Handhabung nicht vermeiden lässt, so wird über eine Automatisierung dieser Vorgänge nachgedacht.

Ein Beispiel hierfür sind die Bearbeitungszentren in der spannenden Fertigung. Hier können ohne Eingriff von Mitarbeitern komplexe Fräsbauteile in einer Aufspannung fertig bearbeitet werden. Das Transportieren von einer Bearbeitungsmaschine zur nächsten und das Bestücken der Maschinen entfällt. Darüber hinaus kann die Werkstückqualität gesteigert werden und die Fehlerraten bei der Bearbeitung sinken. Durch die Zusammenfassung mehrerer Bearbeitungsgänge in einer Maschine ergeben sich erhebliche Produktivitätszuwächse. Der Preis hierfür sind hohe Investitionskosten und eine aufwendigere Produktionsplanung, da sich Produktionsengpässe an den Bearbeitungszentren bilden können. Daraus ergeben sich höhere Anforderungen hinsichtlich der Auslastung dieser Bearbeitungszentren, um wirtschaftlich arbeiten zu können. Der Betrieb dieser Maschinen erfordert daher eine gute Auftragslage.

Bei Produkten, die sich aus vielen Einzelteilen zusammensetzen, hat die Montage nach wie vor einen hohen Anteil an den Fertigungskosten. Hier gehen die Hersteller den Weg zu immer komplexeren Baugruppen, welche

komplett montiert angeliefert werden, sodass in der Endmontage nur noch wenige Handgriffe übrig bleiben. Je nach Branche und Produkt wird hier oft auf die Montage in Regionen mit niedrigem Lohnniveau zurückgegriffen. Nicht umsonst hatte die Verlagerung von ganzen Fabriken mit hohen Handhabungsanteilen nach Fernost in den zurückliegenden Jahrzehnten Hochkonjunktur.

Der Druck, in diesen Regionen stärker zu automatisieren bzw. die Arbeitsgänge mit viel Handarbeit stärker unter die Lupe zu nehmen, ergibt sich sowohl aus den gestiegenen Qualitätsanforderungen als auch aus den rasant steigenden Lohnkosten, die nach einer höheren Produktivität der Fertigung verlangen. Diese Entwicklung ist in allen Schwellenländern zu beobachten.

Die Automatisierung von Handhabungsvorgängen ist eine mögliche Lösung, die sich für die Gestaltung von Produktionsabläufen ergibt. Darüber hinaus haben die Produktgestaltung selbst, die Nutzung alternativer Fertigungsverfahren und die Organisation der Fabrik großen Einfluss und können je nach Situation eine Lösung darstellen. Hier ist ein Umdenken bei Managementkonzepten festzustellen, die sich in der Vergangenheit häufig auf die „schlanke“ oder „effiziente“ Gestaltung der Fabrik konzentrierten. Inzwischen wird erkannt, dass nur eine dem Produktspektrum und den Marktanforderungen angepasste Produktionstechnik im Verbund mit geeigneten organisatorischen Maßnahmen zielführend sein kann. So werden zu den rein betriebswirtschaftlichen Teams zur Beratung von Firmen immer häufiger Produktionstechnikexperten hinzugezogen, die die Technik der Produktionsmaschinen untersuchen, um Effizienzsteigerungen zu generieren.

Allen Bemühungen gemein ist die Vermeidung von Verschwendung in der Produktion durch die Vermeidung von „nicht wertschöpfenden“ Prozessen. Bei allen „wertschöpfenden“ Prozessen – also Abläufen, die zur Wertsteigerung des Produkts notwendig sind – sind zu einem erheblichen Anteil immer noch

Nebentätigkeiten erforderlich. Diese sind das Ziel von sowohl organisatorischen als auch technischen Optimierungsmaßnahmen. Beide Maßnahmen stoßen unter wirtschaftlichen Gesichtspunkten immer wieder an Grenzen. Diese Grenzen verschieben sich ständig, da sich der Stand der Technik weiterentwickelt und die Produktgestaltung einen großen Einfluss auf die Effizienz in der Fertigung hat.

Doch lassen sich Vorgänge nur bis zu einem gewissen Grad optimal organisieren. Ab einem bestimmten Punkt sind technische Hilfsmittel notwendig, um die Produktivität weiter zu steigern. Interessant ist dabei immer wieder die Wahl der Systemgrenze. Wenn wir radikale Sprünge bei der Optimierung erwarten, wird es bei „ausgereiften“ Produktionen kaum gelingen, die Prozessverbesserung nur mit kleinen Schritten zu erreichen, also an einer Stelle einen manuellen durch einen automatischen Prozess zu ersetzen. Hier muss grundsätzlich über die Herstellung des jeweiligen Produkts bzw. dessen Konstruktion nachgedacht oder

über die Systemgrenzen von Produktionsschritten bzw. -verfahren hinweg optimiert werden.

Dieses Kapitel legt die Basis zum Verständnis der in diesem Buch behandelten Thematik der Automatisierungskomponenten, die heute in der Automatisierung von Handhabungsvorgängen zur Verfügung stehen. Der Einstieg in die Welt der Automatisierungskomponenten beginnt mit der Einführung in den Handhabungsprozess als Ziel der Optimierungsbemühungen. Das Kapitel beleuchtet die Handhabungstechnik als Lösungsmöglichkeit und geht auf die Treiber ein, die sich in allen Branchen der Industrieproduktion finden lassen. So wird die Motivation für die Weiterentwicklung dieser Technik klarer und es können Schlüsse gezogen werden für die zukünftige Entwicklung der Komponenten. Im Anschluss daran wird der Prozess der Handhabung an sich definiert und die Begriffe für den Prozess werden erläutert.

1.1 Handhabung – ein nutzloser Prozess?

Bei der Produktion von Gütern geht es in der Regel um die Verarbeitung von Material zu einem Produkt, einer Komponente oder einer Baugruppe. Mit dieser Verarbeitung ist immer eine Wertsteigerung oder Wertschöpfung verbunden. Das heißt, die so bearbeiteten Materialien können zu einem höheren Preis verkauft werden als vor dieser Bearbeitung.

Hierbei ist die Handhabung von Werkstücken in der Produktion notwendig, da die Handhabung den Materialfluss durch die Produktion ermöglicht. Nur bei der Montage oder Verpackung der Werkstücke wird durch die Handhabung der Wert eines Produkts gesteigert, wodurch die Handhabung in der Regel eher der Verschwendung als der Wertschöpfung zugeordnet wird. So wird der Transport von Werkstücken von einer Maschine zur anderen in den Lean-Production-Regeln² für die Produktion als überflüssig und somit als zu vermeiden angesehen. Der Transport von Maschine zu Maschine steht im Fokus bei der Betrachtung der Fördertechnik, wobei die Materialflüsse an einem Arbeitsplatz in der Handhabungstechnik näher beleuchtet werden. Beispielsweise sind kurze Wege und ein minimaler Aufwand des Handlings

das Ziel vieler Optimierungsmaßnahmen, z. B. im Kaizen.³ Die Werkstückhandhabung – „eine ständige Quelle der Verschwendung“⁴ – wurde bereits in den 1960er-Jahren zum Forschungsschwerpunkt im Bereich der Montagetechnik.

Damals wie heute steht vor allem das Vermeiden von Nebenzeiten bei der Bearbeitung und Montage von Werkstücken im Mittelpunkt, z. B. bei der Be- und Entladung von Maschinen. Der Handhabungsvorgang wird dem eigentlichen Fertigungs- oder Bearbeitungsprozess untergeordnet, da die Handhabung keinen „wertsteigernden“ Effekt auf die Werkstücke hat. Man unterscheidet die zur Herstellung aufgewendete Zeit in die Maschinenzeit und die Handhabungszeit (siehe [Abbildung 1.2](#)). Als Maschinenzeit wird der Zeitraum bezeichnet, in dem die Bearbeitungsmaschine arbeitet, d. h. eine Wertsteigerung am Werkstück vornimmt (z. B. Spanabheben, Umformen, Beschichten etc.). Diese Maschinen- oder Nutzungszeit kann nochmals in Nutzungsnebenzeiten und -hauptzeiten untergliedert werden. In der Nutzungsnebenzeit werden z. B. Bohrspindeln auf Drehzahl gebracht und an dem Werkstück positioniert. In der Nutzungshauptzeit erfolgt dann das

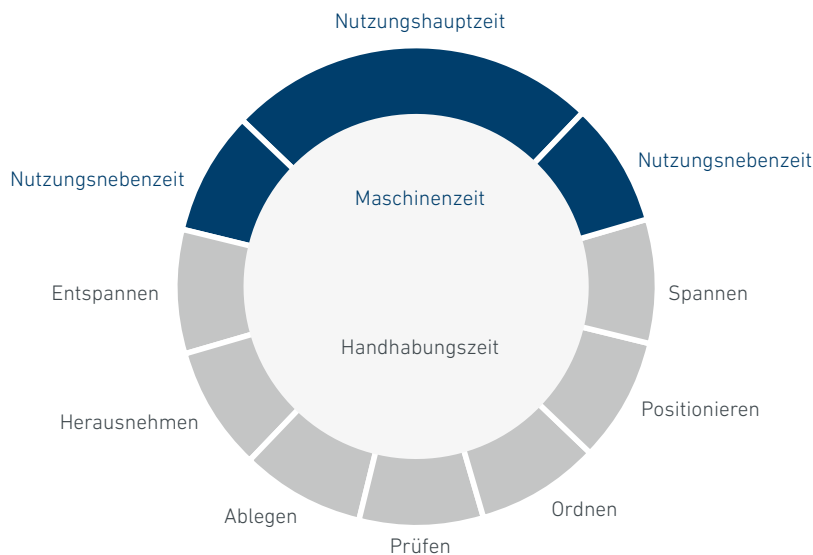


Abbildung 1.2 Darstellung der Maschinenzeit und der Handhabungszeit zur Beschickung

eigentliche Abheben des Spanes, also z.B. das Bohren eines Lochs ins Metall. Diese maschinenbedingten Nebenzeiten wurden in den zurückliegenden Jahren immer weiter auf ein Minimum reduziert, um die Leistungsfähigkeit bzw. die Ausbringung von Bearbeitungsmaschinen weiter zu steigern. Die Hauptzeiten von Maschinen stehen ständig unter Druck und werden beispielsweise durch neue Materialien in der Werkzeugherstellung immer weiter gesenkt.

Die Neben- oder Handhabungszeiten werden in die einzelnen Tätigkeiten unterteilt, die notwendig sind, bis ein Werkstück in einem Spannfutter einer Bearbeitungsmaschine eingespannt ist. Diese Tätigkeiten laufen in der Regel außerhalb der Maschine ab und umfassen die Tätigkeiten zur Qualitätssicherung, wie in [Abbildung 1.2](#) dargestellt ist.

Ziel jedes Fertigungsplaners ist es, die Nebenzeiten parallel zu den Hauptzeiten der Maschine ablaufen zu lassen. Damit ist z.B. selbstverständlich, dass ein Handlinggerät zur Werkstückentnahme aus der Maschine in einer Warteposition vor der Maschine warten muss, wenn die Hauptzeit abgelaufen ist. Bei nicht optimal ausgelegten Prozessabläufen ergibt sich eine Wartezeit der Maschine auf das Entnahmehandling. Wenn z.B. der Roboter zur Entnahme aus einer Spritzgussmaschine (siehe [Abbildung 1.3](#)) noch weitere Aufgaben, wie beispielsweise das Entfernen des Angusses, auszuführen hat, so muss dieser Prozess in jedem Fall eine kürzere Prozessdauer aufweisen oder der Roboter muss das Werkstück in einer separaten Station zum Entfernen des Angusses ablegen können. Der Roboter sollte zur Entnahme des nächsten Teils aus der Maschine wieder bereitstehen, um eine möglichst hohe Produktivität der Spritzgussmaschine zu gewährleisten.

Die Planung solcher Prozesse bedarf daher einer genauen Analyse der Prozesszeiten, da es weder Sinn macht, den Roboter vor der Maschine warten zu

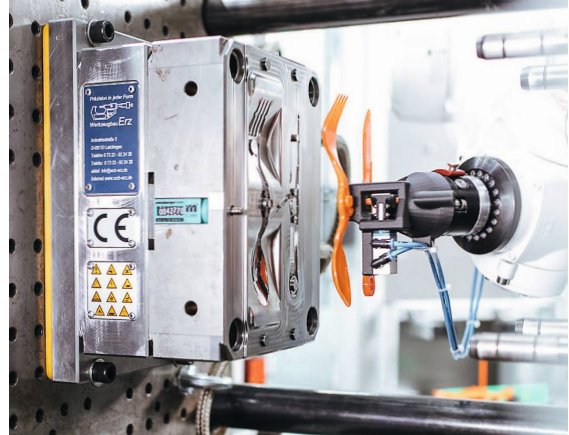


Abbildung 1.3 Entnahme eines Werkstücks mit Anguss aus der Spritzgussmaschine (Quelle: KUKA)⁵

lassen, noch die Maschine auf den Roboter warten zu lassen. Allerdings ist bei diesen Aufgabenstellungen die Varianz von Bauteilen und damit der jeweiligen Prozessdauern zu beachten, da häufig Maschinen mit unterschiedlichen Werkstücken mit variablen Bearbeitungszeiten arbeiten. Damit ist gemeint, dass eine Automation an einer Spritzgussmaschine je nach dem zu fertigenden Bauteil unterschiedliche Prozesszeiten zur Verfügung hat. So können einfache Teile mit geringem Volumen innerhalb weniger Sekunden gespritzt werden. Großvolumige, komplexe Bauteile wiederum benötigen dagegen Minuten. Ein an der Spritzgussmaschine fest installiertes Handhabungsgerät ist daher eventuell zu langsam oder zu schnell für die Bearbeitungsaufgaben.

Um Nebenzeiten, die sich nicht vermeiden ließen, produktiver zu gestalten, wurden bei der Automatisierung von manuellen Handhabungsaufgaben Lösungen gesucht, die den Bediener von der eigentlichen Maschinenzeit entkoppelten. Der Mensch hat gegenüber dem fest installierten Handhabungsgerät den Vorteil, mobil zu sein und somit von Maschine zu Maschine gehen zu können. Durch die Speicherung von Material vor und nach den

Bearbeitungsmaschinen konnte die Handhabung des Materials in die Maschine und wieder heraus und somit der menschliche Bediener von der direkten Taktbindung entkoppelt werden.

In **Abbildung 1.4** ist eine Presse mit einem Stangenmagazin dargestellt. Die Werkstücke (in diesem Fall Scheiben) werden hierbei vom Werker in das Stangenmagazin eingebracht. Dabei nimmt das Stangenmagazin eine bestimmte Anzahl an Scheiben auf. Die Größe des Stangenmagazins ist so ausgelegt, dass der Werker eine sinnvolle Zeit bekommt, um andere Tätigkeiten in der Produktion bzw. mehrere solcher Pressen beschicken zu können. Somit ist er von der Taktbindung der einzelnen Presse entkoppelt. Er muss nicht nach jedem Hub der Presse ein neues Teil einlegen bzw. entnehmen. Die Handhabung der Werkstücke erfolgt automatisiert.

Die Puffer oder Speicher an den Maschinen dienen darüber hinaus bei der Verkettung von Bearbeitungsmaschinen als Störungspuffer. Diese Puffer sind nach den Methoden der Lean Production nicht gewünscht, da sie die Sicht auf die eigentlichen Prozesse und deren Unzulänglichkeiten versperrten. So

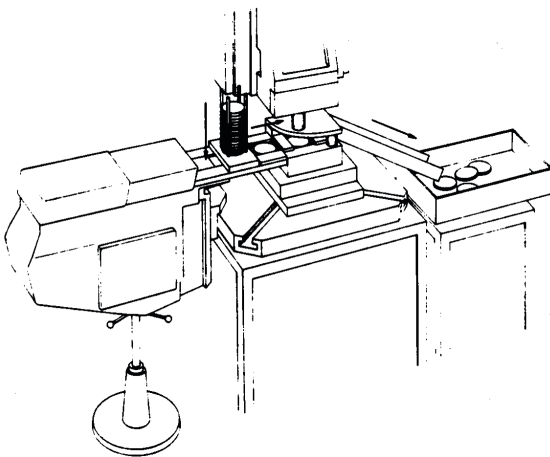


Abbildung 1.4 Entkopplungsmöglichkeit durch Speicher vor und nach der Bearbeitungsmaschine (Quelle: Warnecke/Schraft)⁶

wird mit einem Störungspuffer eine Verschwendung durch einen unzuverlässigen Prozess nicht oder erst spät sichtbar. Verschwendung ist die Folge dieser nicht zuverlässigen Prozesse und deren Entdeckung wird besonders gut möglich, wenn kein Störungspuffer den Blick auf die Störungsquelle verschleiert. Insofern ist es für die Optimierung einer Wertschöpfungskette oder Prozesskette hinderlich, wenn Puffer die Fehler von Prozessen abmildern, indem nicht gleich die gesamte Produktionsstraße zum Stillstand kommt.

Abbildung 1.5 zeigt eine Verkettung von Bearbeitungsmaschinen, die jeweils durch Puffer gegen Störungen abgesichert sind. Das heißt, wenn beispielsweise in der ersten Maschine eine Störung entstehen sollte, kann die zweite Maschine weiter produzieren, ohne von der Störung der ersten Maschine betroffen zu sein, bis der Puffer leer ist. Bei diesem Beispiel wird auch die Problematik der Pufferauslegung deutlich. Wie groß muss ein Puffer ausgelegt werden, damit die Störung überbrückt werden kann? Man muss tatsächlich die Zeit zur Störungsbehebung kennen, um den Puffer richtig dimensionieren zu können. Darüber hinaus wird klar, dass die Puffer noch voll bzw. leer sein können, sollten kurz hintereinander Störungen an einer Maschine auftreten. Es ist also nicht unerheblich, welche Prozesszeiten die einzelnen Maschinen in der Kette haben und dass sie die Möglichkeit haben müssen, durch eine

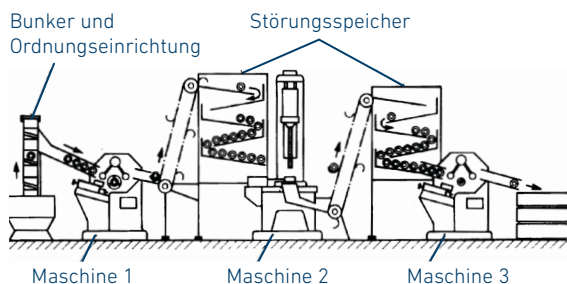


Abbildung 1.5 Störungspuffer zwischen Maschinen können den Stillstand einzelner Produktionsmaschinen verhindern. (Quelle: Warnecke/Schraft)⁶

beschleunigte Abarbeitung der Werkstücke den Puffer wieder zu entleeren. Andernfalls kann diese Störungspufferung keine Wirkung entfalten. Dies widerspricht dem heutigen Vorgehen, die Kapazität der einzelnen Maschinen maximal auszulasten, um einen möglichst kurzen Return on Investment (ROI) zu generieren. Damit sind der Verkettung von Maschinen über Störungspuffer in der Praxis enge Grenzen gesetzt.

Ein Beispiel für die direkte Verkettung von Produktionsmaschinen finden Sie im Internet unter <https://www.youtube.com/watch?v=jZrthqPLLuU>, bei dem gezeigt wird, wie sich drei Spritzgussmaschinen synchronisieren können.

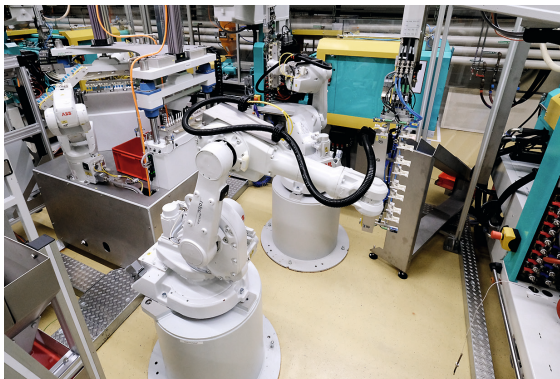


Abbildung 1.6 Direkte Verkettung ohne Störungspuffer von Spritzgussmaschinen mit Robotern (Quelle: medmix, robomotion, ABB)⁷

Hier setzt der Lean-Gedanke an, indem er eine Prozesskette von Maschinen möglichst ohne Puffer plant. Mit den Ansätzen einer durchgängigen Prozesskette ohne Puffer oder Speichermöglichkeit werden erhöhte Anforderungen an die Bearbeitungsmaschine und deren Einzelverfügbarkeiten gestellt. Dies führt in der Technik dazu, dass im Maschinenbau in der Regel nur dauergeprüfte Komponenten zum Einsatz kommen, um ein Höchstmaß an Prozesssicherheit zu gewährleisten. Damit gewinnen die verbleibenden Handhabungsvorgänge in einer Produktionsstraße ohne Puffer an Bedeutung bzw. es muss bei deren

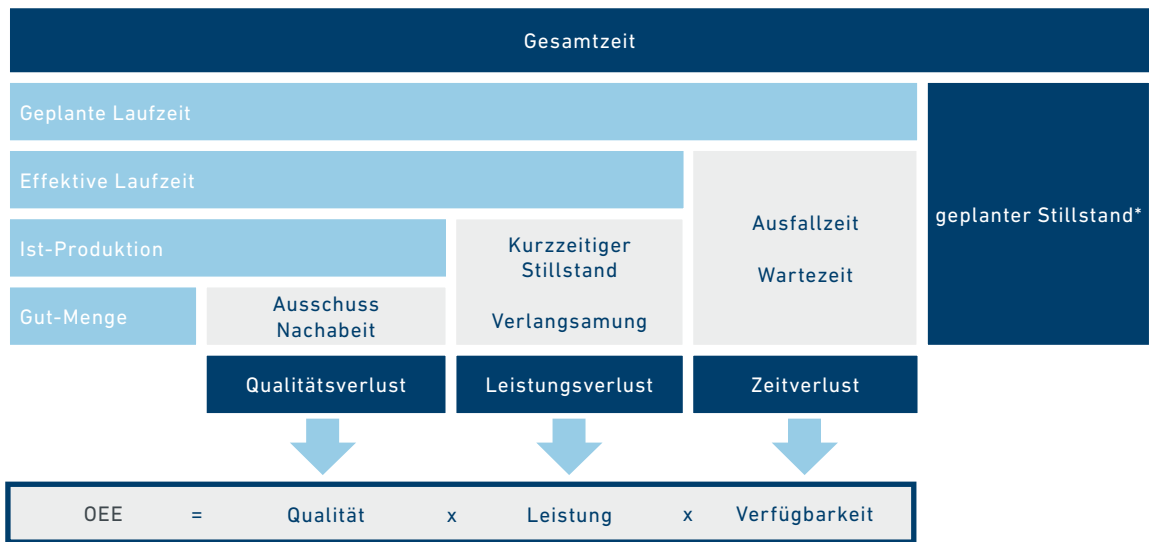
automatischer Ausführung auf eine hohe Funktionssicherheit geachtet werden.

Wird z.B. an einem Roboter eine Greiferkomponente eingesetzt, so wird der ausführende Konstrukteur auf Komponenten zurückgreifen, die eine hohe Lastspielzahl laut Datenblatt garantieren. Im Sinne der Total Cost of Ownership (TCO)⁶ ist daher nicht nur der Preis einer Komponente interessant, sondern ebenfalls deren Lebensdauer und deren Ausfallhäufigkeit. Eigenkonstruktionen haben hier in der Regel den Nachteil, dass diese bei Weitem nicht so gut geprüft und ausgereift sein können wie langzeitgetestete Standardkomponenten.

Eine Eigenkonstruktion, z. B. eines Greifers, ist normalerweise auch aus Kostengründen zu vermeiden, da standardisierte Komponenten meist kostengünstiger angeboten werden. Die Entwicklungskosten einer fertig aus dem Katalog zu beziehenden Automatisierungskomponente sind auf eine hohe Stückzahl umgelegt. Bei hohen Stückzahlen kann das eventuell anders bewertet werden. Hier sollten jedoch alle Kosten, einschließlich der Lagerhaltungskosten für die spezifischen Ersatzteile und die notwendigen Dauerversuche, mit in die Kalkulation einbezogen werden.

Hieran wird deutlich, wie stark bereits bei der Auslegung von Handhabungsaufgaben auf die spätere Prozesssicherheit und damit auf die Gesamtanlageneffektivität (GAE) oder englisch die Overall Equipment Effectiveness (OEE) Einfluss genommen wird.

Der OEE-Wert wird in der Regel als Kennzahl zwischen 0 und 100 % angegeben. 100 % wäre ein anzustrebender Idealzustand, der in der Praxis allerdings zum Teil weit darunter liegt. Wichtig für die weitere Betrachtung ist allerdings, dass die Handhabungsprozesse alle drei Einflussgrößen Zeit, Leistung und Qualität beeinträchtigen. Somit führt ein sicherer Handhabungsprozess auch zu einem guten OEE-Wert. Je mehr Handhabungsprozesse eine Maschine oder eine Prozesskette



*Geplanter Stillstand findet bei der Bestimmung der OEE keine Berücksichtigung

Abbildung 1.7 Grafische Darstellung der Ermittlung des OEE-Wertes in der Produktion (Quelle: fme AG)⁸

enthält, desto wichtiger wird eine hohe Verfügbarkeit des Einzelprozesses. Damit kommt erprobten Komponenten und Baugruppen eine immer wichtigere Rolle zu, da andernfalls die effektive Laufzeit eingeschränkt oder die Leistung gemindert wird.

Moderne Handhabungssysteme erlauben durch eine hohe Dynamik immer kürzere Zykluszeiten der Handhabungsaufgabe. Das hat zur Folge, dass die Maschinenleistung weiter gesteigert werden kann. Tabelle 1.1 zeigt Beschleunigungs- und Geschwindigkeitswerte unterschiedlicher Handhabungssysteme auf. Besonders auffällig sind dabei Lineardirektantriebe und Parallelkinematik mit Beschleunigungswerten, die ein Vielfaches der Erdbeschleunigung erreichen.

War bislang vor allem die reine Dynamik für den Handhabungsprozess entscheidend, so treten mit der ganzheitlichen Betrachtung im Sinne des OEE ebenfalls Aspekte wie etwa die Positioniergenauigkeit in den Vordergrund. Selbst bei einer einfachen Verpackungsaufgabe mit mehreren Millimetern Positioniertoleranz des Produkts in der Packung können sich bei ungünstig

kombinierten Toleranzfeldern Ablagefehler ergeben, die zu Störungen des Verpackungsprozesses führen. Dies trifft vor allem dann zu, wenn es sich bei den Produkten um Naturprodukte handelt, die keine eindeutig definierte Form haben, wie z. B. Würste oder Gebäck. Daher ist der Handhabungsprozess nicht nur unter dem Aspekt der pro Zeiteinheit bewegten Werkstücke zu charakterisieren, sondern es spielen auch die Randbedingungen der Handhabungsaufgabe und die spezifischen Eigenschaften der Werkstücke eine entscheidende Rolle.

Sind Handhabungsaufgaben für den Menschen mit seiner flexiblen „Greiftechnik“ und den leistungsfähigen „Sensoren“ (optisch und taktil) weitestgehend intuitiv zu bewerkstelligen, so ist die technische Lösung bisweilen eher komplex.

Um Handhabungsprozesse besser analysieren zu können, lässt sich der Prozess in unterschiedliche Abschnitte gliedern. Wir unterscheiden drei wesentliche Prozessphasen: Greifen, Bewegen, Ablegen (siehe Abbildung 1.8).

Antriebsart	Zwischenstellung	Maximal- geschwindigkeit	Maximal- beschleunigung	Positionier- genauigkeit
Pneumatikantrieb	nur mit Zusatz- konstruktion möglich	ca. 1,2 m/s	-	auf Anschlag
Riemenantrieb	möglich	ca. 3 m/s	ca. 10 m/s ²	0,1 mm/m
Spindelantrieb Elektromotor	möglich	ca. 2,5 m/s	ca. 10 m/s ²	0,05 mm/m
Mitlaufende Achse externem Antrieb	nur mit Zusatz- konstruktion möglich	ca. 3 m/s	ca. 10 m/s ²	-
Linearachse Direktantrieb	möglich	ca. 5 m/s	ca. 100 m/s ²	ca. 0,05 mm/m
Parallelkinematik	möglich	ca. 10 m/s	ca. 120 m/s ²	ca. 0,5 mm

Tabelle 1.1 Vergleich unterschiedlicher Achssysteme in ihrem dynamischen Verhalten

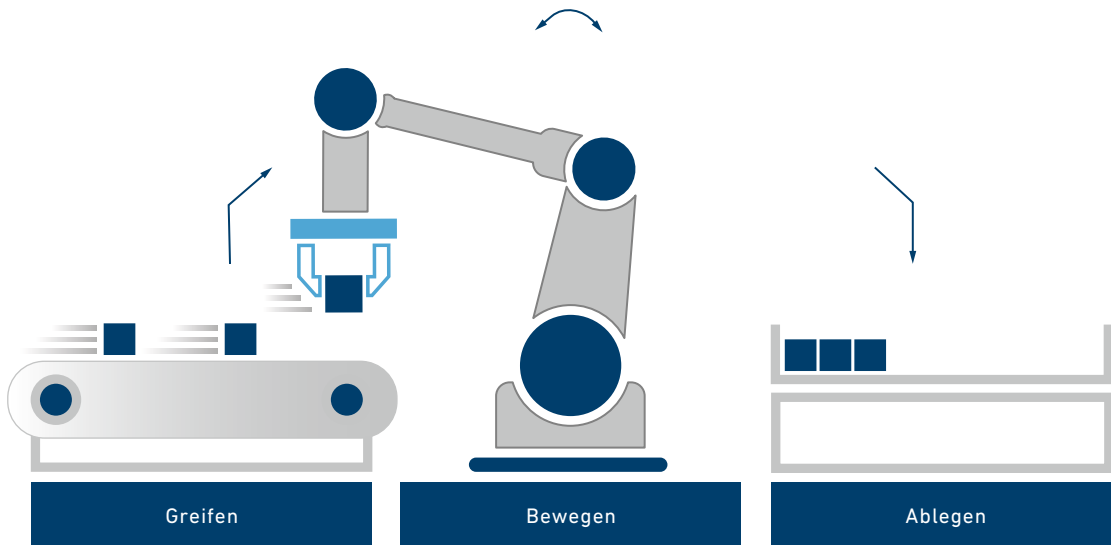


Abbildung 1.8 Unterteilung des Handhabungsprozesses in seine Hauptphasen

In der Greifphase spielen sowohl das Werkstück als auch die Greifsituation eine besondere Rolle. Zum einen weist das Werkstück besondere Merkmale und Eigenschaften auf, die beim Greifen berücksichtigt werden müssen (z.B. Gewicht, Geometrie, Empfindlichkeit etc.), zum anderen ist das GreifszENARIO zu beachten, wie beispielsweise die Zugänglichkeit oder

Werkstückbewegung. Da die Greifzeit direkt in die gesamte Handhabungszeit mit eingeht, ist dies häufig im Sinne der Wirtschaftlichkeit von Automatisierungslösungen eine interessante Kennzahl von Greifern.

Die Bewegungsphase ist durch die Handhabungsaufgabe definiert. Hier spielen vor allem die geforderte

Zykluszeit und die daraus resultierenden Beschleunigungswerte eine Rolle. Je nach Bewegungsbahn ergeben sich mit der Werkstückmasse unterschiedliche Kräfte in der Kontaktfläche zwischen Werkstück und Greiferfinger. Auch hier wird in der Regel versucht, die Bewegungszeit so kurz wie möglich zu halten, d. h., es werden die maximal möglichen Beschleunigungen und kürzesten Wege mit dem Handhabungssystem gefahren. In seltenen Fällen ist dies auch aus Greifprozessgründen wichtig, da es haftende Werkstücke gibt, die mit zunehmender Haltedauer im Greifer Adhäsivkräfte zwischen Finger und Werkstückoberfläche aufbauen können. Bei heißen Werkstücken ist eine maximale Haltedauer zu definieren, um eine Schädigung des Greifers durch Wärmeeinwirkung zu vermeiden.

In der Ablegephase kommen ähnliche Faktoren wie in der Greifphase zum Tragen. Zum einen ist die Öffnungszeit des Greifers wichtig, um eine kurze Gesamtтактzeit zu erzielen. Hier ist zu beachten, dass je nach Greifertyp die Schließzeit bei manchen Greiferkonstruktionen von der Öffnungszeit abweicht. Zum anderen ist wieder die Zugänglichkeit für die Auswahl des jeweiligen Greifprinzips wichtig. Besonders bei kurzen Handhabungszeiten, wie denen von Parallelkinematiken, nehmen die Greif- bzw. Ablegephase gegenüber der eigentlichen Bewegungsphase einen erheblichen Teil der Zeit in Anspruch. So ist es entscheidend, die Greif- bzw. Ablegezeit auf die Millisekunde genau zu bestimmen, da andernfalls die Gesamtтактzeit unnötig ansteigen kann. Will man die Greif- und Ablegephase korrekt erfassen, so ist zunächst die Untersuchung des Werkstücks, der spezifischen Merkmale sowie der Zugänglichkeit angezeigt. Diese wird in Kapitel 3 dieses Buches detailliert betrachtet.

Es ist für das Greifen essenziell, an welchen Stellen das Werkstück gegriffen werden kann. Darüber hinaus ist jedoch zu klären, wie es z. B. in dem Arbeitsraum eines Roboters bereitgestellt wird, also wie es für den Greifer erreichbar ist. Erst danach können die Fragen

geklärt werden, wie weit die Finger zum Greifen geöffnet werden müssen und wie fest sie zusammengedrückt werden dürfen. Das Öffnen der Finger ist dann beim Ablegen unter Umständen wieder wichtig, wenn z. B. in schwer zugänglichen Situationen abgelegt werden muss. Dieser ganze Prozess lässt sich sensorisch überwachen und sicherheitstechnisch für unterschiedliche Gefährdungssituationen auslegen.

Die Bewegungsphase der Werkstücke wird in Kapitel 4 behandelt. Vor allem für die Wirtschaftlichkeit ist ein dynamischer Handhabungsprozess bzw. eine dynamische Bewegungsphase essenziell. Die Bewegungsphase ist in der Regel die längste Phase beim Handhabungsprozess. Dabei ist unter anderem auch die Werkstückschonung zum Erhalt der Qualität der Produkte zu berücksichtigen. Die Beschleunigungsphasen bzw. im Gegenzug die notwendigen Abbremsphasen sind die für die Greifkraft kritischsten Abschnitte in der Bewegungsbahn des Roboters. So können beispielsweise empfindliche Produkte bei hohen Beschleunigungen Schaden nehmen. Darüber hinaus kann es sein, dass Produkte bei Bewegungen mit hohen Querbeschleunigungen stärker gegriffen werden müssen, um sie während der Fahrt nicht zu verlieren. Das kann dann zu Beschädigungen auf den Produkten durch den Greifer selbst führen.

Kapitel 5 rundet die Betrachtungen zur Handhabungstechnik ab, indem sowohl neue Anwendungen der Greif- und Robotertechnik beleuchtet werden als auch der Blick in die Zukunft der Automatisierungstechnik versucht wird. Dabei können vor allem die Möglichkeiten der Software in Verbindung mit leistungsstarker künstlicher Intelligenz, gepaart mit Roboterhardware, Sensoren und Greiferkomponenten, neue Anwendungsfelder für die Robotik erschließen. Besonders das schnelle Lernen von Robotern für Applikationen in unstrukturierten und variablen Umgebungen wird die Einsatzfähigkeit der Technik deutlich erweitern.

1.2 Was treibt die Automatisierung an?

Welche Faktoren beeinflussen die Entwicklung der Automatisierungstechnik und damit auch der Handhabungstechnik? In diesem Abschnitt werden die Treiber der Entwicklung der Automatisierung in der Handhabungstechnik beleuchtet. Was hat zur Entwicklung von leistungsfähigen Komponenten der Technologie geführt? Die technische Entwicklung wird sowohl historisch in Kapitel 2 und mit Ausblick auf die Zukunft in Kapitel 5 betrachtet. In diesem Abschnitt stehen dagegen die Rahmenbedingungen im Vordergrund, die für die Automatisierungstechnik und insbesondere die Handhabungstechnik heute gelten.

Die Handhabungstechnik mit Robotern als flexiblen Handhabungssystemen kann in unterschiedlichsten Branchen bei der Produktentstehung bzw. Wertschöpfung zum Einsatz kommen. Seit über 50 Jahren gibt es die Roboter als Industriemaschinen schon. Sie sind heute zum Kernelement von Automatisierungsaufgaben in der Handhabungstechnik geworden. Ihre Peripherie besteht sowohl aus Hardware- als auch Softwarebausteinen, die den jeweiligen Einsatzfall ermöglichen.

Eine möglichst effiziente Produktentstehung ist die Hauptmotivation für den Einsatz von Handhabungstechnologien und -komponenten. Die Produktivität, mit der diese Produktentstehung geschieht, entscheidet mit dem Preis und der Qualität meist wesentlich über den Erfolg des Produkts am Weltmarkt. Die Produktivität ist daher auch die Kenngröße, die der Gesellschaft zu Wohlstand im Sinne des Bruttosozialprodukts verhilft und für viele die Lebensqualität an sich definiert.

Darüber hinaus tragen eine digitalisierte und automatisierte Verpackung und Logistik heute genauso zum Markterfolg von Produkten bei, wie deren effiziente Produktion. Seit der Erfindung des Onlinehandels mit seinen durchgängigen Logistikketten sind wir es gewohnt, innerhalb von Tagen bzw. Stunden nach Bestellung Produkte aller Art geliefert zu bekommen. Ohne Produktivität in der Lieferkette wären diese Möglichkeiten undenkbar.

Abbildung 1.9 verdeutlicht den Einsatzbereich und die Technologiefelder für die Handhabungstechnik bei der Produktentstehung und bei der Logistik.

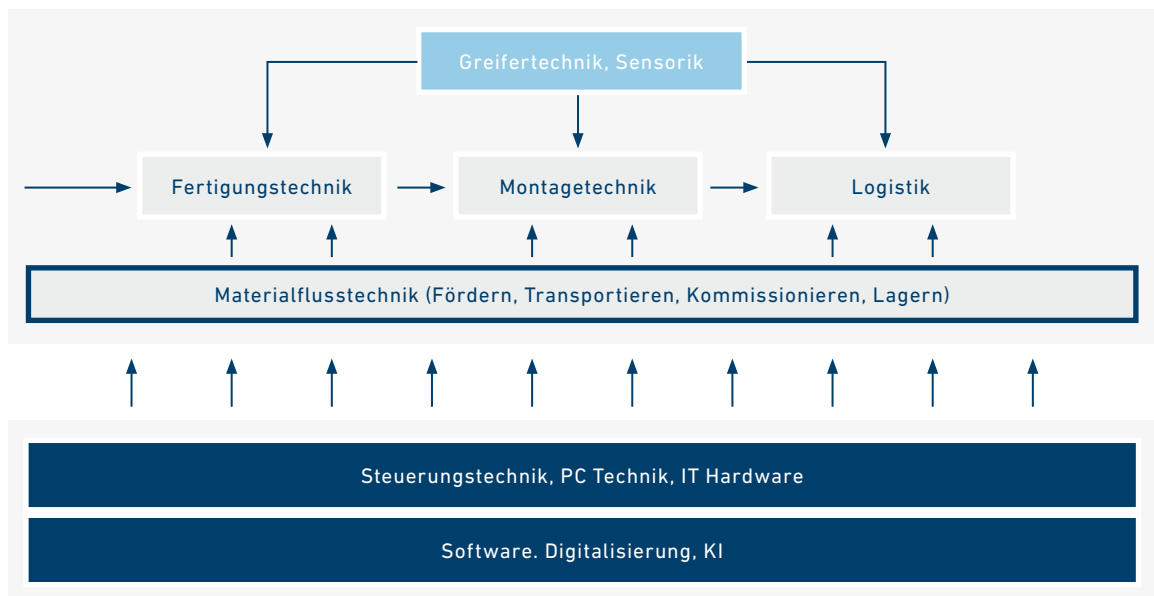


Abbildung 1.9 Technologiefelder in der Produktion und Logistik (Quelle: Schraft/Kaun)⁹