



Leseprobe

Andreas Wolf, Henrik A. Schunk

Greifer in Bewegung

Faszination der Automatisierung von Handhabungsprozessen

ISBN (Buch): 978-3-446-44241-2

ISBN (E-Book): 978-3-446-43993-1

Weitere Informationen oder Bestellungen unter

<http://www.hanser-fachbuch.de/978-3-446-44241-2>

sowie im Buchhandel.

## Geleitwort Henrik Schunk

Mit der Fortschreibung des Werkes zur Greif- und Handhabungstechnik setzen wir unsere Veröffentlichungsreihe von Fachbüchern für die Automatisierungsbranche fort. Unsere Leidenschaft für die Greiftechnik begann mit der Entwicklung des ersten standardisierten Industriegreiflers 1983. Komplizierte Anforderungen unserer Kunden sind Ursprung und Quelle unserer Greifkompetenz. Es ist uns ein Anliegen mit diesem Buch nicht nur Produktionsfachleuten einen Einblick in die Welt der Automation zu geben, sondern darüber hinaus dem interessierten Geschäftsführer, dem Einkäufer und natürlich auch dem Studenten neue Erkenntnisse zu geben. So soll das Grundverständnis für diese Technik auf eine breitere Basis gestellt werden, denn heute lassen sich immer schwerer reine automatisierte Insellösungen in der Produktion rechtfertigen. Es muss zukünftig über die Abteilungs- und Fachgrenzen hinweg gedacht werden, damit die Technik optimal geplant und genutzt werden kann.

Die Faszination, welche in der Handhabungstechnik steckt, ist wohl darin begründet, dass sie uns Menschen besonders vertraut ist. Denn wir Menschen handhaben täglich viele tausend Male in den unterschiedlichsten Lebenssituationen, sowohl in der Freizeit als auch bei der Arbeit. Die Technik unterstützt uns hierbei immer mehr und erleichtert derzeit vor allem Arbeitsabläufe in der Produktion. Als mittelständisches Familienunternehmen setzen wir auf Langfristigkeit und Nachhaltigkeit. So beschäftigen wir uns heute mit der zukünftigen Smart Factory in der Mensch und Roboter kollaborieren und Intelligenz, Informationsgabe, Sicherheit und maximale Flexibilität zu zentralen Leistungsmerkmalen zukünftiger Greiftechnik werden. Das Ziel unserer Bemühungen ist es, die Automatisierungslösungen für unsere Kunden so effizient und sicher zu gestalten, dass in der Produktion ein Optimum erreicht wird.

Für SCHUNK geht es dabei um jede Art der Automation, vom medizinischen Labor, über die Lebensmittelproduktion bis hin in die Herstellung von Automobilen für die wir unsere Komponenten entwickeln und anbieten. Unsere Kunden erhalten rund um den Erdball unsere Produkte, Ersatzteile und Service.

Dieses Buch kann nur einen Bruchteil der Möglichkeiten zur Verwendung von Greifsystemen aufzeigen. Für weitergehende Fragestellungen stehen unsere Mitarbeiter mit Rat und Informationen zur Verfügung. Bei allen Mitarbeitern, die geholfen haben Informationen für dieses Buch zusammenzutragen möchte ich mich hiermit bedanken. Allen Firmen und Forschungsinstituten, die uns bei der Erstellung dieses Buches unterstützt haben, indem sie Beispiele und Fachwissen eingebracht haben, sei ebenfalls gedankt. Den Mitarbeitern der Firma robomotion möchte ich dafür danken, dass sie Herrn Dr. Wolf und mich mit Ideen und Beispielen unterstützt haben.

Lauffen am Neckar im Juni 2016

Henrik Schunk

## Vorwort von Prof. Dr.-Ing. Bauernhansl

Die Anforderungen an die Fertigungsprozesse von morgen steigen. Gefordert werden hohe Flexibilität und Prozessqualität und dies bei niedrigen Herstellungskosten. Ursachen hierfür sind sinkende Chargengrößen bei gleichzeitig steigender Variantenzahl sowie immer kürzere Lebenszyklen der Produkte. Eine Verlagerung der Fertigung an Billigstandorte führt zu Nachteilen wie mangelnde Flexibilität, höhere Kosten für Logistik und unzureichende Qualitätssicherung. Abgesehen davon, dass auch in sogenannten „Billiglohnländern“ die Löhne steigen, werden die in manchen Fällen prekären Arbeitsbedingungen kritisch gesehen.

Mit den Erkenntnissen aus der Eurokrise rückt die Produktion im eigenen Land wieder mehr in den Fokus. Deutschland mit seinen im Vergleich zu anderen EU-Ländern hohen Industrieanteil am Bruttoinlandsprodukt von über 20 % wird häufig als Vorbild für die Staaten mit geringer Dichte an Produktionsarbeitsplätzen gesehen. Mit seiner Vielzahl an innovativen Unternehmen und wettbewerbsfähigen Produkten konnte Deutschland der Krise im Euroraum am besten trotzen. Insofern ist es in vielen Industriestaaten der Erde wieder politisches Ziel, die Fertigung im eigenen Land stärker auszubauen und die Produktion aus den Billiglohnländern zurückzuholen. Lokale Fertigung bei hohem Lohnniveau in einer alternden Gesellschaft erfordert aber eine Produktionstechnik, die auch bei hoher Variantenzahl und kleinen Stückzahlen wirtschaftlich fertigen kann.

Um diese Forderungen zu erfüllen, bietet sich die Robotertechnik mit ihrer Flexibilität an. Von der Automobil- und der Großindustrie kommend, dringt sie zunehmend in andere Bereiche vor und wird auch im Mittelstand Fuß fassen. Gerade der Mittelstand muss verstärkt um Arbeitskräfte kämpfen und dafür sorgen, dass speziell ältere Mitarbeiter von schweren, körperlichen Tätigkeiten entlastet werden. Es ist also eine wichtige Aufgabe, Produktionskonzepte zu entwickeln, die auch für das Handwerk nutzbar sind.

Neue Steuerungen und Sicherheitskonzepte machen eine Mensch-Maschine-Kooperation wirtschaftlich denkbar. Die Kosten für die Hardware werden weiter sinken. Planungstools und Simulationsumgebungen werden immer detaillierter und ermöglichen eine sichere Vorbereitung der Applikation. Greifer lassen sich mit ihren Parametern, Öffnungs- und Schließverhalten genau abbilden.

Der Greifer als „Applikations- Enabler“ oder einfacher als „App“ für Handhabungssysteme wird dabei immer wichtiger. Hier kommt es darauf an, aus einem Baukasten erprobter Komponenten eine solide Basis für die Handhabung von Werkstücken zu schaffen. Damit erspart sich der Konstrukteur wertvolle Entwicklungszeit für die Gesamtmaschine. Darüber

hinaus kann er sich auf dauergetestete Bausteine verlassen, welche ihm eine hohe Verfügbarkeit der Anwendung garantieren. Gerade diese Verfügbarkeit ist im Zeitalter des „Lean Manufacturing“ ein wesentlicher Schlüssel für zufriedene Kunden. In Produktionsketten ohne Puffer und Störungsspeichern wirken sich kleinste Fehler fatal aus. So kommt jeder Automatisierungskomponente eine wichtige Rolle zu.

Mit diesem Buch ist es den Autoren gelungen, zum einen die Geschichte der Automatisierung der Handhabungstechnik zu skizzieren, und zum anderen einen Ausblick auf die Entwicklung der Technik in den kommenden Jahren zu geben. Die weitere Vernetzung der Automatisierungskomponenten wie Greifer und Handhabungssysteme ist dabei ein wichtiger Entwicklungsschritt hin zur Produktion der Zukunft oder kurz gesagt zur „Industrie 4.0“. Besonders Entwicklungen hin zum elektrischen Greifer und zur Integration von Sensoren in den Greifer lassen eine höhere Prozesskontrolle zu als in der Vergangenheit.

Das Buch gibt Beispiele, die es dem Anwender erleichtern, Produktionsanlagen entsprechend zu planen und auszulegen. Es gibt Anregungen, wie durch den Einsatz neuer Techniken, beispielsweise den generativen Fertigungsverfahren, neue Möglichkeiten in der Produktion entstehen. Auch in der Forschung und Lehre wird dieses Buch den Lehrenden aber auch den Studierenden Ideen und Motivation geben können.

Das Forschungs-Netzwerk der Fraunhofer-Gesellschaft hat für diese Weiterentwicklungen bereits hervorragende Forschungsergebnisse und Infrastrukturen geschaffen. Gemeinsam mit den meist mittelständischen Unternehmen, welche Nutzer der Technologie aber auch Lieferanten sein können, wird der Standort Deutschland in den kommenden Jahren viele Innovationen hervorbringen. Es ist an den Maschinen- und Anlagenbauern, sich dieses Potential zu nutze zu machen.

Stuttgart im Juni 2016

Prof. Dr.-Ing. Bauernhansl



## Vorwort von Dr.-Ing. Andreas Wolf

Über zehn Jahre ist es her, dass ich bei der Gründung von robomotion das erste „Greifer in Bewegung“ Buch gemeinsam mit der Firma SCHUNK umsetzen durfte. Anfangs war es nur als Zusammenfassung und Überblick zu meiner Vorlesung an der Universität Stuttgart gedacht. Durch die Möglichkeiten einer professionellen Öffentlichkeitsabteilung und einer hervorragenden Graphikagentur konnte ich gemeinsam mit den Fachleuten von SCHUNK und robomotion ein Werk zusammentragen, das neben dem Fachwissen auch Anwendungsbeispiele der Automation für die Handhabungstechnik vermittelt.

Viele Schlagworte werden heute mit der Digitalisierung der Produktion von Gütern verbunden. Ich möchte zeigen, dass vieles davon heute schon Realität ist und dass alles zum Einsatz kommt, wenn es Nutzen bringt. Auf über 300 Seiten soll Ihnen eine Vorstellung von dem vermittelt werden, was bei der automatisierten Produktion heute bereits umgesetzt wird. Wenn Sie an den Rahmenbedingungen für Automation und den geschichtlichen Hintergrund dieser noch relativ jungen Technik interessiert sind, so bieten sich die Kapitel 1 und 2 als Einstieg an. Wollen Sie mehr über das Vorgehen zur Umsetzung von Automationsprojekten in Ihrem Betrieb wissen, können Sie sich das spezielle Unterkapitel aus Kapitel 3 und 4 herausuchen. Dabei wird systematisch, vom Werkstück ausgehend, der Greifer über die Finger bis zum Roboterarm entwickelt bzw. ausgelegt. Ein Ausblick auf die Zukunft der Automatisierungstechnik haben die Autoren aus ihrem heutigen Blickwinkel in Kapitel 5 gewagt.

Kein Buch der Welt kann so umfangreich sein, dass es alle Aspekte und Beispiele der Automatisierungstechnik wiedergibt. Für die Systematik bei Automatisierungsprojekten kann jedoch in diesem Buch ein grundsätzliches Vorgehen vom Werkstück, über den Greiferfinger und den Greifer bis hin zum kompletten Roboter in seiner Sicherheitszelle aufgezeigt werden. „Ready to use“ ist das Stichwort, welches sich nahezu alle Hersteller von Automatisierungskomponenten auf die Fahnen geschrieben haben. Das heißt die Integratoren sollen in die Lage versetzt werden, die Komponenten zu einer Lösung zusammenzusetzen. Dies gelingt schon für bestimmte Applikationen, wie flexible Schweißroboterzellen und vorbereitete komplexe Logistiksoftwarebausteine zur Verkettung von mehreren Robotern. Dennoch, ohne die Hardware des Greifers, der Sensorik und der Materialbereitstellung geht es meist nicht. Die „App“ zum downloaden wird in der Industrie noch eine Weile auf sich warten lassen. Zu vielfältig sind die unterschiedlichen Bedürfnisse der Anwender und deren Aufgabenstellung. Zu wenige Nutzer, welche für jede Applikation eine Entwicklung von Hard- und Software rechtfertigen würde. So ist im ersten Schritt das stetig wachsende Angebot von spezifischen Komponenten schon eine große Erleichterung

für den Integrator, der nun nicht mehr alles aus eigener Kraft stemmen muss. Dieses Buch zeigt auf, was hier in den letzten Jahren seit dem ersten Band alles dazu gekommen ist.

Bedanken möchte ich mich bei der Familie Schunk und ihren Mitarbeitern für die Möglichkeit, eine Neuauflage des Buches in Angriff nehmen zu können. Die Diskussionen mit Herrn Henrik Schunk und Abstimmungen zu den Inhalten waren immer sehr konstruktiv und bereichernd. Besonders möchte ich mich auch bei Herrn Ralf Steinmann und Herrn Ralf Becker für die Zusammenarbeit und die Ideendiskussion bedanken. Herr Fellhauer war für den Bereich Sensorik ein sehr hilfreicher Inputgeber. Frau Letsch und Herr Srouji betreuten das Buch mit ihren Empfehlungen hinsichtlich Graphik und Bildmaterial. Danken möchte ich auch allen Firmen, welche weitergehendes Bildmaterial zur Verfügung gestellt und die Freigaben zur Veröffentlichung erteilt haben. Ohne sie wäre das Buch um einige anschauliche Beispiele ärmer.

Der Firma REFORM DESIGN Grafik GmbH aus Stuttgart möchte ich für die ansprechende graphische Umsetzung danken. Hier gilt mein Dank besonders Frau Luise Marianek und Herrn Christian Kellner, die sich um die Aufbereitung und Neuentwicklung von Graphiken gekümmert haben.

Ganz besonders möchte ich meinem Vater danken, dass er geduldig immer wieder diskutiert und gelesen hat. Frau Deak und Herr Jonas Eckstein haben mit Korrekturlesen und dem Zusammenstellen der Literaturstellen besonders unterstützt. Meiner Familie danke ich für die Geduld mit dem gedanklich abwesenden Familienvater.

Die Mitarbeiter und Geschäftsführerkollegen von robomotion haben großen Anteil an diesem Buch, denn viele Praxisbeispiele stammen verständlicherweise aus unserem Haus. Ohne die Mitarbeiter wäre dieses Buch in dieser Form nicht möglich gewesen, wie der Vergleich mit dem ersten Buch zeigt.

Ich widme dieses Buch Herrn Schmeer, dem ersten Mitarbeiter von robomotion und tatkräftigen Helfer in der Gründungsphase, der auf tragische Weise ums Leben gekommen ist. Viele Applikationen in diesem Buch wurden von ihm mitentwickelt.

Leinfelden im Juni 2016

Dr.-Ing. Andreas Wolf

# Inhaltsverzeichnis

|          |  |            |
|----------|--|------------|
| <b>1</b> | <b>DER HANDHABUNGSPROZESS</b>                                      | <b>14</b>  |
| 1.1.     | Handhabung – der nutzlose Prozess .....                            | 20         |
| 1.2.     | Entwicklung der Handhabungstechnik .....                           | 27         |
| 1.3.     | Was treibt die Automatisierung in der Handhabungstechnik an? ..... | 30         |
| 1.4.     | Begriffe der Handhabungs- und Produktionstechnik .....             | 39         |
| <b>2</b> | <b>GREIFER – DIE „APP“ DER ROBOTER</b>                             | <b>46</b>  |
| 2.1.     | Historische Entwicklung der Greiftechnik .....                     | 50         |
| 2.2.     | Geschichte der Robotik .....                                       | 60         |
| 2.3.     | Roboter erobern die Märkte .....                                   | 78         |
| <b>3</b> | <b>GREIFEN BEGREIFEN</b>   | <b>88</b>  |
| 3.1.     | Das Werkstück als Ausgangspunkt .....                              | 96         |
| 3.2.     | Greiffinger als Wirkelemente .....                                 | 115        |
| 3.3.     | Greiferhände .....   | 142        |
| 3.4.     | Kraft übertragen .....   | 148        |
| 3.5.     | Greifbereich .....   | 171        |
| 3.6.     | Greifzeit .....  | 174        |
| 3.7.     | Greifsituation .....   | 180        |
| 3.8.     | Der Greifer als Informationsquelle .....                           | 199        |
| 3.9.     | Greiferauswahl .....   | 218        |
| 3.10.    | Greifen und Sicherheit .....                                       | 230        |
| <b>4</b> | <b>BEWEGUNG BRINGT WERTSCHÖPFUNG</b>                               | <b>242</b> |
| 4.1.     | Auswirkung der Bewegung .....                                      | 248        |
| 4.2.     | Bewegung ermöglichen .....   | 271        |
| 4.3.     | Layout .....   | 309        |
| 4.4.     | Bearbeitung von Werkstücken.....                                   | 312        |
| <b>5</b> | <b>ZUKUNFT DER GREIF- UND HANDHABUNGSTECHNIK</b>                   | <b>318</b> |
|          | Literaturverzeichnis .....   | 328        |

### 3.1.2. Definition der Handhabungsaufgabe

Werkstücke kommen in der Praxis selten als Einzelteil vor, sondern in der Regel im Verbund mit anderen Werkstücken. Das heißt, sie werden in gewissen Losgrößen gefertigt und müssen über Transportmedien von einer Produktionsstation zur nächsten gefördert werden. Dieser Umstand ist im Grunde der Hauptmotivation für dieses Buch. Denn würden die Werkstücke im sogenannten „one piece flow“, also einzeln Stück für Stück durch eine Fertigung laufen, so könnte viel Aufwand in der Handhabungstechnik eingespart werden.

Aufgrund wirtschaftlicher oder produktionstechnischer Überlegungen ist es jedoch notwendig, die Werkstücke zu bestimmten Losen in der Produktion zusammenzufassen und als solche zu verarbeiten bzw. zu produzieren. Werden zum Beispiel Schrauben als Verbindungstechnik bei einem Produkt eingesetzt, so macht es wenig Sinn, die Schrauben im Montagewerk einzeln herzustellen, da hier die Mengen für eine wirtschaftliche Produktion viel zu gering wären. Die Schrauben werden in der Regel in großen Mengen zugekauft und den einzelnen Montagestationen aus Schüttgut zugeführt. Dazu müssen die Schrauben aber wieder manuell oder mit technischen Hilfsmitteln aus dem Haufwerk herausgeholt werden. Diese Arbeitsgänge können aber wiederum zu Fehlern bzw. Störungen führen, die die komplette Montagestraße stillsetzen. Das heißt die Verfügbarkeit von Anlagen wird durch solche Arbeitsgänge gesenkt.

Wir unterscheiden in der Handhabungstechnik dabei drei Kategorien, in denen die Werkstücke an der jeweiligen Produktionsstation angeliefert werden. Als

Einzelstücke kommen dabei meist die größeren Baugruppen oder die Trägereinheit des Montagewerkstücks an der Station an. Hierzu gibt es in der Regel spezielle Werkstückträger, die das Bauteil sicher transportieren können.

Die nächste Form der Werkstückanlieferung kann die ungeordnete Werkstückbevorratung sein. Kleinteile, wie beispielsweise Schrauben oder Unterlegscheiben, können in Kisten als Schüttgut an den Montageplatz geliefert werden. Die Vorteile für diese Speicherart liegen auf der Hand. So kann günstig und werkstückgeometrieunabhängig ein Speicher bereitgestellt werden. Aber auch die Nachteile sind offensichtlich. Die Werkstücke müssen aus einem solchen Speicher in der Regel manuell entnommen werden, da technische Lösungen häufig unflexibel und teuer sind.

Die geordnete Anlieferung an der Produktionsstation erfolgt immer dann, wenn hohe Stückzahlen zu verarbeiten sind oder das Produkt einer besonders schonenden Behandlung bedarf. Können die Produkte durch Kratzer beschädigt werden, so verbietet sich in der Regel eine Anlieferung im ungeordneten Zustand. Alle drei Formen der Anlieferung sind in Tabelle 3.6 für die einzelnen Geometrien dargestellt.

Dass diese unterschiedlichen Arten der Lagerung nicht nur für die Werkstücke erheblich Unterschiede macht, sondern auch für die Greiftechnik, wird deutlich wenn man versucht als Mensch die Werkstücke aus einen Werkstückverbund heraus zu holen. Klar ist, dass wir uns auch leichter tun, bzw. das Teil nicht einmal anschauen müssen, wenn es bereits

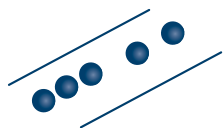
|                 | Kugelteile | Zylinderteile | Blockteile | runde Flachteile | eckig Flachteile | Hohlteile | Kegel- und Pyramidenteile | Pilzteile | regelmäßige Formteile | unregelmäßige Formteile | Wirrgut | Sonstige |
|-----------------|------------|---------------|------------|------------------|------------------|-----------|---------------------------|-----------|-----------------------|-------------------------|---------|----------|
| Einzelwerkstück |            |               |            |                  |                  |           |                           |           |                       |                         |         |          |
| ungeordnet      |            |               |            |                  |                  |           |                           |           |                       |                         |         |          |
| geordnet        |            |               |            |                  |                  |           |                           |           |                       |                         |         |          |

Tabelle 3.6 Grundsätzlich verschiedene Anlieferungsformen der Werkstücke (Quelle: Warnecke, Schraft<sup>55</sup>)

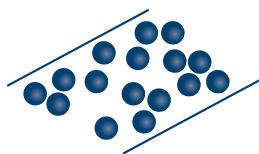
als Einzelteil an einem Abgriffsplatz präsentiert wird. Müssen wir es jedoch erst aus einer Kiste holen und genau nach einem Merkmal ausrichten, so dauert dieser Vorgang um vieles länger, was die Durchlaufzeit an der Montagestation insgesamt verlängert.

Diese sogenannten „Anlieferungsformen“ der Werkstücke finden sich in allen Ausprägungen in Produktionsbetrieben. Sie entscheiden darüber, welcher Aufwand getrieben werden muss, um die Werkstücke im Greifer aufzunehmen.

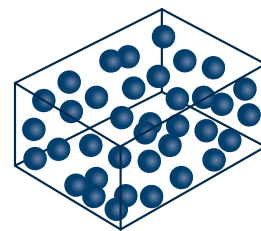
Für die Greifsituation können damit sechs grundsätzlich unterschiedliche Situationen definiert werden:



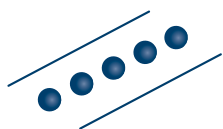
Eindimensional ungeordnet



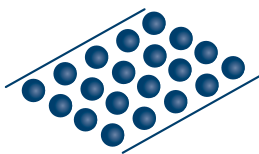
Zweidimensional ungeordnet



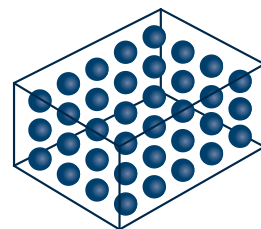
Dreidimensional ungeordnet



Eindimensional geordnet



Zweidimensional geordnet



Dreidimensional geordnet



Abbildung 3.11 Werkstücke dreidimensional ungeordnet in einer Kiste

Überlagert wird diese Anlieferungsform noch von einem weiteren Aspekt, denn das Werkstück selbst hat sowohl translatorische als auch rotatorische Freiheitsgrade oder Orientierungsmöglichkeiten. Diese lassen sich in einem Koordinatensystem beschreiben. Dabei lassen sich gegenüber einem Bezugskordinatensystem die translatorischen und rotatorischen Freiheitsgrade definieren. Um nun eine Beschreibung des Zustandes des Werkstücks hinsichtlich seiner Lage im



Abbildung 3.12 Einzelteil aus der Kiste entnommen

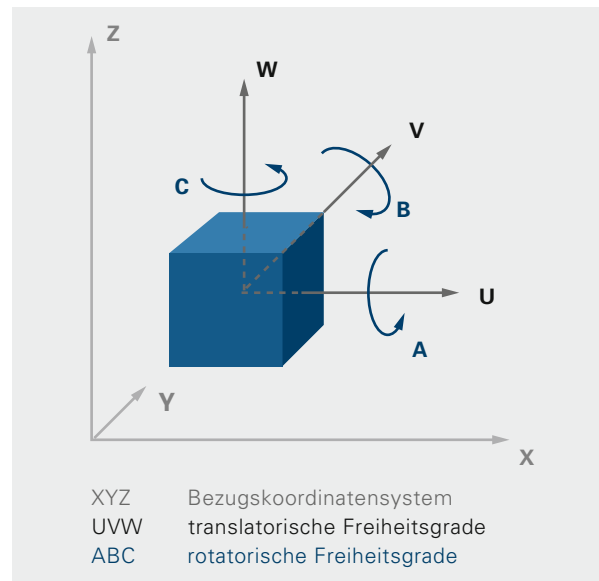


Abbildung 3.13 Translatorische und rotatorische Freiheitsgrade

| Orientierungsgrad OG |   | Positionierungsgrad PG |   |
|----------------------|---|------------------------|---|
| 3                    | Orientierung des Werkstücks in allen Rotationsachsen bestimmt   | 3                      | Ursprung des körpereigenen Koordinatensystems befindet sich in einem bestimmbar Punkt                       |
| 2                    | Orientierung des Werkstück in zwei Rotationsachsen bestimmt     | 2                      | Ursprung des körpereigenen Koordinatensystems beliebig auf einer Kurve (z. B. Gerade, Kreisbahn) angeordnet |
| 1                    | Orientierung des Werkstücks in einer Rotationsachse bestimmt    | 1                      | Körper ist auf einer Fläche (z. B. Ebene, Zylindermantel) angeordnet  |
| 0                    | Orientierung des Werkstücks in allen Rotationsachsen unbestimmt | 0                      | Körper ist beliebig im Raum angeordnet  |

Tabelle 3.7 Definition der Ordnungsgrade/Positionierungsgrade von Werkstücken (Quelle: Warnecke, Schraft<sup>58</sup>)

Raum und seiner Drehung im Raum zu erhalten, wird der sogenannte Ordnungszustand definiert. Hierzu werden sowohl die translatorischen als auch die rotatorischen Freiheitsgrade eines Werkstücks beschrieben.

Dabei werden die rotatorischen Freiheitsgrade als Orientierungsgrade (OG) und die translatorischen als Positionierungsgrade (PG) festgeschrieben. Die unterschiedlichen Grade der Ordnung, die ein Werkstück in der Anlieferung zum Greifen haben kann, sind in Tabelle 3.7 aufgeführt.

Dabei werden die jeweiligen Ordnungs- bzw. Positionierungsgrade in der Definition von 0 bis 3 in dem Level der Ordnung bewertet. So ist das Werkstück sowohl in der Orientierung als auch in der Positionierung völlig unbestimmt angeordnet, wenn eine 0 vergeben wird. Je mehr Freiheitsgrade bestimmt werden, desto höher ist die Bewertung. Bei 3 sind also alle Rotations- oder Translationsachsen bestimmt.

Völlig bestimmt in der Position und Orientierung ist ein Werkstück mit dem Ordnungszustand 3/3. Dies ist für das Greifen eines Werkstücks der Idealzustand.

|                          | 3 Drehfreiheitsgrade unbestimmt | 1 Drehfreiheitsgrad bestimmt | 2 Drehfreiheitsgrade bestimmt | 3 Drehfreiheitsgrade bestimmt |
|--------------------------|---------------------------------|------------------------------|-------------------------------|-------------------------------|
| Haufwerk                 | 0/0                             | 1/0                          | 2/0                           | 3/0                           |
| flächige Verteilung      | 0/1                             | 1/1                          | 2/1                           | 3/1                           |
| linienförmige Verteilung | 0/2                             | 1/2                          | 2/2                           | 3/2                           |
| vereinzelt               | 0/3                             | 1/3                          | 2/3                           | 3/3                           |

Tabelle 3.8 Übersicht aller möglichen Ordnungszustände eines Werkstücks (Quelle: Warnecke, Schraft<sup>58</sup>)

Hier ist keine Ausrichtung oder Zentrierung durch den Greifer erforderlich. Es ist eher darauf zu achten, dass durch das Greifen und das darauf folgende Handhaben dieser Ordnungszustand beibehalten wird.

Weist ein Werkstück Symmetrien auf, so kann auf Ordnungsschritte verzichtet werden, da sich über die Symmetrie die Orientierung vereinfachen lässt. Das Werkstück muss nicht in allen Freiheitsgraden orientiert werden. Das folgende Beispiel zeigt einen

Vergleich zwischen einem Werkstück (Würfel mit Formmerkmal) ohne Symmetrieachsen und einem Werkstück (Scheibe mit Rotationssymmetrie) mit einer Symmetrieachse um W. Dabei wird deutlich, dass für den Würfel mehr Arbeitsschritte von einer Ordnungseinrichtung ausgeführt werden müssten, wenn der Ordnungszustand von 0/0 in 3/3 überführt werden muss. Bei den kreisscheibenförmigen Werkstücken ist mit einem Ordnungszustand von 3/1 bereits die Lage des Werkstücks vollständig beschrieben.

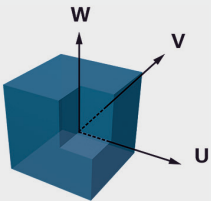
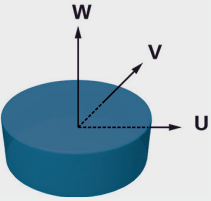
| Beispiele von Ordnungszuständen für Werkstücke                                      |                          |                              |     |     |   |  |
|---|--------------------------|------------------------------|-----|-----|---|--|
| a) Würfel, keine Symmetrieachse   |                          |                              |     |     |   |  |
|  | << Werkstück<br>Position | Werkstück<br>Orientierung >> |     |     | <b>Werkstückzustand</b><br>0.0 Haufwerk<br>1.0 flächig<br>2.0 in Linie<br>2.1 wenden um v<br>2.2 wenden um w<br>3.2 vereinzeln<br>3.3 wenden um u                     |  |
|   |                          | 0.0                          |     |     |   |  |
|   |                          | 1.0                          |     |     |   |  |
|   |                          | 2.0                          | 2.1 | 2.2 |   |  |
|   |                          | 3.2                          | 3.3 |     |   |  |
| b) Scheibe, Rotationssymmetrie um w   |                          |                              |     |     |   |  |
|  | << Werkstück<br>Position | Werkstück<br>Orientierung >> |     |     | <b>Werkstückzustand</b><br>0.0 Haufwerk<br>1.1 flächig, bei gleichzeitiger<br>Drehung um u oder v<br>(Einnehmen der Vorzugsorient.)<br>2.1 in Linie<br>3.1 vereinzeln |  |
|   |                          | 0.0                          |     |     |   |  |
|   |                          | 1.1                          |     |     |   |  |
|   |                          | 2.1                          |     |     |   |  |
|   |                          | 3.1                          |     |     |   |  |

Tabelle 3.9 Auswirkung von Werkstücksymmetrien auf den Ordnungszustand (Quelle: Warnecke, Schraft<sup>55</sup>)



Ändern würde sich die Sachlage, wenn die Kreisscheibe eine Bedruckung aufweist und diese wiederum eine Ausrichtung erfordern würde. So könnten beispielsweise Geldmünzen zur Verpackung in Sammlerheftchen in der Orientierung um V und U nochmals gedreht werden, damit die Zahl oder das Wappen in der Verpackung nach oben zeigen. Nicht nur die Größe der Münze ist entscheidend, sondern eben auch die jeweilige Ausrichtung nach Vorder- bzw. Rückseite. Zusätzlich muss bei dem Beispiel auch noch die Drehlage der Münze berücksichtigt werden, um die gewünschte Anmutung in der Verpackung zu erhalten.

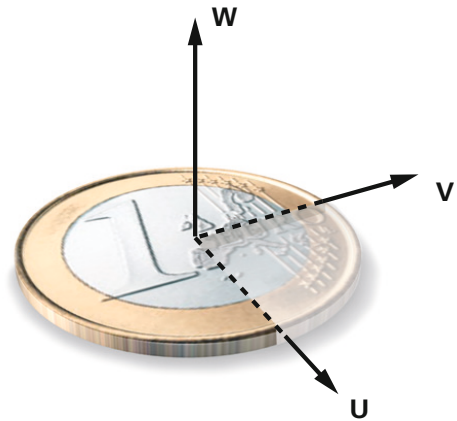


Abbildung 3.14 MPG Plus im Größenvergleich mit einer 1-Euro-Münze (Quelle: SCHUNK)<sup>58</sup>