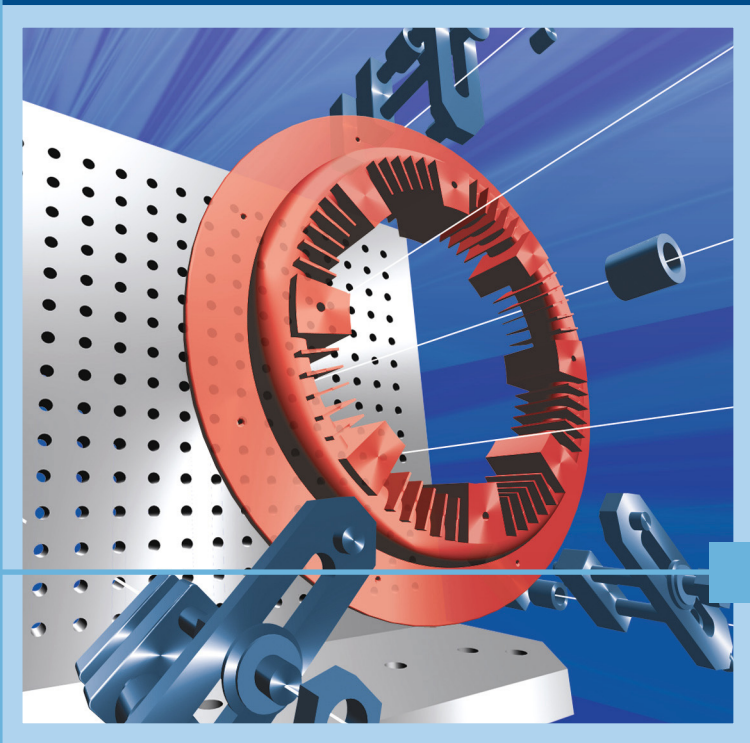


Stefan Hesse
Heinrich Krahn
Dieter Eh

Betriebsmittel Vorrichtung

Grundlagen und kommentierte Beispiele



2., überarbeitete und erweiterte Auflage

HANSER

Hesse, Krahn, Eh
Betriebsmittel Vorrichtung

Stefan Hesse
Heinrich Krahn
Dieter Eh

Betriebsmittel Vorrichtung

Grundlagen und kommentierte Beispiele

2. Auflage

HANSER

Die Autoren:

STEFAN HESSE ist seit 1991 selbstständig tätig und Herausgeber, Mitautor bzw. Autor von Fachbüchern und Zeitschriftenaufsätzen

HEINRICH KRAHN war 28 Jahre Konstrukteur bei VW und 5 Jahre Projektplaner bei VW Kassel. Er hält zahlreiche Patente und ist Mitautor von Fachbüchern

DIETER EH † war Industriemeister und Fertigungstechniker mit 20 Jahren Erfahrung als Fertigungsplaner.

Bibliografische Information Der Deutschen Bibliothek:

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

ISBN: 978-3-446-43077-8

Die Wiedergabe von Gebrauchsnamen, Handelsnamen, Warenbezeichnungen usw. in diesem Werk berechtigt auch ohne besondere Kennzeichnung nicht zu der Annahme, dass solche Namen im Sinne der Warenzeichen- und Markenschutzgesetzgebung als frei zu betrachten wären und daher von jedermann benutzt werden dürften.

Alle in diesem Buch enthaltenen Verfahren bzw. Daten wurden nach bestem Wissen erstellt und mit Sorgfalt getestet. Dennoch sind Fehler nicht ganz auszuschließen. Aus diesem Grund sind die in diesem Buch enthaltenen Verfahren und Daten mit keiner Verpflichtung oder Garantie irgendeiner Art verbunden. Autoren und Verlag übernehmen infolgedessen keine Verantwortung und werden keine daraus folgende oder sonstige Haftung übernehmen, die auf irgendeine Art aus der Benutzung dieser Verfahren oder Daten oder Teilen davon entsteht.

Dieses Werk ist urheberrechtlich geschützt. Alle Rechte, auch die der Übersetzung, des Nachdruckes und der Vervielfältigung des Buches oder Teilen daraus, vorbehalten. Kein Teil des Werkes darf ohne schriftliche Einwilligung des Verlages in irgendeiner Form (Fotokopie, Mikrofilm oder einem anderen Verfahren), auch nicht für Zwecke der Unterrichtsgestaltung – mit Ausnahme der in den §§ 53, 54 URG genannten Sonderfälle – reproduziert oder unter Verwendung elektronischer Systeme verarbeitet, vervielfältigt oder verbreitet werden.

© Carl Hanser Verlag, München 2012

Herstellung: Steffen Jörg

Coverconcept: Marc Müller-Bremer, www.rebranding.de, München

Coverrealisierung: Stephan Rönigk

Druck und Bindung: Kösel, Krugzell

Printed in Germany

Vorwort

In der Fertigungstechnik spielen Vorrichtungen aller Art eine wichtige Rolle. Es sind Betriebsmittel, die die notwendige Zuordnung von Maschine, Werkstück und Werkzeug bewirken, die Qualität von Produkten sichern und für wirtschaftliches Fertigen unverzichtbar sind. Einige Vorrichtungen sind für die Verwendung auf Maschinen vorgesehen, andere wiederum sind eher als Sonderzubehör zu verstehen, das zur Arbeitsbereichserweiterung beiträgt. Es werden aber auch immer mehr Vorrichtungen zum Bewegen und Handhaben von Werkstücken in automatisierten Anlagen gebraucht. Dazu gehören Magazine, Zuteiler und Weitergabereinrichtungen ebenso, wie Vorrichtungen zum Ordnen und Montieren. Deshalb wird in diesem Buch der Begriff „Vorrichtung“ entsprechend weit gefasst.

Das Buch ist zweiteilig angelegt. Der erste Teil behandelt die maschinenbaulichen Grundlagen zur Entwicklung von Vorrichtungen, vermittelt einige Gestaltungsregeln und listet die wichtigsten Komponenten auf, die am Markt verfügbar sind. Der zweite Teil ist als kommentierte Beispielsammlung angelegt. An praktischen Beispielen wird hier gezeigt, wie das jeweilige Problem gelöst wurde. Natürlich gibt es immer auch noch andere konstruktive Umsetzungen. Bei den Beispielen wurde übrigens nicht geprüft, ob in jedem Fall Patentfreiheit vorliegt.

Das Buch wendet sich an alle, die in der Ausbildung und im Beruf des Betriebsmittelkonstruktors stehen und die sich als Selbstlerner in die technische Vielfalt des Betriebsmittels „Vorrichtung“ vertiefen wollen. Es wendet sich an Konstrukteure, Techniker, Meister und Studenten maschinenbaulicher Fachrichtungen.

Verlag und Autoren wünschen ihren Lesern Freude am Beruf und viel Erfolg beim Entwerfen von Vorrichtungen.

Plauen, Baunatal, Bad Wildungen, 2002

Stefan Hesse
Heinrich Krahn
Dieter Eh †

Vorwort zur 2. Auflage

Trotz vieler technischer Neuerungen behaupten die Vorrichtungen unverändert ihren Platz im Arsenal der zur Produktion erforderlichen Betriebsmittel. Neben einigen Aktualisierungen wurde vor allem der Grundlagenteil des Buches inhaltlich erweitert. Herrn Dipl.-Ing. VOLKER HERZBERG vom CARL HANSER Verlag sei für die professionelle Betreuung gedankt.

Plauen, im Januar 2012

Stefan Hesse

Das Titelbild zeigt einen Aufspannwinkel im Rasterbohrungs-System mit aufgespanntem Werkstück. Autoren und Verlag danken der Firma ANDREAS MAIER GmbH & Co. aus Fellbach/Württ. für die freundliche Überlassung dieses Bildes.

Inhaltsverzeichnis

1	Vorrichtungen – Begriffe und Gliederung	1
1.1	Vorrichtungen in der Produktion	1
1.2	Begriffliche Grundlagen	9
1.3	Automatisierungsgerechte Werkstückgestaltung	11
1.4	Aufspanngerechte Gestaltung von Werkstücken.....	13
2	Gestaltung von Vorrichtungen	17
2.1	Entwerfen einer Vorrichtung.....	17
2.2	Werkstückanordnung in Vorrichtungen	22
2.3	Überbestimmung	27
2.4	Anwendung von Prismen	29
2.5	Spannkraft, Spannarten und Spannvorgang	33
2.6	Werkstückverspannung	49
2.7	Werkstückspannvorrichtungen.....	50
2.7.1	Hydraulische Spannvorrichtungen.....	50
2.7.2	Mechanische Spannvorrichtungen	55
2.7.3	Gefrierspannvorrichtung.....	58
2.7.4	Vakuumspannvorrichtung.....	59
2.7.5	Magnetspanntechnik	63
2.7.6	Elektro-Permanent-Spannsysteme	67
2.7.7	Schwimmende Spannung.....	67
2.7.8	Zentrierende Spannung	69
2.7.9	Spannen auf Werkstückträgern	72
2.8	Baukastenvorrichtungen.....	74
2.9	Gruppenvorrichtungen	79
2.10	Verbindung von Vorrichtung und Maschine.....	81
2.11	Gestaltungsregeln.....	85
2.12	Entwerfen mit CAD	99
3	Vorrichtungselemente	103
3.1	Bestandteile einer Vorrichtung.....	103
3.2	Bestimm- und Positionierelemente	105
3.3	Spann- und Kraftübertragungselemente.....	114
3.4	Schnellspanner	128
3.5	Auswerfer	133
3.6	Werkzeugführungs-, -einstell- und Schneidelemente.....	135
3.7	Basiselemente und Basisbaugruppen	138
3.8	Stützelemente	144
3.9	Indexier-, Verriegelungs- und Verschlusselemente	146
3.10	Verbindungselemente.....	149

3.11	Bedien- und Schutzelemente	155
3.12	Greifer und Sauger	159
3.13	Sensoren	160
3.14	Werkstoffeinsatz für Vorrichtungselemente.....	164
3.15	Toleranzberechnung.....	170
4	Sicherheit an Vorrichtungen	177
4.1	Grundsätze bei kraftbetätigten Vorrichtungen	177
4.2	Senkung des Lärmpegels.....	182
4.3	Einlegesicherungen	184
5	Fachbegriffe	189
6	Ausführungsbeispiele	199
	Internet-Adressen (ausgewählte Hersteller im Vorrichtungsbau).....	307
	Literatur und Quellen	311
	Stichwortverzeichnis	317

1 Vorrichtungen – Begriffe und Gliederung

Vorrichtungen sind ganz allgemein technische Hilfseinrichtungen für einen bestimmten Zweck. In der Fertigung dienen sie dazu, die für die Bearbeitung notwendige Zuordnung (räumliche Relativlage = Position und Orientierung) von Maschine, Werkstück und Werkzeug sicherzustellen. Zu ihnen gehören die Werkstückspanner, aber auch z.B. Einrichtungen zum Bewegen und Handhaben von Werkstücken. Durch fortschreitende Mechanisierung und Automatisierung sind aber auch viele Apparate und Geräte entstanden, die landläufig ebenfalls als Vorrichtung (*device, fixture*) bezeichnet werden. Eine exakte Abgrenzung ist oft nicht möglich; die Grenzen verschwimmen. Außerdem wird der Begriff in verschiedenen Industriezweigen unterschiedlich gebraucht.

Vorrichtung: Technisches Hilfsmittel für die Serienfertigung, das an Werkstücke gebunden ist und unmittelbar in Beziehung zu einem fertigungstechnisch notwendigen Bearbeitungs-, Montage-, Verarbeitungs- oder Hilfsvorgang steht.

Vorrichtungen können auf eine bestimmte Fertigungsaufgabe zugeschnitten sein, wie z.B. Bohr- oder Schweißvorrichtungen, oder im Sinne von Zubehör zur Arbeitsbereichserweiterung einer Maschine dienen, wie z.B. eine Schwenkvorrichtung (*swivel-plate device*) auf einer Fräsmaschine. Häufig wird unter einer Vorrichtung ausschließlich eine Werkstückspann-Einrichtung verstanden. In diesem Buch wird die Grenze aber etwas weiter gezogen. Eine einheitliche Abgrenzung des Begriffes Vorrichtung konnte bisher ohnehin nicht erreicht werden und ist wohl auch weniger wichtig.

1.1 Vorrichtungen in der Produktion

Vorrichtungen zählen zu den Betriebsmitteln (*machinery and equipment*), wie Maschinen, Anlagen und alle sonstigen Geräte, die in einem Arbeitssystem daran beteiligt sind, eine Arbeitsaufgabe zu erfüllen. Sie stellen ihrerseits Fertigungsmittel (*production equipment, production facilities*) dar (Bild 1.1). Ein beträchtlicher Teil von Vorrichtungen dient zum Festhalten von Werkstücken und wird deshalb als Spannvorrichtung bezeichnet und den Spannmitteln zugeordnet. Kommen noch periphere Geräte hinzu, wie z.B. ein Hydraulikaggregat oder eine Bedienkonsole, dann wird das auch als Spannsystem bezeichnet. Vorrichtungen kann man allgemein zu den Ausrüstungskomponenten einer Arbeitsmaschine zählen.

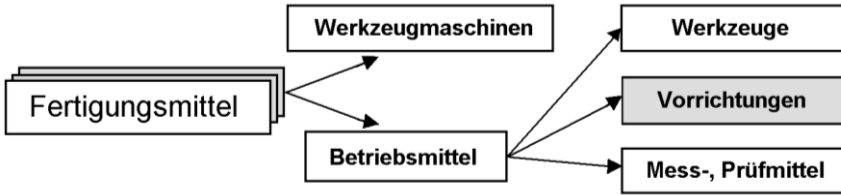


Bild 1.1: Einteilung der Fertigungsmittel

In der Fertigungstechnik werden für viele Verfahren Spannvorrichtungen benötigt. Werkstücke müssen sicher festgehalten werden und dürfen ihre Position unter allen Bearbeitungsbedingungen nicht verändern. Man kann die Spannprinzipie wie in Bild 1.2 gezeigt, einteilen. In der Häufigkeit der eingesetzten Vorrichtungen nimmt das mechanische Spannen (elektro-mechanisch, hydro-mechanisch, manuell-mechanisch und pneumo-hydraulisch) eine Spitzenposition ein. In der Mikromechanik werden auch adhäsive und elektrostatische Prinzipie für das Halten von Kleinteilen verwendet.

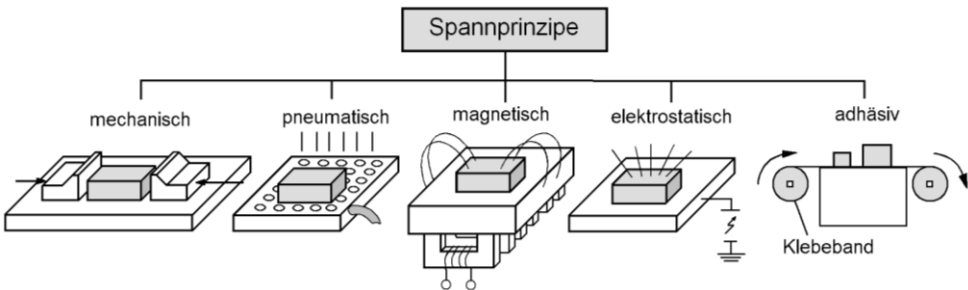


Bild 1.2: Physikalische Möglichkeiten für Spannvorrichtungen [1.1]

Werkstückspannvorrichtungen müssen vielfältigen Anforderungen genügen und werden oft unterschätzt. Sie können aber für sich allein nicht wirksam werden und sind immer nur ein Glied im Prozess von Teilefertigung, Prüfung oder Montage.

Was versteht man unter „Spannen“?

Spannen: Vorübergehendes Sichern eines Körpers in einer definierten Orientierung und Position unter Beteiligung von Kraftschluss. Setzt man allein auf Formschluss, dann spricht man vom „Halten“ (VDI-Richtlinie 2860).

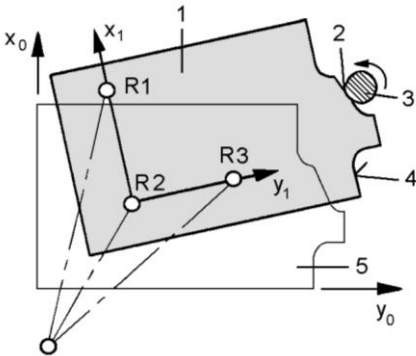
Das Halten kommt in der Montageautomatisierung übrigens häufig vor. Basisteile werden oft in die Aufnahmen eines umlaufenden Werkstückträgers nur eingelegt.

Der Einsatz von Vorrichtungen ist mit vielen verschiedenen Wirkungen verbunden, wie zum Beispiel:

- Einsparung von Arbeitsgängen, wie z.B. Einrichten beim Schweißen oder Bohren.
- Einsparung von Fachpersonal bei Verwendung von sicheren und genauen Vorrichtungen sowie Einrichtung von Mehrmaschinenbedienungen.
- Bei handbedienten Vorrichtungen, die beim Einsatz verschoben oder geschwenkt werden müssen, soll die Masse klein sein, um den Fertigungsvorgang mit „Gefühl“ ausführen zu können.
- Erzielen großer Gleichmäßigkeit bei der Erledigung von Fertigungsvorgängen (Toleranzen, Bearbeitungsgüte).
- Senkung von Nebenzeiten und Werkstückwechselzeiten, weil z.B. Einlegen, Bestimmen, Spannen und Entnehmen rascher ausführbar sind.
- Vorrichtungen binden Kapital und benötigen Mindeststückzahlen in der Fertigung. Oftmals lassen sich Werkstückfamilien bilden, was die Stückzahl anhebt.
- Entwicklung und Herstellung von Vorrichtungen lässt sich mit Baukastenvorrichtungen zeitlich abkürzen. Solche Vorrichtungen sind oftmals auch ausleihbar.
- Automatisierte Fertigungsprozesse sind ohne im Niveau angepasste Vorrichtungen nicht realisierbar.
- Für geometrisch einfache Teile sind werkstückunspezifische Vorrichtungen ausreichend, während für Teile komplizierter Gestalt und variabler Größe werkstückspezifische Vorrichtungen entworfen werden müssen.
- Vorrichtungen können auch für das Spannen und Führen von Werkzeugen erforderlich sein, wie z.B. die Verwendung einer Bohrschablone.
- Die von Vorrichtungen aufzunehmenden Werkobjekte, meistens Werkstücke und manchmal auch Halbzeuge, müssen ein Mindestmaß an Gleichmäßigkeit, Sauberkeit, Maß- und Toleranzeinhaltung sowie Handhabungsfreundlichkeit aufweisen, wie z.B. eine spanngerechte Gestaltung.

Weiterhin dürfen die Wechselwirkungen zwischen Spannkraft, Werkstück und Spannvorrichtung die festgelegte Position und Orientierung des Werkstücks vor und während der Bearbeitung nicht aus den zulässigen Grenzen drängen. Unkontrollierte Abweichungen aus der Solllage führen zu Fertigungsfehlern.

Zugeständnisse an die Lagegenauigkeit (Genauigkeit von Position und Orientierung) können gemacht werden, wenn vor der Bearbeitung in einem Messvorgang die wirkliche Ausrichtung des werkstückfesten Koordinatensystems zum Maschinenkoordinatensystem festgestellt wird (Bild 1.3).



- 1 Werkstück
- 2 Bahnpunkt
- 3 Fräswerkzeug
- 4 zu fräsende Werkstückkontur
- 5 eigentliche Solllage

R Referenzpunkt

Bild 1.3: Vermessung der Spannlage

Das kann berührend mit Messtastern längs der Kontur des Werkstücks erfolgen oder berührungslos auf visuellem Weg. Eine Vermessung der Referenzpunkte R1 bis R3 kann auch von einem Roboter ausgeführt werden. Die drei Messpunkte genügen, um sowohl die Position als auch die Orientierung des Teils zu errechnen und einen Abweichungsvektor zur Solllage zu definieren. Die Versatzdaten werden ohne Benutzerinteraktion an die Steuerung der Bearbeitungsmaschine übergeben. Das Bearbeitungsprogramm wird dann der aktuellen Spannlage angepasst, wenn die Maschinensteuerung diesen Service leisten kann.

Baukastenvorrichtungen setzt man vorrangig in der Einzel- und Kleinserienfertigung ein oder wenn eine neue Produktserie vorbereitet wird. In der Tabelle 1.1 werden die typischen, den Einsatz bestimmenden Eigenschaften gegenübergestellt.

Tabelle 1.1: Gegenüberstellung von Baukasten- und Sondervorrichtung

Eigenschaft	Sondervorrichtung	Baukastenvorrichtung
Beschaffungszeitraum	langfristig	kurzfristig
Anpassungsfähigkeit	sehr gering	gut möglich
Genauigkeit	sehr hoch möglich	hoch
Steifigkeit	hoch	gering
Einsatzkosten	niedrig	hoch
Serienfertigung	geeignet	weniger geeignet
Wiederverwendbarkeit	kaum möglich	gut, weil zerlegbar

Universelle Fertigungsmittel sind nur wenig an Abmessungen und Werkobjektformen angepasst. Spezielle Fertigungsmittel sind dagegen für eine Gruppe ähnlicher Werkstücke verwendbar und diese Anpassung betrifft letztlich die Vorrichtungen. Als Beispiel dient mit Bild 1.4 ein Drehfutter einmal ohne und dann mit in der Form angepassten Aufsatz-Spannbacken.

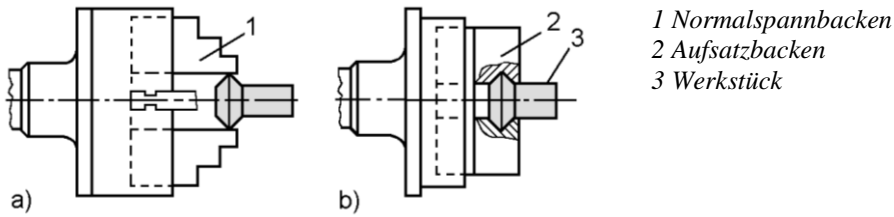


Bild 1.4: Eine Formanpassung von Spannbacken kann unerlässlich sein!

a) Drehfutter mit Normalspannbacken, b) Spannbacken mit individueller Objektkontur

Wie der Spannvorgang überhaupt ablaufen kann, das ist abhängig von der Spannaufgabe und von der erforderlichen Spannkraft. Daraus folgt die Auswahl oder die Konstruktion spanntechnischer Fertigungsmittel.

Die Benennung einer Vorrichtung erfolgt hauptsächlich nach ihrem Einsatzzweck (dem Fertigungsverfahren), wie z.B. Bohr- oder Fräsvorrichtung; nach dem Aufbau, wie z.B. Baukasten- oder Gruppenvorrichtung (geeignet für eine Gruppe ähnlicher Werkstücke), und nach der Werkstückanzahl, wie z.B. Mehrfachspannvorrichtung. Typische Vorrichtungsarten sind auch:

Werkstückspannvorrichtungen: Bohrspann-, Fräspann-, Drehspann-, Schleifspann-, Räum-, Anreiß-, Nachformvorrichtung, Greifer u.a.

Fügevorrrichtungen: Montage-, Demontage-, Press-, Bördel-, Schraub-, Löt-, Niet-, Schweiß-, Klebevorrichtung u.a.

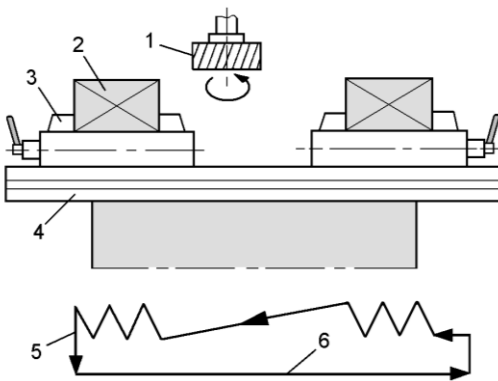
Prüfvorrichtungen: Vorrichtungen für das Maß-, Form- oder Eigenschaftenprüfen, das Justieren und die Oberflächeninspektion

Handhabungs- sowie Bewegungsvorrichtungen: Schwenk-, Zuteil-, Sortier-, Transfervorrichtungen, Schiebetische, Fördervorrichtungen, Zufühhvorrichtungen für Draht, Band und Streifen sowie Stück- und Schüttgut, Magazine, Stapelrichtungen, Bunkerzufühhvorrichtungen sowie Umsetzvorrrichtungen

Arbeitsschutzvorrichtungen: Vorrichtungen, die gesundheitsgefährdende Situationen ausschließen. Das sind z.B. Vorrichtungen, die das unkontrollierte Absenken einer Last durch automatisch wirkende Brems- und Stoppeinrichtungen verhindern.

Zweck und Ziel dieser Vorrichtungen besteht darin, einheitliche und zuverlässig wiederholbare Bedingungen für Arbeitsoperationen zu gewährleisten. Bei der Herstellung eines einzigen Werkstücks kommt man meist ohne Vorrichtung aus. Einfachste Spannpratzen genügen da schon. In der Serienfertigung ist dieser Weg

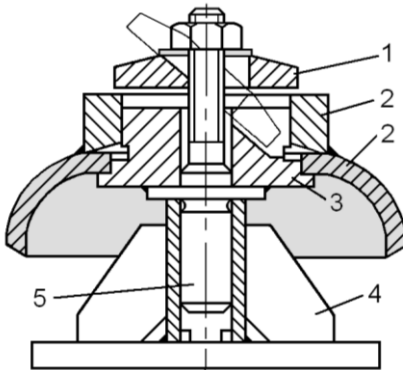
ausgeschlossen. Vorrichtungen sichern kurze Hilfszeiten für das Bestimmen, das Spannen und Messen, senken den Ausschussanteil, nutzen durch Zeitüberlagerung die Bearbeitungsmaschinen besser aus, gestatten den Einsatz angelernter Arbeitskräfte und entlasten diese von körperlich anstrengender Arbeit. Dadurch wird letztlich auch die Unfallgefahr gesenkt. Eine optimale Ausnutzung der Maschinenhauptzeit kann z.B. durch den Einsatz im Pendelbetrieb erreicht werden. Wenn dann noch durch eine entsprechende Gestaltung der Spannvorrichtungen eine 5-Seiten-Bearbeitung möglich ist, dann senkt das die Rüstzeiten, erhöht die Fertigungsgenauigkeit und führt zu hohen Spindel-Einschaltzeiten der Bearbeitungsmaschine. Das Prinzip der Pendelbearbeitung (*cycle milling*) wird in Bild 1.5 erklärt.



- 1 Fräskopf
- 2 Werkstück
- 3 Spannvorrichtung
- 4 Maschinentisch
- 5 Tischvorschubbewegung
- 6 Eilgangbewegung

Bild 1.5: Fräsbearbeitung nach dem Pendelprinzip

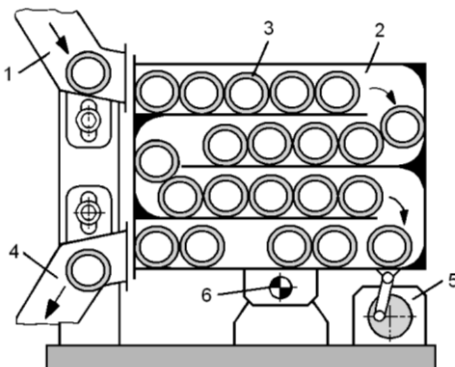
Das stationsweise Abarbeiten von zwei Spannstationen ermöglicht bei der Pendelbearbeitung dem Bediener das Werkstück in der Nebenzeit zu entspannen und einzulegen. In dieser Zeit kann an der anderen Station gearbeitet werden. Allerdings sind die Vorrichtungen auch ein bedeutsamer Kostenfaktor. Deshalb soll der Entwurf sorgsam erfolgen und möglichst viele Standardteile und Baugruppen berücksichtigen. Baukastenvorrichtungen können nach Gebrauch wieder zerlegt und für neue Anwendungen benutzt werden. Nicht jede Vorrichtung muss jedoch aufwändig sein. In Bild 1.6 wird eine überaus einfache Vorrichtung für das Schweißen gezeigt. Dennoch ist sie unverzichtbar, wenn man bei einer kleinen Serie das Schweißen oder Heften gleichmäßig und exakt ausführen will. Im Beispiel ist der Bestimmbolzen drehbar im Gestell gelagert, damit man die kreisförmige Kehlnaht an einem Flanschkörper ausführen kann. In der Mittel- und Großserienfertigung schweißt man diese Teile heute aber vollautomatisch mit dem Schweißroboter. Die Schweißbaugruppe wird dann auf einem Schweißteilmanipulator (Kipp- und Drehtisch) aufgenommen, der von der Robotersteuerung mit angesteuert wird.



- 1 schwenkbare Spannplatte
- 2 Schweißsteile
- 3 Drehlager
- 4 Grundgestell
- 5 Aufnahmedorn

Bild 1.6: Einfache Schweißvorrichtung

Es gibt auch Werkstücke, die sich ohne Vorrichtung überhaupt nicht bearbeiten lassen, weil z.B. das Werkzeug einer besonderen Führung bedarf. In der Serienfertigung werden u.a. für Handhabungsvorgänge generell spezialisierte Vorrichtungen notwendig. Ein typisches Beispiel sind Werkstückmagazine. Das Bild 1.7 zeigt ein Zwischenmagazin für Wälzlagerringe. Der Schwenkantrieb sorgt dafür, dass der Teiledurchlauf in kleinen Portionen durch Schwerkraftwirkung absolviert wird. Zwischenmagazine dienen zur Entkopplung von Maschinen oder Arbeitsstationen (siehe dazu auch Ausführungsbeispiel 105). In dieser Funktion wirken sie als Störungsspeicher [1.2].



- 1 Zulaufstrecke
- 2 Magazin
- 3 Werkstück
- 4 Ablaufstrecke
- 5 Pendelantrieb
- 6 Pendelachse

Bild 1.7: Zwischenmagazin für Wälzlagerringe

Die Anforderungen an Werkstückspanner sind nicht gering, denkt man z.B. an eine Komplettbearbeitung an fünf Seiten, an einen ungehinderten Zugang zum Werkstück und an einen problemlosen Späneabfluss; wie groß darf die Durchbiegung sein, welche Bestimmelemente lassen sich einsetzen usw. Die Vorrichtung stellt letztlich immer nur den bestmöglichen Kompromiss dar, wie die Grafik in Bild 1.8 zeigt. Man sieht, dass sich der Spielraum für den Konstrukteur von den Vorgaben bis zur fertigen Vorrichtung immer mehr einschränkt. Auch

sich gegenseitig ausschließende Forderungen, wie eine notwendige gemeinsame Bearbeitung bestimmter Formelemente, müssen unter einen Hut gebracht werden.

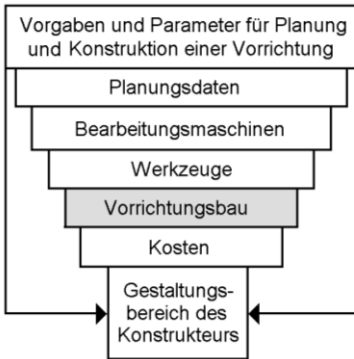


Bild 1.8: Vorrichtungskonstruktion im Zwang vieler Randbedingungen [1.3]

Bei der Konzeption für eine Vorrichtung ist immer von einer Analyse der Einflussfaktoren auszugehen. Sie wirken maßgeblich auch auf die Qualität des zu bearbeitenden Werkstücks. In allgemeiner Form wird das in Bild 1.9 dargestellt.

Eine Vorrichtung wird somit von folgenden Faktoren geprägt:

- Stückzahl bzw. Arbeitsleistung je Zeiteinheit
- Werkstückform, -masse und -größe
- Verfahren zur Bearbeitung (Bearbeitungskräfte) oder für sonstige Aktionen
- Umweltfaktoren, wie Staub, Spänefall und Kühlschmiermittel

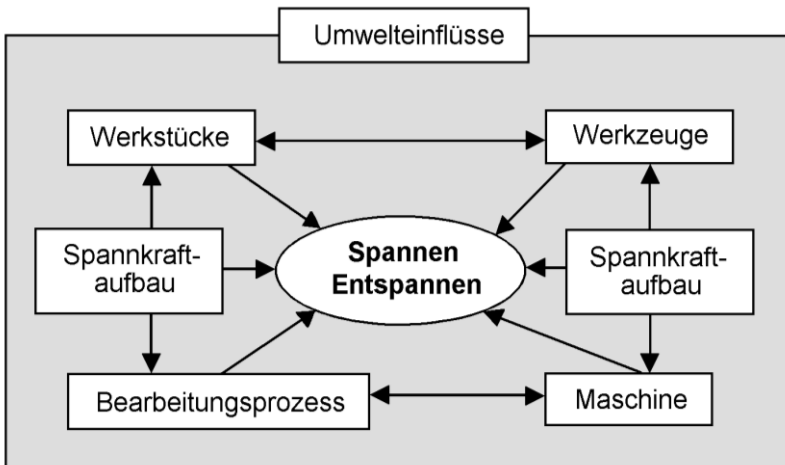


Bild 1.9: Wirkungen und Einflussbereiche beim Spannvorgang

1.2 Begriffliche Grundlagen

Sehr viele Vorrichtungen dienen dem Spannen von Werkstücken oder enthalten das Spannen als notwendige Vorbedingung für das nachfolgende Bearbeiten in einer (*at one setting*) oder in mehreren Aufspannungen. Die für eine sichere Aufspannung notwendigen Funktionen sollen deshalb nachfolgend erläutert werden.

Arretieren (*blocking*)

Das ist das kraftpaarige Sichern einer indexierten Teilschrittbewegung eines Vorrichtungsbauteils, Werkstücks oder Werkstückträgers. Das können z.B. auch nur die beiden Endlagen einer Bewegungseinheit sein.

Bestimmen (*defining*)

Diese Funktion führt zu einer eindeutigen Festlegung der Werkstückposition innerhalb einer Spannvorrichtung und in den drei Koordinatenachsen. Beim Bestimmen kontaktieren die Bestimmflächen am Werkstück mit denjenigen der Vorrichtung. Dieser Kontakt besteht auch während der Bearbeitung, wobei alle beim Spannen und Bearbeiten entstehenden Kräfte vollständig oder teilweise von den Bestimmelementen aufgenommen werden müssen. Automatisiertes Bestimmen bedingt aktive Bestimmelemente, z.B. Schieber, die den Ausrichtvorgang, wie z.B. Andrücken, realisieren. Das können auch Rückzugsbewegungen sein, die z.B. das Werkstück nach dem Lösen so freistellen (Greiffreiheit), dass eine automatische Handhabungseinrichtung das Werkstück greifen kann.

Führen (*guiding*)

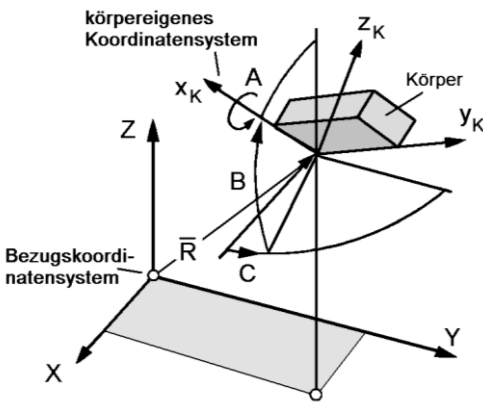
Diese Funktion bezeichnet die Auferlegung eines Zwanges auf die Bewegung von Werkstücken oder Vorrichtungsbauteilen, wie z.B. Schiebern, oder von Werkzeugen, z.B. von Wendelbohrern durch Bohrbuchsen. Bei NC-Bearbeitungszentren ist meistens eine Werkzeugführung nicht erforderlich. Kopierschablonen dienen ebenfalls zum Führen (Nachformdrehen, Brennschneiden) von Werkzeugen.

Handhaben (*handling*)

Das ist das Schaffen, definierte Verändern oder vorübergehende Aufrechterhalten einer vorgegebenen räumlichen Anordnung von geometrisch bestimmten Körpern in einem Bezugskordinatensystem (VDI 2860). Als Randbedingungen können z.B. Zeit, Menge und Bewegungsbahn vorgegeben sein (Bild 1.10).

Indexieren (*indexing*)

So bezeichnet man die Fixierung einer Dreh- oder Längslage eines Bauteils, Werkstücks oder einer Baugruppe in einer Vorrichtung nach einer Teilschrittbewegung.



- x, y, z *Bezugskoordinatensystem*
 x_K, y_K, z_K *körpereigenes Koordinatensystem*
 A, B, C *rotatorische Freiheitsgrade*
 \bar{R} *Ortsvektor mit (x, y, z)*

Bild 1.10: Koordinatensysteme beim Handhaben von Gegenständen im Raum

Lage (*location*)

Der Begriff „Lage“ wird als Synonym für „räumliche Anordnung eines Körpers“ benutzt. Damit ist er mehrdeutig, weil die Anordnung im Raum durch Position und Orientierung (Drehlage) bestimmt wird, sofern das Objekt nicht in allen Ebenen symmetrisch ist und im Einzelfall unklar ist, was eigentlich gemeint ist. So ist es besser von einer Vorzugsorientierung zu sprechen, anstelle Vorzugslage.

Positionieren und Orientieren (*positioning and orientating*)

Beide Funktionen dienen dazu, ein Objekt (Werkstück, Werkstückträger, Vorrichtung) aus einer unbestimmten in eine definierte und reproduzierbare „Lage“ (Position und „Drehlage“) zur Fertigungseinrichtung und damit zum Werkzeug zu bringen. Die Position eines Körpers ist der Ort, den ein bestimmter körpereigener Punkt im Bezugskoordinatensystem einnimmt. Orientierung eines Körpers ist die Winkelbeziehung zwischen den Achsen des körpereigenen Koordinatensystems und denen des Bezugskoordinatensystems.

Spannen und Lösen (*clamping and unclamping*)

Die durch den Bestimmungsvorgang erreichte Werkstückposition ist meistens kraftpaarig zu sichern. Dazu werden Spannkräfte in einer oder in mehreren Richtungen mit Hilfe von Spannelementen auf das Werkstück übertragen. Die Spannkräfte sollten dosierbar sein, damit die Werkstücke nicht beschädigt (Spannmarken) oder deformiert werden. Es kann günstig sein, wenn die Kräfte bei mehreren Spannelementen in einer festgelegten Reihenfolge aufgebracht werden. Das Freigeben eines Werkstücks aus der Spannung wird als Lösen oder Entspannen bezeichnet. In der Montage gibt es oft auch Vorrichtungen, die ein Teil, meistens das Montagebasisteil, formpaarig aufnehmen. Es gibt dann keine Spannkräfte und die Funktion wird als „Halten“ bezeichnet.

Stützen (*supporting*)

Darunter versteht man in der Regel das „Unterstützen“ von Werkstücken, z.B. von langen Trägern, damit sie sich durch die Eigenmasse und Bearbeitungskräfte nicht durchbiegen, sondern aufliegen können. Stützelemente können rückstellbar sein und ihre Gegenhaltekraft bzw. Position kann nach den Erfordernissen manuell einstellbar oder automatisch selbsteinstellend sein. Das Stützen ist u.a. bei Einpressvorrichtungen häufig vorzufinden. Stützelemente lassen sich durch die Anlegekraft am Werkstück, ihre statische Steife, den Stützhub zum Ausgleich von Lageabweichungen und die maximale Stützkraft definieren. Die Funktion Stützen darf nicht zur Festlegung der räumlichen Lage des Werkstücks dienen. Stützen ist dem Bestimmen und Spannen qualitativ und zeitlich nachgeordnet.

Teilen (*spacing*)

Teilen bedeutet, einem Werkstück verschiedene Drehlagen (Kreisteilen) oder Positionen (Längsteilen) zuzuweisen, wobei sich das Werkstück in gespanntem Zustand befindet. Die verschiedenen Werkstücklagen werden dann von geeigneten Indexier-, Klemm- und Arretierelementen gesichert. Es sind auch Einstellungen mit Hilfe von Skalen möglich.

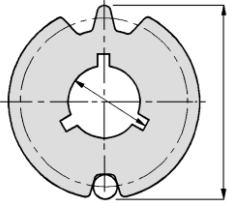
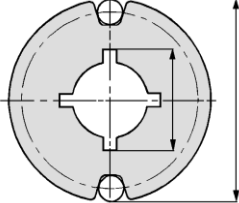
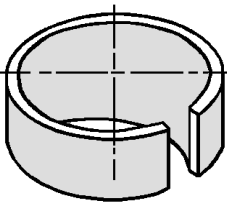
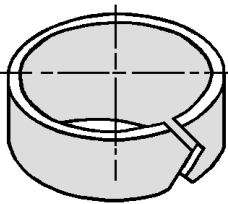
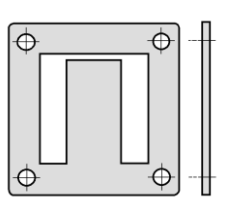
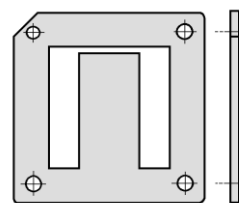
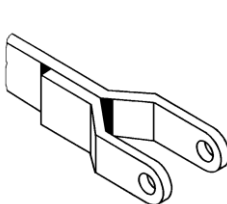
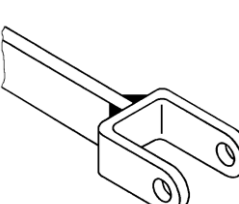
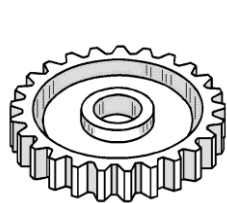
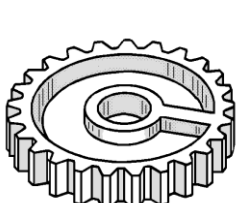
Verbinden (*jointing, assembling*)

Zu einer Vorrichtung zusammengesetzte Bauteile sind untereinander und mit dem Grundkörper einer Vorrichtung starr, beweglich, lösbar oder unlösbar zu verbinden, sowie kraft-, form- oder stoffpaarig zu sichern. Verbindungselemente sind z.B. Leisten, Platten, Winkel, Klebstoffe, Schrauben, Stifte.

1.3 Automatisierungsgerechte Werkstückgestaltung

Produkt und Anlage stehen in einem engen Zusammenhang. Der steigende Automatisierungsgrad (*degree of automation*) impliziert auch Forderungen nach einer angepassten Gestaltung der Werkstücke, Baugruppen und Objekte. Insbesondere wird die automatisierungsgerechte Gestaltung gefordert. Sie umfasst alle Maßnahmen, die darauf gerichtet sind, den Umfang der Handhabung und die Verhaltenseigenschaften des Arbeitsgutes im automatischen Prozess vorteilhaft zu beeinflussen. Der Begriff „automatisierungsgerecht“ schließt u.a. die montagegerechte, roboter-(greifer-)gerechte, handhabungs- und schweißrobotergerechte Gestaltung ein. So sind z.B. sich selbst positionierende Bauteile günstiger als Werkstücke, die vorzugsweise indifferente Werkstücklagen einnehmen. In Tafel 1.1 werden einige Beispiele gezeigt. Ausführliche Darstellungen finden sich in [1.4] bis [1.9].

Tafel 1.1: Einige Beispiele für die automatisierungsgerechte Werkstückgestaltung

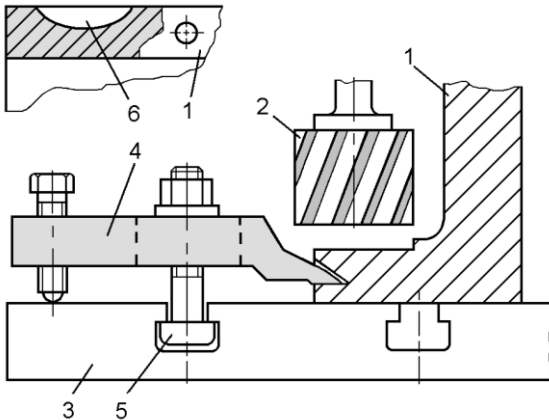
ungünstig	besser	Kommentar
		<p>Für die Durchmesserbestimmung in Prüfvorrichtungen ist es einfacher, wenn die Konturmerkmale (abgetastet mit Kugeln oder Messdornen) in einer geraden Wirkflächenanzahl vorliegen. Gleiches gilt für die Messung von Innenmerkmalen.</p>
		<p>Werkstücke, wie z.B. offene Ringe, die aus einem Haufwerk zugeführt werden, dürfen sich nicht miteinander verhaken oder verklemmen. Das Ineinanderhängen wird z.B. durch schrägverzahnte Schlitz verhindert.</p>
		<p>Bei Transformatorblechen ist die Erkennung der Gratseite wichtig. Um aufwändige Sensorik zu sparen, wurde eine Ecke abgeschragt. Das erleichtert das Ordnen und Kontrollieren. Teile sollten eindeutig symmetrisch oder deutlich asymmetrisch sein.</p>
		<p>Schweißbaugruppen soll man so gestalten, dass an Nahtvorbereitung gespart wird und dass man die Teile auf einfache Art in die Vorrichtung einlegen und spannen kann, ohne dass die Zugänglichkeit für das Schweißgerät eingeschränkt wird.</p>
		<p>Automatisches Montieren von Zahnrädern kann wesentlich erleichtert werden, wenn man zuverlässig erkennbare Marken vorsieht, die mit der Verzahnung (Zahn- bzw. Zahnücke) übereinstimmen. Auch Suchbohrungen können dafür vorgesehen werden.</p>

1.4 Aufspanngerechte Gestaltung von Werkstücken

Für die Werkstückaufspannung lassen sich ebenfalls einige allgemeingültige Grundsätze angeben. Das sind im Wesentlichen folgende:

- Spannvorrichtungen sollen so gestaltet sein, dass man mit einer minimalen Anzahl von Werkstückaufspannungen auskommt. Wenn möglich, soll die gesamte Bearbeitung in einer einzigen Aufspannung erfolgen, z.B. durch Nutzung von rückwärtigen Bearbeitungsmöglichkeiten (Rückwärtssenken).
- Zum Bestimmen der Werkstücke für die Folgeaufspannungen sind Flächen zu verwenden, die bereits mit entsprechender Qualität bearbeitet wurden. Die technologische Basis wechselt damit von der Roh- zur Feinbasis. Mitunter sind extra Formelemente vorzusehen, die nur für diesen Basiswechsel angebracht werden (siehe dazu Tafel 2.1).
- Formelemente mit kleiner gegenseitiger Lagetoleranz sollen in einer gemeinsamen Werkstückaufspannung bearbeitet werden. Wird das nicht beachtet, schleppt man die sich aus einem Wechsel der Bestimmflächen ergebenden Abweichungen zur nächsten Arbeitsoperation mit, wodurch die zulässigen Lagetoleranzen überschritten werden.
- Die Spannkraft (*clamping forces*) sind in definierten Richtungen auf die Flächen des Werkstücks zu übertragen. Das heißt definiert zur technologischen Basis, möglichst senkrecht auf die Auflagefläche (*base*), möglichst nahe an der Bearbeitungsstelle und mit dosierter Kraft zu spannen.
- Auskragende, besonders aber lange und labile Werkstücke bzw. Werkstückpartien oder Halbzeuge in Stangenform sind durch Stützelemente in ihrer Lage zu stabilisieren.

Das alles lässt sich viel besser einhalten, wenn von vornherein die Werkstücke aufspanngerecht gestaltet werden. Sicheres und genaues Spannen lässt sich dadurch wesentlich unterstützen. Als gestalterische Maßnahme nutzt man Hilfsbohrungen, Spannhilfsflächen in Form von Spanntaschen, -schlitzen, -leisten oder -nocken, Fang- und Befestigungsbohrungen u.a. Vielfach muss man auch funktionell wichtige Flächen in einer Aufspannung bearbeiten. Daraus resultieren dann mitunter Spannprobleme, weil Spannelemente den Werkzeugweg kreuzen. In Bild 1.11 wird dieses Problem durch das Einfräsen eines Spannschlitzes (*clamping slot*) behoben. Das Spanneisen hat man derart abgesetzt, dass der Flansch des Gehäuseteils bearbeitet werden kann.



- 1 Gussgehäuse
- 2 Fräser
- 3 Maschinentisch
- 4 Spanneisen
- 5 T-Nutschraube
- 6 Spannschlitz

Bild 1.11: Spannen an einem Spannschlitz [1.10]

Abschließend werden in der Tafel 1.2 einige Möglichkeiten zur aufspanngerechten Werkstückgestaltung vorgestellt. Diese Hinweise beziehen sich ausschließlich auf Spannvorrichtungen. Für andere Vorrichtungen muss man die automatisierungsgerechte Gestaltung allgemeiner in den Vordergrund rücken. Oft sind kleine spezielle Veränderungen bereits sehr wirksam (Beispiele finden sich in [1.4 bis 1.6]).

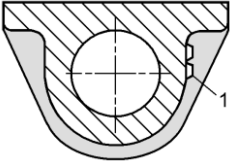
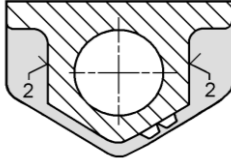
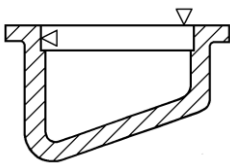
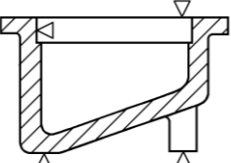
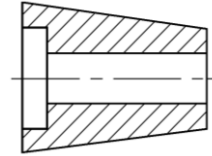
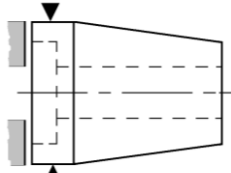
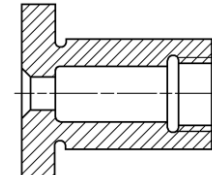
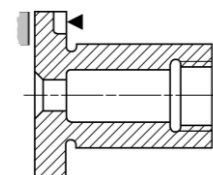
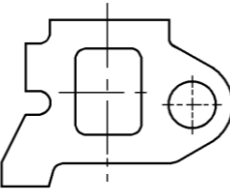
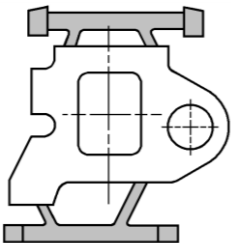
Hat man Spannvorrichtungen im Auge, die die Teile mit Kraftfeldern halten (Vakuum, Magnetkraft, Elektrostatik), dann sind insbesondere ebene Auflageflächen erforderlich. Beim Spannen mit Elektro- oder schaltbarem Permanentmagnet (*permanent magnet*) hängt die Haftkraft von folgenden Faktoren ab:

- Magnetische Leitfähigkeit (*magnetic adhesion*) des Werkstücks
- Oberflächenrauigkeit (*surface roughness*) der Werkstückauflagefläche (Luftspaltwirkung); Unsaubere und mit Spänen besetzte Flächen sorgen ebenfalls für Unebenheit.
- Abmessungen des Werkstückquerschnitts
- Wärmebehandlungszustand des Werkstückwerkstoffs
- Grad der Belegung der vorhandenen Spannplatte (*fixing plate*)
- Verhältnis der Polteilung zur Werkstückgröße

Die Haftkräfte sind bei einem Werkstück aus technisch reinem Eisen am größten und erreichen bei Grauguss im Vergleich dazu nur etwa 30%. Stahllegierungen liegen dazwischen.

Da die Verschiebekraft wesentlich kleiner ist als die Abreißkraft vom Magneten, soll man beim Fräsen mit seitlichen Anschlägen arbeiten. Das Bild 1.12 zeigt dazu Beispiele.

Tafel 1.2: Einige Beispiele für die aufspanngerechte Werkstückgestaltung

falsch	richtig	Kommentar
		<p>Die aufgesetzte Modell-Nummer (1) macht die Fläche als Spannfläche unbrauchbar. In der verbesserten Ausführung hat man bewusst Flächen (2) gestaltet, die für das Spannen nutzbar sind [1.11; 1.12].</p>
		<p>Damit sicheres Spannen gewährleistet werden kann, hat man eine Stütze angegossen. Sie wird als Auflagefläche mit bearbeitet. Wenn das Werkstück fertig ist, muss die Stütze abgetrennt werden.</p>
		<p>Das Kegelteil lässt sich am Außenmantel schlecht spannen. Wird dagegen ein kurzes Zylinderstück vorgesehen, dann kann die Bestimmung und Spannung mit herkömmlichen Spannbacken erfolgen.</p>
		<p>Eine angegossene Spanntasche ermöglicht beim dargestellten Teil eine Fertigbearbeitung der Sitze und Anlageflächen in einer Aufspannung. Es werden aber besonders flache Spannelemente benötigt.</p>
		<p>Unförmige Gussstücke können beim Gießen mit Spannlaschen, oder wie gezeigt mit Spannleisten, ausgestattet werden. Solche Spannhilfen müssen nach Beendigung der Bearbeitung natürlich entfernt werden. Das ist ein zusätzlicher Arbeitsgang. Dafür kann oft eine 5-Seiten-Bearbeitung ohne Umspannen erreicht werden.</p>

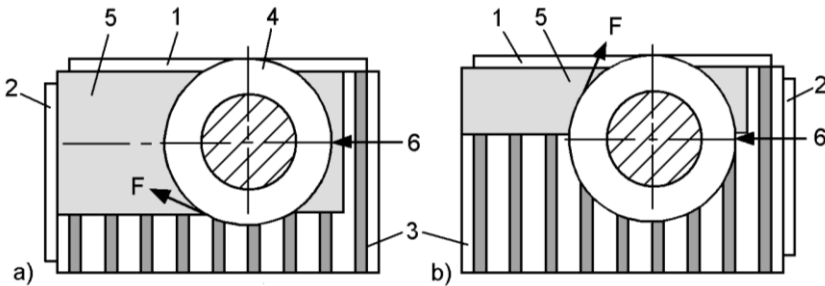


Bild 1.12: Kraftwirkungen beim Stirnfräsen (www.sav-spanntechnik.de)

a) mittiges Stirnfräsen, b) außermittiges Stirnfräsen, 1 Seitenanschlag, 2 Endanschlag-
leiste, 3 Magnetspannplatte, 4 Stirnfräser, 5 Werkstück, 6 Fräserweg, F Bearbeitungskraft

Ebene Flachteile lassen sich auch gut mit Saugluft halten. Beim Vakuumspannen hängt die Haftkraft von folgenden Faktoren ab:

- Glatte Spannfläche; eventuell Abdichtung mit Dichtschnüren bei Unebenheit
- Keine Porosität, die das Vakuum abwandern lässt; Bei Greifern ist eine geringe Porosität verkraftbar, wenn der Druckabfall ständig ausgeglichen wird.
- Ausreichende Werkstücksteifigkeit; Bei den verformungsempfindlichen Teilen sind Sonderlösungen erforderlich.

Das Vakuumspannen (*vacuum fixturing*) ist grundsätzlich für alle Werkstoffe möglich, sofern die Auflagefläche nur wenig strukturiert ist und sich die Luftdurchlässigkeit in erträglichen Grenzen bewegt. Ein nachträgliches Entmagnetisieren braucht nicht durchgeführt zu werden. Beim magnetischen Spannen ist das erforderlich, wobei dann trotzdem noch leichte Eisenspäne haften bleiben können.

2 Gestaltung von Vorrichtungen

2.1 Entwerfen einer Vorrichtung

Eine Vorrichtung stellt das Bindeglied zwischen Werkstücken, einer Maschine (oft eine Werkzeugmaschine) und den aktiven Elementen (Werkzeuge, Greifzeuge, Prüfsonden, sonstige Aktoren) dar. Bei einer Spannvorrichtung werden die Werkstücke bestimmt und gesichert (gespannt). Auf die Vorrichtung wirken durch das Spannen und Bearbeiten der Teile Kräfte ein, die eine genügende Festigkeit und Steifigkeit der Vorrichtung erfordern. Beim Einsatz einer Spannvorrichtung laufen in chronologischer Folge die nachgenannten Teilfunktionen ab:

Einmalig für die Dauer eines Arbeitsauftrages

- Positionieren bzw. Bestimmen der Vorrichtung zur Werkzeugmaschine bzw. zum Werkzeug
- Sichern der Vorrichtung auf dem Maschinentisch
- Einrichten der Werkzeuge zu den Werkstücken

Ständig bei Wiederholung der Arbeitsoperation

- Einlegen des Werkstücks in die Vorrichtung (von Hand oder automatisch)
- Bestimmen bzw. Positionieren des Werkstücks; eventuell automatische Kontrolle der Bestimmungslage
- Spannen, Bearbeiten, Lösen (Entspannen)
- Herausnehmen des Werkstücks aus der Vorrichtung (manuell oder maschinell)
- Spänebeseitigung bzw. Reinigung (nach jedem oder nach mehreren Arbeitsoperationen)

Hieraus leitet sich unmittelbar der Grundaufbau einer Spannvorrichtung ab. Das zeigt nun das Bild 2.1 in einer Übersicht.

Wie man zu einem Vorrichtungsentwurf kommt, soll hier in Kurzform dargestellt werden. Ausführliche Hinweise zur systematischen Konstruktion finden sich in [2.1] bis [2.7]. Die Ausgangsangaben für den Entwurf sind:

- Zeichnung des Teils (oder mehrerer Teile), das in dem betreffenden Arbeitsgang bearbeitet, bewegt oder manipuliert werden soll. Wichtig sind in jedem Fall auch die Toleranzangaben.
- Technologischer Arbeitsablauf des Teils oder analog die Behandlung von Objekten, wenn es nicht um Bearbeitungsvorgänge geht. Dazu gehören auch Leistungs- bzw. Mengenangaben.

- Angaben zur Maschine (den Arbeitsraum) und/oder die technische Umgebung, in der die Vorrichtung eingesetzt werden soll. Dazu gehören auch Sicherheitsüberlegungen.
- Informationen über vorhandene oder ähnliche Vorrichtungen, die bisher eingesetzt wurden, die aus der Literatur bekannt sind oder von anderen Anwendern benutzt werden.
- Angaben über Werkzeuge oder Geräte, die in Verbindung mit der Vorrichtung Verwendung finden. Hieraus sind Systemanforderungen abzuleiten.

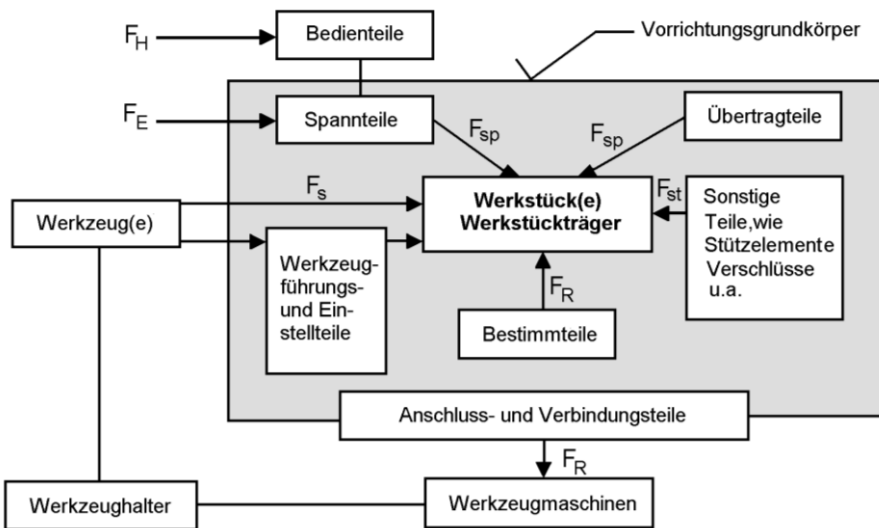


Bild 2.1: Schematische Darstellung des Grundaufbaus einer Spannvorrichtung zur Verwendung auf Werkzeugmaschinen

F_H Handkraft, F_E eingeleitete Kraft, z.B. durch Druckluft, F_{sp} Spannkraft, F_s Stützkraft, F_s Schnittkraft, F_R Reaktionskraft

Der Entwurf einer Vorrichtung entsteht gedanklich durch Schlussfolgern vom Zweck zum Mittel. Für jede erforderliche Funktion muss ein geeigneter Funktionsträger gefunden werden.

Im ersten Schritt ist das Wirkprinzip festzulegen. Bei Spannvorrichtungen bezieht sich das auf das Bestimmen bzw. Positionieren des Werkstücks unter Beachtung der erforderlichen Bearbeitungslage und -operationen. Der Spannvorgang und der Kraftfluss ist zunächst nur hinsichtlich der Wirkungslinien, also qualitativ, von Interesse. Parallel ist dazu der Freiraum für das Werkzeug, für eine eventuell erforderliche Werkzeugführung und für das kollisionsfreie Einlegen und Entnehmen zu untersuchen.

Im nächsten Schritt sind Varianten für die zu gestaltenden Details zu entwickeln, zu bewerten und letztlich nach einer vielleicht möglichen Optimierung als Zielvariante auszuwählen. In dieser Phase legt man deshalb die Bestimm-, Spann- und Stützstellen fest, an denen die entsprechenden Elemente am Werkstück in der erforderlichen Richtung einwirken. Man beginnt mit den Bestimm- bzw. Positionierelementen und legt anschließend die Anzahl, Lage und Wirkrichtung der Spannelemente fest. Stützelemente werden nur bei Notwendigkeit (Durchbiegung, unsichere Lagefixierung) verwendet. Wenn die Funktionsträger festliegen, ist der Vorrichtungskörper (Gestell, Rahmen, Platte, Scheibe u.a.) zu entwerfen. Nun sind alle Komponenten zur Vorrichtung lösbar, unlösbar, fixiert oder einstellbar miteinander zu verbinden. Dazu gehört dann auch die Energieart für die Spannkrafterzeugung und den damit meist verbundenen Übertragungsgetrieben, wie z.B. Spindeln oder Keilgetriebe. Damit ist die Vorrichtung als räumliches Objekt darstellbar. Meistens erfolgt die Darstellung der Vorrichtung einmal im unbeladenen Zustand und dann mit eingelegtem Werkstück. Mitunter ist erforderlich, noch Vorgaben für die Positionierung der Vorrichtung auf dem Maschinentisch zu machen (siehe dazu Kapitel 2.10).

Anordnungsbeispiel für einen Mehrstückspanner

Der in Bild 2.2a) gezeigte Kupplungsbolzen ist auf einer Fräsmaschine zu schlitzen. Welche Varianten gibt es für die Anordnung und Gestaltung der Spannstelle(n)?

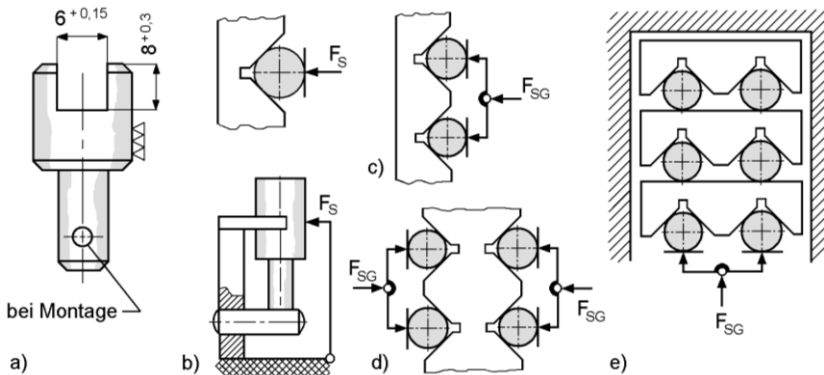


Bild 2.2: Anordnungsvarianten für Spannteile

a) Werkstück, b) Einzelspannstelle, c) Doppelspannung, d) doppelseitiges Spannen, e) Aufreihung von Bestimmelementen, F_{sp} Spannkraft, F_{SG} Gesamtspannkraft

Wie das Bild 2.2b) zeigt, wird zweckmäßigerweise ein Prisma als Bestimmelement vorgesehen. Als Auflage dient ein Zylinderstift. Dieser gewährleistet eine Linienberührung von Werkstück und Auflage. In dieser Art lassen sich dann auch

Mehrstückspanner gestalten. Die fertige Vorrichtung zeigt das Ausführungsbeispiel 40. In ähnlicher Weise sind auch alle anderen Konstruktionsdetails durchzuarbeiten und zu bewerten. Dabei ist stets zu beachten, dass es viele Vorrichtungselemente als handelsübliche Normalien (vereinheitlichte Bauelemente) gibt, die man immer zuerst versucht einzusetzen. Für eine Bewertung der Eignung sind vorher Kriterien festzulegen. Für das Bestimmen können das z.B. folgende sein:

- Bestimmungsgenauigkeit (zulässige Abweichung von der Symmetrie, Überbestimmung, Winkelabweichung, Verschleiß)
- Mehrstückanordnung (Platzbedarf, Kosten, Spannkraftaufteilung)
- Konstruktiver Aufwand (Verwendung von Standardelementen, Anzahl der Bauteile, Vorrichtungskosten)
- Spänebeseitigung (Hilfszeit, Zuverlässigkeit des Bestimmens)

Bei allen Variantenvergleichen ist nicht nur die Funktionserfüllung von Bedeutung, sondern auch die Gestalt der Vorrichtungsbauteile, weil diese ebenfalls die Eigenschaften der Vorrichtung beeinflussen, insbesondere den Zugang für das Werkzeug und das Beladen. Wichtige Beurteilungskriterien sind in der Tabelle 2.1 aufgeführt [2.8].

Tabelle 2.1: Beurteilungskriterien zur Entwicklung und Einsatz von Vorrichtungen

Kriterien zur Funktion einer Vorrichtung:	Kriterien zur Herstellung einer Vorrichtung:	Kriterien zum Einsatz einer Vorrichtung
<ul style="list-style-type: none"> - Genauigkeit (Positionswiederholgenauigkeit) - Zuverlässigkeit - Steifigkeit, statisch und dynamisch - Anzahl der gleichzeitig gespannten Werkstücke - Zeit zum Werkstückwechsel - Kraftaufwand beim Spannen - Automatisierbarkeit - Systemintegrierbarkeit 	<ul style="list-style-type: none"> - Investitionskosten - Abschreibungskosten - Anzahl Standardteile - Anzahl der zu fertigenden Vorrichtungsteile - Kompliziertheit der Einzelteile - Masse der Vorrichtung - Montageaufwand - Auftragsfertigung außer Haus 	<ul style="list-style-type: none"> - Wartung und Pflege - Instandhaltung, Reparatur - Bedienzeit; Werkstückwechsel - Bedienbarkeit, Kraftaufwand - Aufwand zur Sauberhaltung - Arbeitsschutz, Sicherheit - Maschinengrundzeit pro Werkstück - Greiffreiheit beim Einlegen und Entnehmen

Bewertungsverfahren sind in [2.1; 2.9] enthalten, z.B. eine Punktebewertung. Liegt der Aufbau im Wesentlichen fest, dann sind für wichtige Bauteile Berechnungen vorzunehmen, wie z.B. zur Festigkeit der Bauteile, zur Flächenpressung oder zum Spannelementehub. Dazu gehören auch Sicherheitsnachweise für den kraftübertragenden Teil, Bedienzeitabschätzungen sowie Zerspankraftwirkungen. Eine gesonderte Betrachtung ist auch der Spannkraftfluss in einer Vorrichtung wert.

Der Kraftfluss (*flow of force*) soll sich derart schließen, dass Bauteile, die der Belastung nicht gewachsen sind, auch nicht im Kraftkreis liegen. Anderenfalls gibt es ungewollte Deformationen und Verlagerungen, die der Genauigkeit der Vorrichtung abträglich sind. Was damit gemeint ist, soll in Bild 2.3 an Beispielen aus der Handhabungstechnik demonstriert werden.

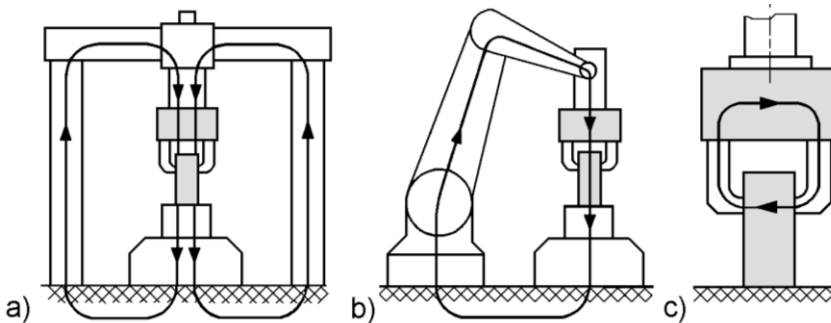


Bild 2.3: Kraftkreise beim Handhaben von Objekten [2.10]

a) Kraftkreise am Portalroboter, b) Kraftkreis bei einem Knickarmroboter, c) Kraftkreis an einem Backengreifer

Danach ist die Dimensionierung der Bauteile vorzunehmen und die Konstruktion auszuführen. Wichtige Aspekte einer festigkeitsgerechten Auslegung von Bauteilen sind:

- Der Kraftfluss ist auf kurzem Weg mit möglichst wenigen Bauteilen zu schließen (hohe Festigkeit, Werkstoffe mit großen Elastizitätsmodul, besserer Zug-Druck-Beanspruchung als Biegebeanspruchung).
- Die Kraftflussdichte soll über den gesamten Wirkungsweg möglichst gleich sein (optimale Werkstoffausnutzung; Besonders zu beachten sind Querschnittsänderungen.).
- Betriebsbelastungen dürfen in allen Situationen die Funktionsfähigkeit des Bauteils nicht gefährden (elastische oder plastische Formänderungen dürfen kritische Grenzen nicht überschreiten).
- Elastische Verformungen der im Kraftfluss liegenden Teile sind mit deren Starrheit (Steifigkeit) zu harmonisieren (aufeinander abzustimmen). Das betrifft auch asymmetrische Belastungen.

Von großem Einfluss auf die Gestaltung und letztlich die Kosten einer Vorrichtung sind die Toleranzen, die für die Werkstückbearbeitung vorgegeben sind. Sehr hohe Bearbeitungsgenauigkeiten ziehen auch hohe Kosten für die Vorrich-