



Leseprobe

Klaus J. Conrad

Grundlagen der Konstruktionslehre

Methoden und Beispiele für den Maschinenbau und die Gerontik ©

ISBN (Buch): 978-3-446-43533-9

ISBN (E-Book): 978-3-446-43667-1

Weitere Informationen oder Bestellungen unter

<http://www.hanser-fachbuch.de/978-3-446-43533-9>

sowie im Buchhandel.

# 6

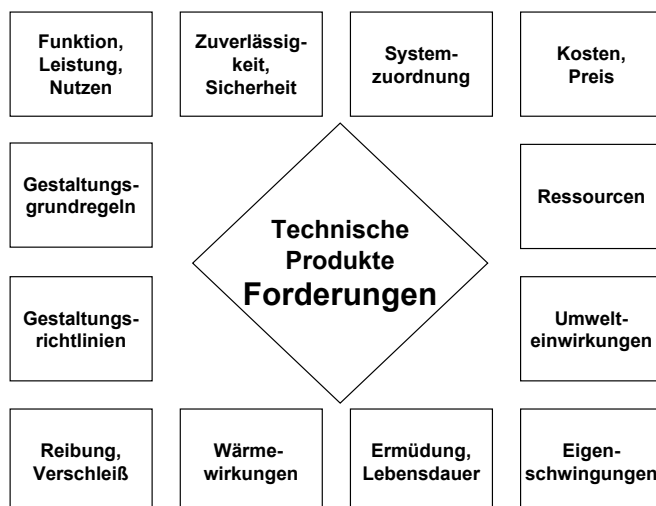
## Konstruktionsphase Entwerfen

Das **Entwerfen** ist die dritte Phase des Konstruierens und wird als typischer Arbeitsschritt für Ingenieurarbeit im Konstruktionsbüro eingeordnet. In dieser Phase erfolgt die grafische Darstellung der technischen Gebilde, die als Lösungsprinzipien unter Beachtung der Anforderungen der Aufgabe gedanklich entwickelt wurden. Ideenskizzen sowie erste Auslegungsberechnungen werden als konstruktive Lösung gestaltet und dargestellt. Das Ergebnis dieses Arbeitsschritts ist ein **Entwurf** mit festgelegter Gestalt und Anordnung aller Elemente eines Produkts sowie allen Angaben zur Herstellung und Beschaffung dieser Elemente. Das grundlegende Vorgehen wurde bereits im dritten Abschnitt erwähnt.

Ein Entwurf wird konventionell mit Bleistift und Radiergummi am Zeichenbrett erarbeitet. Das rechnerunterstützte Entwerfen mit 2D-CAD-Systemen hat in vielen Arbeitsbereichen das Zeichenbrett ersetzt. Der Einsatz von 3D-CAD/CAM-Systemen ermöglicht die dreidimensionale Modellierung der Entwurfsarbeiten mit neuen Möglichkeiten und Methoden.

### ■ 6.1 Allgemeine Forderungen an technische Produkte

Technische Produkte müssen für den gesamten Produktlebenszyklus die Forderungen erfüllen, die als Übersicht in Bild 6.1 dargestellt sind. Dazu gehören die Forderungen des Marktes, der Produktion, des Gebrauchs und des Nutzens für den Kunden unter Beachtung der Eigenstörungen und der Umwelt.



**Bild 6.1** Wissensbasis für Forderungen an technische Produkte

Die **Produktgestaltung** erfolgt in der Praxis so, dass bestimmte Forderungen und Bedingungen zu erfüllen sind. Diese umfassen das gesamte Produktleben, also von der Entwicklung über die Produktion und den Gebrauch bis zur Entsorgung. Technische Produkte müssen deshalb sehr viele Bedingungen erfüllen, die produktspezifisch unterschiedlich und als entsprechende Produkteigenschaften erforderlich sind. **Restriktionen** sind allgemein als Einschränkung oder Vorbehalt bekannt. Forderungen und Bedingungen können hier mit der gleichen Bedeutung wie Restriktionen verwendet werden.

Für technische Produkte sind viele Bedingungen durch Regeln und Richtlinien so aufbereitet worden, dass diese als Sammlung von Erfahrungen zusammengefasst vorliegen. Für die Produktgestaltung sind aus der Vielzahl der Richtlinien die allgemeinen und die speziellen durch den Konstrukteur auszuwählen und einzusetzen. Dies geschieht in der Regel gedanklich, da es viel zu aufwendig wäre, alle theoretisch möglichen Lösungen zu gestalten, um dann aufgrund bestimmter Restriktionen doch nur eine weiterzuverfolgen.

## ■ 6.2 Arbeitsschritte beim Entwerfen

Das **Entwerfen** umfasst alle Tätigkeiten zur gestalterischen Festlegung von Einzelteilen und deren Anordnung in Baugruppen und Produkten, sodass das Lösungsprinzip unter Beachtung technischer und wirtschaftlicher Kriterien realisiert wird. Dafür sind erforderlich:

- Festlegung der Hauptabmessungen
- Untersuchung der räumlichen Verhältnisse
- Wahl von Werkstoffen
- Berechnung der Auslegungsgrößen
- Ergänzung des Lösungsprinzips
- Festlegung von Fertigungsverfahren
- Gestaltung aller Bauteile und Verbindungen
- Festlegung von Baugruppen
- Festlegung der Teilearten
- Festlegung der Zulieferteile
- Analyse auf Schwachstellen
- Bewertung und Auswahl

Um diese Forderungen umzusetzen, muss der Konstrukteur sich Klarheit verschaffen über den Umfang des Entwurfs und über den Bereich, mit dem er anfangen möchte. Häufig wird er auch hier beim Kern der Aufgabe beginnen, den er sich ja schon durch Skizzen und Lösungsprinzipien erarbeitet hat.

Als Ergebnis entstehen Grobentwürfe mit den wichtigsten Angaben und Darstellungen oder Feinentwürfe, die bereits alle konstruktiven Einzelheiten enthalten. Die Entwürfe müssen unter Beachtung der geforderten Funktionen insbesondere eine wirtschaftliche Lösung ergeben, die die neuesten Technologien berücksichtigt. Die Entwurfsarbeit wird immer durch regelmäßig durchgeführte Fortschrittsgespräche und Beratungsgespräche begleitet. Durch die **Fortschrittsgespräche** in der Konstruktion wird sichergestellt, dass alle Informationen und Erfahrungen umgesetzt werden. Die **Beratungsgespräche** finden mit Mitarbeitern anderer Abteilungen oder mit Zulieferern statt, um z. B. Fertigung, Montage, oder Handelsteile rechtzeitig zu berücksichtigen. Vor dem letzten Arbeitsschritt, der Konstruktionsphase Ausarbeiten, wird gemeinsam mit Mitarbeitern der technischen Bereiche in **Freigabegesprächen** entschieden, ob der vorliegende Entwurf weiterverfolgt werden soll, oder ob noch weitere Untersuchungen erforderlich sind.

Beim Entwerfen müssen viele Informationen umgesetzt werden, da Normen, Werkstoffe, bewährte Detaillösungen, Wiederholteile, Zulieferteile mit allen Angaben exakt berücksichtigt werden müssen. Außerdem ist dieser Vorgang gekennzeichnet durch **Entwerfen und Verwerfen**.

Das bedeutet, viele Ideen der Gestaltung und Anordnung können erst nach der Darstellung beurteilt werden und stellen sich dann als gut oder nicht brauchbar heraus. Außerdem müssen erkannte Fehler beseitigt und viele Größen durch mehrfache Ansätze optimiert werden. Ebenso müssen Änderungen und deren Auswirkungen eingearbeitet werden. Deswegen ist ein konsequentes Vorgehen nach einem Ablaufplan nicht möglich. Der Konstrukteur wird also sein Vorgehen festlegen und anpassen nach der Art der Aufgabe, nach dem Umfang der Aufgabe, nach der Informationsbereitstellung und nach den Gesprächsergebnissen.

Die **Entwurfszeichnungen** werden nach den Regeln des Technischen Zeichnens angefertigt, sodass einheitliche Darstellungen mit firmenspezifischen Besonderheiten vorliegen.

Die **Auslegung** und die eingesetzten Berechnungsverfahren erfolgen mit den bekannten Regeln und Gesetzen der technischen Grundlagenfächer, der speziellen Fachgebiete und der allgemeingültigen Regeln und Vorschriften, die den Stand der Technik darstellen. Deshalb werden heute sehr viele Auslegungen und Berechnungen mit Rechnerunterstützung durchgeführt, mit dem Ziel, den gesamten Produktentwicklungsprozess mit 3D-CAD/CAM-Systemen durchgängig zu erledigen.

Die **Gestaltung** ist ein wesentlicher Schwerpunkt des Entwerfens. Beim **Grobgestalten** werden erste Abmessungen festgelegt, die sich häufig durch Erfahrungswerte und Überschlagsrechnungen ergeben. Das Ergebnis enthält alle wichtigen Formen und Flächen und wird als **Funktionsteil** bezeichnet. Das **Feingestalten** erfolgt anschließend durch die Festlegung aller Einzelheiten indem entsprechende Formelemente, Maschinenelemente und Gestaltungsrichtlinien für einen endgültigen Entwurf so eingesetzt werden, dass ein **Fertigteil** entsteht. Anschließend ist je nach vorgesehenem Fertigungsverfahren noch ein **Rohteil** zu gestalten, das z. B. für ein Gussteil oder ein Schweißteil erforderlich ist. Für das Gestalten sind einige Methoden bekannt, die die Erfahrungen guter Konstrukteure durch systematische Untersuchungen umsetzen und anwendbar machen.

Trotzdem können bei den Entwurfsarbeiten Schwierigkeiten auftreten, die auch durch sehr sorgfältiges Gestalten nicht zu beseitigen sind. Dann ist es günstiger, mit dem verbesserten Erkenntnisstand das Vorgehen in der Konzeptphase zu überprüfen und dort neue, bessere Lösungen zu suchen. Aber auch bei sehr günstig erscheinenden Prinziplösungen können noch Schwierigkeiten im Detail auftreten. Sie entstehen oft, weil manche Eigenschaften falsch beurteilt oder unterschätzt wurden. Beim Entwerfen ist also ein flexibles Vorgehen der Konstrukteure erforderlich, das auch durch Arbeitsstil, Organisationsfähigkeiten und breites Technikwissen geprägt ist.

Das Gestalten beginnt stets beim **Kern der Aufgabe**, indem nach einer Auslegungsrechnung die funktionsbestimmenden Elemente unter Beachtung der geforderten Werkstoffe skizziert werden. Dies sind z.B. bei einem Zahnradgetriebe die Zahnräder und deren Anordnung, die sich aus den Anforderungen ergeben, bei einem Ventil die Stelle, die den Stofffluss öffnet oder schließt und bei einer Werkzeugmaschine die Elemente, die den Fertigungsprozess im Arbeitsraum bestimmen, also die Werkzeugbewegungen relativ zum Werkstück. Daraus ergeben sich die ersten Abmessungen, die mit den Anschluss- und Schnittstellen, der Einbaulage und den werkstoffabhängigen Gestaltungselementen zu einem Grobentwurf führen. Das Feingestalten umfasst die endgültigen Abmessungen, die Toleranzen, Passungen und Oberflächenangaben, die Werkstoffe, die Normteile sowie Fertigung, Montage, Transport usw.

## ■ 6.3 Anwendung der Arbeitsschritte beim Entwerfen

Das grundlegende Vorgehen beim Entwerfen ist bereits bekannt, sodass vor der Behandlung von Regeln und Richtlinien an einem einfachen Beispiel die Vorgehensweise gezeigt wird. Eine konventionell gelöste Entwurfsaufgabe wird Schritt für Schritt umfangreich erläutert, um die wesentlichen Überlegungen zu verstehen. Anschließend wird im Vergleich dazu das Vorgehen beim rechnerunterstützten Entwerfen kurz erläutert.

### 6.3.1 Gelenkige Aufhängung entwerfen und gestalten

Es ist eine gelenkige Aufhängung zu konstruieren, die eine geführte Pendelbewegung ermöglicht. Die Aufhängung soll mit einer lösbaren Verbindung an einem Stahlgerüst montiert und für einen Schwenkwinkel kleiner als  $60^\circ$  bei einer maximalen Winkelgeschwindigkeit von  $1 \text{ s}^{-1}$  ausgelegt werden. Als Zugkraft wirken  $750 \text{ N} + 50 \text{ N}$  und als Axialkraft weniger als  $100 \text{ N}$ . Die Anschlussbohrung soll einen Durchmesser von  $10 \text{ mm}$  haben. Es sollen einmalig 50 Stück hergestellt werden mit Herstellkosten, die  $35 \text{ €}$  je Stück nicht überschreiten. Für die Anwendung im Freien ist bei hoher Betriebssicherheit eine Lebensdauer von mehr als 10 000 Stunden zu gewährleisten. Das Lösungskonzept ist als Skizze in Bild 6.2 dargestellt und soll eine geeignete stoffliche Gestalt erhalten. Nach dem Aufstellen der Anforderungsliste sind alle Teilschritte der Entwurfsarbeit mit Skizzen vorzustellen.


Umfang der Aufgabe:

1. Aufstellen einer vereinfachten Anforderungsliste.
2. Schrittweises Entwickeln der Lösung mit allen Arbeitsschritten, kurzen Erläuterungen und Skizzen.

### Lösung: Gelenkige Aufhängung

zu 1.) Aufstellen einer vereinfachten Anforderungsliste

**Tabelle 6.1** Anforderungsliste gelenkige Aufhängung (nach *Bachmann, Lohkamp, Strobl*)

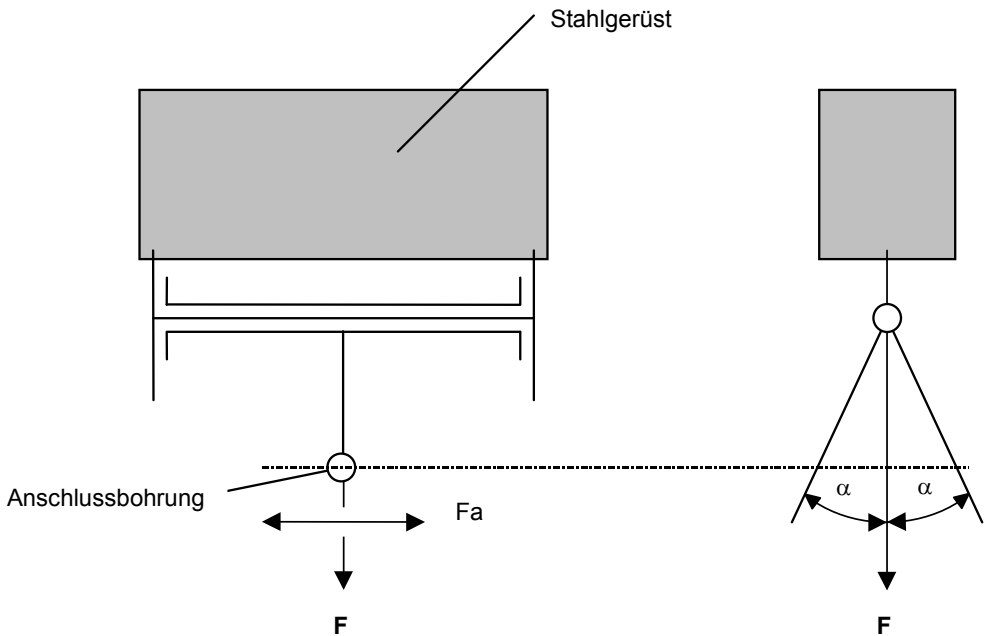
		<b>Anforderungsliste</b>		F = Forderung W = Wunsch
Auftrags-Nr.: KNL 5		Projekt Gelenkige Aufhängung		Bearbeiter: Conrad
<b>A n f o r d e r u n g e n</b>				
F W	Nr.	Bezeichnung	Werte, Daten, Erläuterung, Änderungen	Verantwortlich, Klärung durch:
F	0	Funktion: Geführte Pendelbewegung unter Belastung ermöglichen		<b>Conrad</b>
F	1	Schwenkwinkel	≤ 60°	
F	2	Zugkraft F	750 N + 50 N	
F	3	Axialkraft F <sub>a</sub>	≤100 N	
F	4	max. Winkelgeschwindigkeit	1 s <sup>-1</sup>	
F	5	Lebensdauer L	≥ 10 000 h	
F	6	Anschlussbohrung	10 mm	
F	7	Montage an Stahlgerüst		
F	8	Stückzahl einmalig	50 Stück	
F	9	Herstellkosten Euro/ Stück	≤ 35 €	
F	10	Anwendung im Freien		
F	11	hohe Betriebssicherheit		
Einverstanden:		Bytzek	Datum: 18.12.02	Blatt: 1/1

Zu 2.) Schrittweises Entwickeln der Lösung mit allen Arbeitsschritten, kurzen Erläuterungen und Skizzen.

#### 2.1 Grobgestalten

Ziel ist die schrittweise Gestaltung eines grobmaßstäblichen, funktionsfähigen Entwurfes, der die Anforderungen der Anforderungsliste erfüllt.

Dafür können selbstverständlich mehrere Entwürfe gestaltet werden, aber aus Platzgründen wird hier nur einer ausgearbeitet. Die nachfolgend beschriebenen Teilschritte können von Fall zu Fall verschieden sein, außerdem kann das schrittweise Arbeiten mit Wiederholung von Teilschritten erforderlich sein.



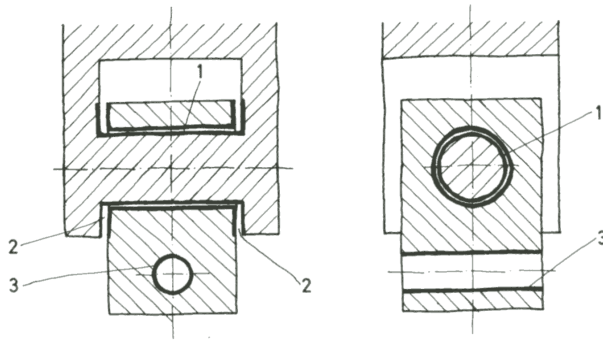
**Bild 6.2** Skizze einer gelenkigen Aufhängung (nach *Bachmann, Lohkamp, Strobl*)

### 2.1.1 Grobgestalt ermitteln

- Zuordnen von Wirkflächen nach Form, Lage und Größe.
- Herstellen einfacher Verbindungen der Wirkflächen durch weitere einfache Flächen bzw. stoffgefüllte Körper, damit über die Wirkflächen die Aufgaben erfüllt werden können, z. B. Kräfte übertragen, Bewegungen ausführen usw.
- Dabei ist besonders darauf zu achten, dass die erforderlichen Bewegungsmöglichkeiten gewährleistet sind, keine Zusammenstöße beweglicher Bauteile und keine statischen Überbestimmungen entstehen.
- Aus der Vielfalt der möglichen Flächen- und Körperformen, -lagen und -größen nur die einfachsten auswählen.

Die in Bild 6.3 dargestellte Grobgestalt besteht aus den Wirkflächen Zylinderfläche 1 zum Ermöglichen der Pendelbewegung und zum Übertragen der Kraft  $F$  (A 1, 2), den Ebenen 2 zum Übertragen der Axialkräfte (A 3), und der Zylinderfläche 3, die die Anschlussfläche darstellt (A 6).

(A = Anforderung mit Nr. der Anforderungsliste)

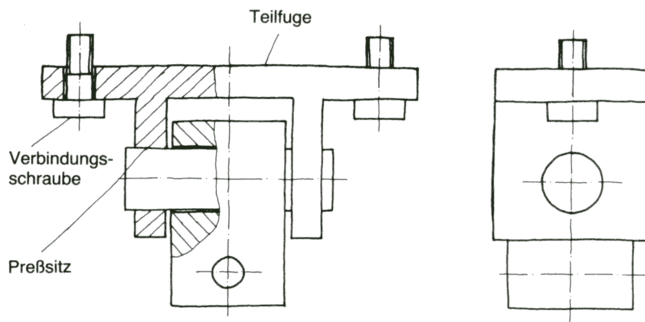


**Bild 6.3** Grobgestalt der gelenkigen Aufhängung (nach Bachmann, Lohkamp, Strobl)

#### 2.1.2 Anschlüsse und Zusammenbau berücksichtigen

- Anschlüsse an andere Bauteile oder Produkte sind unter Beachtung der Anschlusszeichnungen bzw. -bedingungen (Aufstellungsort) zu berücksichtigen.
- Handhabung und Bedienmöglichkeiten sind zu beachten.
- Unterteilen der Grobgestalt durch Teilfugen, um Fertigung und Montage zu ermöglichen bzw. zu vereinfachen. Hier treten meist neue Teilfunktionen auf, z.B. Bauteile verbinden.
- Relativlagen der Bauteile durch Anschlagflächen, Absätze, Zentrierungen, Verspannungen usw. festlegen. Besonders ist darauf zu achten, ob Zusammenbau und Demontage überhaupt möglich sind.

Die entsprechenden Änderungen unter Beachtung der Anforderung Nr. 7 sind im Bild 6.4 eingezeichnet.



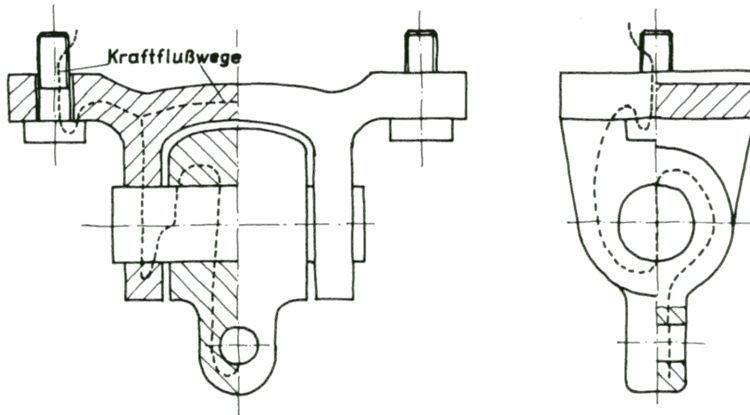
**Bild 6.4** Zusammenbau berücksichtigen (nach Bachmann, Lohkamp, Strobl)



### 2.1.3 Kraftfluss und Beanspruchungen berücksichtigen

- Anstreben kurzer direkter Wege von einer Krafteinleitungsstelle zur anderen, Umwege ergeben unnötige Biegung! Durch diese Maßnahme ergeben sich steife und kleine Konstruktionen. Steife Konstruktionen mit direkten Kraftleitungswegen sind besonders dann erforderlich, wenn unvermeidbare Schwingungen klein zu halten sind.
- Vermeiden scharfer Kraftumlenkungen und schroffer Querschnittsänderungen wegen Kerbwirkung.
- Versuchen, alle Querschnitte gleich hoch zu beanspruchen, d. h. Bauteile gleicher Festigkeit anstreben. Dadurch ergibt sich bei kleiner Baugröße eine gute Werkstoffausnutzung.

Diese Gesichtspunkte sind in folgender Skizze (Bild 6.5) berücksichtigt.

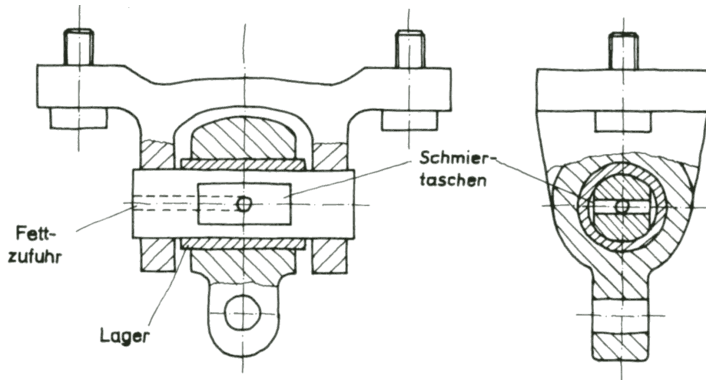


**Bild 6.5** Kraftfluss und Beanspruchung beachten (nach Bachmann, Lohkamp, Strobl)

### 2.1.4 Reibungs- und verschleißmindernde Gesichtspunkte

- Feststellen von Gleit- und Verschleißstellen
- Treffen von Maßnahmen, um Reibung, Erwärmung, Verschleiß und Reibbeanspruchung zu vermindern; z. B. geschmierte Lager vorsehen. Wo sich Verschleiß nicht vermeiden lässt, für Austauschmöglichkeit der Verschleißteile sorgen.
- Wählen der Schmierung nach Ort und Art: Schmierstoffe, Schmiereinrichtungen. Dabei die Zugänglichkeit der Schmierstellen, evtl. nötige Abdichtungen, Kontrollmöglichkeit, Wartung und Entlüftung beachten.
- Korrosionsschutzmaßnahmen wie Anstriche, Verzinken, Beschichten usw. gehören auch zu den verschleißmindernden Gesichtspunkten.

Zur Verminderung des Verschleißes wurde eine Gleitbuchse (Gleitlager) vorgesehen und im Bild 6.6 eingezeichnet.



**Bild 6.6** Lager und Schmierung beachten (nach *Bachmann, Lohkamp, Strobl*)

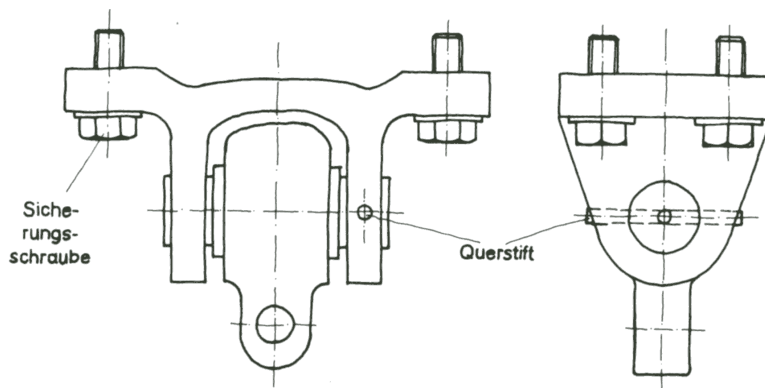
### 2.1.5 Analyse des Grobentwurfs

- Suchen nach Schwachstellen, indem überprüft wird, ob alle Anforderungen der Anforderungsliste erfüllt sind.
- Beachten, dass Stand und Regeln der Technik eingehalten werden.

Die Darstellung im Bild 6.6 unter 2.1.4 lässt folgende Schwachstellen erkennen:

- Zwei Anschlussschrauben stützen beim Pendeln nicht genügend ab.
- Aus Sicherheitsgründen sollten die Befestigungsschrauben gesichert sein.
- Aus Sicherheitsgründen und wegen des Auswechselns sollte der Lagerbolzen nicht nur mit einem Presssitz, sondern formschlüssig gesichert sein (siehe Anforderung Nr.11).

Die Beachtung der Schwachstellen und der genannten Gesichtspunkte ergibt einen geänderten, jedoch noch nicht bemaßten Entwurf im Bild 6.7.



**Bild 6.7** Entwurfsvariante mit Verbesserungen (nach *Bachmann, Lohkamp, Strobl*)

## 2.2 Feingestalten

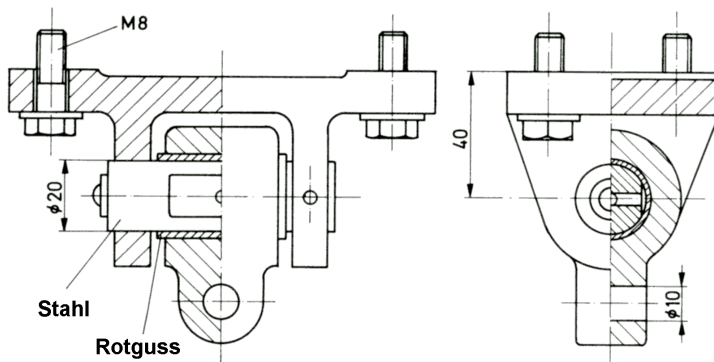
Der Grobentwurf erfüllt nun die Anforderungen der Anforderungsliste, aber auf die Abmessungen wurde bisher noch nicht systematisch geachtet. Ziel des Feingestaltens ist es nun, einen maßstäblichen Entwurf unter Beachtung der Anforderungen der Aufgabenstellung zu erstellen.

### 2.2.1 Dimensionieren

- Treffen von Lastannahmen. Darunter ist das Ermitteln der erforderlichen Daten (z. B. Maße, Leistungen, Belastungen, Drehzahlen usw.) zu verstehen unter Beachtung zeitlicher Änderungen (z. B. Beschleunigungskräfte).
- Wählen der Werkstoffe unter Beachtung der im Betrieb vorhandenen Werkstoffe und Halbzeuge.
- Berechnungen durchführen. Je nach den Anforderungen auf Tragfähigkeit (Spannungen, Verformungen), Erwärmung, Lebensdauer usw. Abschätzen, ob der Berechnungsaufwand und die erzielte Genauigkeit im richtigen Verhältnis zu den Ergebnissen stehen.
- Wählen der Hauptabmessungen, Querschnitte und Formen der Bauteile. Hierbei schon an die Herstellung, vorhandene Fertigungsmöglichkeiten und an die Normung denken.

Diese Teilschritte sind oft zur Entwurfsverbesserung ganz oder teilweise zu wiederholen, also auch ein Iterationsvorgang: Entwerfen und Verwerfen.

Das Aufzeichnen des Entwurfs sollte jetzt zur besseren Vorstellung der Abmessungen im Maßstab 1:1 erfolgen. Im Entwurf in Bild 6.8 sind nur wenige Maße eingetragen.



**Bild 6.8** Maßstäblich gezeichneter Entwurf (nach *Bachmann, Lohkamp, Strobl*)

### 2.2.2 Fertigungs- und montagegerechtes Gestalten

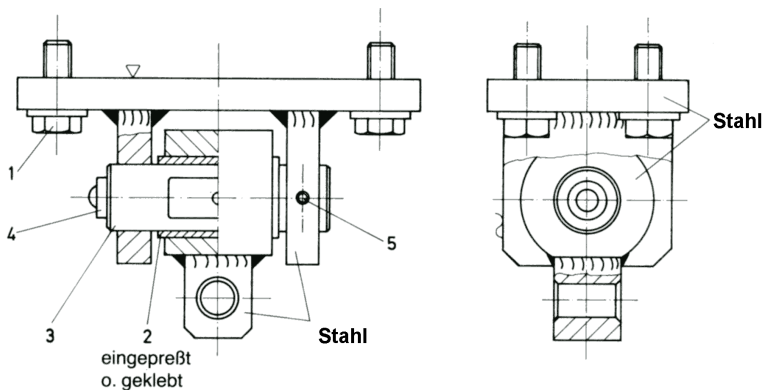
Für die maßstäblich zu erstellenden Zeichnungen sind viele Gesichtspunkte zu beachten, insbesondere:

- Feststellen, welche Bauteile oder Baugruppen gefertigt werden müssen, welche im Betrieb vorhanden sind (Werknormen beachten) und welche kostengünstig zugekauft werden können (z. B. Normteile, Maschinenelemente). Bei Verwendung von Kaufteilen

müssen die Herstellerangaben nach Katalogen sowie Termine und Kosten sorgfältig beachtet werden.

- Wählen der Fertigungsverfahren für die Bauteilherstellung unter Beachtung der Stückzahlen, der Werkstoffart, der erforderlichen Maß- und Formgenauigkeit sowie der vorhandenen Fertigungseinrichtungen in Zusammenarbeit mit der Arbeitsvorbereitung.
- Oberflächenbehandlung (z. B. Härten) und Oberflächenbearbeitung, Toleranzen und Passungen nur dort vorsehen, wo sie aufgrund der Funktion wirklich erforderlich sind.
- Montagegerechtes Gestalten bedeutet auch, an Transport, Verpackung und Aufstellen am Bestimmungsort zu denken.

Der unter Berücksichtigung von Fertigung und Montage geänderte Entwurf wurde wegen der geringen Stückzahl als Schweißkonstruktion gewählt (Anforderung Nr. 8, Bild 6.9).



Zukaufteile: 1 Sicherungsschrauben, 2 Lagerbuchse eingeklebt, 3 Lagerbolzen, 4 Schmiernippel DIN 3402, 5 Spannstift DIN 1481. Wegen der besseren Übersicht ohne Maßeintragung.

**Bild 6.9** Berücksichtigung von Fertigung und Montage (nach *Bachmann, Lohkamp, Strobl*)

### 2.2.3 Bewertung der Entwürfe

Im Entwurfsstadium ist eine Bewertung erforderlich, um zu erkennen, ob eine weitere Bearbeitung ein erfolgreiches Produkt ergibt, welche Entwürfe nicht weiter verfolgt werden sollen und welche Verbesserungen notwendig sind. Die Bewertung kann nach der VDI-Richtlinie 2225 durchgeführt werden. Vereinfacht kann nur mit einer Begründung der Vor- und Nachteile mehrerer Entwürfe eine Entwurfsauswahl stattfinden. Da für das vorgestellte Beispiel schon während der Entwurfsarbeiten alle wichtigen Punkte vergleichend geklärt wurden und nur ein Entwurf gezeichnet wurde, soll hier keine Bewertung durchgeführt werden.

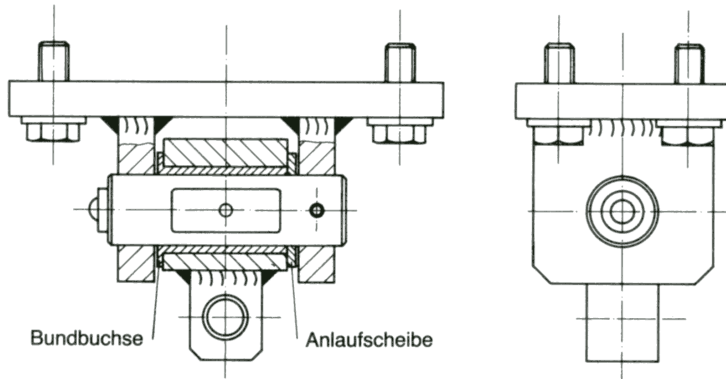
### 2.2.4 Beseitigen der Schwachstellen

Die bei der Bewertung festgestellten Schwachstellen werden beseitigt durch:

- Ändern des Entwurfs unter Berücksichtigung aller vorgenannten Punkte, d. h. Ändern der Gestalt und/oder des Lösungsprinzips mit dem Ziel, eine bessere Konstruktion zu erreichen.

- Festlegung und Änderung besonders sorgfältig zu gestaltender Bereiche, wie z. B. Verbindungs-, Kraftübertragungs-, Lager- und Kerbstellen.

Der neu aufgezeichnete, so genannte bereinigte Entwurf der gelenkigen Aufhängung enthält in Bild 6.10 eine Bundbuchse und Anlaufscheiben statt der glatten Buchse. Die Maße wurden wegen der besseren Übersichtlichkeit weggelassen.



**Bild 6.10** Bereinigter Entwurf (nach *Bachmann, Lohkamp, Strobl*)

### 6.3.2 Entwerfen mit 3D-CAD/CAM-Systemen

Der Einsatz von Rechnern zum Entwerfen in der Konstruktion hat für einige Arbeitsschritte das Vorgehen verändert. Für die Aufgabenstellung „Gelenkige Aufhängung“ soll dies im Vergleich erläutert werden. Das Erstellen einer Anforderungsliste ist mit einem CAD-System nicht sinnvoll und wird deshalb mit einem PC durchgeführt.

Das **Grobgestalten** erfolgt durch Nachdenken und mit Freihandskizzen auf Papier, da CAD-Systeme diesen Arbeitsschritt noch nicht unterstützen. Das bedeutet, dass alle Überlegungen, die als Unterpunkte beim Grobgestalten beschrieben wurden, auch beim rechnerunterstützten Konstruieren erforderlich sind, bevor der Rechner eingeschaltet wird. Der Konstrukteur geht also in der Regel mit Freihandskizzen an den CAD-Arbeitsplatz und skizziert Einzelteile mit den wichtigsten Geometrieelementen, die für die Funktionserfüllung notwendig sind. Diese **Funktionsteile** werden als CAD-Modelle gespeichert und anschließend nach den Regeln des eingesetzten Systems zu Baugruppen zusammengesetzt. Dabei ist natürlich unbedingt zu beachten, dass alle Einzelteile so anzuordnen sind, dass jederzeit jedes Teil entfernt und durch ein anderes ersetzbar sein muss. Dieser Zustand ergibt sich z. B. bei erforderlichen Verbesserungen oder dem Einsatz von Wiederholteilen, die schon aus anderen Konstruktionen bekannt sind. In den CAD-Systemen sind für diesen Vorgang unterschiedliche Regeln einzuhalten. Bei einigen Systemen wird vor dem Zusammenbau ein Modell, ein sog. Skelettmodell, erzeugt, das nur aus Bezugs Ebenen, Bezugsachsen oder Bezugspunkten besteht, auf die alle Teile zu referenzieren sind. Der Vorteil besteht dann darin, dass jedes Teil entfernt werden kann, ohne das andere davon abhängige Teile mit gelöscht werden. Weitere Hinweise enthält Kapitel 9.