

HANSER

Klaus-J. Conrad

Grundlagen der Konstruktionslehre

Methoden und Beispiele für den Maschinenbau

ISBN-10: 3-446-41408-8

ISBN-13: 978-3-446-41408-2

Vorwort

Weitere Informationen oder Bestellungen unter
<http://www.hanser.de/978-3-446-41408-2>
sowie im Buchhandel.

Vorwort

Die vierte Auflage dieses bewährten Lehrbuchs wurde gründlich überarbeitet und um zusätzliche Themen erweitert. Diese ergaben sich aus den Erfahrungen, die bei der Benutzung im Lehrbetrieb mit Studierenden gesammelt wurden. Insbesondere die kritischen Fragen von Studentinnen und Studenten der Fachhochschule Hannover sorgten für so manche Verbesserung. Auch die vielen guten Hinweise und Anregungen der Fachkollegen, die eine Stellungnahme zu diesem Buch abgegeben haben, konnten fast alle berücksichtigt werden. Für diese Unterstützung möchte ich mich besonders bedanken.

Die Überarbeitung bedeutete, einige Themen umfangreicher zu erklären, einiges zu streichen und bestimmte Abschnitte an geeigneteren Stellen anzuordnen, um damit oft gestellte Fragen zu beantworten. Dazu gehört auch, dass viele Hinweise aus den Grundlagenfächern noch einmal zusammengefasst genannt werden. Der Einstieg erfolgt mit einem Vergleich der Tätigkeiten der Konstruktionsübungen mit denen des methodischen Konstruierens. Die Grundlagen und eine Übersicht zur Werkstoffauswahl und zum Einsatz von Maschinenelementen sind in Form von Informationsblättern enthalten. Die beiden neuen Kapitel wurden hinter den Übungsaufgaben eingefügt. Diese Ergänzungen haben sich als notwendig erwiesen, weil die Kenntnisse dieser Basisbereiche des Konstruierens nicht ausreichend vorhanden sind, um die Übungsaufgaben zu lösen.

Als Hilfsmittel wurde die Wissensbasis eingeführt. Eine Wissensbasis enthält das notwendige Wissen und die Fähigkeiten, um das im Kern angegebene Thema umfassend zu behandeln. Der Leser wird damit noch einmal darauf hingewiesen, welche Kenntnisse für das Verständnis und das selbständige Bearbeiten des jeweils angegebenen Themas notwendig sind.

Die Erweiterungen betreffen insbesondere die Aufnahme der Methode Mind Mapping für konstruktive Aufgaben, eine Klärung der Themen Kreativität und Intuition sowie der Grundlagen der Bionik und der Mechatronik zum Entwickeln von Lösungen. Diese Fachgebiete werden für die Entwicklung von Produkten heute immer häufiger eingesetzt und gehören damit zum notwendigen Wissen eines Konstrukteurs.

Die Anzahl der Übungsaufgaben mit den Lösungen wurde verdoppelt. Auch für die neuen Themen sind Beispiele und Übungen vorhanden. Einige Bereiche der bewährten Themen erhielten zusätzliche Übungsaufgaben. Die Kenntnisfragen wurden entsprechend angepasst und erweitert, sodass für das Nacharbeiten des Stoffs alles vorhanden ist.

Die bewährte Gliederung wurde beibehalten, aber an einigen Stellen so angepasst, dass die Themen der Abschnitte im Inhaltsverzeichnis besser zu finden sind. Außerdem hat jedes Kapitel jetzt eine Zusammenfassung. Das Durcharbeiten kann damit unterschiedlich erfolgen. Leser mit Vorkenntnissen sind nach dem Nachschlagen und Lesen der Zusammenfassung soweit informiert, dass sie nur die Kapitel durcharbeiten, die von Interesse sind. Andere Leser schauen sich nur die vier Konstruktionsphasen an und lösen die Übungsaufgaben.

Das Arbeiten mit diesem Buch setzt Kenntnisse voraus, die insbesondere in den Fachgebieten Technisches Zeichnen, Normung und Maschinenelemente als Handwerkszeug für Konstrukteure vermittelt werden. Auch das Rechnerunterstützte Konstruieren ist nur mit diesem Wissen möglich. Es wird eine systematische Lösungsentwicklung vorgestellt, zu der natürlich auch Kreativitätsmethoden und der Einsatz von Rechnern gehören.

Die praxisgerechte Behandlung des Stoffes ist durch die jahrelangen Erfahrungen des Verfassers in der Werkzeugmaschinenkonstruktion, durch viele Diplomarbeiten und Projekte in Unternehmen sowie sehr umfangreiche Erfahrungen in der Lehre mit Studierenden des Maschinenbaus an der Fachhochschule Hannover gewährleistet.

Die Behandlung der vier Konstruktionsphasen erfolgt nach den bewährten Regeln und Richtlinien mit einigen neuen Hilfsmitteln, die aus den praktischen Anwendungen entwickelt wurden. Die besondere Bedeutung der Stücklisten, der Nummernsysteme, der Sachmerkmale, der Kosten und der Qualitätssicherung während der Produktentwicklung wird beschrieben und mit Beispielen erklärt.

Das wesentliche Ziel dieses Buches ist die Vermittlung einer systematischen und methodischen Arbeitsweise in einem Umfang, die es jedem Konstrukteur ermöglicht, seinen persönlichen Arbeitsstil zu entwickeln oder zu verbessern. Damit ist es sowohl für Studierende in der Ingenieurausbildung an Fachhochschulen und Universitäten, als auch für Konstrukteure in der Wirtschaft sinnvoll nutzbar.

Das Lehrbuch wurde selbstverständlich für Konstrukteurinnen und für Konstrukteure geschrieben. Wegen der Übersichtlichkeit wurde auf Doppelangaben im Text verzichtet.

Über Anregungen, Hinweise und Stellungnahmen zur Verbesserung des Lehrbuchs würde ich mich sehr freuen.

Mein Dank gilt den Verfassern der Fachliteratur zu diesem Thema, von denen ich viele bewährte Anregungen übernehmen konnte. Insbesondere möchte ich mich bei Herrn Prof. Dr.-Ing. *Ehrlenspiel* bedanken, von dem ich an der Universität Hannover das Methodische Konstruieren gelernt habe. Die Ergebnisse seiner wissenschaftlichen Arbeiten werden besonders häufig zitiert. Herrn Dr. *Bünting* vom VDMA danke ich für das bereitwillig zur Verfügung gestellte Bildmaterial über Kennzahlen. Für die gute Unterstützung bedanke ich mich bei Herrn *Jochen Horn* vom Carl Hanser Verlag. Weiterhin bedanke ich mich bei meinen Mitarbeitern im Labor Fertigungsautomatisierung der Fachhochschule Hannover für die Hilfe bei der EDV-technischen Aufbereitung der Bilder und Texte sowie für viele gute Hinweise.

Mein besonderer Dank gilt meiner Frau *Marlies* und meiner Tochter *Cathrin* für Verständnis, Geduld und Zeit, die eine neue Auflage erfordert.

HANSER

Klaus-J. Conrad

Grundlagen der Konstruktionslehre

Methoden und Beispiele für den Maschinenbau

ISBN-10: 3-446-41408-8

ISBN-13: 978-3-446-41408-2

Leseprobe

Weitere Informationen oder Bestellungen unter

<http://www.hanser.de/978-3-446-41408-2>

sowie im Buchhandel.

3 Integrierte Produktentwicklung

In den Unternehmen hat sich in den letzten Jahren die Erfahrung durchgesetzt, dass neue Produkte nicht nur in der Entwicklungsabteilung entstehen, sondern in der Regel durch einen umfassenden Prozess.

Integrierte Produktentwicklung bedeutet, das Produkt und die produktspezifischen Prozesse als ein übergeordnetes Ganzes zu betrachten, in dem die Entwicklung erfolgt.

Zu den produktspezifischen Prozessen gehören die Prozesse der Bereiche Entwicklung, Konstruktion, Marketing, Produktion, Logistik, Einkauf usw. Durch die Verzahnung dieser Prozesse wird sichergestellt, dass die Gestaltung eines neuen Produkts stets abgestimmt zu realisieren ist. Mit dieser Vorgehensweise wird erreicht, dass ein neues Produkt von Anfang an so geplant wird, dass alle folgenden Maßnahmen und Tätigkeiten im Unternehmen beachtet werden. Die Entwicklungsaktivitäten enden nicht nach Abschluss der Arbeiten durch das Konstruktionsbüro, sondern erst wenn das neue Produkt erfolgreich am Markt und bei den Kunden ist.

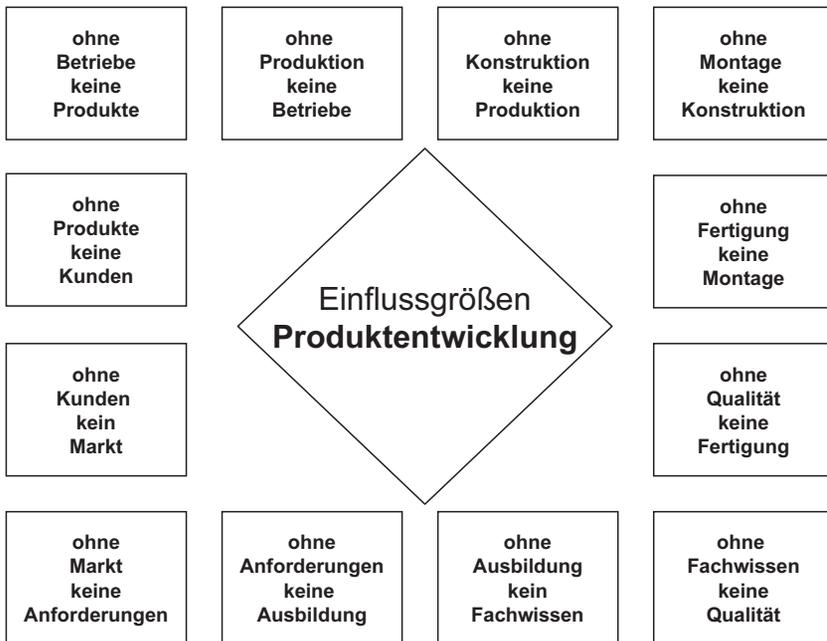


Bild 3.1: Wissensbasis für die Einflussgrößen auf die Produktentwicklung

Die im Bild 3.1 genannten Abhängigkeiten nennen vereinfacht wichtige Größen als Wissensbasis für die Produktentwicklung. Ausgehend von den erforderlichen Betrieben erge-

ben sich zwei Folgeketten, je nach dem in welcher Reihenfolge gelesen wird. Damit soll die Bedeutung des notwendigen Zusammenwirkens der Bereiche gezeigt werden.

Beispiel Entwicklung einer neuen Werkzeugmaschine: Die integrierte Produktentwicklung wird mit Informationen des Vertriebs, der Kundenwünsche und der technologischen Entwicklung beschlossen. In Gesprächen mit der Produktentwicklung wird eine Anforderungsliste erstellt und ein Konzept erarbeitet. Während der Entwicklung finden Abstimmungsgespräche mit den o. g. Abteilungen im Unternehmen statt. Es sind Versuche durchzuführen und regelmäßige Fortschrittsgespräche mit den Abteilungen Arbeitsvorbereitung, Fertigung und Montage sowie dem Einkauf, der Logistik und dem Controlling. Nach der Fertigungsfreigabe übernehmen die Entwickler durch engen Kontakt mit Fertigung und Montage die Betreuung, um erforderliche Änderungen und Verbesserungen sofort zu erfassen. Nach und während der Herstellung des Prototypen wird durch Versuche sichergestellt, dass die Anforderungen an das neue Produkt erfüllt sind. Vor der Auslieferung sind Praxistests mit ausgesuchten Kunden üblich, bevor die neue Werkzeugmaschine der Öffentlichkeit präsentiert wird.

3.1 Der Entwicklungsprozess

Der Entwicklungsprozess von Produkten verläuft heute nach Erfahrungen, die mit der integrierten Produktentwicklung gemacht wurden. Vereinfacht bedeutet das folgenden Ablauf umzusetzen.

Die Anforderungen der Kunden und aus dem Unternehmen an neue Produkte und die erforderlichen Prozesse sind als erstes vollständig zu erfassen. Anschließend erfolgt eine Bewertung, um zu erkennen wie eine effektive Realisierung möglich ist. In der Regel wird danach das Erfolgspotenzial des geplanten Produktes ermittelt, um anhand der vorliegenden Informationen zu entscheiden, ob die Realisierung erfolversprechend ist.

Der dritte Schritt besteht aus der Umsetzung aller Aufgaben, die erforderlich sind, um die Ziele der Entwicklung systematisch und effizient zu erreichen. So sind z. B. für die Realisierung der Funktionen des neuen Produkts geeignete Lösungen zu entwickeln oder als Zulieferkomponenten vorzusehen, es ist eine entwicklungsbegleitende Herstellkostenberechnung erforderlich, um die Zielkosten nicht zu überschreiten oder zu entscheiden in welchem Umfang Berechnungen und Versuche erforderlich sind. Nach diesem Ablauf ist das geplante Produkt in der Regel termingerecht in der geforderten Qualität und zu den vorgesehenen Kosten am Markt eingeführt.

Der *Entwicklungsprozess* erfordert folgende Arbeitsschritte nach *Schäppi u. a.*:

- Ideen für neue Produkte entwickeln
- Anforderungen an die neuen Produkte und erforderlichen Prozesse erfassen und bewerten
- Ziele und Ablaufplan für die Produktionsphasen aufstellen
- Technische Entwicklung des Produkts und der produktspezifischen Prozesse

- Produkt und Prozesse testen, um festzustellen, ob die Anforderungen erfüllt sind
- Produktions- und Vertriebsprozesse für das neue Produkt entwickeln

Dieses Vorgehen ist geeignet, um die integrierte Produktentwicklung erfolgreich umzusetzen. Umfangreiche Hinweise zur integrierten Produktentwicklung enthält *Ehrlenspiel*.

Dieser ideale Ablauf ist in der Praxis natürlich nicht so einfach wie hier dargestellt, weil noch viele Randbedingungen, Unsicherheiten, unbekannte Probleme, technologische Schwierigkeiten, umfangreiche Versuche, Erfüllung von Vorschriften, usw. auftreten können, die natürlich gelöst werden müssen.

Beispiele für Randbedingungen, Unsicherheiten und unbekannte Probleme sind Eigenschaften am Einsatzort der verschiedenen Kunden, Geräuschverhalten im Betriebszustand, Koppelung oder Vernetzung mit anderen Produkten über geeignete Schnittstellen, Verhalten der Werkstoffpaarungen oder Qualifikation der Bediener.

Aus Erfahrungen ist bekannt, dass viele Produktentwicklungen nicht erfolgreich verlaufen, weil die Phase der Definition und Planung eines neuen Produkts nicht gründlich genug durchgeführt wird. Es mangelt oft an erfolgreicher Marktanalyse, um die Anforderungen der Kunden und des Marktes genau zu ermitteln. Eine unternehmensorientierte grobe Informationsbeschaffung ist allein nicht mehr ausreichend. Ein weiterer Punkt sind fehlende oder unzureichend erstellte Businesspläne, d. h., es fehlen Erfolgsziele.

Unvollständige Produkthanforderungen können z. B. auch dadurch entstehen, dass die Entwicklung allein oder nur das Marketing aktiv werden und ohne Abstimmung neue Produktentwicklungen vorschlagen. Vor der umfassenden Klärung der Anforderungen und der Erfolgskriterien sollte deshalb nicht mit der technischen Produktrealisierung begonnen werden.

Die Phase der Definition und Planung sollte weitestgehend abgeschlossen sein, um zu verhindern, dass im **Produktionsprozess Probleme** oder Schwierigkeiten auftreten. Beispiele solcher Probleme enthält folgende Aufstellung nach *Schäppi u. a.*:

- Änderung des Produktkonzepts wegen fehlender technischer Realisierbarkeit
- Kosten überschreiten die geplanten Werte
- Produkteinführung ohne ausgereiftes Marketingkonzept
- Kundenforderungen an das Produkt wurden bei der Entwicklung nicht eingehalten
- Produkteinsatz beim Kunden zeigt nicht die geforderten Eigenschaften
- Produktionsprozesse erreichen nicht die geforderte Qualität, weil Vorbereitung und Abstimmung sehr viel Zeit beanspruchen

Die Realisierung der Produkte und der produktspezifischen Prozesse setzt voraus, dass ein genehmigter Businessplan vorliegt. Ein Businessplan enthält nach *Schäppi u. a.* alle Informationen über den Markt für das neue Produkt, also

- die Produkthanforderungen,
- die Produkteigenschaften,

- die Wettbewerbssituation,
- die Marktstrategie und
- die technischen Anforderungen an das Unternehmen (Prozesse, Ressourcen, Zeitbedarf usw.)

Der **Businessplan** enthält alle Informationen und Daten, die erforderlich sind als Grundlage für Entscheidungen über Produktideen, Produktionsplanungen sowie Entwicklung von geschäftlichen Aktivitäten, Geschäftsideen oder Projekten.

Das Vorgehen ergibt sich dann durch ein wechselseitiges, abgestimmtes Abarbeiten der Aufgaben, die nicht mehr alle nacheinander erfolgen, sondern zum Teil auch zeitparallel bzw. überlappend durchzuführen sind.

Integrierte Produktentwicklung mit teilweiser zeitparalleler Arbeitsweise erfolgt im Projektteam, berücksichtigt alle produktspezifischen Prozesse und sorgt für eine abgestimmte Entwicklung. Vorausgesetzt werden natürlich fachliche Kompetenz der Mitarbeiter und entsprechende Erfahrungen im Unternehmen, je nach Typ und Komplexität der Produkte. Obwohl die Methoden des Projektmanagements bekannt sind, treten in der Praxis immer noch Probleme auf, insbesondere zeitliche Verzögerungen und Kollisionen von Terminen.

Der **Prozess der Produktentwicklung** sollte alle Möglichkeiten nutzen, um Funktionen und Qualität der Teile und Baugruppen von neuen Produkten früh im Versuch zu testen, was durch eine Versuchsplanung erkannt wird. Dadurch lassen sich Mängel rechtzeitig erkennen und abstellen. Dies gilt insbesondere auch für spezielle Kundenforderungen, wie z. B. die Einhaltung bestimmter Grenzwerte für lärmarme Produkte. Falls erforderlich, sind klärende Gespräche mit dem Kunden zu führen. Sollten sich im Entwicklungsprozess nicht lösbare Probleme ergeben, ist die Entscheidung eine Entwicklung abzubrechen stets besser, als ein Produkt auf den Markt zu bringen, das die Anforderungen nicht erfüllt.

Zu den **Testmethoden** gehören heute natürlich auch die rechnergestützten Verfahren. Zur Herstellung von Produktmustern ist z. B. das Rapid Prototyping bekannt, also das schichtweise Aufbauen eines Teils aus 3D-CAD-Daten. Durch entsprechend umfangreiche Simulationsprogramme können fast alle Entwicklungsaufgaben am Rechner digital erstellt werden (Digital Mock Up). Die virtuelle Produktentwicklung, mit aufwendigen Programmen, ist heute ebenfalls Stand der Technik und wird insbesondere für die Serienproduktion eingesetzt. Erfahrungen zeigen jedoch, dass trotz aller digitaler Simulationsverfahren und Rechnerprogramme, mit vielen Vorteilen für die Produktentwicklung, die physikalischen Tests am realen Prototypen der neuen Produkte noch nicht zu ersetzen sind.

Entsprechend ist der **Konstruktionsprozess** zu sehen: Konstrukteure müssen ihre Tätigkeiten als Teil des Prozesses der integrierten Produktentwicklung sehen und in Prozessen denken. Dies gilt insbesondere dann, wenn Entwicklung und Konstruktion unterschiedliche Abteilungen in einem Betrieb sind. Dann ist die Konstruktion hauptsächlich für die Abwicklung von Kundenaufträgen zuständig, während die Entwicklung für neue Produkte verantwortlich ist. Die wesentlichen Tätigkeiten sind als Abläufe dargestellt, wobei die

Lösung von Teilaufgaben durch Systembetrachtungen, Methoden und Informationsumsetzung unterstützt werden. Diese bereits im vorherigen Kapitel behandelten Grundlagen sollten den Konstrukteuren bekannt sein, da sie die konstruktive Arbeit beeinflussen. Damit dies sinnvoll realisierbar ist, muss daraus ein allgemein anwendbares methodisches Vorgehen erarbeitet werden, das in allen Bereichen der Konstruktion eingesetzt werden kann, unabhängig von der Art des Produkts und den Aufgaben. Da in der Praxis nur Methoden angenommen und eingesetzt werden, die für die jeweilige Aufgabe und für den jeweiligen Arbeitsschritt am wirksamsten sind, sollen hier auch nur schwerpunktmäßig diese Methoden und Hilfsmittel als Auswahl vorgestellt werden.

3.2 Der Lösungsprozess

Das Lösen von Aufgaben ist von der Schule und aus dem täglichen Leben eigentlich ausreichend bekannt, da abhängig von Art und Umfang der Aufgaben im Laufe der Zeit eine gewisse Vorgehensweise eingeübt und angewendet wird. Durch umfangreiche Untersuchungen haben sich die Erkenntnisse zu einem Grundschema verdichtet, das in der Regel unbewusst gedanklich abläuft. Erst bei Schwierigkeiten oder neuen Aufgaben, wie der Anwendung dieser Vorgehensweise auf den Konstruktionsprozess, wird der **Lösungsprozess** wieder interessant.

Die Arbeitsweise beim Lösen von konstruktiven Aufgaben besteht darin, zu analysieren was durch die Aufgabenstellung gegeben ist, und anschließend durch eine Synthese die bekannten Lösungselemente schrittweise einzusetzen, um eine Lösung für die Aufgabe festzulegen. Nach jeder Teillösung muss entschieden werden, ob das Teilergebnis sinnvoll ist und weitergearbeitet werden soll, oder ob eine Überprüfung erforderlich ist. Diese Gliederung in Arbeits- und Entscheidungsschritte stellt sicher, dass der notwendige Zusammenhang zwischen den Zielen der Aufgabe, der Planung, der Durchführung und der Prüfung der Ergebnisse besteht. Vor der Übernahme des Ergebnisses als Lösung der Aufgabe ist noch einmal zu klären, ob diese Lösung plausibel und wirtschaftlich realisierbar ist. Die grundsätzliche Vorgehensweise lässt sich als Grundschema für den Lösungsprozess in Form eines Ablaufs darstellen und ist dem Bild 3.2 zu entnehmen, das in Anlehnung an *Pahl/Beitz* erläutert wird.

- Jede Aufgabe bewirkt zunächst eine Konfrontation, eine Gegenüberstellung von Problemen und bekannten oder (noch) nicht bekannten Realisierungsmöglichkeiten. Die Stärke der Konfrontation hängt ab von Wissen, Können und Erfahrung des Konstrukteurs.
- Informationen beschaffen über die nähere Aufgabenstellung, Bedingungen, Lösungsprinzipien und bekannte ähnliche Lösungen sind nützlich. (Abschwächung der Konfrontation, Erhöhung der Motivation)
- Erkennen des wesentlichen Aufgabenkerns ermöglicht Ziele festzulegen und die wesentlichen Bedingungen zu beschreiben. (Abstrahierende Definition öffnet denkbare Lösungswege).
- Entwickeln der Lösungsideen nach verschiedenen Methoden als kreative Phase, um durch Kombinieren und Anpassen an Randbedingungen gute Lösungen zu entwickeln.

- Eine Beurteilung wird erforderlich, wenn mehrere Ergebnisse vorliegen, um festzustellen, wie die Lösungen die Aufgabe erfüllen.
- Die Entscheidung legt die optimale Lösungsvariante fest.

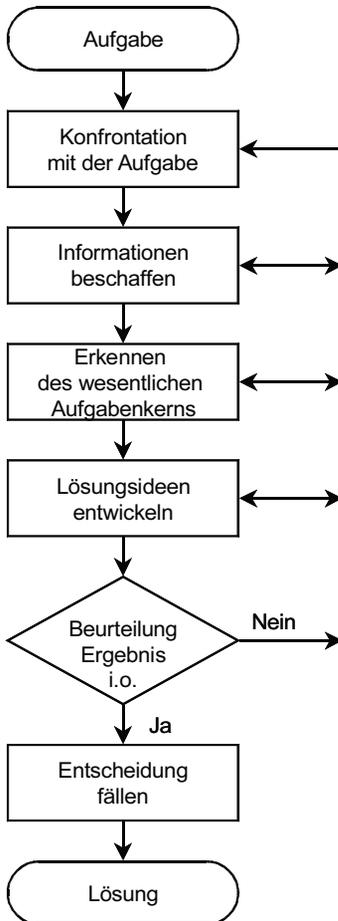


Bild 3.2: Ablauf von Lösungsprozessen

Konstruktionstätigkeiten setzen schrittweise Überlegungen zur Lösungsfindung durch grafische Darstellungen, Auslegungsberechnungen oder Beschreibungen um. Nach der Ausführung wird beurteilt und entschieden, ob das Ergebnis die Anforderungen erfüllt, oder der Arbeitsschritt wiederholt werden muss. Dieser allgemeine *Entscheidungsprozess* kann für jeden Arbeitsschritt beim Lösen von Konstruktionsaufgaben in der im Bild 3.3 angegebenen Form erfolgen. Das Entscheiden, ob ein Ergebnis akzeptiert wird oder nicht, fällt mit zunehmender Erfahrung leichter. Es setzt aber auch das Entscheiden können voraus,

das nicht nur von fachlichen Kenntnissen abhängig ist, sondern von der Bereitschaft des Konstrukteurs, Verantwortung zu übernehmen.

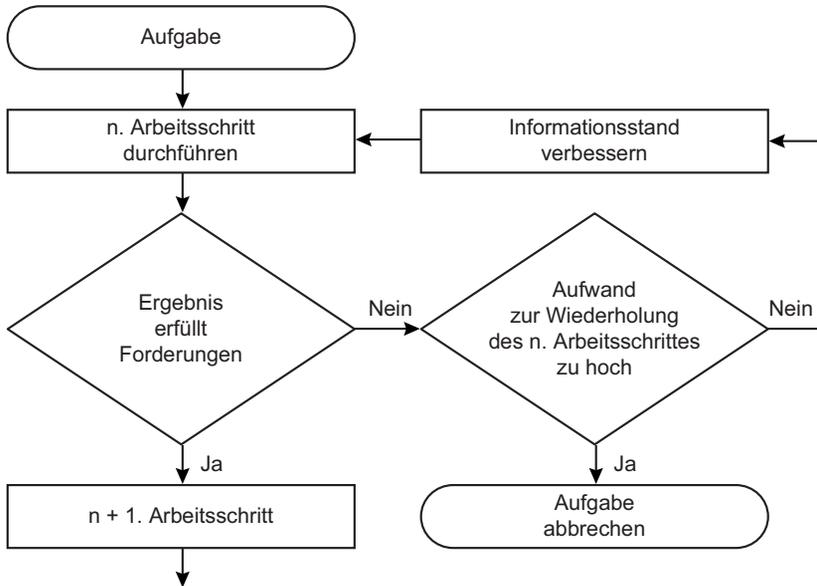


Bild 3.3: Ablauf von Entscheidungsprozessen

Die Verbesserung eines Ergebnisses durch Wiederholung von davor liegenden Arbeitsschritten ist ebenfalls eine Entscheidung, die gut überlegt werden sollte. Im Regelfall wird der Konstrukteur durch erneutes Nachdenken und durch die Beschaffung von zusätzlichen Informationen Lösungen durch Überarbeiten verbessern können. Es zeigt sich leider erst in einer späteren Produktentstehungsphase, ob es nicht besser gewesen wäre, eine Entwicklung abzubrechen, statt durch Selbstüberschätzung und Vertrauen auf die möglichen Leistungen der Folgeabteilungen einfach weiter zu arbeiten.

Der gesamte Ablauf von der Konfrontation über die kreative Lösungsfindung bis zur Entscheidung wiederholt sich mehrfach an den verschiedenen Stellen des Konstruktionsprozesses für ein zu entwickelndes Produkt.

3.3 Bearbeiten von Ingenieuraufgaben

Die Tätigkeit von Ingenieuren hat sich schon immer an einer Vorgehensweise orientiert, die die Verknüpfung von Wissenschaft und Praxis als wesentliches Merkmal hatte. Dabei wurden die Ingenieuraufgaben jemandem zugeordnet, der entsprechend der Übersetzung aus dem Französischen „sinreiche Vorrichtungen baut“ und dafür natürliche Begabung, Erfindungskraft, Genie und Erfahrung mitbringt.

Im Laufe der Jahre wurde mit der Entwicklung der Technik eine etwas differenziertere Betrachtungsweise entwickelt, die Bild 3.4 zeigt.

Die **Lösung von Ingenieuraufgaben** ist gekennzeichnet durch die Verknüpfung von Praxiswissen mit theoretischen Kenntnissen und der schrittweisen Entwicklung von Lösungs-ideen zu Produkten oder Verfahren. Gleichzeitig stellte sich immer häufiger heraus, dass erst durch die Realisierung der theoretischen Lösung in der Praxis und durch Überprüfen der geforderten Ergebnisse die Anforderungen an die Aufgabe als erfüllt bestätigt werden konnten oder nicht. Daraus ergibt sich der wesentliche Kreislauf zwischen Theorie und Praxis, der insbesondere auch für Konstrukteure sehr wichtig ist. Konstrukteure müssen stets das von ihnen entwickelte Produkt in den folgenden Produktentstehungsphasen begutachten, um Erfahrungen in der Praxis zu sammeln. Außerdem ist es sehr erkenntnis-fördernd, wenn sie das entwickelte Produkt im Einsatz beim Kunden beobachten können.

Ingenieuraufgaben

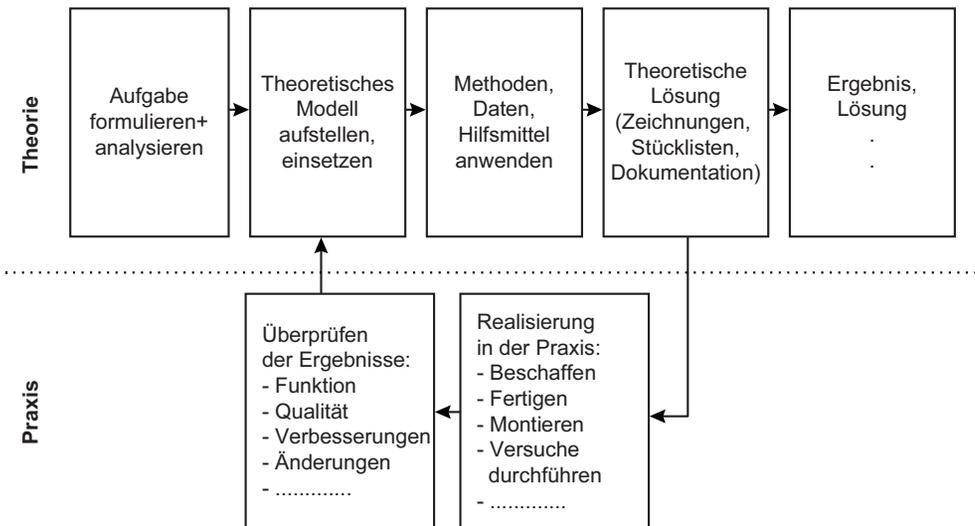


Bild 3.4: Vorgehen beim Bearbeiten von Ingenieuraufgaben

Beispiel: Das Vorgehen soll anhand einer einfachen Aufgabe erläutert werden: Eine Kraft F soll im Abstand L an eine Wand angeschlossen werden, entsprechend der Skizze in Bild 3.5, unter Beachtung der Bedingungen möglichst leicht, möglichst kostengünstig und möglichst verformungsarm.

Jeder Konstrukteur wird sich für die Lösung an die Festigkeitslehre erinnern und an die dort mit Hilfe der Biegetheorie entwickelte Gleichung für die Berechnung der Durchbiegung eines einseitig fest eingespannten Trägers. Um die Bedingungen der Aufgabe zu erfüllen, werden die Größen der Gleichung mit den Forderungen verglichen. Daraus er-

gibt sich die Überlegung, welches Profil für den Träger vorgesehen werden könnte und welche Materialart in Frage kommt. In Abhängigkeit von den Werten für F und L wird ein Profil ausgewählt und die Verformung berechnet. Die Kosten richten sich nach der Profilform und nach der Materialart. Durch mehrere Optimierungsrechnungen wird eine theoretische Lösung gefunden. Nach den auf einer Zeichnung festgelegten Daten wird in der Praxis die Herstellung und die Montage durchgeführt. Damit ist in der Regel die Aufgabe beendet. Bei den genannten Bedingungen ist nur dann eine Überprüfung der Verformung in der Praxis erforderlich, wenn besondere Sicherheitsbedingungen gelten, die sonst eine Gefährdung ergeben könnten, oder wenn der Nachweis der berechneten Verformung verlangt wird.

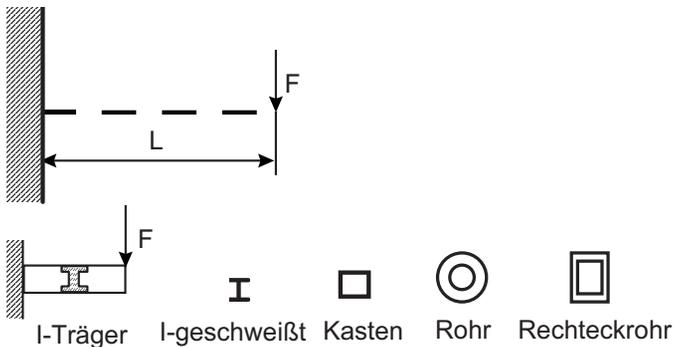


Bild 3.5: Ingenieurfrage „Kraft in eine Wand übertragen“

3.4 Ablauf bei der Lösungssuche

Die Entwicklung der Konstruktionslehre wurde stets durch die Arbeitsweise guter Konstrukteure beeinflusst, indem versucht wurde, möglichst umfangreiche Erkenntnisse über deren Vorgehen beim Entwickeln konstruktiver Lösungen zu erhalten. Während früher erste Konstruktionsregeln aus der Praxis entstanden und als Erfahrungen weiter vermittelt wurden, versucht heute die Konstruktionswissenschaft mit Testverfahren im Konstruktionsbüro gezielter die Denkvorgänge beim Konstruieren zu untersuchen.

Das bekannte Wechselspiel von **Entwerfen und Verwerfen** beim Konstruieren entstand aus der alten Regel von *Irrtenkauf*: „*Has't nicht radiert, has't nicht konstruiert*“. Dieses Darstellen von Lösungsideen durch Bleistift-Entwurfszeichnungen und deren Änderung durch Radieren, weil das technische Gebilde nicht den Vorstellungen entspricht, kennt jeder Konstrukteur. *Ehrlenspiel* hat daraus durch umfangreiche Untersuchungen eine **Strategie der Lösungssuche** entwickelt, deren Ergebnisse hier vorgestellt werden sollen:

Konstrukteure entwickeln erste Lösungen aus dem Gedächtnis und skizzieren diese Ideen Freihand, um sich anschließend mit dieser Darstellung auseinander zusetzen, sie zu analysieren und anzupassen, bevor sie aufgezeichnet wird. Wenn dann Varianten erzeugt werden sollen, empfiehlt die Konstruktionsmethodik bisher, mehrere zunächst gleichberechtigte Lösungen zu suchen und daraus die beste zu wählen. Dieses **generierende Vor-**

gehen bei der Lösungssuche wird jedoch nur zu 20 % der Bearbeitungszeit angewandt (Bild 3.6).

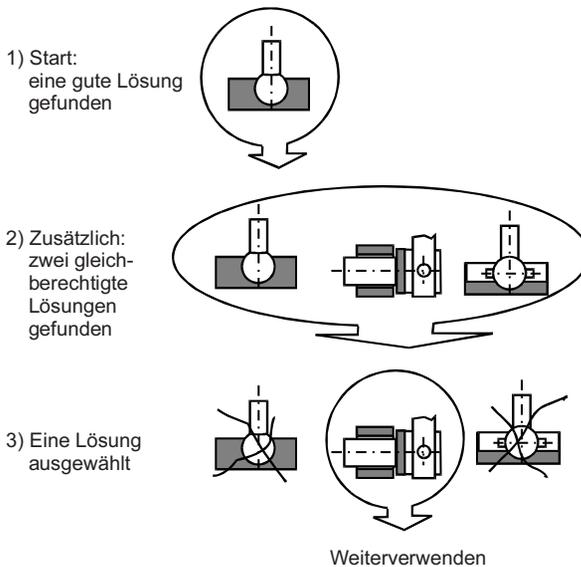


Bild 3.6: Beispiel für generierendes Vorgehen bei der Lösungssuche (nach Ehrlenspiel)

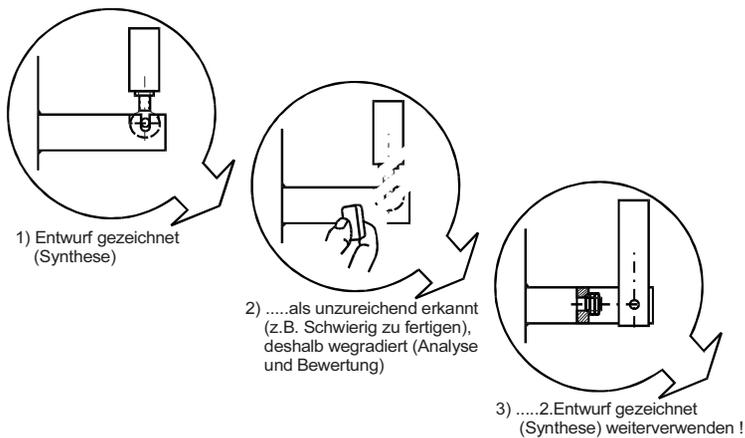


Bild 3.7: Beispiel für korrigierendes Vorgehen bei der Lösungssuche (nach Ehrlenspiel)

In den meisten Fällen (also in den restlichen 80 % der Zeit) wird mit dem **korrigierenden Vorgehen** bei der Lösungssuche zunächst nur eine Lösung angegeben. Diese wird gleich

oder im Verlauf der weiteren Bearbeitung auf Schwachstellen analysiert und entsprechend abgeändert oder ersetzt, wie im Bild 3.7 dargestellt.

In Tabelle 3.1 werden noch einmal die Vorteile und die Nachteile beider Vorgehensweisen gegenübergestellt.

Generierendes Vorgehen	Korrigierendes Vorgehen
Vorteile: <ul style="list-style-type: none"> • führt eher zu neuen, interessanten Lösungen 	Vorteile: <ul style="list-style-type: none"> • geht schneller • weniger geistige Belastung • tieferegehende Analyse möglich • einfachere Austauschbarkeitsprüfung
Nachteile: <ul style="list-style-type: none"> • mehr Erzeugungsaufwand • größere geistige Belastung durch höhere Komplexität und längeres Aushalten in einer ungewissen Lösungssituation • Genauigkeit der Analyse schwieriger • Austauschbarkeitsprüfung aufwendiger 	Nachteile: <ul style="list-style-type: none"> • eher Verharren bei bekannten Lösungen

Tabelle 3.1: Vergleich des generierenden und korrigierenden Vorgehens zur Lösungssuche (nach *Ehrlenspiel*)

Das generierende Vorgehen ist bei der Lösungssuche, dem Konzipieren, gut einzusetzen, weil der Aufwand für die Darstellung noch gering ist bei großer Auswirkung auf die Lösung. Das korrigierende Vorgehen geht schneller und vermindert den Druck, weitere Lösungselemente zu finden. Das gefundene Lösungsprinzip wird jedoch nicht verlassen. Das korrigierende Vorgehen ist deshalb besser beim Gestalten, dem Entwerfen, einzusetzen.

3.5 Arbeitsschritte beim Konstruieren

Der **Konstruktionsprozess** umfasst den Ablauf aller Tätigkeiten unter Beachtung von Methoden und Hilfsmitteln, die zur Konstruktion technischer Produkte geeignet sind. Der Konstruktionsprozess ist produktneutral oder allgemein, wenn er für alle Arten von technischen Produkten gilt, sonst ist es ein produktspezifischer Konstruktionsprozess, der nach Regeln für bestimmte Produktarten abläuft.

Alle wesentlichen Zusammenhänge für die **Methodik beim Konstruieren** sind branchen- und produktunabhängig mit den VDI-Richtlinien 2221 und 2222 erarbeitet worden. Eine allgemein anwendbare Methodik zum Entwickeln und Konstruieren technischer Systeme und Produkte nach der VDI 2221 enthält die Erkenntnisse aus den bereits vorgestellten Grundlagen technischer Systeme, über den Einsatz allgemeiner Arbeitsmethoden und der Informationsverarbeitung.

Der Ablauf aller Tätigkeiten von der Aufgabe bis zur konstruktiven Lösung wird durch die in diesem Abschnitt vorgestellten Abläufe für Teilaufgaben mit den Arbeitsergebnissen und den Konstruktionsphasen in Bild 3.8 dargestellt.

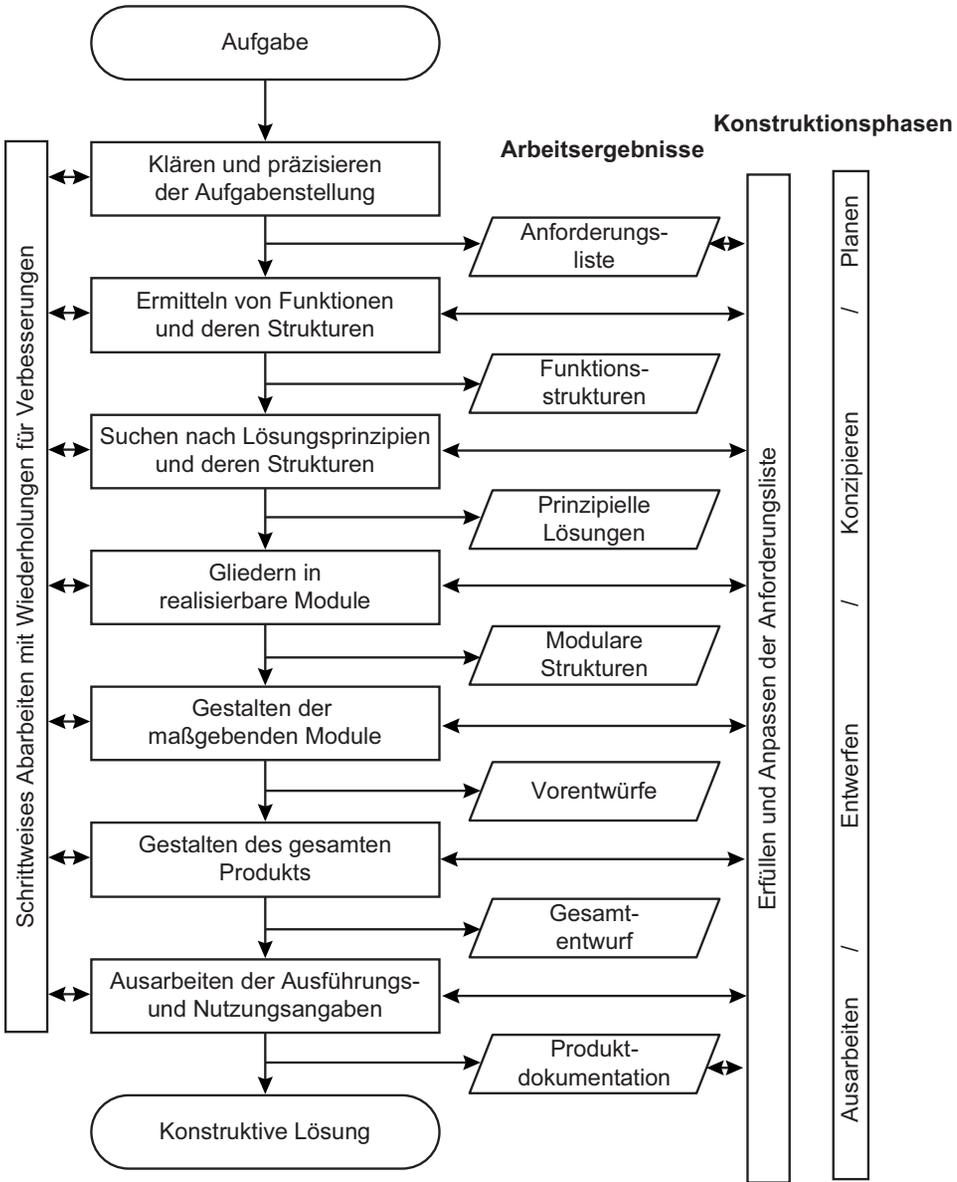


Bild 3.8: Allgemeines Vorgehen beim Entwickeln und Konstruieren (nach VDI 2221)

Vorgehen beim Entwickeln und Konstruieren nach einem Ablaufplan mit Arbeitsschritten:

- Das *Klären und Präzisieren der Aufgabenstellung* umfasst das Zusammenstellen aller Forderungen und Wünsche auf einem Formular als Anforderungsliste.
- Das *Ermitteln der Funktionen und deren Strukturen* erfolgt aus den Anforderungen, um eine lösungsneutrale Aufgabenbeschreibung der wesentlichen Zusammenhänge als Funktionsstruktur zu erhalten.
- Das *Suchen nach Lösungsprinzipien und deren Strukturen* führt über Prinziplösungen für Teilfunktionen durch Kombinieren zu Konzepten oder prinzipiellen Lösungen.
- Das *Gliedern in realisierbare Module* ist eine Aufteilung in kleinere Einheiten des Gesamtsystems. Ein Modul ist eine sich aus mehreren Elementen zusammensetzende Einheit innerhalb eines Gesamtsystems, die ausgetauscht werden kann.
- Das *Gestalten der maßgebenden Module* führt zu Vorentwürfen, aus denen im Maschinenbau bei entsprechendem Umfang Baugruppen festgelegt werden können.
- Das *Gestalten des gesamten Produkts* umfasst die Berücksichtigung der Vorentwürfe in einem Gesamtentwurf, der alle Angaben für Baugruppen, Bauteile und Stücklisten enthält.
- Das *Ausarbeiten der Ausführungs- und Nutzungsangaben* für die Produktdokumentation besteht aus dem Erstellen von Zeichnungen, Stücklisten und technischen Beschreibungen.

Außerdem wird auf das schrittweise Abarbeiten mit Wiederholungen für alle Arbeitsschritte hingewiesen, das erforderlich ist, um alle Anforderungen anzupassen und zu erfüllen. Mit diesem Vorgehen wird sichergestellt, dass alle Arbeitsschritte nach Durchführung und Kontrolle durch Entscheidungen abgeschlossen werden.

Den vier **Konstruktionsphasen** werden Tätigkeiten und Festlegungen zugeordnet:

- **Planen:** Aufgabenstellung klären (informative Festlegung)
- **Konzipieren:** Konzept entwickeln (prinzipielle Festlegung)
- **Entwerfen:** Entwurfsarbeit durchführen (gestalterische Festlegung)
- **Ausarbeiten:** Unterlagen ausarbeiten (herstellungstechnische Festlegung)

Diese Aufteilung stellt eine Zusammenfassung der wichtigsten Tätigkeiten dar, die sich als wesentliche Gliederung für das Vorgehen beim Konstruieren im Maschinenbau bewährt hat. Deshalb werden in den folgenden Abschnitten diese vier Konstruktionsphasen ausführlich mit den notwendigen Methoden, Hilfsmitteln und Anwendungen erklärt.

Beispiel: Die vier Konstruktionsphasen mit den Aufgaben und Ergebnissen einer Teilaufgabe für die Konstruktion einer Reitstockpinole enthält Bild 3.9.

Der Auszug aus der Anforderungsliste enthält hier nur zwei Forderungen, die maßgeblich für die Reitstockpinole sind. Aus der Gesamtfunktion des Reitstocks sind zwei Funktionen für die Umwandlung des eingeleiteten Drehmomentes in die Längsbewegung der Pinole, also der Pinolantrieb, angegeben. Da für diese Teilfunktion als Beispiel die Um-

wandlung mit Hilfe eines Gewindes als physikalisches Prinzip möglich ist, sind die entsprechenden Größen als Wirkprinzip mit Skizzen dargestellt.

Das Lösungsprinzip für den Pinolenantrieb ist nur als Strichskizze ohne geometrische Gestaltung als Ergebnis des Konzipierens gezeichnet. Es besteht aus einer einseitig gelagerten Spindel, die durch ein Handrad bewegt wird.

Beim Entwerfen werden Teile, Baugruppen und Verbindungen festgelegt. Die vereinfachte Zeichnung enthält alle wesentlichen Elemente, die jedoch nicht normgerecht als technische Zeichnung dargestellt wurden.

Aus diesem Entwurf werden dann in der letzten Phase durch das Ausarbeiten alle Zeichnungen und Stücklisten abgeleitet, die die Fertigungs- und Montageangaben enthalten.

Zusammengefasst hat sich für die vier Phasen folgender Ablauf bewährt:

- Das **Planen** klärt die Aufgabe durch Erfassen der Anforderungen, die in einer Anforderungsliste festgelegt werden.
- Das **Konzipieren** erfolgt in drei Arbeitsschritten:
 - Funktionen festlegen und Funktionsstruktur aufstellen.
 - Physikalische Prinzipien für das Wirkprinzip festlegen.
 - Geometrie, Bewegungen und Stoffarten als Lösungsprinzip festlegen.
- Das **Entwerfen** besteht aus dem Gestalten von Teilen, Baugruppen und Verbindungen bis zum fertigen Produkt.
- Das **Ausarbeiten** bedeutet, alle Fertigungs- und Montageangaben in Zeichnungen und Stücklisten festzulegen mit der erforderlichen Dokumentation.

Ablaufpläne für das Vorgehen beim Konstruieren wurden in verschiedenen Varianten veröffentlicht und werden in der Regel firmenspezifisch angepasst, da dafür in jedem Unternehmen eine Organisation vorhanden ist. Wichtig ist nicht ein starres Einhalten aller Vorgaben, sondern eine flexible Handhabung zur Unterstützung der Konstrukteure.

Der **Ablaufplan** mit Angaben der Tätigkeiten beim Bearbeiten konstruktiver Aufgaben in Bild 3.10 zeigt im mittleren Bereich die Teilaufgaben pro Arbeitsschritt mit dem jeweils zugeordneten Entscheidungsschritt.

Jeder **Entscheidungsschritt** dient dazu, Ergebnisse festzulegen und den weiteren Fortgang im Sinne des Ablaufs freizugeben, oder aber ein erneutes Durchlaufen der jeweils engsten Schleife zu veranlassen, wenn das Arbeitsergebnis unbefriedigend erscheint und verbessert werden muss. Dies umfasst auch die Überprüfung der Anforderungen. Ein Durchlaufen bis zum Ende kann Mängel erst zu spät zeigen und deren Abhilfe unnötig erschweren.

Der gegebenenfalls notwendige **Abbruch einer Entwicklung**, weil diese sich als nicht mehr lohnend erweist, wurde nicht eingezeichnet. Eine Überprüfung und frühzeitiges, konsequentes Aufhören in aussichtslosen Situationen bringt jedoch die geringsten Enttäuschungen und Kosten!