

Analyse der Werkstoffauswahl in der industriellen Praxis und Konsequenzen für die rechnerunterstützte Stahlauswahl

Große, A.

Im Rahmen des Forschungsprojektes „Rechnergestützte Stahlauswahlmethodik für Konstrukteure“ ist eine Befragung von Unternehmen zur Werkstoffauswahl durchgeführt worden. Nach einer kurzen Einführung in das Projekt sollen die Fragebogenergebnisse beschrieben und die hieraus folgenden Schwerpunkte und Konsequenzen für die Entwicklung des EDV-Systems abgeleitet werden. Desweiteren soll die Modellierung der Anforderungen und Werkstoffeigenschaften sowie das Stahlauswahl-system vorgestellt werden.

Within the research project „Computer-Aided Methodology for Steel Selection for the Designer“ a questionnaire concerned with materials selection of industrial companies has been carried out. After a short introduction into the project, the main points and consequences for the development of the computer-aided system based on the results of the questionnaire are deduced. Furthermore the modeling of the demands and material properties as well as the system for steel selection is described.

1 Rechnergestützte Stahlauswahlmethodik für Konstrukteure

Das Forschungsprojekt „Methodik und EDV-System zur Stahlauswahl nach konstruktiven Kriterien – Rechnergestützte Stahlauswahlmethodik für Konstrukteure“ wird von der Studiengesellschaft Stahlanwendung e.V. gefördert und läuft seit Mitte des Jahres 1996.

Der Konstrukteur erfährt bei der Werkstoffauswahl derzeit keine nennenswerte methodische Unterstützung, häufig fehlen ihm auch wichtige Werkstoffinformationen zur Festlegung eines für die jeweilige Aufgabe optimalen Werkstoffes. Durch eine integrierte Vorgehensweise mit Hilfe des zu entwickelnden EDV-Systems kann bereits in frühen Phasen der Produktentwicklung die Gestaltung und Stahlauswahl koordiniert und aufeinander abgestimmt werden und damit eine Erhöhung der Entscheidungssicherheit bei der Werkstoffauswahl erzielt werden /1/.

1.1 Informationsbedarf und Vorgehensweise bei der Stahlauswahl

Für die Entwicklung einer Methode zur Stahlauswahl ist zunächst eine Analyse des Informationsbedarfs und der Vorgehensweise, d.h. zeitliche Abfolge der Tätigkeiten des Konstrukteurs bei der Stahlauswahl vorgenommen worden.

Die Werkstoffauswahl wird durch die in Wechselwirkung stehenden Größen Konstruktion, Technologie und Werkstoff bestimmt, **Bild 1**.

Ausgehend von der zu erfüllenden Funktion des zu entwickelnden Produktes legt der Konstrukteur die Gestalt fest, die in direktem Zusammenhang mit den auftretenden Beanspruchungen steht. Die Werkstoffauswahl muß in Abstimmung mit dem Technologen erfolgen, da eine rationelle Fertigung nur durch Gesamtbetrachtung von Gestalt und Fertigungsverfahren möglich ist. Häufig stehen die Forderungen der Konstruktion und der Technologie im Widerspruch und der gewählte Werkstoff stellt eine Kompromißlösung dar. Die endgültige Auswahl des geeigneten Werkstoffes wird mit Hilfe der Informationen über technische und technologische sowie wirtschaftliche und dispositive Eigenschaften getroffen. Die genannten Werkstoffeigenschaften haben Wechselbeziehungen und können als innerer Regelkreis, der wiederum einen Einfluß auf das Gesamtsystem ausübt, aufgefaßt werden.

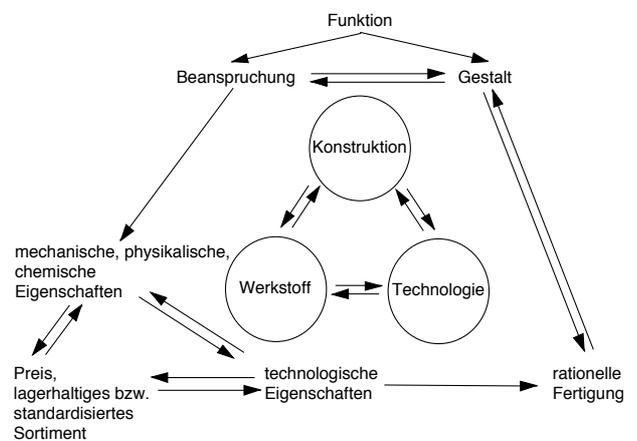


Bild 1: Werkstoffauswahl unter dem Aspekt der Einheit von Konstruktion, Technologie und Werkstoff nach BERNST /2/

In **Bild 2** ist eine Eingliederung der Werkstoffauswahl in den Produktentwicklungsprozeß dargestellt. Input für den Konstruktionsprozeß ist die Aufgabe. Nach Durchlaufen der vier Phasen des Konstruktionsprozesses nach VDI 2221 /3/ ist die Lösung – im Idealfall mit dem optimalen Werkstoff – entstanden. In der Phase der Aufgabenklärung werden Angaben zum Einsatz des Produktes erarbeitet und in einer Anforderungsliste festgehalten. Hier entstehen im wesentlichen die Gebrauchsanforderungen an den Werkstoff wie z.B. Korrosions- oder Wärmebeständigkeit. Aus der Konzeptphase resultieren üblicherweise keine Anforderungen an den Werkstoff. Die Fertigungsverfahren werden in der Regel beim Entwerfen, das eine Gestaltung der einzelnen Bauteile einschließt, festgelegt. Die technologischen Anforderungen entstammen somit überwiegend aus der Entwurfsphase, sie können aber auch schon beim Klären der Aufgabenstellung durch Vorgabe bevorzugter Fertigungsverfahren entstehen und im fortschreitenden Entwicklungsprozeß näher spezifiziert werden. Nachdem die Werkstoffe mit den erforderlichen Gebrauchseigenschaften (Funktionserfüllung) und den gewünschten Fertigungseigenschaften herausgefiltert worden sind, finden die wirtschaftlichen Eigenschaften, wie z.B. Kosten, Einzug in die Betrachtungen. Die dispositiven Eigenschaften wie beispielsweise die Verfügbarkeit eines Werkstoffes dagegen sind zu jedem Zeitpunkt des Produktentwicklungsprozesses zu berücksichtigen. Um aus einer Menge geeigneter Werkstoffe zum optimalen Werkstoff für die Konstruktionsaufgabe zu gelangen ist abschließend eine technisch-wirtschaftliche Bewertung vorzunehmen.

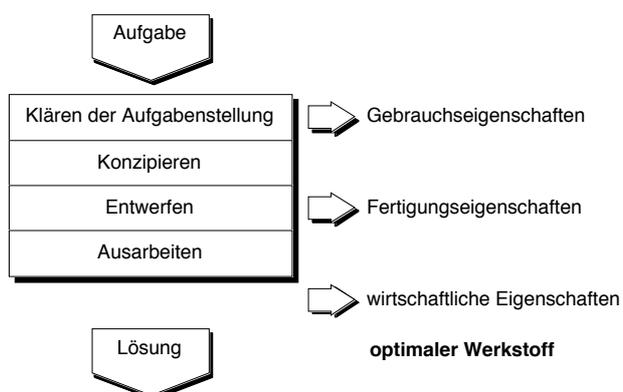


Bild 2: Werkstoffauswahl in der Produktentwicklung

Die Betrachtung der Vorgehensweise erlaubt die Angabe der wesentlichen, sich aus den Konstruktionsphasen ergebenden Werkstoffeigenschaften, nicht aber einen exakten Zeitpunkt der Werk-

stoffauswahl. Hier spielen zuviele organisatorische und betriebliche Einflußfaktoren hinein.

Der nächste Arbeitsschritt im Projektprogramm war die Entwicklung eines Modells zur vollständigen Erfassung von Anforderungen an Stahlwerkstoffe. Hierzu sollten in der Praxis stehende Konstrukteure interviewt werden. Die Anforderungen sind mittels einer Fragebogenaktion und vertiefend durch Gespräche mit Konstrukteuren zusammengetragen worden. Der Fragebogen enthielt weiterführende Fragen, die das Thema Werkstoffauswahl in der industriellen Praxis näher untersuchen sollten.

2 Fragebogenaktion: Werkstoffauswahl in der industriellen Praxis

Die ausgearbeiteten Fragebögen sind durch den Arbeitskreis Normenpraxis im DIN (ANP im DIN) versendet worden, was verglichen mit früheren Erfahrungen zu einem hohen Rücklauf von über 25 % führte. Die im folgenden beschriebene Auswertung basiert auf 102 ausgefüllten Fragebögen.

2.1 Überblick über die befragten Unternehmen

Als Einstieg soll ein kurzer Überblick über die befragten Unternehmen gegeben werden. In **Bild 3** ist die prozentuale Branchenzugehörigkeit aufgezeigt. Die Unternehmen gehören überwiegend der Maschinenbaubranche an, die auch die anzusprechende Zielgruppe des Projektes darstellt.

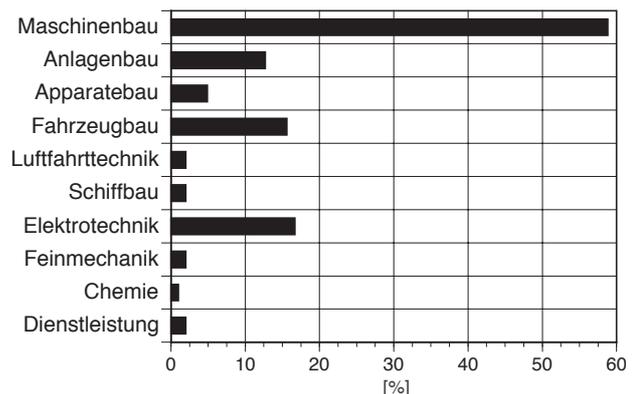


Bild 3: Branchenzugehörigkeit der befragten Unternehmen

Es sind Unternehmen mit Mitarbeiterzahlen von 23 bis 250.000 vertreten. Dabei handelt es sich zu 95 % um mittlere und große Unternehmen mit Mitarbeiterzahlen über 100.

Die Produktpalette ist sehr umfangreich und reicht vom Automatikgetriebe bis zur Zentrifuge.

Mit der Auswertung ist also ein breites Spektrum an Branchen, Produkten und Unternehmensgrößen erfaßt worden.

In **Tab. 1** ist eine Darstellung der „Unternehmensphilosophie“ vorgenommen. Hier sollte die Wichtigkeit der aufgeführten Kriterien in Bezug auf die Werkstoffauswahl herausgestellt werden. Der wichtigste Faktor ist eindeutig die Erfüllung der Gebrauchseigenschaften, gefolgt von der Lebensdauer, den Kosten und der Ver- und Bearbeitbarkeit in der Fertigung. Die Recyclingfähigkeit ist dagegen von geringerer Bedeutung und wurde meistens nur von den Automobilherstellern und -zulieferern als ein sehr wichtiges Kriterium genannt. Auch die Verfügbarkeit des Werkstoffes ist für die Unternehmen von hoher Wichtigkeit. Die geringe Häufigkeit der drei letzten Kriterien ist dadurch begründet, daß es sich hierbei nicht um im Fragebogen vorgegebene Kriterien handelt, sondern diese von den Unternehmen ergänzt worden sind.

Tab. 1: „Unternehmensphilosophie“ - Werkstoff

Kriterium	weniger wichtig	wichtig	sehr wichtig
Gebrauchseigenschaften		●	●●●●●
Kosten	●	●●	●●●
Lebensdauer	●	●●	●●●
Verarbeitbarkeit(Fertigung)	●	●●●	●●
Recyclingfähigkeit	●●	●●●	●
WirtschaftlichkeitfürBetreiber	●	●●	●●
Normen/Qualität		●	●
Verfügbarkeit	●	●	●
Design		●	

Die von den Unternehmen verarbeiteten Werkstoffe sind im wesentlichen Stähle jeglicher Art, Gußwerkstoffe, Nichteisenmetalle, Kunststoffe und Gummi. Bei den Halbzeugen sind die üblichen Formen wie beispielsweise Bleche, Rohre, Profile, Stangen, Bänder, Schmiedeteile genannt worden.

2.2 Konstruktion und Werkstoffe

In diesem Kapitel soll die Werkstoffauswahl in Verbindung mit dem Konstruktionsprozeß untersucht werden. Die erste Frage im Komplex „Konstruktion und Werkstoffe“ soll Auskunft über den Zeitpunkt der Werkstoffauswahl und das ausführende Organ geben. Der Entscheidungsträger bzw. der Ausführende ist u.a. von der Organisation des Unterneh-

mens abhängig. Überwiegend handelt es sich um Abteilungen, es sind aber auch Projektteams aufgetreten, die die Werkstoffauswahl vornehmen.

In den seltensten Fällen konnte die Werkstoffauswahl genau einer Phase des Entwicklungsprozesses zugeordnet werden. Vereinzelt wird der Werkstoff jedoch zu einem konkreten Zeitpunkt festgelegt, dies geschieht dann meistens durch die Konstruktionsabteilung. Größtenteils handelt es sich aber um eine phasenübergreifende, interdisziplinäre Werkstoffauswahl an der mehrere Abteilungen beteiligt sind. In **Tab. 2** sind die beiden beschriebenen Möglichkeiten zusammengetragen. In der rechten Spalte sind die Ausführenden eingetragen, die als Entscheidungsbeteiligte in der jeweiligen Phase am häufigsten genannt worden sind.

Tab. 2: Entscheidungsträger der Werkstoffauswahl und zeitliche Einordnung

Phase	Ausführender (nureinePhase)	Ausführender
Aufgabenstellung Anforderungsliste	Konstruktion	Vertrieb, Verkauf, Kunde Entwicklung, Konstruktion Produktplanung, Marketing
Konzept	Konstruktion Entwicklung, Fertigungsvorbereitung	Forschungund Entwicklung Konstruktion
maßstäblicher Entwurf	Konstruktion	Konstruktion Entwicklung
Ausarbeitungder Einzelteile	Konstruktion	Konstruktion
Arbeitsvorbereitung	-	Arbeitsvorbereitung Fertigungsplanung Einkauf
Fertigung	-	Fertigung, Fertigungsplanung Arbeitsvorbereitung

Desweiteren sollte angegeben werden, ob es sich dabei um Neu- oder Variantenkonstruktionen handelt. Die Neu- und die Variantenkonstruktionen halten sich in etwa die Waage. Bei der Auswertung konnte kein Zusammenhang zwischen dem Zeitpunkt oder dem Ausführenden und der Art der Konstruktion festgestellt werden.

Die Werkstoffentscheidung wird hauptsächlich durch die Konstruktion herbeigerufen. Einen nicht unwesentlichen Einfluß auf die Werkstoffwahl haben aber auch die Arbeitsvorbereitung und die Fertigung. Dies steht in Einklang mit dem in **Kap. 1.1** beschriebenen Aspekt der Einheit von Konstruk-

tion, Technologie und Werkstoff. Für die Entwicklung der rechnergestützten Stahlauswahlmethodik läßt sich daraus ableiten, daß eine Unterstützung des Konstrukteurs über alle Phasen des Produktentwicklungsprozesses erfolgen muß.

Außerdem sollte mit Hilfe des Fragebogens ermittelt werden, ob in frühen Phasen der Produktentwicklung (Aufgabenklärung, Konzept) Erfahrungen über das Werkstoffverhalten bzw. -probleme zur Verfügung stehen und woher diese Informationen stammen.

Sehr selten sind große Informationsdefizite zu Beginn einer Konstruktion vorhanden und wenn, dann handelt es sich um Neukonstruktionen oder um neue Werkstoffe, mit denen im Unternehmen noch keinerlei Erfahrungen gesammelt worden sind. 93% aller Unternehmen besitzen aber Informationen über das Werkstoffverhalten und können eventuelle Probleme im Vorfeld abschätzen. Die Informationen basieren auf betriebsinternen Erfahrungen der Abteilungen und Mitarbeiter sowie bereits ausgeführter Produkte, auf Rückläufen von Kundenerfahrungen, auf Zusammenarbeit von Unternehmen mit Werkstoffherstellern und auf Fachliteratur und Tabellenwerken. Einige größere Unternehmen können auf das Know How ihrer eigenen werkstofftechnischen Abteilung zurückgreifen.

Tab. 3: Vorhandene Informationen bei der Werkstoffauswahl

Beanspruchungen	<ul style="list-style-type: none"> • mechanisch • chemisch(Korrosion,Säurebeständigkeit)
Werkstoffeigenschaften	<ul style="list-style-type: none"> • Schmelzenanalyse • mechanische,physikalische,chemischeundtechnologischeEigenschaften
Fertigung	<ul style="list-style-type: none"> • Fertigungsverfahren • Fertigungsmöglichkeiten (Maschinen-/Werkzeugpark)
Lager	<ul style="list-style-type: none"> • Bestände • Beschaffbarkeit • Halbzeuge
Kosten	<ul style="list-style-type: none"> • überEinkauf • Relativkosten
betrieblicheErfahrungen	<ul style="list-style-type: none"> • Mitarbeiter,Produkte • Versuche,Qualitätssicherung,Labor
interne/externeNormen	<ul style="list-style-type: none"> • Werknormen/-richtlinien • DIN-/DIN EN-Normen
Werkstoffübersichten	<ul style="list-style-type: none"> • Stahlschlüssel • Tabellenbücher • Lieferanteninformationen

Die letzte Frage zum Zusammenspiel Konstruktionsprozeß und Werkstoffauswahl beschäftigt sich

mit den vorhandenen Informationen bei der Werkstoffauswahl und der Quelle dieser Informationen. Die vorhandenen Informationen bilden die Entscheidungsgrundlage der Werkstoffauswahl. Bekannte Informationen zum Zeitpunkt der Festlegung des Werkstoffes sind in **Tab. 3** zusammengefaßt.

Als Bezugsquellen der Werkstoffinformationen sind in erster Linie Normen, persönliche Notizen und Erfahrungen sowie Herstellerkataloge und Prospekte zu nennen. Datenbanken oder Berechnungsprogramme sind eher von untergeordneter Bedeutung. Neben diesen Mitteln zur Informationsgewinnung sind u.a. noch der Stahlschlüssel, Fachliteratur, Arbeitskreise, Seminare und Herstellerkontakte aufzuführen.

2.3 Technologie und Werkstoffe

Mit den Fragen zum Aspekt „Technologie und Werkstoffe“ sollte die Anwendung bestimmter Fertigungsverfahren bzw. -gruppen in den Unternehmen festgestellt und der Einfluß der Betriebsmittel auf die Werkstoffauswahl untersucht werden.

In **Bild 4** ist die prozentuale Häufigkeit der einzelnen Fertigungsverfahren zusammengefaßt. Der obere Balken gibt jeweils die prozentuale Anwendung des Verfahrens an, der untere Balken kennzeichnet die Häufigkeit des Verfahrens als Hauptverfahren im Unternehmen. Es ist erkennbar, daß beide Balken in etwa korrelieren. Die am meisten angewendeten Verfahren sind die spanenden Verfahren wie beispielsweise das Drehen, Fräsen und Bohren sowie die fügenden Verfahren, hier vor allem das Schweißen. Die Gruppe der spanenden Verfahren stellt auch gleichzeitig das häufigste Hauptverfahren in den Unternehmen dar.

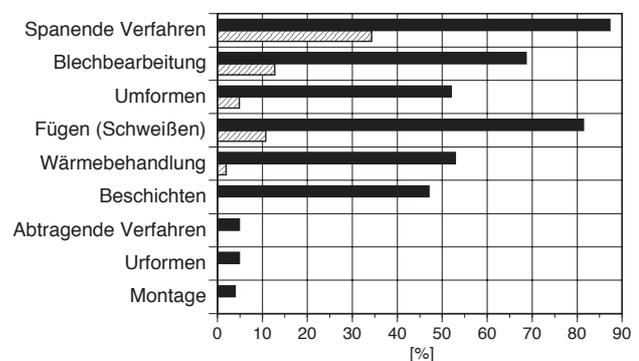


Bild 4: Angewandte Fertigungsverfahren

Für die Entwicklung der Stahlauswahlmethodik läßt sich schließen, daß alle Verfahren bis auf die abtragenden Verfahren (Erodieren, Brenn- und Laserschneiden), das Urformen (Gießen) und die Montage berücksichtigt werden müssen.

Desweiteren war im Zusammenhang von Fertigung und Werkstoffen interessant, ob die Betriebsmittel einen Einfluß auf die Werkstoffauswahl haben. 66 % der Unternehmen führen die Wahl des Werkstoffes ohne Berücksichtigung des Betriebsmittels bzw. ihres Maschinenparkes aus. Häufigstes Argument war dabei, daß bei auftretenden Problemen oder bei einer nicht wirtschaftlichen Fertigung eine Fremdvergabe erfolgt. Bei den restlichen Unternehmen läßt sich ein Zusammenhang zwischen den Betriebsmitteln und dem verwendeten Werkstoff und Halbzeug feststellen. Bei den spanenden und umformenden Verfahren sind die Einflüsse überwiegend in Abhängigkeit des Automatisierungsgrades genannt worden. Die Werkstoffe sollten Automaten Güte aufweisen, damit sie auf Drehautomaten und in Fertigungszentren problemlos bearbeitet werden können. In der Umformtechnik ist auf die Dicken- und Breitentoleranz des Halbzeuges aufgrund der Fließfertigungseignung zu achten. Weitere Einflußparameter des Betriebsmittels sind beispielsweise die Abmessungen des Arbeitsraumes und die Leistungsgrenzen der einzelnen Maschinen.

2.4 Werkstoffanforderungen und Werkstoffeigenschaften

Mit Hilfe der Fragen zu den Anforderungen und Eigenschaften sollten die Anforderungen, die ein Konstrukteur an den Werkstoff stellt und die Eigenschaften, die einen wesentlichen Einfluß auf die Werkstoffauswahl haben, zusammengetragen werden. Die Anforderungen stellen den Ausgangspunkt für den Konstrukteur dar. Sie sind mit den Eigenschaften der Werkstoffe zu verknüpfen und abzustimmen. Durch Analyse der Vorgehensweise bei der Werkstoffauswahl ist festgestellt worden, daß die wesentlichen Anforderungen an den Werkstoff aus dem Gebrauch und der Fertigung resultieren (vgl. **Kap. 1.1**). Aus diesem Grund ist im Fra-

Tab. 4: Werkstoffanforderungen - Anforderungsliste

Kategorie	Anforderungen	
Gebrauch	Korrosionsbeständigkeit (chemische Beständigkeit), Verschleißfestigkeit, Temperaturbeständigkeit	Rostbeständigkeit, Wärme-/Kältebeständigkeit (Einsatztemperatur)
Verarbeitung	Zerspanbarkeit, Schweißbeignung , Umformbarkeit, Härbarkeit, Beschichtbarkeit (Verchromen)	
Werkstoff	mechanische Eigenschaften , metallurgische, dynamische, elektrische Eigenschaften	Festigkeit Bruchdehnung, Kerbschlagzähigkeit, Schmelzenanalyse, Dauerfestigkeit, elektrische Leitfähigkeit
wirtschaftlich/dispositiv	Kosten, Verfügbarkeit /Lagerhaltigkeit, Halbzeugabmessungen	
Sonstige	Designvorgaben, Leichtbau	Edelstahlausführung, Gewicht

Tab. 5: Werkstoffanforderungen - Fertigungsverfahren

Fertigungsverfahren		Anforderungen
Spanende Fertigung	Drehen, Fräsen , Schleifen, Bohren, Tieflochbohren	Zerspanbarkeit , Oberflächengüte, Kosten, Werkzeugstandzeit
Blechbearbeitung	Stanzen, Nibbeln, Bördeln, Falzen, Sicken	Stanzbarkeit, Bruchdehnung, Werkzeugstandzeit
Umformen	Tiefziehen, Biegen , Abkanten, Prägen, Polieren	(Kalt-) Umformbarkeit , Biegebarkeit, Festigkeit, Oberflächengüte
Fügen (Schweißen)	Schweißen , Löten	Schweißbeignung , Löteignung
Wärmebehandlung	Härten, Einsatzhärten, Vergüten, Gasnitrieren	Härbarkeit, Vergütbarkeit, Härte (Rand, Kern, Tiefe)
Beschichten	Nitrocarburieren, Verzinken, Eloxieren, Lackieren	

gebogen nach den Anforderungen, die bereits bei der Klärung der Aufgabenstellung (Gebrauch, Einsatzbedingungen) in der Anforderungsliste festgehalten werden und denen, die sich aus dem festgelegten Fertigungsverfahren ergeben, unterschieden worden.

In **Tab. 4** und **Tab. 5** sind die wesentlichen Anforderungen zusammengefaßt worden. Die Anforderungen in der Anforderungsliste sind hierbei nach Merkmalen wie Gebrauch, Verarbeitung usw. gegliedert worden. Bei den Fertigungsverfahren ist eine Einteilung in Anlehnung an **Bild 4** vorgenommen worden. Um die am häufigsten aufgetretenen Anforderungen bzw. Fertigungsverfahren herauszustellen sind diese fett hervorgehoben.

Bereits in der Anforderungsliste treten Forderungen an die Verarbeitung wie beispielsweise Zerspanbarkeit und Schweißbeignung auf. Dies resultiert aus der Festlegung bevorzugter Fertigungsverfahren in frühen Phasen der Produktentwick-

lung auf der Grundlage des vorhandenen Maschinenparks eines Unternehmens. Eine wichtige Rolle spielen auch die Anforderungen wirtschaftlicher und dispositiver Art. Die Kosten und die Verfügbarkeit sind neben den technischen und technologischen Faktoren bei der Werkstoffauswahl von höchster Bedeutung und im zu entwickelnden EDV-System zu berücksichtigen.

Bei den Fertigungsanforderungen sollten die Anforderungen und das zugehörige Fertigungsverfahren angegeben werden. Hier sind die gängigen Verfahren wie Drehen, Fräsen, Tiefziehen Schweißen und Härten genannt worden. Die Anforderungen für die einzelnen Verfahren sind sehr allgemeingültig (Zerspanbarkeit, Umformbarkeit, ...) und sind für das zu erstellende Modell der Werkstoffeigenschaften eingehender zu betrachten und mittels „Grundgrößen“ zu beschreiben (vgl. **Kap. 3**).

Ein gleiches Bild wie bei den Anforderungen ergibt sich für die genannten Werkstoffeigenschaften. Sie lassen sich analog in Gebrauchs-, Verarbeitungseigenschaften, Werkstoffkennwerte, wirtschaftliche und dispositive sowie sonstige Eigenschaften gliedern. Am häufigsten sind auch hier mechanische Eigenschaften (Festigkeiten, ...), Gebrauchseigenschaften (Korrosionsbeständigkeit, ...) sowie Verarbeitungseigenschaften (Zerspanbarkeit Schweiß-eignung, ...) vorgekommen.

Die Auswertung der Anforderungen und Eigenschaften ist branchenspezifisch durchgeführt worden. Es konnten aber keine wesentlichen Unterschiede der Anforderungen und Eigenschaften bei den verschiedenen Branchen festgestellt werden.

2.5 Rechnerunterstützung in der Produktentwicklung

Zur genaueren Kenntnis des Umfeldes des zu entwickelnden Stahlauswahlsystems ist die Rechnerunterstützung in der Produktentwicklung näher betrachtet worden.

Bei der Frage nach wünschenswerter Unterstützung oder Hilfsmittel bei der Werkstoffauswahl konnte festgestellt werden, daß der Trend eindeutig in Richtung rechnergestützte Werkstoffdatenbank geht.

Für die Schnittstellenproblematik des EDV-Systems zur Stahlauswahl (Übernahme von Werkstoffdaten) ist die Anwendung rechnergestützter Werkzeuge in der Produktentwicklung untersucht worden. **Bild 5** zeigt die Häufigkeit verschiedener Systeme bzw. Programmgruppen. Nahezu alle Un-

ternehmen arbeiten mit CAD. Die Berechnungsprogramme sind für unterschiedliche Anwendungen (Maschinenelementberechnungen, Blechabwicklung, usw.), wobei es sich oft auch um Eigenentwicklungen auf Microsoft Excel Basis handelt. PPS-Systeme sind mit Sicherheit viel häufiger in den Unternehmen anzutreffen als hier zu sehen. Allerdings war das PPS-System kein im Fragebogen vorgegebenes Werkzeug und ist daher mit nur knapp über 10% vertreten.

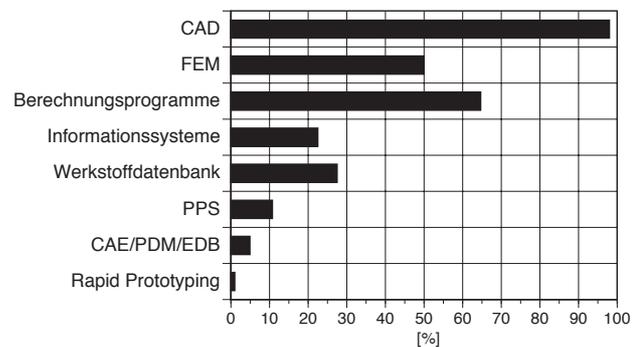


Bild 5: Rechnergestützte Werkzeuge in der Produktentwicklung

Für das Projekt ist der Einsatz von Werkstoffdatenbanken von besonderem Interesse, da die Werkstoffkennwerte nach Möglichkeit aus kommerziell angebotenen Datenbanken entnommen werden sollen. In **Bild 6** ist eine Einteilung der Werkstoffdatenbankangaben der Unternehmen vorgenommen worden.

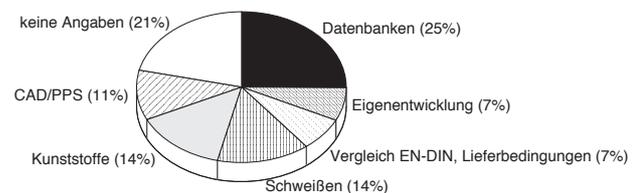


Bild 6: Werkstoffdatenbanken

Bei 25% handelt es sich um „klassische“ Werkstoffdatenbanken. Einen Anteil von etwa 30% haben die Datenbanken mit speziellen Informationen zum Schweißen (Böhler, DVO/DVS) bzw. zu Kunststoffen (CAMPUS). Mit 11% ist der Anteil integrierter Werkstoffdatenbanken (CAD, PPS) angegeben.

In der letzten Frage zur Rechnerunterstützung in der Produktentwicklung ist nach den Anforderungen an ein rechnergestütztes System zur Werkstoffauswahl gefragt worden. Hier sind die unterschiedlichsten Anforderungen zum Informationsgehalt und zur Anwendung genannt worden.

Zum Informationsgehalt sind im wesentlichen die bereits bekannten Eigenschaften wie Festigkeiten oder Angaben zur Verarbeitbarkeit aufgetreten.

Weiterhin sind des öfteren Angaben zur Marktgängigkeit der Werkstoffe, zu Werkstoffumschlüsselungen (DIN - DIN EN - intern. Normen), zu erhältlichen Halbzeugabmessungen sowie das Aufführen von Anwendungsbeispielen gewünscht worden. Ein wesentliches Kriterium ist auch die Erweiterung der Daten um betriebsspezifische Angaben, also eine gewisse Anpassungsmöglichkeit des Systems an die Gegebenheiten des Unternehmens. Hier sind u.a. Lagerbestände, Kennzeichnung von Vorzugs- und Vermeidwerkstoffen und Kosten zu nennen.

Das Werkstoffauswahlssystem muß anwenderfreundlich sein und eine einfache Bedienung aufweisen. Nach Möglichkeit sollten für das System alle gängigen Betriebssysteme in Frage kommen, allerdings ist überwiegend der Wunsch nach einer PC-Plattform bzw. Windows-Oberfläche geäußert worden. Als eine weitere wesentliche Anforderung haben sich die Kosten des Systems herausgestellt. Die Kosten werden stark von den eingesetzten kommerziellen Werkstoffdatenbanken abhängen.

Bei der Entwicklung des EDV-Systems zur Stahlauswahl ist diesen Anforderungen bzw. Bedürfnissen aus der industriellen Praxis entsprechend Rechnung zu tragen.

3 Modellierung der Anforderungen und Eigenschaften

Der nächste Schritt ist die Erstellung eines Modells der Anforderungen und Eigenschaften zur Verarbeitung im EDV-System. Für die Modellierung wird die formale Beschreibungssprache EXPRESS (ISO 10303-11) verwendet. Hiermit können die Datenstrukturen auf einfache Weise beschrieben werden. In **Bild 7** ist ein Ausschnitt aus dem Anforderungsmodell zur Demonstration der EXPRESS-Syntax dargestellt.

Die Anforderungen, die aus den Fragebögen stammen, sind bereits vorsortiert und bestimmten Kategorien zugeordnet worden (s. **Tab. 4** und **Tab. 5**). Der Konstrukteur arbeitet mit der Anforderungsliste, die bei der Aufgabenklärung aufgestellt und in den folgenden Konstruktionsphasen ergänzt und aktualisiert wird. Zur Gliederung der Anforderungsliste nach Hauptmerkmalen ist eine Leitlinie vorhanden /4/. Für die Modellierung der Anforderungen sind die Gliederungskriterien der Anforderungsliste der Leitlinie mit den Kategorien der Anforderungen zu kombinieren.

```

ENTITYAnforderung
    SUPERTYPEOF(mechanische_Eigenschaften,
                physikalische_Eigenschaften, ...)
...
END_ENTITY;

ENTITYmechanische_Eigenschaften
    SUBTYPEOF(Anforderung);
Zugfestigkeit      :      Spannung;
Bruchdehnung      :      Kennwert_dimensionslos;
...
END_ENTITY;

```

Bild 7: Auszug aus dem Anforderungsmodell

Im allgemeinen sind die Anforderungen globaler Art. Der Konstrukteur gibt z.B. das Fertigungsverfahren Drehen an. Daraus resultiert die Anforderung „gute Zerspanbarkeit“ an den Werkstoff, die häufig nicht einmal explizit in der Anforderungsliste steht. Diese Anforderung muß zum Herausfinden der Werkstoffe mit guten Zerspaneigenschaften mit den Werkstoffeigenschaften verknüpft werden. Die Zerspanbarkeit wird durch den Kohlenstoffgehalt, durch Legierungselemente und durch eventuelle Wärmebehandlungen beeinflusst. Auf der Seite der Werkstoffeigenschaften ist also ein viel höherer Detaillierungsgrad und ein Zerlegen in Grundgrößen erforderlich. Natürlich kann auch nach Werkstoffgruppen ausgewählt werden, denn Automatenstähle weisen i.d.R. günstige Zerspaneigenschaften auf. Problematisch ist hier nur die Quelle der Information. Nicht alle am Markt erhältlichen Werkstoffdatenbanken enthalten Angaben zu Werkstoffgruppen oder Verarbeitbarkeit.

4 EDV-System zur rechnerunterstützten Stahlauswahl

Das EDV-System zur rechnerunterstützten Stahlauswahl soll mit Hilfe von Tcl/Tk (**T**ool **C**ommand **L**anguage und **T**ool **K**it) implementiert werden. Tcl/Tk ist ein System zur Entwicklung und zum Einsatz graphischer Benutzerschnittstellen /5/. Ein Vorteil dieses Systems ist die Plattformunabhängigkeit. Die Programme laufen auf den gängigen Betriebssystemen Windows, UNIX und MacOS. Mit Tcl/Tk können einfach Bedienungsoberflächen aufgebaut und damit der industriellen Forderung nach hoher Anwenderfreundlichkeit nachgekommen werden. Die Hauptmenüleiste des EDV-Systems beinhaltet die folgenden Programmpunkte:

- Angaben zu ...
- Anforderungsliste

- Werkstoffinformation
- Datenpflege
- Programmende

Dieses Hauptmenü begleitet den gesamten Produktentwicklungsprozeß und kann zu jedem Zeitpunkt konsultiert werden.

Bei „Angaben zu ...“ können Angaben zum Gebrauch, zur Fertigung (z.B. bevorzugte Fertigungsverfahren), zu Vorzugs- und Vermeidwerkstoffen für die Konstruktionsaufgabe usw. gemacht werden, die dann automatisch in die Anforderungsliste übernommen werden. Es besteht unter dem Menüpunkt „Anforderungsliste“ aber auch die Möglichkeit die Anforderungen direkt in die Anforderungsliste einzugeben. Anforderungen, die die Werkstoffauswahl nicht beeinflussen, sollen auch berücksichtigt werden. Diese werden aber nur textuell verarbeitet. Die Anforderungsliste stellt somit ein zentrales Dokument der rechnergestützten Stahlauswahlmethodik dar. Auf Anforderungslisten ähnlicher, bereits ausgeführter Produkte kann bei Neuentwicklungen oder Variantenkonstruktionen ebenfalls zurückgegriffen werden. Bei Aufrufen des Menüpunktes „Werkstoffinformation“ erhält der Konstrukteur Auskunft über die geeigneten Werkstoffe in Abhängigkeit des Fortschritts im Konstruktionsprozeß. Weiterhin kann hier eine Werkstoffsuche durchgeführt werden. Aus der Fragebogenaktion klang indirekt der Wunsch nach Transparenz der Werkstoffauswahl bzw. nach endgültiger Werkstofffestlegung durch den Konstrukteur heraus. Es ist somit besonderer Wert auf die Darlegung des Entscheidungsfindungsprozesses zu legen, der auch unter „Werkstoffinformation“ abgelegt sein wird. Für die Wissensverarbeitung und -bereitstellung sind im Rahmen der Entwicklung des EDV-Systems entsprechende Werkzeuge und Methoden zu erarbeiten. Im Punkt „Datenpflege“ werden die betriebspezifischen Angaben behandelt und beispielsweise die Kennzeichnung von generellen Vorzugs- und Vermeidwerkstoffen vorgenommen.

5 Zusammenfassung

Nach einer kurzen Einführung in die Problematik der Werkstoffauswahl ist die Auswertung der durchgeführten Unternehmensbefragung beschrieben worden. Dabei wurde der Konstruktionsprozeß, die Fertigung und die Rechnerunterstützung jeweils im Zusammenspiel mit der Werkstoffauswahl näher betrachtet. Die hierbei herausgestellten Bedürfnisse der industriellen Praxis sind und werden in die Ent-

wicklung der Stahlauswahlmethodik bzw. des EDV-Systems einfließen. Desweiteren sind einige zu beachtende Aspekte bei der Modellierung der Anforderungen und Eigenschaften aufgezeigt worden. Abschließend ist der Leistungsumfang des zu erstellenden Systems zur rechnerunterstützten Stahlauswahl kurz dargestellt worden.

6 Literatur

- /1/ Große, A.; Schiedeck, N.: Institutsmittellung Nr. 21, IMW Clausthal 1996
- /2/ Bernst, R.: Werkstoffe im wissenschaftlichen Gerätebau. Leipzig 1975
- /3/ VDI-Richtlinie 2221: Methodik zum Entwickeln und Konstruieren technischer Systeme und Produkte. Düsseldorf: VDI-Verlag 1985
- /4/ Pahl, G.; Beitz, W.: Konstruktionslehre. Springer-Verlag, 2. Aufl., 1986
- /5/ Ousterhout, J. K.: Tcl und Tk - Entwicklung grafischer Benutzerschnittstellen für das X Window System, Addison-Wesley, 1995

Danksagung: An dieser Stelle sei noch einmal ein Dank an den ANP im DIN und an die Mitarbeit der zahlreichen Unternehmen ausgesprochen.