

Methodische Ansätze zur Werkstoffauswahl

Große, A.

Es gibt verschiedene Vorgehensweisen zur Bestimmung des geeigneten Werkstoffs für eine Konstruktion. Der folgende Beitrag stellt einen Auszug aus bestehenden Ansätzen zur Werkstoffauswahl vor.

Different ways to find out the best material for a design are existing. In the following some possibilities for materials selection are presented.

1 Einleitung

Im Folgenden sollen einige methodische Ansätze zur Werkstoffauswahl vorgestellt und diskutiert werden. Neuere Beiträge und Veröffentlichungen zu diesem Thema sind fast nur noch im angelsächsischen Bereich zu finden. Die verschiedenen Vorgehensweisen stammen überwiegend aus den 80er-Jahren (vgl. z.B. /1, 2, 3, 4/), besitzen aber aufgrund ihrer allgemeinen Abfassung nach wie vor ihre Gültigkeit und Anwendbarkeit. Allerdings handelt es sich heutzutage um einen deutlich schwierigeren Auswahlvorgang, da eine unüberschaubare Menge an Werkstoffen am Markt vorhanden ist und diese durch zahlreiche Werkstoffneuentwicklungen ständig wächst. Auch die recht neuen Verbundwerkstoffe mit ihren ungezählten Kombinationsmöglichkeiten erschweren den Auswahlprozess. Die neu eingeführten Werkstoffbezeichnungen nach Europäischer Norm bereiten oftmals zusätzliche Schwierigkeiten. Dadurch rückt eine optimierte Informationsgewinnung und zielgerichtete Informationsbereitstellung immer stärker in den Vordergrund, die ohne Rechneranwendungen kaum noch zu bewältigen sind. Der Wunsch zum vermehrten Rechnereinsatz in der Werkstoffinformation und -auswahl ist deutlich erkennbar (vgl. auch /5/).

2 Generelle Vorgehensweisen zur Werkstoffauswahl

Unter generellen Vorgehensweisen zur Werkstoffauswahl sollen diejenigen verstanden werden, die einen geringen Konkretisierungsgrad und eine hohe Allgemeingültigkeit besitzen. Sie zählen im Wesentlichen die grundsätzlich auszuführenden Arbeitsschritte auf.

2.1 Vorgehensweise nach Grosch

Grosch /2/ beschreibt eine allgemein gültige Vorgehensweise zur Werkstoffauswahl. Die erforderlichen Teilschritte zur Ermittlung des optimalen Werkstoffs, die unabhängig von der Konstruktionsaufgabe sind, können aus **Bild 1** entnommen werden.

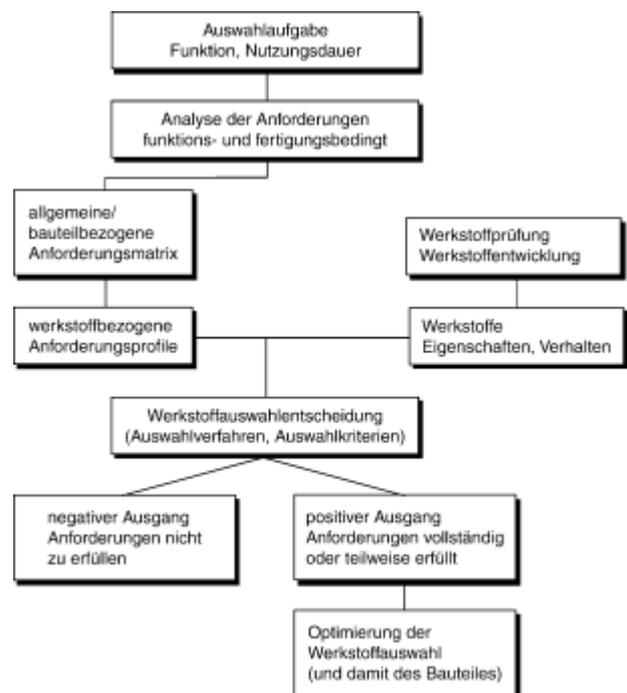


Bild 1: Grundsystem der Werkstoffauswahl nach /2/

Kern dieser Vorgehensweise ist die Erstellung eines werkstoffspezifischen Anforderungsprofils und dessen Vergleich mit den relevanten Eigenschaften der zur Verfügung stehenden Werkstoffe. Aus der Analyse der Auswahlaufgabe gehen funktions- und fertigungsbedingte Anforderungen hervor. Grosch unterscheidet des Weiteren zwischen invarianten (unbedingt einzuhalten) und varianten (Bereiche oder Minimalwerte) Anforderungen, die gleichbedeutend mit invarianten und varianten Eigenschaften sind. Unter Verwendung ausgewählter technischer und wirtschaftlicher Kriterien wird mittels Bewertungsverfahren der Werkstoff, der die Anforderungen vollständig oder am besten erfüllt, herausgestellt. Ein negatives Vergleichsergebnis kann

eine Werkstoff- bzw. Fertigungsverfahrensentwicklung zur Folge haben, sofern der Aufwand hierfür gerechtfertigt ist.

In Abhängigkeit von der Art der Werkstoffauswahl (Auswahl bei der Entwicklung neuer Produkte oder Auswahl bei bereits in der Fertigung befindlicher Erzeugnisse) ist das in **Bild 1** dargestellte Grundsystem zu detaillieren.

Bei Produktneuentwicklungen werden in einem ersten Schritt die invarianten Anforderungen mit den entsprechenden Eigenschaften der Werkstoffe durch Ja-Nein-Entscheidung verglichen, wodurch die Anzahl der möglichen Werkstoffe erheblich reduziert wird. Danach werden die varianten Anforderungen für einen weiteren Vergleich herangezogen.

Ausschlaggebend für die Suche nach einem anderen Werkstoff für ein bestehendes Produkt können Konstruktionsmodifikationen oder Änderungen des Fertigungsverfahrens (neue Fertigungsbedingungen oder neues Verfahren), aber auch neue Werkstoffe am Markt oder Wirtschaftlichkeitsbetrachtungen sein. So kann beispielsweise bei einer veranlassten Verkürzung der Produktlebensdauer in der Regel auch ein kostengünstigerer Werkstoff eingesetzt werden.

Zur Beurteilung der Werkstoffauswahl hat Grosch auf der technischen Seite die Systembegriffe *Bauteileigenschaften* und *Bauteilverhalten* eingeführt. Während die Bauteileigenschaften die Erfüllung der

technischen Funktionen eines Bauteils umfassen, verkörpert das Bauteilverhalten die Erfüllung der technischen Funktionen eines Bauteils über die gesamte Nutzungsdauer. Analog werden auf der wirtschaftlichen Seite die Begriffe *Bauteilkosten* und *Bauteilwirtschaftlichkeit* eingeführt. Die Bauteilkosten beinhalten die Entwicklungs-, Werkstoff- und Fertigungskosten, die Bauteilwirtschaftlichkeit schließt die Bauteilkosten und die mit der Nutzung verbundenen Kosten ein.

2.2 Vorgehensweise nach Ehrlenspiel und Kiewert

Das von Ehrlenspiel und Kiewert in /6/ vorgestellte methodische Vorgehen zur Werkstoffauswahl enthält sowohl eine generelle Vorgehensweise, als auch detailliertere Einzelmethoden zur Bestimmung des optimalen Werkstoffs. Durch eine methodische Werkstoffauswahl sollen im Wesentlichen zwei Ziele verfolgt werden. Zum einen ist eine Werkstoffinnovation herbeizuführen, die sich sowohl auf das Produkt als auch auf den Werkstoff selbst beziehen kann. Zum anderen soll eine erhöhte Auswahlicherheit gewährleistet werden.

Die allgemeine Vorgehensweise mit den entsprechenden Hilfsmitteln, die auf dem „Problemlösungszyklus“ der Systemtechnik basiert, ist in **Tab. 1** dargestellt. Die Ausführung und Ergebnisse der einzelnen Grundschritte können auch hier wieder

Grundschritte	Hilfen zur Werkstoffwahl
1. Aufgabe klären	Klärung der Anforderungen an den Werkstoff Anforderungsliste/Pflichtenheft erstellen. Schwerpunktbildung aus Schadensberichten, Analysen ähnlicher Produkte (Vorgänger-, Konkurrenzprodukte), Kosten-, Zuverlässigkeitsstrukturen. ABC-Analysen durchführen für Baugruppen, Bauteile, Funktionen. Werkstoffanforderungsprofil erstellen.
2. Lösungssuche	Suche nach möglichen Werkstoffen Werkstoffkataloge, Regelwerke, Datenbanken, Brainstorming, Gespräche mit Fachleuten
3. Analyse	Ermittlung der Eigenschaften Berechnungen: Festigkeit, Kosten, Versuche: Elementar-, Bauteilversuche, Einsatzspezifische Versuche an Prüfständen oder beim Kunden, Vergleich mit ähnlichen Produkten.
4. Bewertung und Entscheidung	Ermittlung der Eigenschaften der Werkstoffalternativen Anforderungs-/Eigenschaftsliste, gewichtete Punktbewertung, Nutzwertanalyse, Expertengespräche, Werkstoffentscheidungsteam, Chefentscheidung

Tab. 1: Allgemeine Problemlösungsmethode mit Hilfen zur Werkstoffauswahl der Konstruktion /6/

Rücksprünge implizieren.

Als Werkzeug für den ersten Schritt «Aufgabe klären» haben Ehrlenspiel und Kiewert eine Checkliste mit zahlreichen Werkstoffeigenschaften entwickelt. Hierin wird nach den Kategorien «Gebrauchseigenschaften», «Fertigungseigenschaften», «Kosten» und «Termine» unterschieden. Bei einer gewünschten Werkstoffsubstitution ist zur Ermittlung der Ansatzpunkte als Erstes eine ABC-Analyse durchzuführen. Bei der Suche nach Lösungen helfen ebenfalls Checklisten, aber auch Kataloge oder intuitive Verfahren wie etwa Brainstorming. Zum Bestand der Hilfsmittel gehört u.a. auch eine Art Checkliste zum Senken der Materialkosten. Die Kosten bei der Produktentwicklung stehen in den Arbeiten von Ehrlenspiel stets im Vordergrund (vgl. z.B. /7, 8/). Als Hilfen für die Analyse der Eigenschaften verschiedener Werkstoffalternativen dienen Berechnungen und Versuche. Abschließend wird zur Entscheidungsfindung eine Bewertung der analysierten Werkstoffe durchgeführt. Die Werkstoffvariante, deren Eigenschaftsprofil dem geforderten Anforderungsprofil am nächsten kommt, ist die beste Wahl. Nach Möglichkeit sollte die Entscheidung nicht von einer Einzelperson, sondern von einem aus verschiedenen Disziplinen zusammengesetzten Team getroffen werden.

3 Werkstoffauswahl mit Werkstoff-schaubildern

Eine deutlich von den bisher beschriebenen Ansätzen abweichende Vorgehensweise zur Werkstoffauswahl hat Ashby /9/ entwickelt. Grundidee dabei ist die Auswahl mithilfe von Werkstoff-schaubildern, in denen zwei Werkstoffeigenschaften logarithmisch gegeneinander aufgetragen werden, **Bild 2**. Es ist erkennbar, dass die einzelnen Werkstoffarten (z.B. Polymere) aufgrund ähnlicher Eigenschaften so genannte Cluster bilden.

Je nachdem unter welcher Prämisse eine Optimierung stattfinden soll, sind andere Werkstoffeigenschaften ausschlaggebend. So ist beispielsweise der leichteste auf Zug beanspruchte Stab derjenige, der das größte Verhältnis von Streckgrenze zu Dichte (R_{eH}/ρ) besitzt, oder der Werkstoff mit der besten Temperaturwechselbeständigkeit derjenige, der den größten Wert für $\sigma_b/E\alpha$ (σ_b Bruchspannung, E Elastizitätsmodul, α linearer Wärmeausdehnungskoeffizient) aufweist. Für die Werkstoffauswahl im

Maschinenbau sind im Wesentlichen zwölf Eigenschaften von Bedeutung /9/. Ashby stellt für diese relevanten Eigenschaften und ihre sinnvollen Kombinationen Werkstoff-schaubilder zur Verfügung.

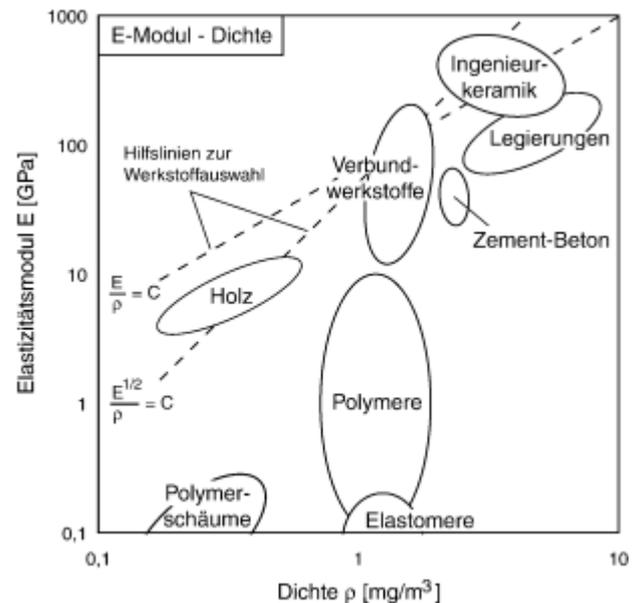


Bild 2: Werkstoff-schaubild nach Ashby (Performance Index E/ρ ist Indikator für leichte und steife Bauteile) /9/

Diese Vorgehensweise ist in erster Linie für die Auswahl einer Werkstoffart, wie etwa Polymere, gedacht und unterstützt damit mehr die frühen Phasen der Produktentwicklung. Die Werkstoffauswahl mit Werkstoff-schaubildern nach Ashby ist in einer Software namens «Cambridge Materials Selector» umgesetzt worden /10/. Diese erlaubt auch eine detailliertere Werkstoffauswahl.

4 Werkstoffauswahl mit Kennzahlverfahren

Zur Werkstoffauswahl werden auch Methoden angewendet, die mit der Bildung von Kennzahlen arbeiten. Damit wird es möglich, die Werkstoffalternativen quantitativ miteinander zu vergleichen. Allerdings gilt dies nur, sofern die Anforderungen und Eigenschaften auch quantitativer Art sind. Aus der Literatur sind z.B. die Zielbaum-Methode, der MWC-Wert (Mean Weighted Characteristics) oder der kostenbezogene Gebrauchswertfaktor η nach Schott bekannt /11/. **Tab. 2** zeigt die einzelnen Kennzahlen einschließlich ihrer Berechnungswege.

Kennzahl	Formel	Formelzeichen
Z	$Z_i = \sum_{j=1}^q \frac{f_j \cdot B_{j,i}}{A_j + \sum_i B_{j,i}}$	Z _i Zielbaum-Wert MWC _i Mean Weighted Characteristics-Wert η _i Kostenbezogener Gebrauchswert
MWC	$MWC_i = \frac{1}{\sum_{j=1}^q f_j} \sum_{j=1}^q f_j \frac{B_{j,i}}{A_j}$	A _j j-ter Anforderungswert von insgesamt q Anforderungen B _{j, i} j-ter Eigenschaftswert des i-ten Werkstoffs von insgesamt p Werkstoffen, die in die Auswahl einbezogen sind
η	$\eta_i = \frac{G_{w,i}}{K_i} = \frac{1}{K_i} \sum_{j=1}^q f_j \frac{B_{j,i}}{A_j}$	f _j Wichtungsfaktor der j-ten Anforderung G _{w, i} Gebrauchswertfaktor des i-ten Werkstoffs K _i Kosten des i-ten Werkstoffs

Tab. 2: Gegenüberstellung von Kennzahlen zur Werkstoffauswahl (nach /11/)

Im Wesentlichen unterscheiden sich die vorgestellten Kennzahlenverfahren in der Berücksichtigung der Kosten. Bei der Zielbaum-Methode werden die Kosten gesondert betrachtet, beim MWC-Verfahren sind sie einem Eigenschaftswert gleichgestellt und beim η-Verfahren wird die Summe aller technischen Erfüllungsgrade auf die zugehörigen Kosten bezogen. Die Ergebnisinterpretation sollte sorgfältig vorgenommen werden, da die Anwendung der einzelnen Verfahren auf eine Kombination von Werkstoffalternativen sehr unterschiedliche Rangfolgen ergeben kann /11/.

5 Zusammenfassung

Der Beitrag hat verschiedene Möglichkeiten zur Werkstoffauswahl beschrieben. Generelle Vorgehensweisen beinhalten die auszuführenden Arbeitsschritte. Die Auswahl mit Werkstoffschabildern erlaubt eine grafische Werkstoffsuche. Mithilfe von Kennzahlenverfahren bzw. der Bildung von Kennzahlen kann die Werkstoffeignung quantitativ ausgedrückt werden.

6 Literatur

- /1/ Illgner, K. H.: *Werkstoffauswahl für den Konstrukteur*. VDI-Z 121 (1979) Nr. 20 – Oktober (II), S. 1027-1030
- /2/ Grosch, J. (Hrsg.): *Werkstoffauswahl im Maschinenbau*. Sindelfingen: Expert Verlag, 1986 (Kontakt & Studium Band 199)
- /3/ Charles, J. A.: *Interaction of design, manufacturing method, and material selection*. Materials Science and Technology Vol. 5 (1989) June, pp 509-516

- /4/ Ashby, M. F.: *Materials selection in conceptual design*. Materials Science and Technology Vol. 5 (1989) June, pp. 517-525
- /5/ Große, A.: *Analyse der Werkstoffauswahl in der industriellen Praxis und Konsequenzen für die rechnerunterstützte Stahlauswahl*. Mitteilungen aus dem Institut für Maschinenwesen der TU Clausthal Nr. 22 (1997)
- /6/ Ehrlenspiel, K.; Kiewert, A.: *Die Werkstoffauswahl als Problem der Produktentwicklung im Maschinenbau*. VDI Berichte Nr. 797, 1990
- /7/ Ehrlenspiel, K.; Kiewert, A.; Lindemann, U.: *Kostengünstig Entwickeln und Konstruieren – Kostenmanagement bei der integrierten Produktentwicklung*. 3. Aufl. Berlin: Springer Verlag, 1999
- /8/ Pahl, G.; Beitz, W.: *Konstruktionslehre – Methoden und Anwendung*. 4. Aufl. Berlin: Springer Verlag, 1997
- /9/ Ashby, M. F.: *Materials selection in engineering design*. Indian Journal of Technology Vol. 28 (1990) June-August, pp. 217-225
- /10/ Cebon, D.; Ashby, M. F.: *Computer aided materials selection for mechanical design*. Metals and Materials Vol. 8 (1992) January, pp. 25-30
- /11/ Schott, G.: *Gegenüberstellung bekannter Werkstoffauswahlverfahren*. 1981