

Johannes Kunz

Bauteilauslegung mit Augenmaß

Plädoyer gegen unreflektierte Zahlengläubigkeit



Institut für Werkstofftechnik
und Kunststoffverarbeitung

Institut für Werkstofftechnik
und Kunststoffverarbeitung (IWK)
HSR Hochschule für Technik Rapperswil
Oberseestrasse 10, Postfach 1475
CH-8640 Rapperswil
T +41 (0)55 222 47 70
F +41 (0)55 222 47 69
iwk@hsr.ch
www.iwk.hsr.ch

Sonderdruck

Bauteilauslegung mit Augenmaß

Plädoyer gegen unreflektierte Zahlengläubigkeit. Bauteilauslegung ist weit mehr als eine bloße Berechnungsaufgabe. Sie hat – je nach Problemstellung – eine mehr oder weniger kreative Komponente und erfordert vielerlei Entscheidungen, die im Ermessen der Konstrukteure und Berechnungsingenieure liegen und mit Augenmaß zu treffen sind. Dieser Beitrag will zum Nachdenken anregen, indem er die inhärenten Unschärfen aufzeigt und damit der unreflektierten Zahlengläubigkeit entgegentritt.

JOHANNES KUNZ

Es ist wirklich beeindruckend, was die Ingenieurwissenschaft für die Bauteilauslegung in den letzten zwei, drei Jahrzehnten erforscht und an Tools entwickelt hat: Instrumente für die Prozess- und Struktursimulation, mit denen die Bauteile am Rechner virtuell hergestellt und auf ihr mechanisches, thermisches, akustisches und wie auch immer physikalisches Verhalten hin beurteilt werden können. Mit der ständig steigenden Leistungsfähigkeit der Rechner wachsen aber auch die Ansprüche an diese Möglichkeiten. Als Vision schwebt vor, Prozesse und Produkteigenschaften durchgängig mittels Rechner durchzudenken und vorzuberechnen [1].

Bei aller Nützlichkeit dieser Instrumente darf nicht vergessen werden, dass es sich immer nur um Hilfsmittel handelt, die dem konstruierenden Fachmann an die Hand gegeben werden (**Bild 1**). Er selbst ist nach wie vor unentbehrlich und mit den steigenden Möglichkeiten der Hilfsmittel sogar zunehmend gefordert. Er muss diese Möglichkeiten kennen, aber auch die Grenzen, um situationsgerecht über den sinnvollen Einsatz dieser Mittel entscheiden zu können. Denn in den wenigsten Branchen kann man sich bei der Bauteilauslegung, vor allem bei Berechnungsprozeduren, für die einzusetzenden Werkstoffkennwerte und einzuhaltenden

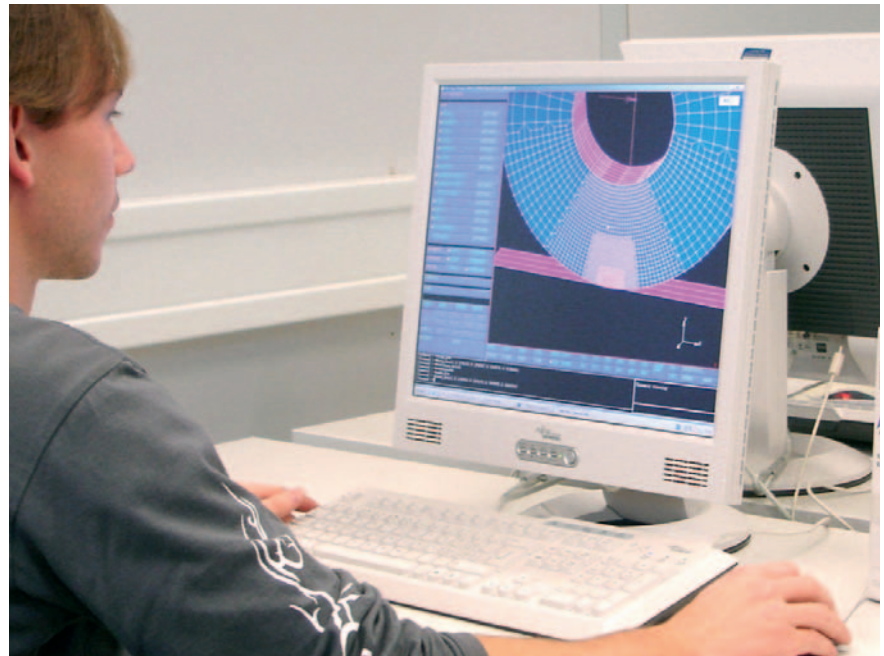


Bild 1. Augenmaß bei der Bauteilauslegung – gerade auch beim Einsatz von Simulationsprogrammen (Bild: IWK)

Sicherheitsfaktoren auf verbindliche Vorgaben aus Regelwerken und Richtlinien stützen. Und schließlich muss der Konstrukteur aus den erarbeiteten Resultaten die richtigen Schlüsse ziehen können. Bei der Bauteilauslegung sind also viele Überlegungen anzustellen, Einschätzungen vorzunehmen und Einzelentscheidungen zu treffen, die sich nicht an einen anonymen Algorithmus delegieren lassen. Für diese verantwortungsvolle Tätigkeit ist neben profunden Fachkenntnissen vor allem eines gefordert: Augenmaß!

Auslegung als Ingenieuraufgabe

Das Auslegen von Bauteilen ist eine vielschichtige, komplexe Aufgabe. Sie bein-

haltet primär die Definition von Gestalt und Abmessungen der Produkte und die Festlegung von Werkstoffen und Produktionsprozessen. Diese Arbeit ist durchdrungen von rationalen Denkvorgängen, zu einem großen Teil in Form von Berechnungen, erfordert aber neben Fach- und Methodenkompetenz auch Einfallsreichtum und das Gespür des Konstrukteurs für die wesentlichen Zusammenhänge zwischen Funktion, Gestalt, Werkstoff, Fertigung und Wirtschaftlichkeit. Die Bauteilauslegung ist demnach keine Wissenschaft, sondern eine mehr oder weniger kreative Tätigkeit, besonders bei der Konzipierung und der Formgestaltung der Produkte, unter Anwendung anerkannter, so weit wie möglich auch wissen-

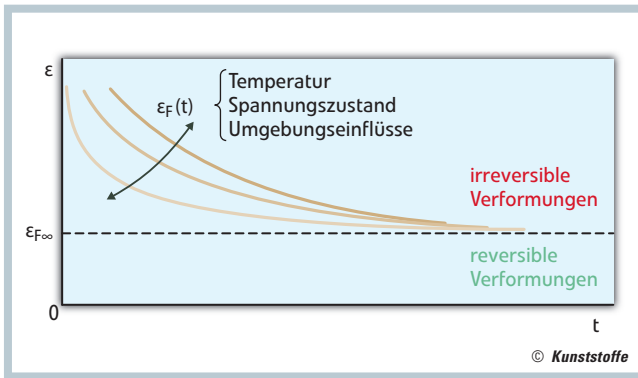


Bild 2. Dehngrenzen als Auslegungskriterien für statische und schwingende Belastungen: Einflüsse auf die Grenze zwischen reversiblen und irreversiblen Verformungen; ϵ_F : Fließdehnung; ϵ_{F0} : Fließgrenzdehnung

(Bild: IWK, nach Menges)

schaftlich basierter Techniken und Methoden. Vom Konstrukteur verlangt sind nicht nur solide Kenntnisse in den Bereichen Konstruktion, Werkstoffeigenschaften und –verhalten sowie Festigkeitslehre, er muss auch die Möglichkeiten und Grenzen der verschiedenen Kunststoffverarbeitungsverfahren kennen. Unverzichtbar ist auch die Fähigkeit, die gängigen Instrumente und CAE-Tools für die Analyse der mechanischen Belastbarkeit und die Simulation der Fertigungsprozesse sinnvoll einzusetzen.

Gemäß dem Wissenschaftlichen Arbeitskreis Kunststofftechnik braucht es „neben Erkenntnissen der Naturwissenschaften auch die Erfahrungssystematik, Intuition und die schöpferische Kraft des Ingenieurs, um zu technisch neuen und wirtschaftlich interessanten Lösungen zu kommen“ [2]. Dies sind entscheidende Faktoren für das erfolgreiche Auslegen von Produkten, denen damit letztlich auch die „Handschrift“ des Konstrukteurs aufgeprägt wird. Auf dem Weg von der Idee zum Produkt liegt vieles im Ermessen des Konstrukteurs. Das hier geforderte Augenmaß meint keinesfalls Daumen-

peilung, sondern eine seriöse Einschätzung der realen Situation aufgrund fundierter Grundkenntnisse und reicher Erfahrung, gepaart mit der Fähigkeit, sich auf Wesentliches konzentrieren und sinnvolle Gedankenmodelle bilden zu können.

Unschärfen bei Modellbildung und Auslegungsansatz

Entscheidend für das Ergebnis einer Auslegung ist die Wahl bzw. die Modellierung des Auslegungsansatzes. Es handelt sich dabei um die Aufstellung eines Denkmodells, das die komplexe Wirklichkeit mehr oder weniger real abbildet, also stets mit Idealisierungen und Vereinfachungen behaftet ist. Hier ist die Fähigkeit des Ingenieurs gefragt, die reale Situation zu beurteilen und mit dem Mut zur Vereinfachung so zu beschreiben, dass daraus ein handhabbares Modell entsteht. Ermessensspielraum gibt es aber nicht selten auch schon bei der Definition der Anforderungen.

Als Grundsatz für die Modellbildung gilt: So einfach und unkompliziert wie möglich, nicht genauer bzw. komplexer als nötig, um die wesentlichen Einflüsse und Zusammenhänge zu erfassen. Das Ergebnis einer Berechnung hängt stets vom gewählten Lösungsansatz ab, kann aber nie besser sein als dieser. Die Verwendung komplizierter Modelle kann leicht eine Genauigkeit vortäuschen, die in Wirklichkeit gar nicht existiert. Konkret: Häufig liefert eine linear-elastische Betrachtung auch für viskoelastisches Verhalten sehr gut verwendbare Ergebnisse, sofern die Werkstoffkennwerte für die relevante Belastungsdauer eingesetzt werden.

Primäres Ziel der Bauteilauslegung ist es, Bauteilgeometrie und Werkstoffeigenschaften so auf die Betriebsanforderungen abzustimmen, dass das Produkt die Funktion zuverlässig und sicher erfüllt. Angelpunkt dieser Aufgabe ist die mathematische Verknüpfung der maßgebenden Parameter. Da sich bei Kunststoffen die dehnungsbezogene Berechnung als zweckmäßiger erwiesen hat [3–5], erfolgt diese Verknüpfung in der Verformungsbedingung.

$$\epsilon_{\max} = \max(\epsilon_1, \epsilon_2, \epsilon_3) = f(F, E, A) \leq \epsilon_{zul} = \epsilon_G \cdot \frac{C}{S}$$

Darin wird der am Bauteil auftretende Dehnungs-Höchstwert ϵ_{\max} aus den drei Hauptdehnungen $\epsilon_1, \epsilon_2, \epsilon_3$ bestimmt und der als angemessen befundenen zulässigen Dehnung ϵ_{zul} gegenübergestellt. Die größte Dehnung hängt dabei nicht nur von der Belastung F , dem Werkstoff-Verformungsgesetz E und der Bauteilgeometrie A ab, sondern in erheblichem Maße auch vom gewählten Berechnungsmodell. Der einzusetzende Dehnungsgrenzwert ϵ_G entspricht der zugrunde gelegten Versagensart wie z. B. irreversible Verformung durch Werkstoff-Schädigung (Bild 2) oder Erreichen der Streckgrenze. Die Größen C und S schließlich sind die dabei zu berücksichtigenden Einfluss- und Sicherheitsfaktoren.

Wird die Berechnung, wie bei metallischen Werkstoffen üblich, anhand der Spannungen durchgeführt, so ist analog zu (1) die Festigkeitsbedingung

$$\sigma_{V\max} = f(F, E, A) \leq \sigma_{zul} = \sigma_G \cdot \frac{C}{S} \quad (2)$$

zu erfüllen, und alles oben Ausgeführte gilt sinngemäß.

Die Wahl sämtlicher Größen in (1) und (2) ist mit mehr oder weniger großen Unschärfen behaftet, und bei manchen be-

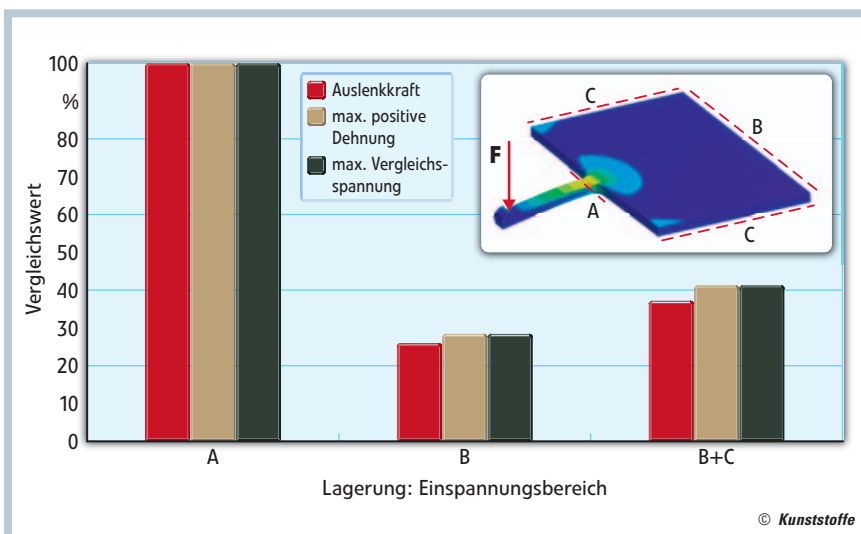


Bild 3. Einfluss der Lagerung eines Schnapphakens auf Auslenkkraft, Dehnung und Vergleichsspannung [12] (Bild: IWK)

steht viel Spielraum für Ermessensentscheidungen. Mit welchen Problemen man sich dabei auseinandersetzen hat, zeigt eine nähere Betrachtung dieser Bedingungen.

Die Bestimmung der Maximalwerte in diesen Bedingungen basiert auf einem Berechnungsmodell, das die geometrische und die physikalische Wirklichkeit nie vollkommen abbilden kann, sondern in jedem Fall mehr oder weniger stark abstrahiert. Belastungsseitig wirken sich selbstverständlich die Lastvorgaben oder -annahmen hinsichtlich Größe und zeitlichen Verläufen entscheidend aus. Da stellen sich Fragen wie: Wie genau sind die Belastungen bekannt? Wie gut kann die bei viskoelastischem Verhalten maßgebende Belastungsdauer angegeben werden? Oder: Wie weit ist es gerechtfertigt, eine schwingende Belastung durch eine statische Betrachtung zu erfassen? Auch die Randbedingungen, vor allem hinsichtlich Ort und Art der Lagerung, beeinflussen das Resultat stark. Dies macht das Beispiel der Anbindung eines Schnapphakens an einem Gehäuse deutlich (**Bild 3**) [6]: Wird das Gehäuse als starr betrachtet oder federt es mit, und wenn ja, wie und wo wird dann das Gehäuse gelagert? Geometrisch kommt es ferner darauf an, wie genau die effektive Bauteilgestalt erfasst werden kann. Dies gilt auch bei Einsatz der Finite Elemente Methode (FEM), bei der sich nicht nur Art und Dichte der Vernetzung, sondern darüber hinaus auch der gewählte Elementtyp auf das Ergebnis auswirken. Dass auch das zu wählende Materialmodell (linear/nicht-linear, elastisch/elastisch-plastisch, viskoelastisch usw.) die Lösung beeinflusst, liegt auf der Hand.

Die Anwendung der Festigkeitsbedingung (2) bei mehrachsigen Spannungszuständen erfordert für die Bestimmung der relevanten Vergleichsspannung σ_{Vmax} eine geeignete Festigkeitshypothese. Diese Wahl hängt einerseits vom Werkstoffverhalten und dem zu erwartenden Versagensmechanismus ab, also vom Werkstoff selbst, andererseits aber auch von der Art des Spannungszustands, von den Umgebungsbedingungen, vor allem der Temperatur, sowie von der Belastungsgeschwindigkeit. Angesichts der Vielzahl an nicht oder kaum quantifizierbaren Einflüssen und der fließenden Übergänge zwischen den Eignungsbereichen (**Bild 4**) [7] ist an dieser Stelle ein Ermessensentscheid zu treffen. Nicht außer Acht zu lassen ist die Tatsache, dass die in den meisten FEM-Programmen defaultmäßig verfügbare Gestaltänderungsenergiehypo-

these (GEH, von Mises) je nach Situation völlig unsinnige Resultate liefern kann und deshalb nicht unreflektiert verwendet werden sollte. Grundsätzlich könnte in der Verformungsbedingung (1) anstelle von ϵ_{max} auch eine Vergleichsdehnung ϵ_{Vmax} eingesetzt werden, was aber die Aussagekraft des Rechenergebnisses nicht erhöht.

Besonders groß ist der Ermessensspielraum in der Regel auch bei der Wahl der Sicherheitsfaktoren S , wobei vielerlei Überlegungen zu Annahmen, Modellbildung, Beanspruchungsart, Überlastwahrscheinlichkeit, Werkstoffverhalten, Versagensart, Schadensrisiko und Versagensfolgen usw. anzustellen sind. Grundsätzlich gilt: Je unsicherer die Annahmen und je gravierender die Folgen eines allfälligen Bauteilversagens sein können, umso höher sollte die zu wählende Sicherheit sein. Dabei ist aber auch der Zielkonflikt, zwischen der Gewährleistung der Sicherheit und einer möglichst hohen Wirt-

der FEM an sich zu tun hat“ [8]. Diese ernüchternde Erkenntnis muss zu denken geben. Wo liegt z. B. der Gewinn an Genauigkeit bei der Verwendung nichtlinearer statt linearer Materialmodelle, wenn die aus dem Ermessensspielraum des Anwenders bei der Definition von Belastungen und Randbedingungen und bei der Wahl von Netzstruktur und Elementtypen eingebrachten Unschärfen dominieren? Die Verwendung anspruchsvoller, leistungsfähiger Simulationsprogramme, so eindrucklich deren Möglichkeiten unbestreitbar auch sind, führt damit keineswegs automatisch auch zu trefflicheren Ergebnissen.

Es muss wirklich nicht immer FEM sein! In vielen Fällen reichen auch analytische Rechnungen anhand von algebraischen Formeln aus. Diese haben zudem den großen Vorteil, dass sie die Zusammenhänge zwischen den geometrischen und den physikalischen Parametern und den Werkstoffkennwerten, die die gesuch-

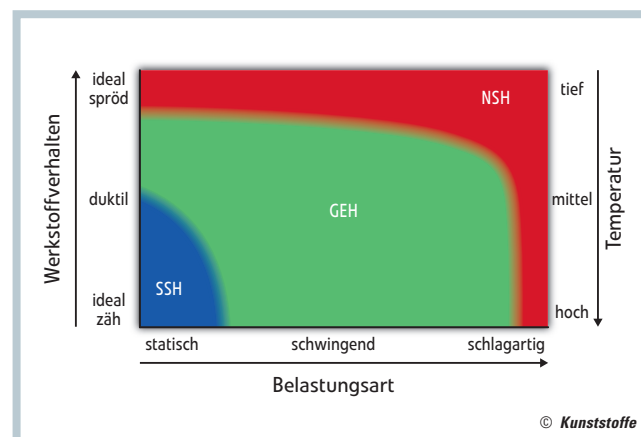


Bild 4. Unschärfe Abgrenzungen: Werkstoffverhalten und Festigkeitshypothesen in Abhängigkeit von Belastungsart und Temperatur (in Anlehnung an [17]); NSH: Normalspannungshypothese (Coulomb), GEH: Gestaltänderungsenergiehypothese (von Mises), SSH: Schubspannungshypothese (Tresca, Mohr)

schaftlichkeit zu bewältigen. Auch die in den Bedingungen (1) und (2) einzusetzenden Werkstoffkennwerte sind Ursache von Unschärfen, und zwar nicht nur im Zusammenhang mit der Wahl der passenden Kennwerte, sondern auch mit ihrer Verfügbarkeit und Trefflichkeit, wie unten noch näher ausgeführt wird.

Genauer dank Rechnerunterstützung?

Verbreitet wird angenommen, dass der Einsatz von FEM-Programmen zu besseren, sprich: genaueren Resultaten führe. Ein Trugschluss, wie Fachleute wissen. Denn „bearbeitet eine Gruppe von Berechnungsingenieuren unabhängig voneinander dasselbe Projekt, werden die Ergebnisse sehr wahrscheinlich eine nicht unerhebliche Streubreite aufweisen, die nichts mit möglichen Unzulänglichkeiten

te Größe bestimmen, transparent machen, und nicht einfach numerische Werte produzieren. Diese Berechnungsformeln basieren in der Regel auf einer wissenschaftlichen Grundlage, idealisieren aber das komplexe Verhalten zu einem Modell, das sich auf die Erfassung der entscheidenden Einflüsse beschränkt. Auch daraus entwickelte Näherungsmethoden und -lösungen können oftmals, zumindest für Abschätzungen, sehr brauchbar sein und haben sich in der Auslegungspraxis bewährt [9–11].

Gesunder Menschenverstand ist also auch bei der Wahl der Mittel und Methoden gefordert. Der Fachmann kennt nicht nur deren Möglichkeiten und Stärken, er kann auch die Grenzen und Schwächen sachgerecht einschätzen und weiß um die Gefahr, die Genauigkeit eines Berechnungsergebnisses zu überschätzen. So paradox es scheinen mag: Die Lösung einer

Eigenschaften	Anzahl Werkstoffe	Anteil in Prozent
Total Werkstoffe	39 551	100,0
Zug-E-Modul	18 188	46,0
Streckspannung	15 948	40,3
Bruchspannung	12 355	31,2
Zug-Kriechmodul 1 h	567	1,4
Zug-Kriechmodul 1000 h	651	1,6
Isochrones Spannungs-Dehnungs-Diagramm	502	1,3
Diagramm Kriechmodul-Zeit	446	1,1
Kriechkurven	454	1,1

Tabelle 1. Anteil von Werkstoffen mit Angabe auslegungsrelevanter Kennwerte im Material Data Center (Stichtag 12.11.2013) (Quelle: Material Data Center)

Näherungsrechnung muss nicht zwingend ungenauer sein als jene, die mit einem komplexeren Ansatz bestimmt wird.

Problemkreis Werkstoffkennwerte

Eine echte Herausforderung bei der Bauteilauslegung stellt die Bestimmung der erforderlichen Werkstoffkennwerte dar, deren Verfügbarkeit und Akkuranz für die Güte einer Auslegung entscheidend mitbestimmend ist. Eine nüchterne Betrachtung zeigt nun, dass es in beiderlei Hinsicht nicht zum Besten bestellt ist. Die wenigsten Anwender sind sich bewusst, welche Ungenauigkeiten von dieser Seite in die Berechnungsergebnisse einfließen können.

Man darf sich auch nicht davon blenden lassen, dass heute sehr leistungsfähige und umfangreiche Datenbanken zur Verfügung stehen [12]. Ein erster kritischer Punkt betrifft allein schon die Verfügbarkeit, selbst beim renommierten Material Data Center. Bei der Mehrzahl der insgesamt fast 40 000 Werkstoffe fehlen wichtige Daten. Dies liegt nicht am Betreiber der Datenbank, sondern an den Herstellern und Vertreibern der Werkstoffe. So elementare Kennwerte wie der Zug-Modul oder die Zugfestigkeit bzw. Bruchspannung sind nicht einmal bei der Hälfte der Werkstoffe angegeben (Tabelle 1), obwohl sie zu den am häufigsten benötigten Kennwerten gehören [13]. Und Kennwerte oder Grafiken, die das viskoelastische Verhalten der Kunststoffe beschreiben, wie etwa der Kriechmodul in Funktion der Zeit oder das isochrone Spannungs-Dehnungs-Diagramm, sind nicht mal bei 2 Prozent der Werkstoffe ausgewiesen! Dass andere wichtige Kennwerte wie etwa die Querkontraktionszahl oder die kritische Dehnung bei Schädigungsbeginn, vor allem

auch solche für das Werkstoffverhalten bei dynamischer Belastung, nicht im Kennwerte-Katalog figurieren und damit nicht verfügbar sind, ist eine seit Langem bekannte, leidige Tatsache. Wo aber wichtige Kennwerte fehlen, muss zwangsläufig auf Abschätzungen ausgewichen werden, wie sie z.T. schon vor Jahrzehnten – mit ebenso viel Sachverstand wie Augenmaß – entwickelt worden sind und sich seither als sehr hilfreich erwiesen haben [9–11].

Ein zweiter wunder Punkt liegt in der Brauchbarkeit der angegebenen Kennwerte für die jeweils vorliegende Aufgabenstellung. Die mechanischen Kennwerte werden an Probekörpern mit einer Dicke von 4 mm gemessen. Verarbeitungs- und Prüfbedingungen sind in den Normen festgelegt. Nun liegen in der Praxis kaum diese Normbedingungen vor; Abweichungen davon schlagen sich

z.T. merklich in den gemessenen Kennwerten nieder. Bei vielen Bauteilen liegt die Wanddicke in der Größenordnung von 2 mm oder sogar deutlich darunter. Neue Messungen zeigen, dass bei Halbierung der Probekörperdicke die Steifigkeit und die Festigkeit der Kunststoffe zunehmen, so z.B. der Zug-Modul von PC Makrolon 2805 gar um mehr als 50 % (Bild 5) [14]. Unter dem Strich heißt das, dass die Eigenschaften am konkreten Bauteil ganz andere Werte annehmen, als sie den Datenbanken zu entnehmen sind. Vor diesem Hintergrund mutet es geradezu grotesk an, wenn einzelne Kunststoffhersteller gewisse Kennwerte mit nicht weniger als sechs Ziffern angeben, so z.B. soll beim PP Thermo-comp MH0500A der Zug-Modul 2613,11 MPa betragen.

Es ist leider so, dass bei der Bereitstellung von Werkstoffkennwerten für die Bauteilauslegung in den letzten zwei, drei Jahrzehnten kein wirklicher Fortschritt erzielt worden ist. Praktiker sind nach wie vor auf Behelfe und ihr eigenes Urteilsvermögen für die Trefflichkeit der Kennwerte angewiesen. Das sollte – auch der Wissenschaft – zu denken geben.

Fazit

Am Schluss dieser Betrachtungen bleibt die Einsicht, dass die Auslegung eines Bauteils mit mancherlei, z.T. erheblichen Unschärfen behaftet ist, die sich durch alle Teilbereiche des Auslegungsprozesses durchziehen, und von denen keine einzige Größe in der Verformungs- bzw. Fes-

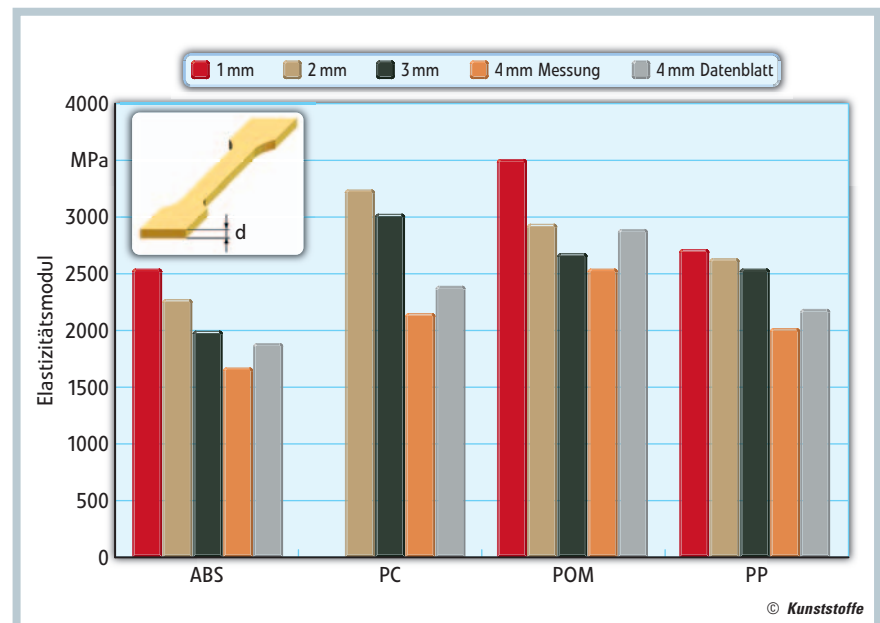


Bild 5. Abhängigkeit des Zug-Elastizitätsmoduls von der Probekörperdicke [14] (Bild: IWK)

tigkeitsbedingung (1) bzw. (2) frei ist. Wichtigste Folgerung aus diesen Feststellungen ist, dass eine Genauigkeit von $\pm 10\%$ der wie auch immer berechneten Resultate im Normalfall ganz ansehnlich ist. Georg Menges geht für die Mehrzahl der praktisch vorkommenden Fälle davon aus, dass eine Genauigkeit von $\pm 20\%$ genüge [8]. Bei höheren Ansprüchen, etwa für die Automobiltechnik, die Luftfahrtindustrie oder die Medizintechnik, sind aufwendige bauteilspezifische Kalibrierungen während des Auslegungsprozesses unumgänglich. Auch der Einsatz von hochentwickelten Simulationsprogrammen ist allein noch kein Garant für die Güte der Resultate. Es bringt wenig bis nichts, bei einer Teilaufgabe der BauteilAuslegung oder einem einzelnen Parameter der Verformungs- bzw. Festigkeitsbedingung mit viel zusätzlichem Aufwand eine höhere Genauigkeit erarbeiten zu wollen, wenn andere Größen oder Teilaufgaben mit deutlich größeren Unschärfen behaftet bleiben.

Wenn diese Aussage den einen oder anderen Leser vielleicht etwas verunsichern und seine bisherigen Vorstellungen in Frage stellen sollte, schadet das durchaus nichts, im Gegenteil. In jedem Fall lohnt es sich, über realistische Erwartungen an die BauteilAuslegung nachzudenken und die richtigen Schlüsse zu ziehen. Natürlich wird man sich bei den Auslegungsrechnungen trotz aller immanenten Unzulänglichkeiten um eine möglichst hohe Aussagekraft der Resultate bemühen. Dies gelingt aber nur dank dem Augenmaß der Konstrukteure und Ingenieure, das auf einem tiefen Verständnis für die physikalisch-technischen Zusammenhänge sowie Kenntnis und Beherrschung der Methoden und Einsicht in die Grenzen derselben gründet und das sie befähigt, Wichtiges von Unwichtigem zu unterscheiden, die Mittel sinnvoll einzu-

setzen und die Trefflichkeit von Lösungsansätzen, Modellen, Kennwerten und Ergebnissen vernünftig einzuschätzen – keine unwichtige Erkenntnis für Praxis, Wissenschaft und Lehre. ■

WIDMUNG

Dieser Artikel ist Prof. em. Dr.-Ing. Georg Menges zum 90. Geburtstag gewidmet.

LITERATUR

- 1 Michaeli, W.: Kunststoffgerecht konstruieren. Konstruktion 53 (2001) 10, Editorial S. 3
- 2 N.N.: Zum Selbstverständnis der Kunststofftechnik. Präambel. Wissenschaftlicher Arbeitskreis Kunststofftechnik WAK. www.wak-kunststofftechnik.de
- 3 Menges, G.; Taprogge, R.: Denken in Verformungen erleichtert das Dimensionieren von Kunststoffteilen. VDI-Z 112 (1970) 6, S. 341–346 und 112 (1970) 10, S. 627–629
- 4 Menges, G.: Erleichtertes Verständnis des Werkstoffverhaltens bei verformungsbezogener Betrachtungsweise. Fortschritts-Berichte VDI-Z Reihe 5, Nr. 12, VDI-Verlag Düsseldorf, 1971
- 5 Kunz, J.: Ein Plädoyer für die dehnungsbezogene Auslegung. Kunststoffe 101 (2011) 4, S. 50–54
- 6 Peter, M.: Einfluss der Elemente auf das FE-Modell. Unveröffentlichte Studie. IWK Institut für Werkstofftechnik und Kunststoffverarbeitung Rapperswil, 2012
- 7 Wikipedia, Online-Datenbank, Stichwort – „Vergleichsspannung“
- 8 Stommel, M.; Stojek, M.; Korte, W.: FEM zur Berechnung von Kunststoff- und Elastomerbauteilen. Carl Hanser Verlag München, 2011, S. 307

9 Menges, G.: Ingenieurmäßige Festigkeitsrechnung für Spritzgussteile aus Thermoplasten. Kunststoffe 57 (1967) 1, S. 2-8

10 Menges, G.: Abschätzen der Tragfähigkeit mäßig beanspruchter Kunststoff-Formteile. Kunststoffe 57 (1967) 46, S. 476–484

11 Taprogge, R.: Konstruieren mit Kunststoffen. VDI-Taschenbücher T 21. VDI-Verlag Düsseldorf, 1971

12 Material Data Center – Werkstoffdaten. M-Base Engineering+Software GmbH, Aachen

13 Berlich, R.; Gabriel, R.; Schmachtenberg, E.: Analyse der Datenbank Campus – Nutzung von Kennwerten im Konstruktionsprozess. Kunststoffe 91 (2001) 10, S. 64–66

14 Vordermann, Y.; Ehrig, F.; Kunz, J.: Einfluss der Probekörperdicke auf die mechanischen Eigenschaften. Kunststoffe 103 (2013) 9, S. 170–174

DER AUTOR

PROF. DIPL.-ING. JOHANNES KUNZ, geb. 1940, ist am Institut für Werkstofftechnik und Kunststoffverarbeitung (IWK) an der HSR Hochschule für Technik Rapperswil/Schweiz, tätig; jkunz@hsr.ch

SUMMARY

GOOD JUDGMENT IN PART DESIGN

A PLEA AGAINST A BLIND FAITH IN DATA. Designing a part is much more than just a matter of calculation. Depending on the problem, it has a more or less creative component and entails many decisions by designers and engineers, which must be made with good judgment. This article provides food for thought by showing the inherent fuzziness of the design process, and thereby opposes a blind faith in data.

Read the complete article in our magazine

Kunststoffe international and on www.kunststoffe-international.com