

# Materials Testing

Materialprüfung

7-8/2011 | Volume 53 | [www.Materialstesting.de](http://www.Materialstesting.de)

Materials and Components, Technology and Application



**Einfluss nichtmetallischer  
Einschlüsse auf zuverlässige  
HCF-Bemessungskennwerte**

S.455

# Neuer Ansatz zur Bewertung von Stützwirkung und statistischem Größeneinfluss im Auslegungsprozess\*

Jürgen Fröschl, Matthias Decker, Ottobrunn, und Wilfried Eichlseder, Leoben

Im BauteilAuslegungsprozess spielt bei der Übertragung von Schwingfestigkeitsergebnissen aus Probenversuchen auf zulässige Bauteilbemessungskennwerte die Beschreibung des spannungsmechanischen und statistischen Größeneinflusses eine wesentliche Rolle. Dazu wird im vorliegenden Beitrag ein neuer Ansatz zur getrennten Bewertung dieser beiden Größeneinflüsse vorgestellt sowie die Vorteile gegenüber klassischen Modellen an Schwingfestigkeitsversuchsergebnissen demonstriert.

Aufgrund immer kürzer werdender Entwicklungszeiten gewinnt die rechnerische Betriebsfestigkeitsbewertung weiter zunehmend an Bedeutung. In den letzten Jahren wurde häufig versucht, eine durchgängige Simulationskette von der Bauteilherstellung bis zur Betriebslastberechnung und Betriebsfestigkeitsbewertung zu realisieren. Dadurch soll erreicht werden, dass die wichtigsten technologischen Einflüsse der einzelnen Fertigungsschritte auf die Betriebsfestigkeit in der rechnerischen Festigkeitsbewertung berücksichtigt werden. Dazu werden umfassende und teils komplexe Materialmodelle zur synthetischen Ermittlung lokaler Schwingfestigkeitsdaten bspw. in Form lokaler Wöhlerlinien benötigt. Neben den technologischen Einflüssen spielen seit jeher geeignete Modelle zur Berücksichtigung des Stützwirkungs- sowie des statistischen Größeneinflusses eine wichtige Rolle. Der vorliegende Beitrag gibt zunächst einen Überblick über die gängigen Konzepte mit Fokus auf Spannungsgradienten- und volumetrische Modelle. Die spezifischen Vor- und Nachteile der verschiede-

nen Modelle werden diskutiert und ein neuer Ansatz vorgestellt, welcher die getrennte Betrachtung des spannungsmechanischen und statischen Größeneinflusses ermöglicht. Ein Vergleich der berechneten Schwingfestigkeiten mit Versuchsergebnissen zeigt die Vorteile des neuen Ansatzes.

## Arten des Größeneinflusses

Für die Übertragbarkeit von Schwingfestigkeitsversuchen an Proben auf lokale Bemessungskennwerte für Bauteile ist die Berücksichtigung des Größeneinflusses wesentlich. Dieser lässt sich auf verschiedene Arten gliedern, wobei oftmals eine auf Kloos [1] zurückführende Einteilung Anwendung findet. Dieser schlägt eine Strukturierung mit vier Untergruppen vor:

- **Technologischer Größeneinfluss:** Dieser beschreibt den Einfluss des Rohmaterialdurchmessers auf die Schwingfestigkeit. Von Winter [2] wird bspw. der Einfluss unterschiedlicher Ausgangsmaterialdurchmesser von gewalzten Stangenprofilen aus dem Vergütungsstahl 34CrNiMo6 untersucht. Diese Arbeit zeigt zum Zentrum des

Stangenmaterials hin eine signifikante Abnahme der Schwingfestigkeit.

- **Spannungsmechanischer Größeneinfluss:** Dieser beschreibt die klassische Stützwirkung, bei welcher inhomogene Spannungsverteilungen, bspw. in gekerbten Bauteilbereichen, zu lokal höher ertragbaren Spannungsamplituden führen. Die Ursache für den Anstieg der lokalen Schwingfestigkeiten im Kerbgrund wird in einer stützenden bzw. mittragenden Wirkung des umliegenden, jedoch weniger stark beanspruchtem Werkstoffes gesehen.
- **Statistischer Größeneinfluss:** Mit steigendem kritisch beanspruchten Volumen wird von einer sinkenden Schwingfestigkeit ausgegangen. Als Ursache für diesen Größeneinfluss wird dabei ein mit ansteigendem beanspruchtem Volumen zusammenhängender Anstieg der Wahrscheinlichkeit angesehen, dass in diesem Volumen eine schwingrissinitiierende Gefügeungänge auftritt.
- **Oberflächentechnischer Größeneinfluss:** Je größer die Bauteilabmessungen oberflächenverfestigter Bauteile sind, desto geringer wirken sich die

\* Dieser Beitrag erschien bereits im DVM-Bericht 137

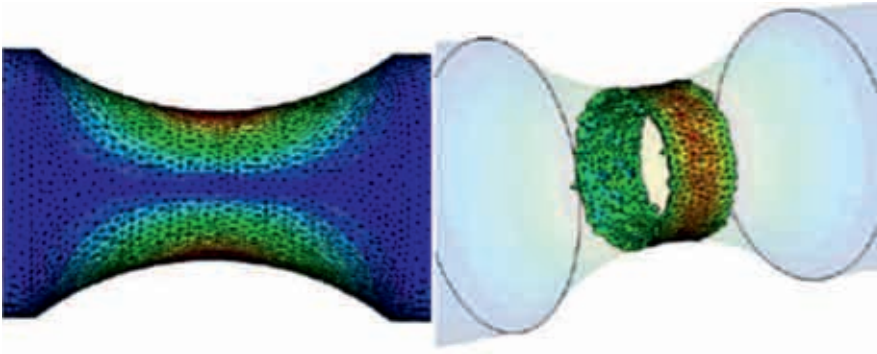


Bild 1. Spannungsverteilung in einer Probe unter Biegebeanspruchungen (links); Auswertung des höchstbeanspruchten Volumens unter Umlaufbiegebeanspruchung (rechts)

Figure 1. Stress distribution of a specimen under bending loading (left); Determination of the highly stressed material volume under rotating bending (right)

Oberflächenverfestigungen schwingfestigkeitsfördernd aus. Der Grund dafür ist bei steigendem Durchmesser die sinkende relative Eindringtiefe der Oberflächenverfestigungsverfahren bezogen auf den Beanspruchungstiefenverlauf.

Der hier vorliegende Beitrag befasst sich mit den spannungsmechanischen und statistischen Größeneinflüssen, welche durch zahlreiche entwickelte Modelle gemeinsam und vermischt erfasst werden. Eine getrennte Beschreibung dieser beiden Größeneinflüsse wird hingegen selten durchgeführt. Aufgrund der Tatsache, dass verschiedene Werkstoffe unterschiedlich auf Veränderungen der Kerbschärfe und des beanspruchten Volumens reagieren, führt diese vermischte Beschreibung der beiden Größeneinflüsse teilweise zu Ungenauigkeiten in den Berechnungsergebnissen.

### Modelle zur Beschreibung des spannungsmechanischen und statistischen Größeneinflusses

Für die Berücksichtigung des spannungsmechanischen und statistischen Größeneinflusses wurden in den vergangenen Jahrzehnten zahlreiche, unterschiedliche Modelle entwickelt. Bei rechnerischen Betriebsfestigkeitsbewertungen auf Basis lokaler Spannungen haben sich dabei Ansätze durchgesetzt, welche sich in die Gruppe der volumetrischen sowie der Spannungsgradientenmodelle einteilen lassen. Nachfolgend wird ein kurzer Überblick über typische Vertreter beider Gruppen gegeben, welcher jedoch keinen Anspruch auf Vollständigkeit er-

hebt. Vielmehr wird der Überblick dazu genutzt, die modellspezifischen Vor- und Nachteile darzustellen. Eine detailliertere Diskussion der unterschiedlichen Konzepte erfolgt in der Veröffentlichung von Gänsler [3].

### Volumetrische Ansätze

Volumetrische Ansätze gehen davon aus, dass mit steigender Kerbschärfe das schwingbruchkritisch beanspruchte Volumen (vgl. Bild 1) abnimmt. Somit wird unter Berücksichtigung des schwingbruchkritisch beanspruchten Volumens nicht nur der statistische, sondern auch der spannungsmechanische Größeneinfluss erfasst. Für die Bestimmung des schwingbruchkritisch beanspruchten Volumens gibt es dabei unterschiedliche Ansätze, deren gebräuchlichste im Folgenden dargestellt werden.

Erstmals wurde ein volumetrischer Ansatz von Kuguel [4] veröffentlicht. Er beschreibt den Zusammenhang zwischen der ertragbaren Spannungsamplitude bei vorgegebener Schwingzahl und dem höchst beanspruchten Volumen über folgenden exponentiellen Ansatz:

$$\sigma_D = BV_{95\%}^{-a} \quad (1)$$

Darin beschreibt  $V_{95\%}$  das zusammenhängende, höchstbeanspruchte Volumen, welches eine Beanspruchung von mindestens 95 % der Maximalspannung in diesem Volumen aufweist. Die Parameter  $B$  und  $a$  stellen werkstoffabhängige Parameter dar.

Ein weiterer wichtiger volumetrischer Ansatz wurde von Sonsino [5] veröffent-

licht. Darin wird der Zusammenhang zwischen ertragbarer Spannungsamplitude und höchst beanspruchtem Volumen ebenso über einen exponentiellen Ansatz formuliert:

$$\frac{\sigma_{D,1}}{\sigma_{D,2}} = \left( \frac{V_{90\%,2}}{V_{90\%,1}} \right)^v \quad (2)$$

Als höchstbeanspruchtes Volumen wird darin jenes zusammenhängende Volumen definiert, welches durch mindestens 90 % der Maximalspannung beansprucht wird. Der Exponent  $v$  stellt wiederum einen Werkstoffparameter dar. Die Besonderheit an diesem Ansatz ist, dass ein Grenzvolumen definiert wurde, oberhalb dessen kein weiterer Abfall der ertragbaren Spannungsamplitude auftritt. Für Schmiedestähle beträgt dieser Volumenschwellwert  $50 \text{ mm}^3$ , für Gusswerkstoff wurde ein Volumenschwellwert von  $8000 \text{ mm}^3$  angegeben [6].

Anstelle des höchstbeanspruchten Volumens verwendeten Palin-Luc et al. [7] zur Beschreibung der Stützwirkung und des statistischen Größeneinflusses das geschädigte Volumen  $V_{\sigma^*}$ . Dieses beruht auf Untersuchungen von Vivenzang et al. [8] an 35CD4-Stahl, welche zeigten, dass sich bei zyklischer Belastung mit Spannungsamplituden unterhalb der klassischen Dauerfestigkeit Mikrorisse im Gefüge ausbildeten. Erst bei einem weiteren Absenken der Spannungsamplitude unterhalb eines Schwellwertes  $\sigma^*$  konnte keine Mikrorissinitiierung detektiert werden.  $V_{\sigma^*}$  beschreibt demnach das zusammenhängende Werkstoffvolumen, welches eine Beanspruchung von mindestens  $\sigma^*$  erfährt. Ein wesentlicher Unterschied zu den vorher diskutierten volumetrischen Ansätzen besteht darin, dass aufgrund der Verwendung eines absoluten Schwellwertes zur Bestimmung des Volumens eine Abhängigkeit des ermittelten Volumenwertes von der Beanspruchungshöhe auftritt. Je höher die maximale Beanspruchung im Nachweispunkt ist, desto größer ist das geschädigte Volumen.

Ein wichtiges Merkmal volumetrischer Ansätze ist die Möglichkeit, den in Schwingfestigkeitsversuchen typischerweise festgestellten Unterschied zwischen Axialbiege- und Umlaufbiegebeanspruchung beschreiben zu können. Aufgrund der nicht getrennten Beschreibung der spannungsmechanischen Stützwirkung und des statistischen Größ-

Beneinflusses lassen sich jedoch auch Anwendungsfälle finden, in denen ein Stützwirkungseinfluss nicht erfasst wird. Ein Beispiel dafür ist eine dünnwandige Gusskomponente, bei welcher aufgrund der konstruktionsbedingten Wandstärke das höchste beanspruchte Volumen mit sinkender Kerbschärfe nicht weiter ansteigen kann. Gerade solche Fälle können zu Nichtkonservativitäten in der rechnerischen Betriebsfestigkeitsbewertung führen.

### Spannungsgradientenmodelle

Spannungsgradientenmodelle beschreiben einen Zusammenhang zwischen der ertragbaren Spannungsamplitude und dem Gradienten des Spannungstiefenverlaufes, ausgedrückt durch den bezogenen Spannungsgradienten  $\chi'$ :

$$\chi' = \frac{d\sigma}{dx} \cdot \frac{1}{\sigma_{\max}} \tag{3}$$

In Nennspannungskonzepten wird oftmals die Stützzahl  $n$  in Abhängigkeit vom bezogenen Spannungsgradienten angegeben (vgl. bspw. FKM-Richtlinie (9)). Die Stützzahl beschreibt dabei das Verhältnis der Formzahl zur Kerbwirkungszahl:

$$n(\chi') = \frac{K_t}{K_f} \tag{4}$$

Eichlseder [10] veröffentlichte 2002 einen Spannungsgradientenansatz, welcher unter anderem Eingang in die kommerzielle Betriebsfestigkeitssoftware FEMFAT™ gefunden hat und damit breite Anwendung erfährt. Darin wird der Zusammenhang zwischen Dauerfestigkeit und bezogenem Spannungsgradienten über einen Vergleich der Zug/Druck-Wechselfestigkeit und der Biegewechselfestigkeit unter Verwendung des werkstoffabhängigen Parameters  $K_D$  definiert:

$$\sigma_D = \sigma_{D,ZD} \left( 1 + \left( \frac{\sigma_{D,Bending}}{\sigma_{D,TC}} - 1 \right) \left( \frac{\chi'}{2/d} \right)^{K_D} \right) \tag{5}$$

Aufgrund der Tatsache, dass Spannungsgradientenmodelle als kennzeichnende Größe einen Beanspruchungsparameter aufweisen, können Einflüsse auf die Schwingfestigkeit, welche ausschließlich auf dem statistischen Größeneinfluss beruhen, nicht beschrieben werden. Dem-

Werkstoff	$\sigma_{d, \text{Versuch}}$ MPa	$K_t$ -	Beanspruchungsart -	$\chi'$ 1/mm	$V_{90\%}$ mm <sup>3</sup>	Quelle
34CrNiMo6	606	1	UB	0,2	1040	(2)
34CrNiMo6	612	1,1	UB	0,53	43	
34CrNiMo6	676	1,82	UB	2,99	2,6	
34CrNiMo6	500	1	UB	0,2	1040	
34CrNiMo6	512	1	UB	0,2	329	
34CrNiMo6	523	1,1	UB	0,53	44	
34CrNiMo6	570	2,3	UB	3,9	1,84	
30NCD16	650	1,07	ZD	0	269	(7)
30NCD16	658	1,07	UB	0,257	95	
30NCD16	690	1,07	AB	0,257	10,9	
XC18	273	1,07	ZD	0	269	
XC18	310	1,07	UB	0,257	95	
XC18	332	1,07	AB	0,257	10,9	
35CD4	558	1,07	ZD	0	269	
35CD4	581	1,07	UB	0,257	95	
35CD4	620	1,07	AB	0,257	10,9	
38MnVS5	372	1	ZD	0	2306	
38MnVS5	418	1	AB	0,2	71,5	
38MnVS5	484	1,5	AB	0,5	7,8	
38MnVS5	485	2,05	AB	1,34	2,44	
FGS-800	245	1,07	ZD	0	269	(14)
FGS-800	280	1,07	UB	0,25	95	
FGS-800	294	1,07	AB	0,257	10,9	
FGS-800	330	1,3	AB	0,67	1,7	
FGS-800	320	1,7	AB	1,52	0,88	
FGS-800	400	2,7	AB	6,07	0,08	

Tabelle 1. Zusammenstellung von Versuchsergebnissen und Probedaten

Table 1. Summary of experimental results and specimen characteristics

zufolge lässt sich der charakteristische Unterschied zwischen Axial- und Umlaufbiegebeanspruchung nicht erfassen.

Die modellspezifischen Vorteile der Spannungsgradientenmodelle gegenüber volumetrischen Ansätzen liegen

darin, dass Stützwirkungseinflüsse selbst bei unveränderlichem höchstbeanspruchtem Volumen erfasst werden können. Dadurch lassen sich die oben diskutierten Nichtkonservativitäten volumetrischer Ansätze vermeiden. Da die

Werkstoff	$\sigma_d$ , Versuch MPa	$\sigma_d$ , Eichseder MPa	$\sigma_d$ , Sonsino MPa	$\sigma_d$ , Vol. korr. Grad. MPa
34CrNiMo6	606	606	607	606
	612	622	612	631
	676	680	703	667
	500	500	519	500
	512	500	519	505
	523	517	523	525
	570	571	613	570
30NCD16	650	620	639	650
	658	690	639	660
	690	690	690	690
XC18	273	273	307	273
	310	310	307	310
	332	310	332	323
35CD4	558	558	574	558
	581	581	574	581
	620	581	620	606
38MnVS5	372	372	441	372
	418	518	441	418
	484	444	484	451
	485	491	512	491
FGS800	245	245	256	245
	280	280	256	280
	294	280	294	292
	330	301	347	316
	320	330	368	335
	400	415	457	392

Tabelle 2. Experimentell und rechnerisch ermittelte Schwingfestigkeitswerte

Table 2. Fatigue strength: test results and calculated values

Biege- und Zug/Druck-Wechselfestigkeit jedoch auf unterschiedlich beanspruchten Werkstoffvolumina basieren, kommt es ebenso wie bei volumetrischen Modellen zu einer gemischten Betrachtung des spannungsmechanischen und statistischen Größeneinflusses.

### Neuer Ansatz: Volumenkorrigiertes Spannungsgradientenmodell

Die spezifischen Vorteile der volumetrischen Ansätze und der Spannungsgradientenmodelle lassen sich kombinie-

ren, indem eine getrennte Betrachtung des spannungsmechanischen und statistischen Größeneinflusses erfolgt, wie bereits durch Vormwald [11] und Liu [12] gefordert.

Es wird daher vorgeschlagen, den spannungsmechanischen Größeneinfluss über ein Spannungsgradientenkonzept zu erfassen, während ein volumetrischer Ansatz ausschließlich für die Beschreibung des statistischen Größeneinflusses gewählt wird.

Durch eine entsprechende Volumenkorrektur in Gleichung 5 kann der statistische Größeneinfluss rechnerisch korrigiert werden. Die Biegewechselfestigkeit wird dabei auf ein der Zug/Druck-Beanspruchung äquivalentes Volumen umgerechnet. Dies führt zu einem volumenkorrigierten Spannungsgradientenansatz:

$$\sigma_D = \sigma_{D,ZD} \left\{ 1 + \left( \frac{\sigma_{D,Biegung}}{\sigma_{D,ZD}} \left( \frac{V_{Biegung}}{V_{ZD}} \right)^a - 1 \right) \left( \frac{\chi^*}{2/d} \right)^{K_D} \right\} \quad (6)$$

Der werkstoffabhängige Parameter  $a$  lässt sich iterativ aus Schwingfestigkeitsversuchsergebnissen bzw. aus einem Vergleich der Axial- und Umlaufbiegewechselfestigkeit ermitteln. Da die Spannungsgradienten bei Axial- und Umlaufbiegebeanspruchung identisch sind, ist der Unterschied in den Schwingfestigkeiten ausschließlich auf den statistischen Größeneinfluss zurückzuführen:

$$a = \log \left( \frac{\sigma_{D,AB} \cdot V_{UB}}{\sigma_{D,UB} \cdot V_{AB}} \right) \quad (7)$$

$\sigma_{D,AB}$  und  $\sigma_{D,UB}$  stellen die ertragbaren Spannungsamplituden unter Axial- und Umlaufbiegebeanspruchung dar, während  $V_{AB}$  und  $V_{UB}$  die entsprechenden höchstbeanspruchten bzw. -geschädigten Volumina beider Beanspruchungsarten bedeuten.

Zur Berücksichtigung des statistischen Größeneinflusses wird in Anlehnung an bestehende volumetrische Ansätze die Verwendung eines Exponentialansatzes vorgeschlagen:

$$\frac{\sigma_{D,1}}{\sigma_{D,2}} = \left( \frac{V_2}{V_1} \right)^a \quad (8)$$

Aufgrund dieser vorgeschlagenen Modellansätze lässt sich der spannungsmechanische Größeneinfluss vom statistischen Größeneinfluss trennen. Die gesamte Beziehung zur Berechnung einer ertragbaren Spannungsamplitude kann demnach folgendermaßen angesetzt werden:

$$\sigma_D(V, \chi') = \sigma_{D,ZD} \left( 1 + \left( \frac{\sigma_{D,Biegung}}{\sigma_{D,ZD}} \left( \frac{V_{Biegung}}{V_{ZD}} \right)^a - 1 \right) \left( \frac{\chi'}{2/d} \right)^{K_D} \right) \cdot \left( \frac{V_{ZD}}{V} \right)^a \quad (9)$$

Aufgrund der getrennten Betrachtung der Stützwirkung und des statistischen Einflusses kann sowohl der charakteristische Unterschied zwischen einer Axial- und Umlaufbiegewechselfestigkeit als auch Stützwirkungseffekte bei konstruktionsbedingt gleichen bzw. nur gering veränderlichen höchstbeanspruchten Volumina beschrieben werden.

### Verifikation

Für einen Vergleich unterschiedlicher Konzepte wurden veröffentlichte Schwingfestigkeitsversuchsergebnisse recherchiert, die an gekerbten und ungekerbten Werkstoffproben aus unterschiedlichen Werkstoffen ermittelt wurden. Die unterschiedlichen Probengeometrien wurden mithilfe der Finite-Elemente-Methode analysiert, sowie der bezogene Spannungsgradient und die höchst beanspruchten Volumina mithilfe automatisierter Routinen ausgewertet (Bild 1). Tabelle 1 stellt die Versuchsergebnisse einschließlich der ermittelten Probenkennwerte dar.

Auf Basis dieser Ergebnisse wurden für folgende drei Modelle jeweils die errechneten Schwingfestigkeiten ermittelt (Tabelle 2):

- Spannungsgradientenmodell nach Eichlseder [10]
- Volumetrisches Modell nach Sonsino [5]
- Volumenkorrigiertes Spannungsgradientenmodell

In Bild 2 sind die mit den drei Modellen berechneten Schwingfestigkeiten über den experimentell ermittelten aufgetragen. Das Spannungsgradientenmodell nach Eichlseder (Bild 2 (a)) zeigt, dass die berechneten Schwingfestigkeiten zu einem überwiegenden Anteil innerhalb eines Fehlerbandes von ±25 MPa liegen.

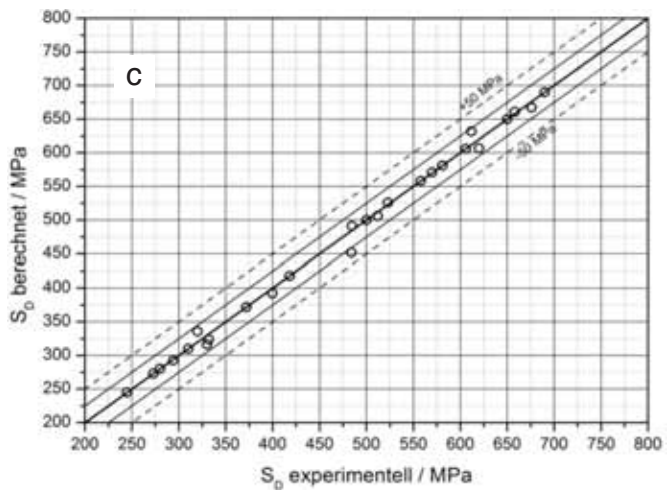
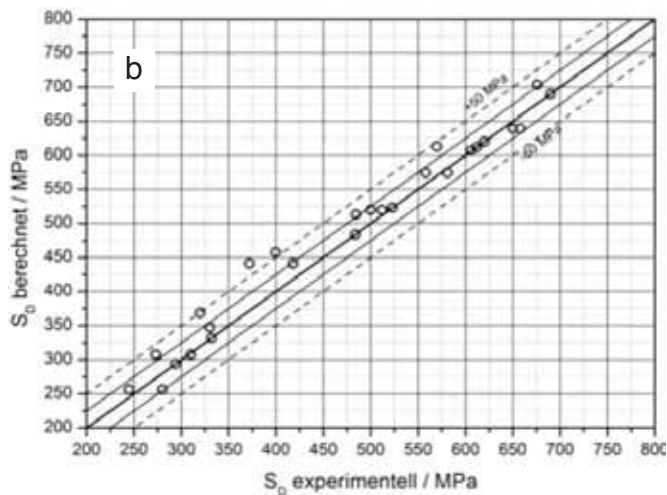
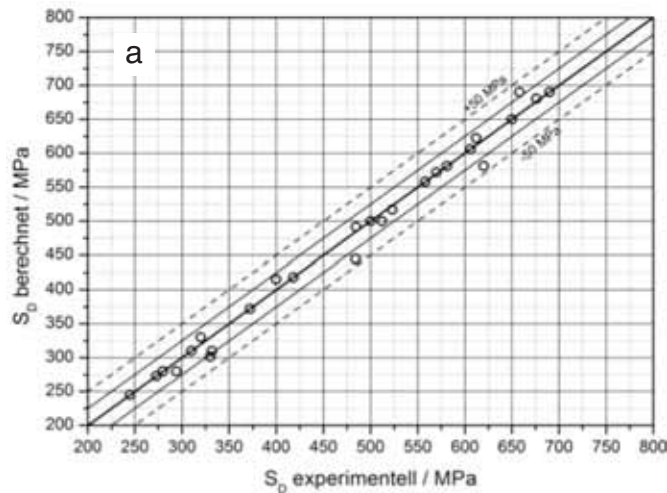


Bild 2. Berechnete vs. experimentell ermittelte Schwingfestigkeiten,; a) Spannungsgradientenmodell nach Eichlseder [10], b) Volumetrisches Modell nach Sonsino [5], c) Volumenkorrigiertes Spannungsgradientenmodell

Figure 2. Comparison of calculated and tested fatigue strengths,; a) stress gradient approach acc. Eichlseder [10], b) volumetric approach acc. Sonsino [5], c) volume-compensated stress gradient approach

Die Abweichungen sind auf einem niedrigen Niveau. Einzelne Punkte außerhalb dieses Fehlerbandes sind mehrheitlich unterhalb der Solllinie und stellen somit eine Unterschätzung der Schwingfestigkeit und damit konservative Ergebnisse dar. Der werkstoffabhängige Parameter  $K_D$  (Gleichung (5)) für die Be-

rechnung der ertragbaren Spannungsamplitude wurde dabei, wie von Eichlseder [10] vorgeschlagen, für jeden Werkstoff entsprechend gewählt.

Das volumetrische Modell nach Sonsino (Bild 2 (b)) zeigt eine größere Streuung der berechneten Schwingfestigkeiten. Ein Grund dafür liegt in dem für

## Abstract

**A new Approach for Consideration of Stress-Mechanical and Statistical Size Effect.** For the fatigue life assessment of components the consideration of both stress-mechanical and statistical size effect takes a significant influence. Therefore, a new approach for a separate evaluation of both size effects will be presented and the advantages of this model discussed.

Stähle angegebenen Schwellwert des höchstbeanspruchten Volumens von  $V_{90\%} = 50 \text{ mm}^3$  (5), oberhalb dessen im Modell kein weiterer Abfall der Schwingfestigkeit mehr berücksichtigt wird. Dies führt zu einer teilweisen Überschätzung der Schwingfestigkeiten gerade bei hohen Volumina. Die in den Versuchen festgestellten niedrigen Schwingfestigkeiten bei großen höchstbeanspruchten Volumina werden nicht abgebildet. Der Parameter  $\nu$  in Gleichung 2 wurde entsprechend den Empfehlungen in [5, 6] mit  $\nu = 0,05$  für Stahl und  $\nu = 0,09$  für Sphäroguss gewählt.

Das hier vorgeschlagene volumenkorrigierte Spannungsgradientenmodell zeigt in diesem Vergleich die geringsten Streuungen (Bild 2 (c)). Mit diesem Modell können die charakteristischen Unterschiede zwischen Axial- und Umlaufbiegewechselfestigkeit beschrieben werden. Die Modellparameter  $a$  und  $K_D$  wurden für jeden Werkstoff mittels Parameteroptimierung ermittelt. Mit dieser Vorgehensweise wird den Erkenntnissen aus umfangreichen Schwingfestigkeitsversuchen Rechnung getragen, dass unterschiedliche Werkstoffe selbst bei gleicher Werkstoffgruppe unterschiedliche Kerbempfindlichkeiten und Empfindlichkeiten gegenüber Änderungen des beanspruchten Volumens aufweisen. Eine pauschale bzw. werkstoffgruppenabhängige Vorgabe der Modellparameter wird nicht empfohlen.

## Schlussfolgerungen

Das in diesem Beitrag vorgestellte volumenkorrigierte Spannungsgradientenmodell zur getrennten Berücksichtigung des spannungsmechanischen sowie des statistischen Größeneinflusses zeigt bei einem Vergleich mit anderen Modellen eine weitere Verbesserung der Berechnungsqualität. Die bislang als Nachteil bewertete Eigenschaft von Spannungsgradientenmodellen, den Unterschied zwischen Umlauf- und Axialbiegewechselfestigkeit

ten nicht beschreiben zu können, wird mit diesem Modell behoben. Gegenüber volumetrischen Ansätzen zeigt sich der Vorteil, dass die bei diesen Modellen unter bestimmten Umständen möglichen nicht-konservativen Berechnungsergebnisse vermieden werden können.

## Literatur

- 1 K.-H. Kloos: Einfluss des Oberflächenzustandes und der Probengröße auf die Schwingfestigkeitseigenschaften, VDI Bericht 268 (1976), S. 63-76
- 2 G. Winter: Untersuchungen der Größeneffekte in Bezug auf die Dauerfestigkeit an einem Vergütungsstahl, Diplomarbeit, Montanuniversität Leoben (2004)
- 3 H.-P. Ganser: Some notes on gradient, volumetric and weakest link concepts in fatigue, Computational Materials Science 44 (2008), S. 230-239
- 4 R. A. Kuguel: Relation between the theoretical stress concentrations factor and fatigue notch factor deduced from concept of highly stressed volume, ASTM Proceedings 61 (1961), S. 732-748
- 5 C. M. Sonsino: Zur Bewertung des Schwingfestigkeitsverhaltens von Bauteilen mit Hilfe örtlicher Beanspruchung, Konstruktion 45 (1993), S. 25-33
- 6 H. Kaufmann: Zur schwingfesten Bemessung dickwandiger Bauteile aus GGG-40 unter Berücksichtigung gießtechnisch bedingter Gefügeengängen, Dissertation, Technische Fakultät der Universität Saarland (1998)
- 7 T. Palin-Luc, S. Lasserre: An energy based criterion for high cycle multiaxial fatigue, European Journal of Mechanics and Solids 17 (1998), No. 2, S. 237-251
- 8 M. Vinvensang, A. Gannier: Testing and microstructural interpretation of 35CD4 steels in cumulative high cycle fatigue damage, A. A. Balkema (Ed.): Recent Advances in Experimental Mechanics (1994), S. 1107-1112
- 9 FKM-Richtlinie: Rechnerischer Festigkeitsnachweis für Maschinenbauteile, 5. Ausgabe, Forschungskuratorium Maschinenbau (FKM), Frankfurt am Main (2003)

- 10 W. Eichlseder: Fatigue analysis by local stress concept based on finite element results, Computers & Structures 80 (2002), 2109-2113
- 11 M. Vormwald: Anrisslebensdauervorhersage auf der Basis der Schwingbruchmechanik für kurze Risse, TH Darmstadt: Institut für Stahlbau und Werkstoffmechanik (1989), No. 47
- 12 J. Liu: Dauerfestigkeitsberechnung metallischer Bauteile, Habilitation, TU Clausthal (2001)
- 13 M. Hück: Bewertung der Schwingfestigkeit der mikrolegierten Stähle 27 Mn VS 6 und 38 Mn VS 5, TF - 2804/2 Band II, IABG mbH, Ottobrunn (1990)
- 14 T. Palin-Luc, S. Lasserre: Prise en compte des concentrations de contraintes par un critère énergétique de tenue en fatigue, Re-48

## Die Autoren dieses Beitrages

Dr. mont. Jürgen Fröschl, geboren 1976, studierte Maschinenbau an der Technischen Universität Wien und promovierte 2006 am Christian Doppler Laboratorium für Betriebsfestigkeit der Montanuniversität Leoben. Im November 2008 wechselte er als Projektleiter und Betriebsfestigkeitsexperte in den Bereich Tests und Analysen der Industrieanlagen Betriebsgesellschaft mbH. Seit November 2010 ist er Leiter der Abteilung für Festigkeit, Berechnung und Methodenentwicklung.

Dipl.-Ing. Matthias Decker, geboren 1970, studierte Maschinenbau an der Technischen Universität München. Von 1995 bis 2002 arbeitete er für MAN Nutzfahrzeuge AG, wo er sich mit der Messung und Auswertung von Straßennlasten sowie der Ableitung und Optimierung von Versuchsprogrammen für Betriebsfestigkeits- und Vibrationsprüfungen beschäftigte. In 2003 wechselte er als Abteilungsleiter für Betriebsfestigkeit, Funktionsversuche, Prüfstände zur Industrieanlagen Betriebsgesellschaft mbH in Ottobrunn. Seit 2007 ist er als Ressortleiter Versuche Automotive verantwortlich für die mechanische Prüfung, Materialcharakterisierung und Komponententests unter Umwelteinflüssen. Als Leiter Festigkeit, Funktion, Werkstoffe verantwortet er seit Oktober 2010 zusätzlich die Berechnung und Methodenentwicklung der IABG im Geschäftsbereich Tests und Analysen.

Univ.-Prof. Dipl.-Ing. Dr. techn. Wilfried Eichlseder, Jahrgang 1956, studierte Maschinenbau an der Technischen Universität Graz. 1981 trat er in die Steyr-Daimler-Puch AG als Finite Elemente Berechner ein, hatte dann verschiedene Positionen im Bereich der Forschung und des Engineerings inne, zuletzt als Leiter des Engineerings und Technologie Zentrum Steyr. 1999 wurde er an die Montanuniversität Leoben berufen, wo er heute Leiter des Lehrstuhls für Allgemeinen Maschinenbau ist.

You will find the article and additional material by entering the document number MP110254 on our website at [www.materialstesting.de](http://www.materialstesting.de)