Technologietag
26.-27. März 2009

Wirtschaftlich leicht bauen

Potentiale metallischer Werkstoffe in Leichtbauapplikationen

Univ.Prof. Dr. Wilfried Eichlseder

Montanuniversität Leoben,
Lehrstuhl für Allgemeinen Maschinenbau

Potentiale metallischer Werkstoffe in Leichtbauapplikationen

1. Leichtbau
2. Betriebsfeste Auslegung
3. Bedeutung der Leichtmetalle im Leichtbau
4. Leichtbaupotentiale durch Gestaltung, Werkstoff und Fertigung
5. Wirtschaftliche Betrachtung der Werkstoffe
6. Zusammenfassung

Leichtbau in der Technik

Leichtbau – in vielen Produktbereich unverzichtbar:

- Automobil
- Luft- und Raumfahrt
- Elektronik
- Gebäudetechnik
- Produktionsanlagen
- u.s.w.

Die vier Säulen des Leichtbaus

System Konstruktion Werkstoffe Fertigung

Werkstoffe

Fertigung

Konstruktion

System

- Betrachtung des kompletten Systems
- Systematische Auswahl der Einzelkomponenten mit optimaler Anpassung an das Gesamtsystem

Leichtbau in der Natur

In vielen Fällen liefert die Natur selbst für Leichtbaukonstruktionen nachahmenswerte Vorbilder:

Leichtbau in der Natur

Vogelflug – Vorbild für Flugmaschinen: Multiwinglets

- Aufspreizung der Handschwingen (Multiwinglets) erzeugt statt eines großen mehrere kleine Wirbel
- Widerstand wird verringert, Stabilitätsverhalten verbessert

Potentiale metallischer Werkstoffe in Leichtbauapplikationen

1. Leichtbau
2. Betriebsfeste Auslegung
3. Bedeutung der Leichtmetalle im Leichtbau
4. Leichtbaupotentiale durch Gestaltung, Werkstoff und Fertigung
5. Wirtschaftliche Betrachtung der Werkstoffe
6. Zusammenfassung

Dimensionierung gegen vorzeitigen Ausfall

- Unzulässige **Verformungen**: elastisch und/oder plastisch
- **Instabilität** (Knicken, Beulen)
- **Verschleiß**
- **Korrosion**
- **Bruchbildung**:
  - Gewaltbruch durch eine einmalige Überbelastung
  - Ermüdungsbruch durch schwingende Überbelastung

Betriebsfestigkeit

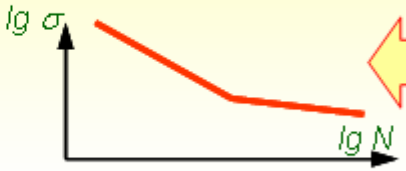
Bemessung für eine begrenzte Lebensdauer

Lebensdauerberechnung auf Basis lokaler Spannungen/Dehnungen

Last-Zeit-Verlauf

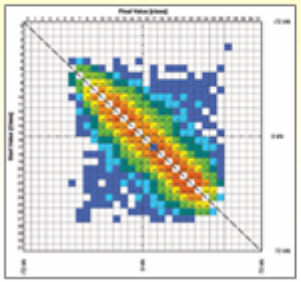
Geometrie

Werkstoffverhalten

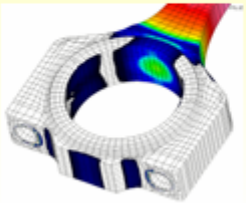


Fertigung

Lastkollektiv

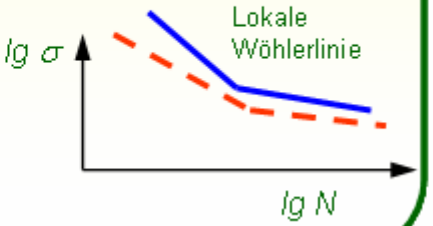


Spannungen

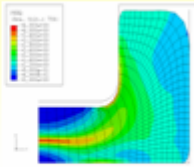


Einflüsse, wie

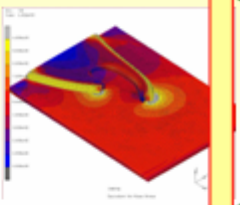
- Spannungsgradient
- Belastungsart
- Mittelspannung
- Oberfläche
- Bauteilgröße
- Korrosion
- Temperatur
- etc.



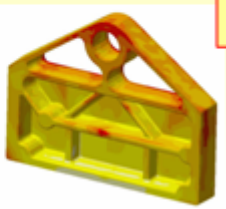
Umformen



Schweißen



Gießen

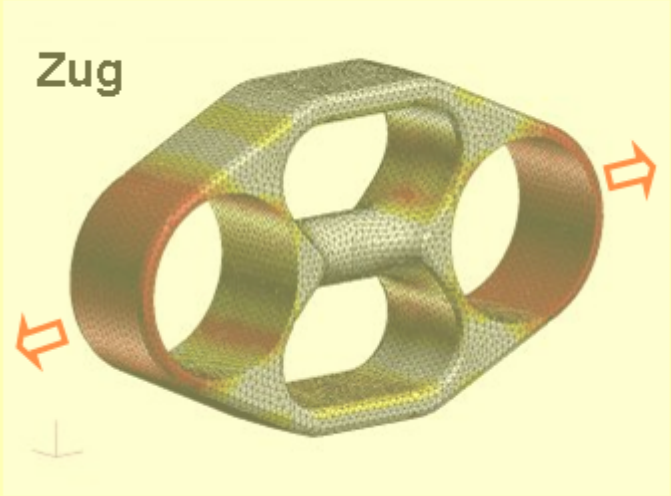


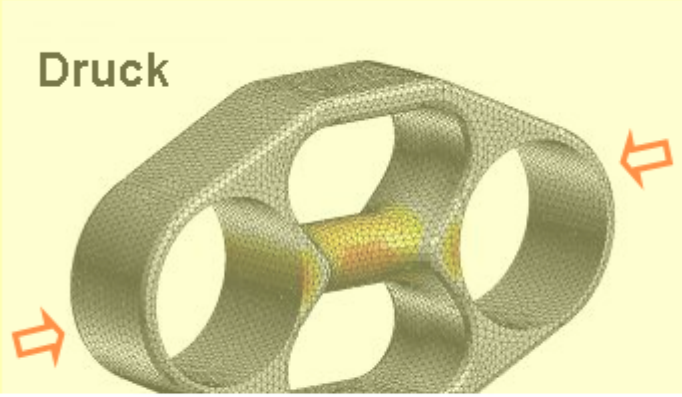
Lebensdauerberechnung

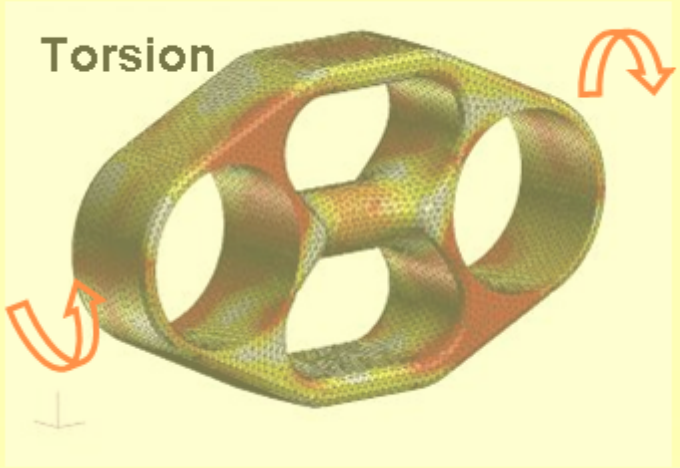
Schadensakkumulation

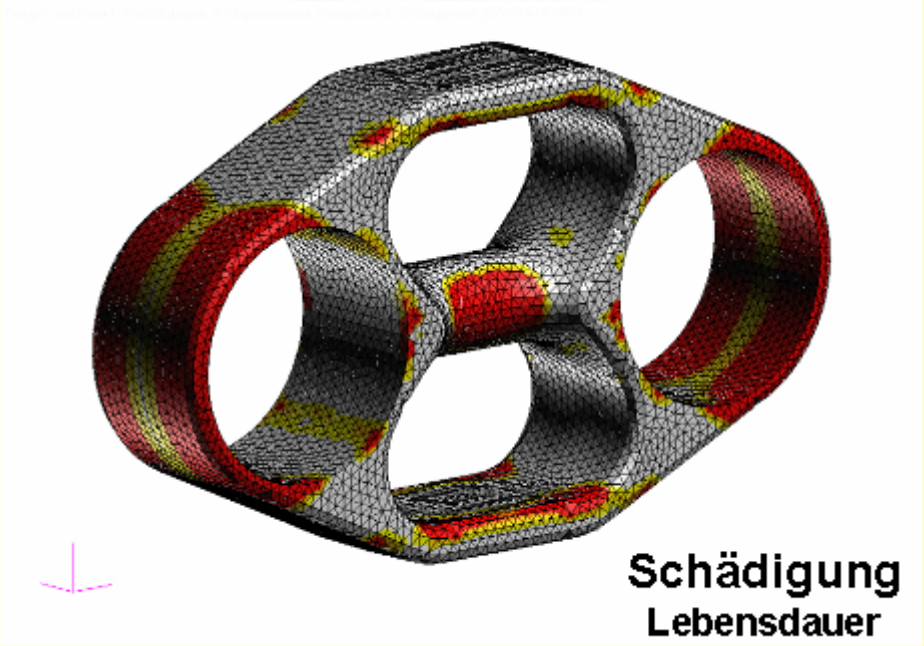
$$\left(\frac{n_1}{N_1}\right)^a+\left(\frac{n_2}{N_2}\right)^a+\left(\frac{n_3}{N_3}\right)^a+\ldots+\left(\frac{n_{i-1}}{N_{i-1}}\right)^a+\left(\frac{n_i}{N_i}\right)^a=1$$

Lebensdauerberechnung von Bauteilen









Potentiale metallischer Werkstoffe in Leichtbauapplikationen

1. Leichtbau
2. Betriebsfeste Auslegung
3. Bedeutung der Leichtmetalle im Leichtbau
4. Leichtbaupotentiale durch Gestaltung, Werkstoff und Fertigung
5. Wirtschaftliche Betrachtung der Werkstoffe
6. Zusammenfassung

Bedeutung der Leichtmetalle im Leichtbau

	Aluminium	Magnesium	Titan
Dichte [kg/dm^3]	2,7	1,75	4,5
E-Modul [N/mm^2]	72000	45000	112000
Wichtigste Legierungselemente	Mg, Cu, Si, Zn, Mn	Al, Zn, Mn	Al, V

Leichtbau durch Werkstoffe - Aluminium

Gusslegierungen

Motorbauteile: Motorblock, Zylinderköpfe, Kolben, Fahrwerksteile

Knetlegierungen

Karosserie- und Fahrwerksteile

Formprofile im Flugzeugbau

Schaumwerkstoffe

Explosionsdämpfung

Leichtbau durch Werkstoffe - Magnesium

Gusslegierungen

Getriebe- und Pumpengehäuse,

Luftsammler, Handys, Laptops, elektronische Geräte

Knetlegierungen

Schmiedeteile im Flugzeugbau

Leichtbau durch Werkstoffverbunde

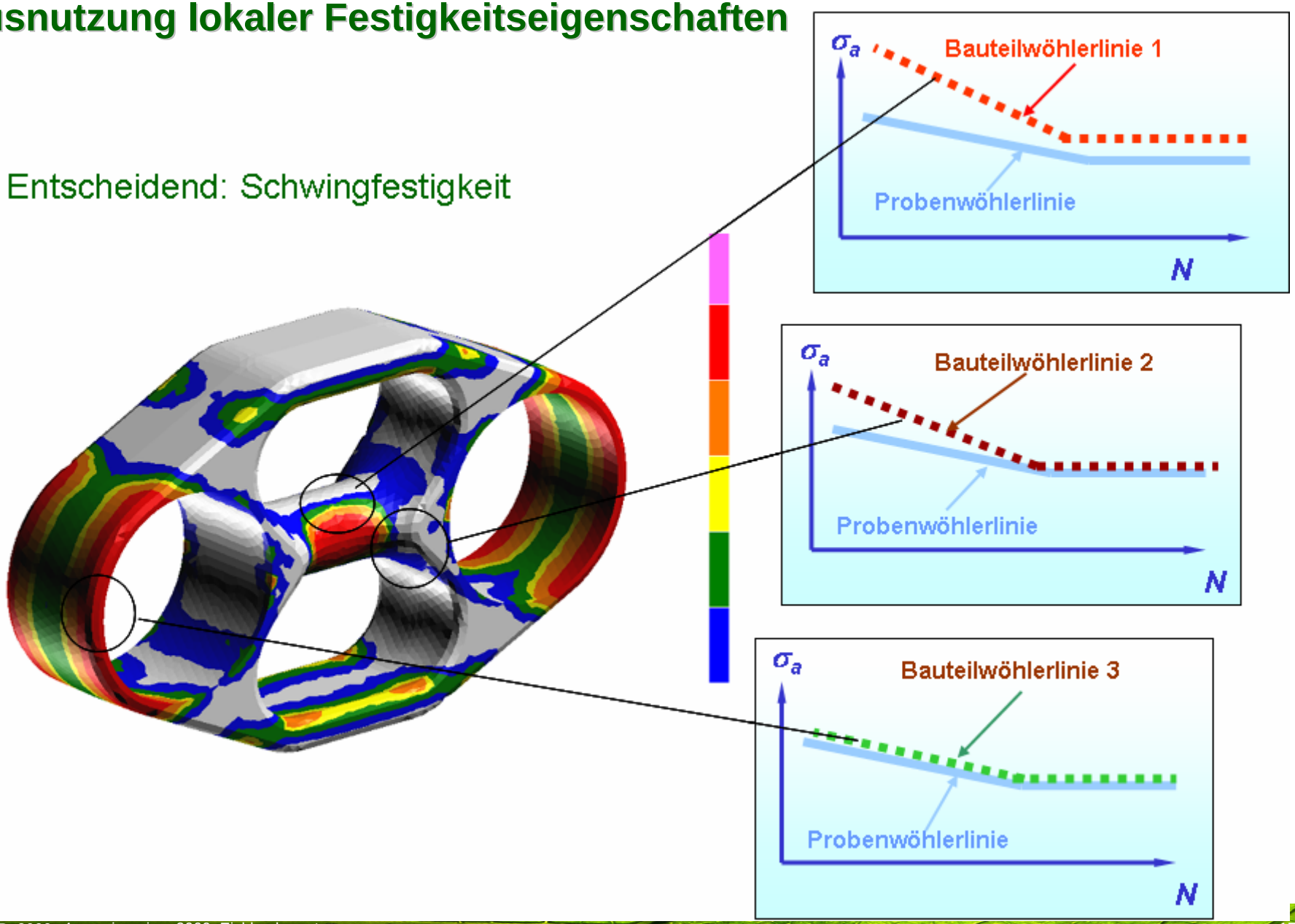
Kurbelgehäuse aus Mg+Al: Al+AJ62 (BMW)

Potentiale metallischer Werkstoffe in Leichtbauapplikationen

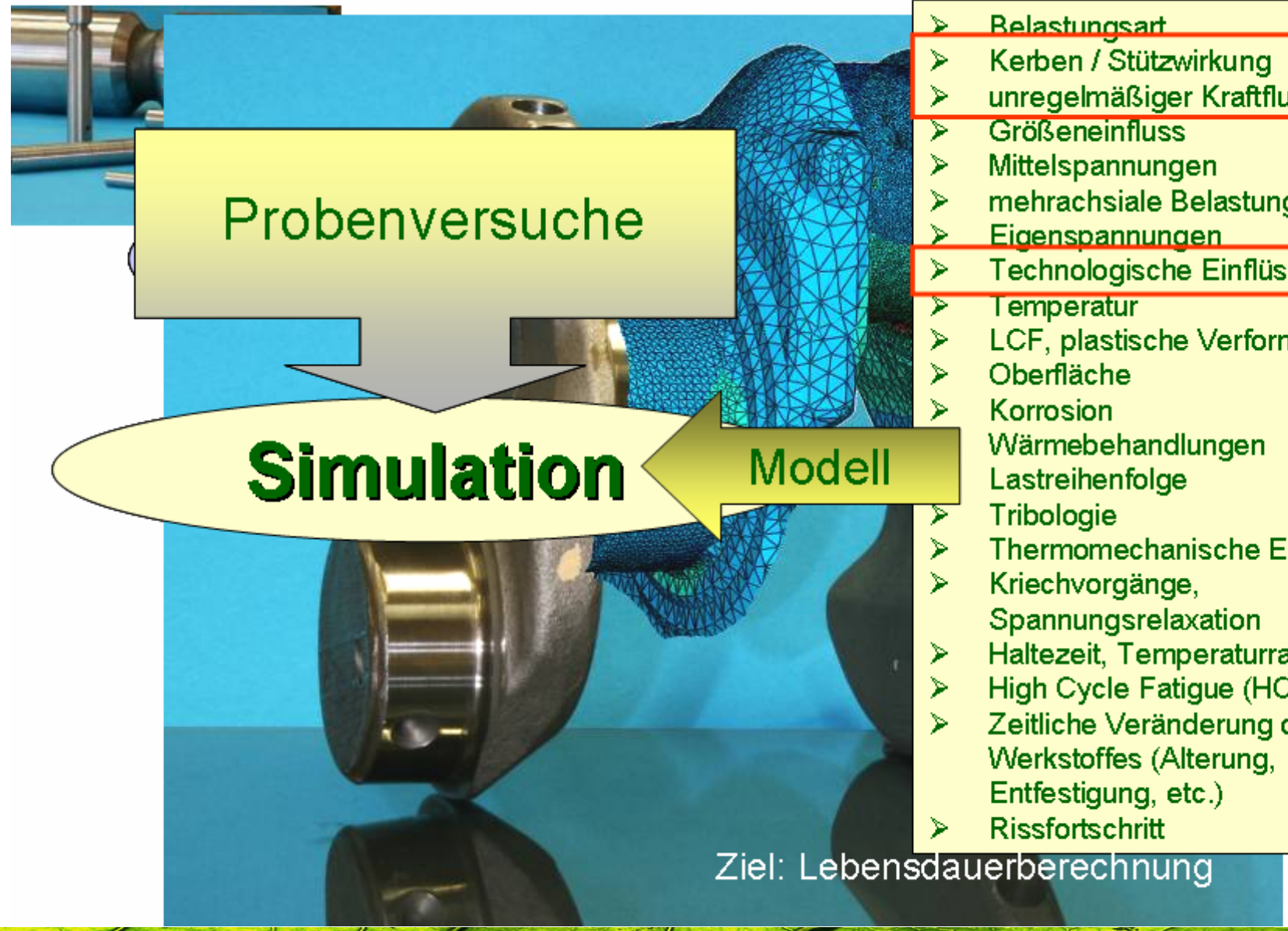
1. Leichtbau
2. Betriebsfeste Auslegung
3. Bedeutung der Leichtmetalle im Leichtbau
4. Leichtbaupotentiale durch Gestaltung, Werkstoff und Fertigung
5. Wirtschaftliche Betrachtung der Werkstoffe
6. Zusammenfassung

Ausnutzung lokaler Festigkeitseigenschaften

Entscheidend: Schwingfestigkeit



Einflussgrößen auf Schwingfestigkeit



- Belastungsart
- Kerben / Stützwirkung
- unregelmäßiger Kraftfluss
- Größeneinfluss
- Mittelspannungen
- mehrachsiale Belastung
- Eigenspannungen
- Technologische Einflüsse
- Temperatur
- LCF, plastische Verformung
- Oberfläche
- Korrosion
- Wärmebehandlungen
- Lastreihenfolge
- Tribologie
- Thermomechanische Ermüdung
- Kriechvorgänge, Spannungsrelaxation
- Haltezeit, Temperaturrate
- High Cycle Fatigue (HCF)
- Zeitliche Veränderung des Werkstoffes (Alterung, Entfestigung, etc.)
- Rissfortschritt

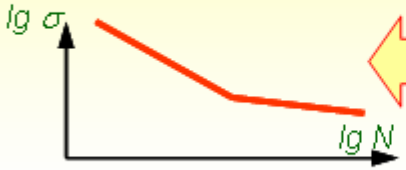
Ziel: Lebensdauerberechnung

Einfluss der Geometrie

Last-Zeit-Verlauf

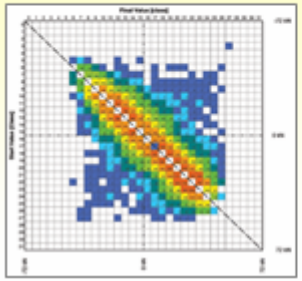
Geometrie

Werkstoffverhalten

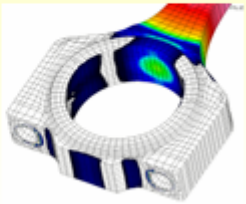


Fertigung

Lastkollektiv

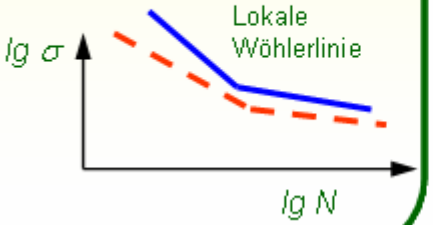


Spannungen

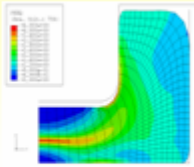


Einflüsse, wie

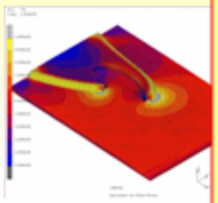
- Spannungsgradient
- Belastungsart
- Mittelspannung
- Oberfläche
- Bauteilgröße
- Korrosion
- Temperatur
- etc.



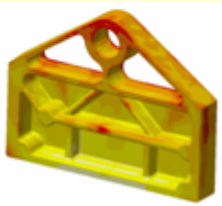
Umformen



Schweißen



Gießen

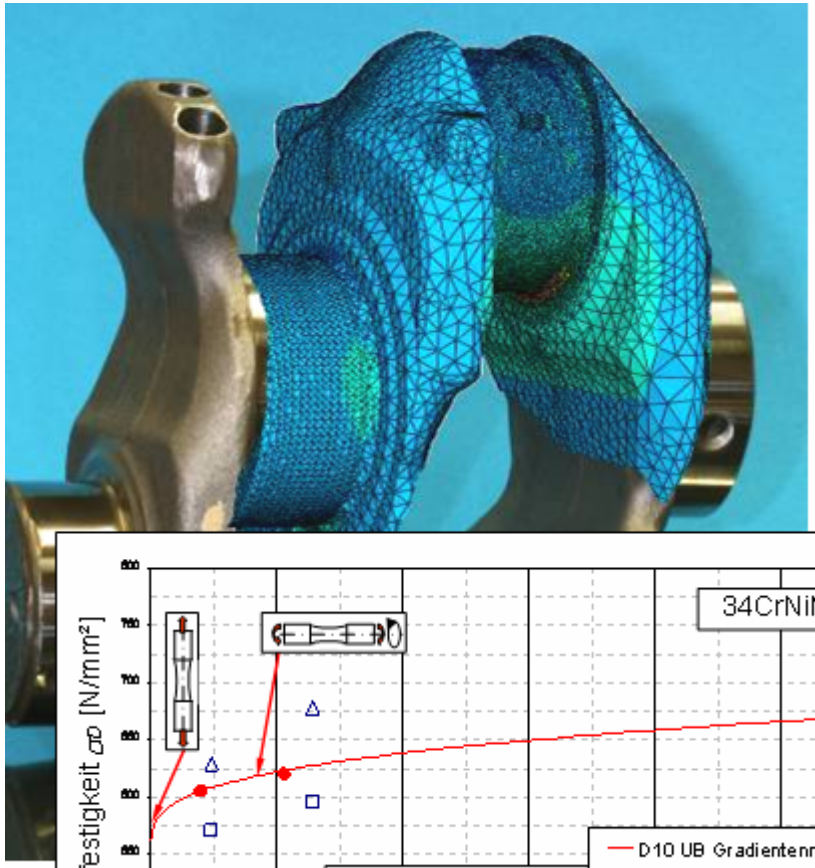


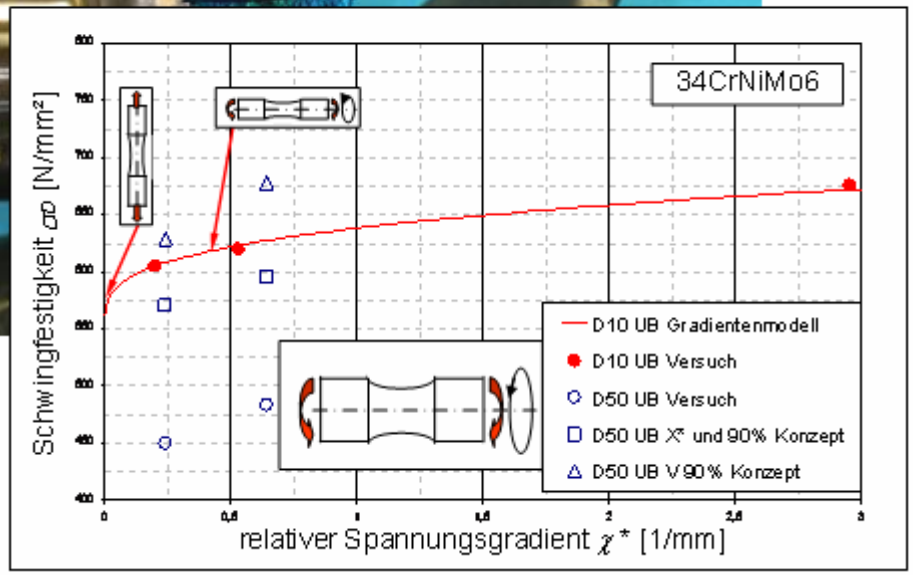
Lebensdauerberechnung

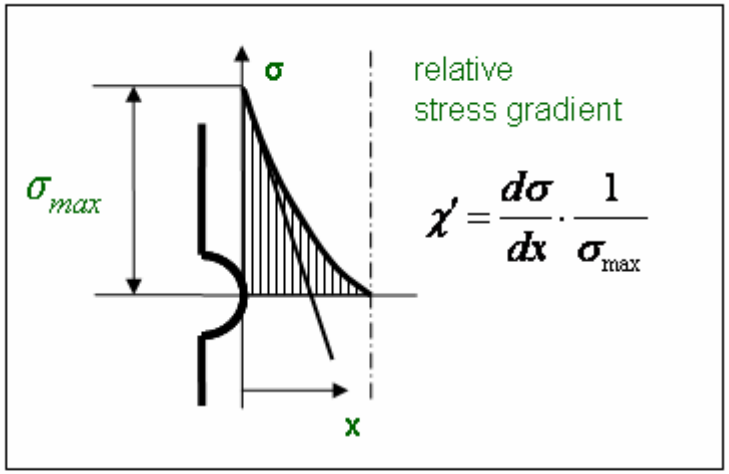
Schadensakkumulation

$$\left(\frac{n_1}{N}\right)^a+\left(\frac{n_2}{N_2}\right)^a+\left(\frac{n_3}{N_3}\right)^a+\ldots+\left(\frac{n_{k-1}}{N_{k-1}}\right)^a+\left(\frac{n_k}{N_k}\right)^a=1$$

Einfluss der Geometrie





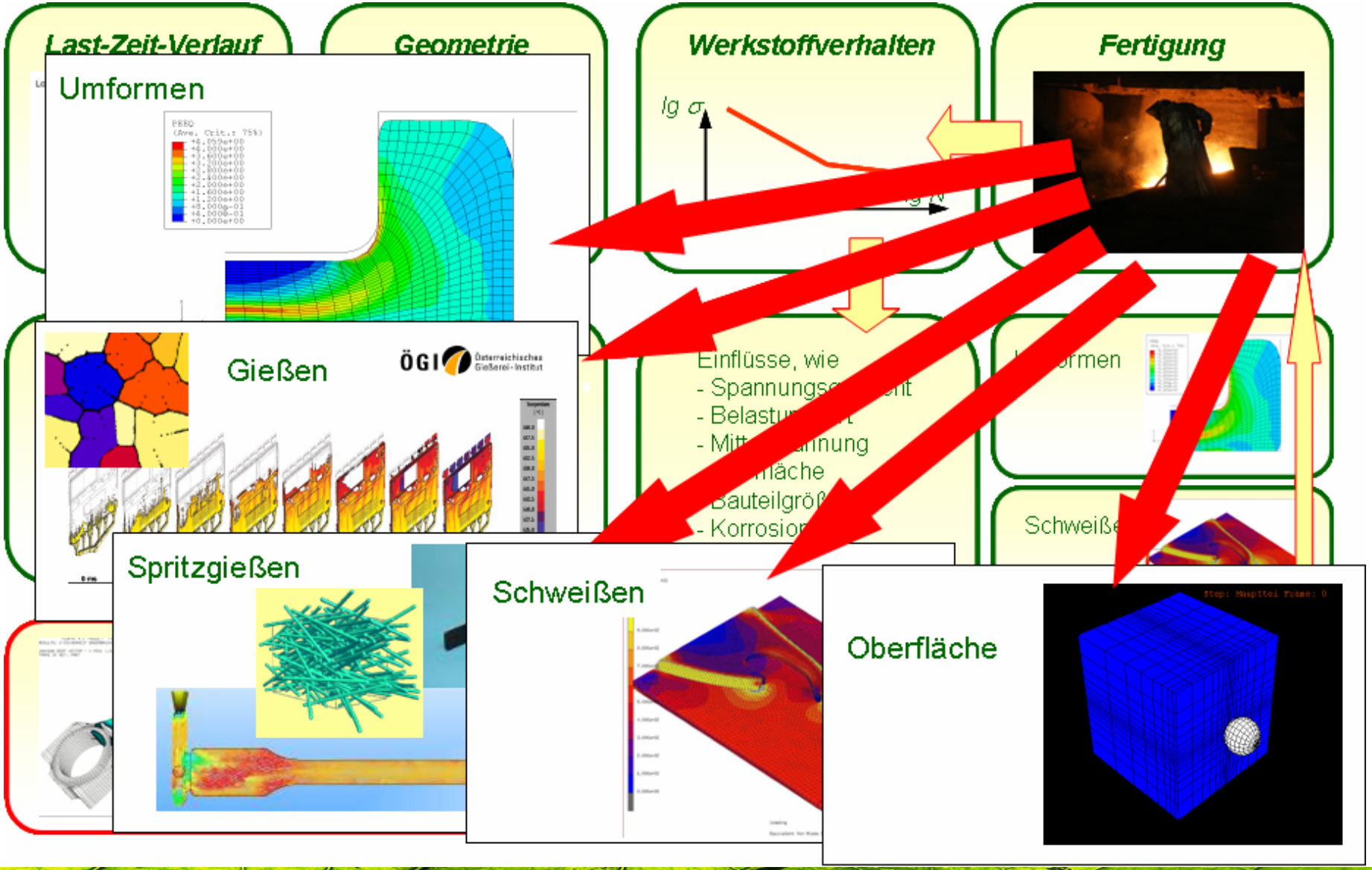


$$n = \frac{K_t}{K_f}$$

Beschreibung der Stützwirkung mit dem Spannungsgradient:

$$n_\chi = 1 + \left(\frac{\sigma_{bf}}{\sigma_{tf}} - 1\right) \cdot \left(\frac{\chi'}{2/d}\right)^{K_D}$$

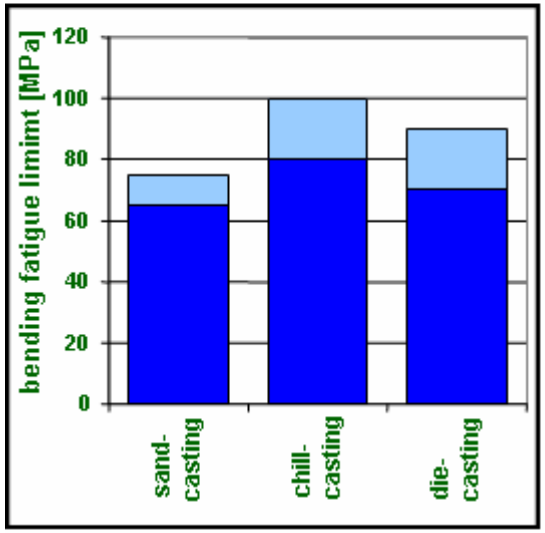
Einflüsse durch Fertigung



Leichtbau durch Fertigung - Gießen

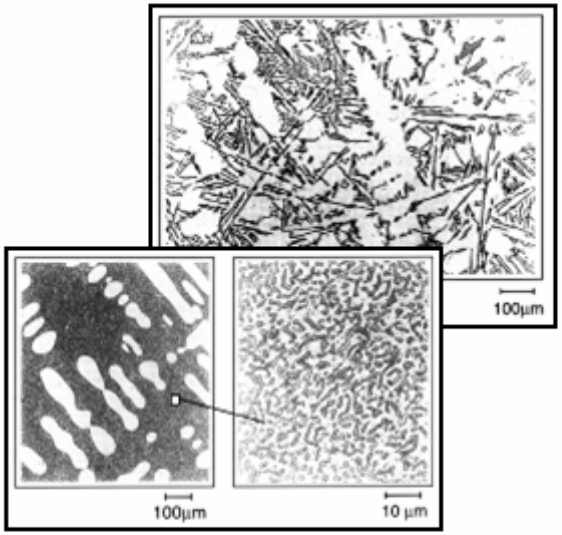
Technologische Einflüsse bei Aluminium-Gussbauteilen

Gießverfahren



ÖGI Österreichisches Gießerei-Institut

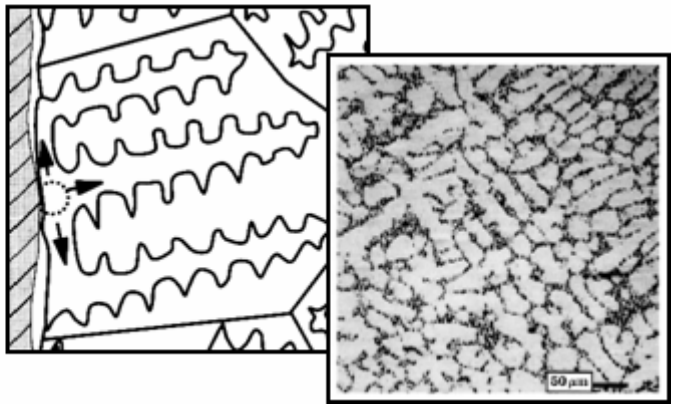
Kornfeinung/ Veredelung



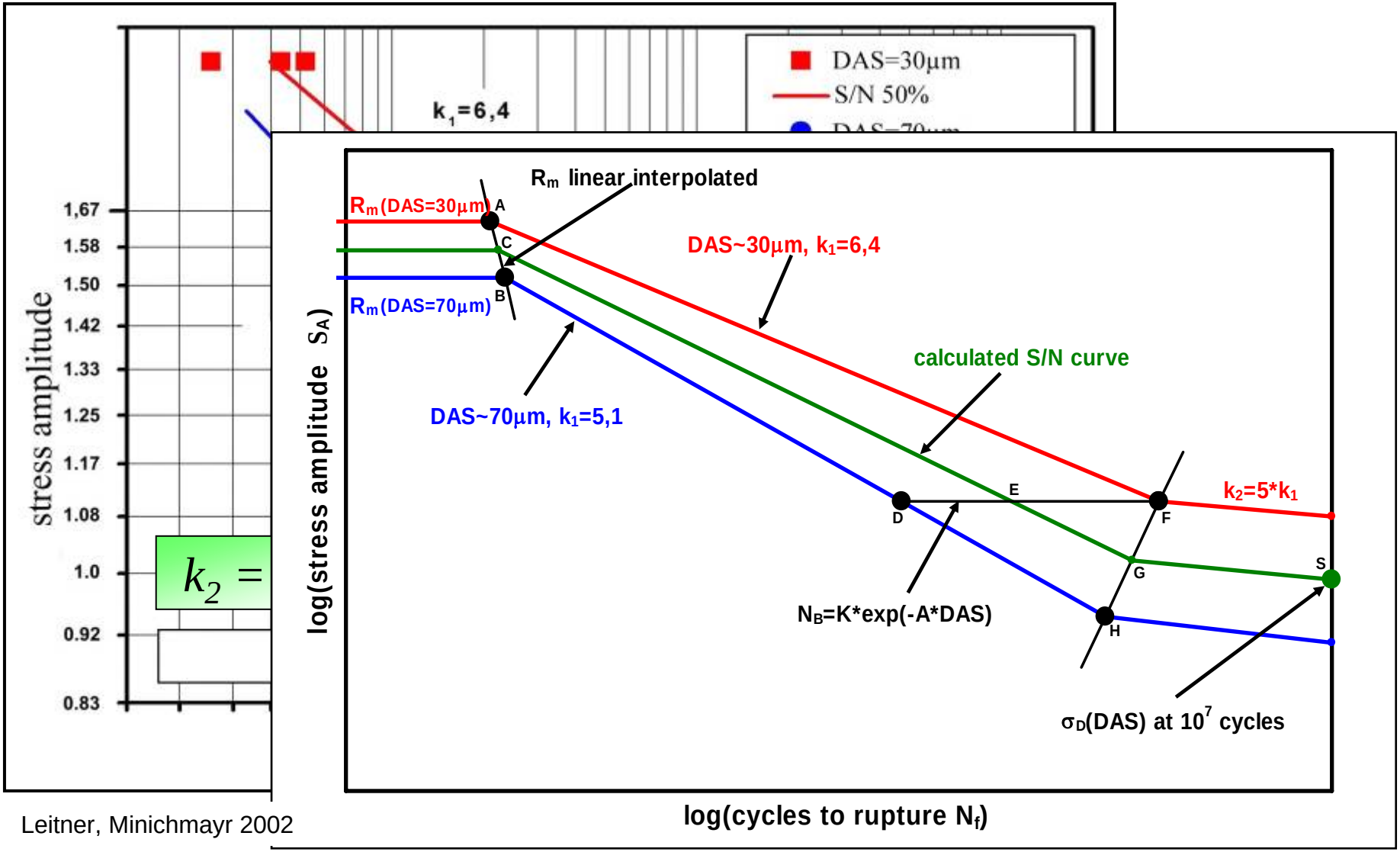
Porosität

- Makroporosität
- Gasporosität
- Mikroporosität

Dendritenarmabstand



Einfluss des DAS auf die zyklischen Festigkeitswerte



Leitner, Minichmayr 2002

Leichtbau durch Fertigung - Umformen

Technologische Einflüsse umgeformter Bauteile

Während des Schmiedeprozesses dynamische Rekristallisation, beeinflusst von

- lokalem Umformgrad und
- lokaler Seigerungslage

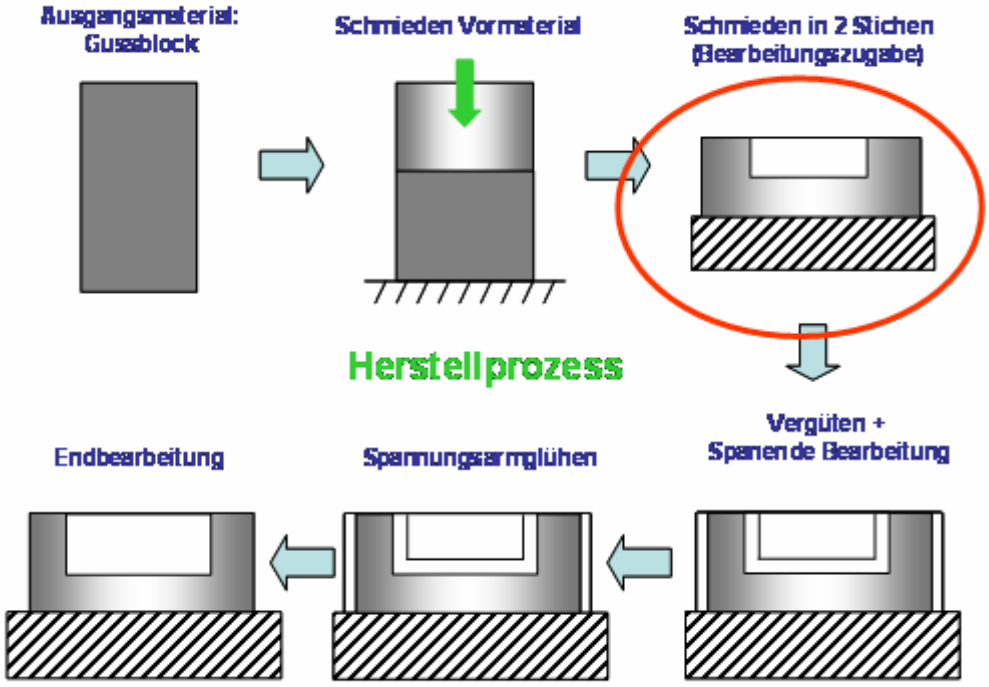
Anschließend häufig Wärmebehandlung

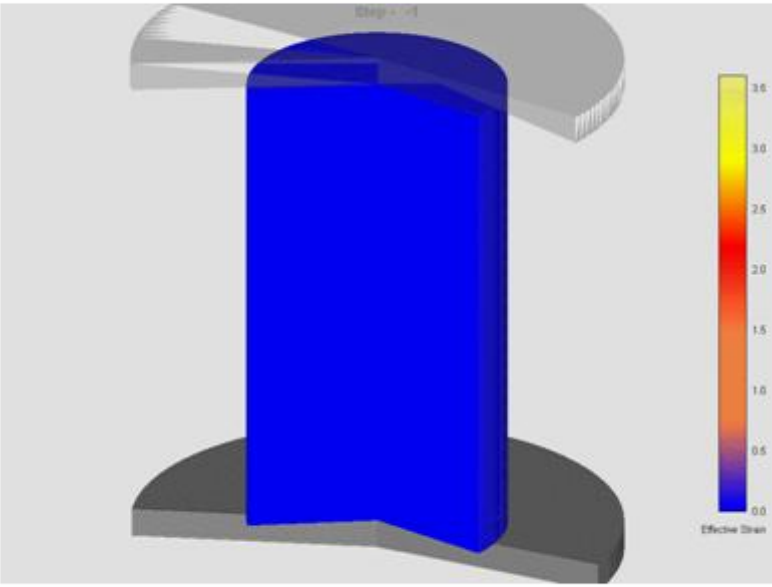
- Härten
- Vergüten
- Spannungsarmglühen

Oberflächenbehandlung

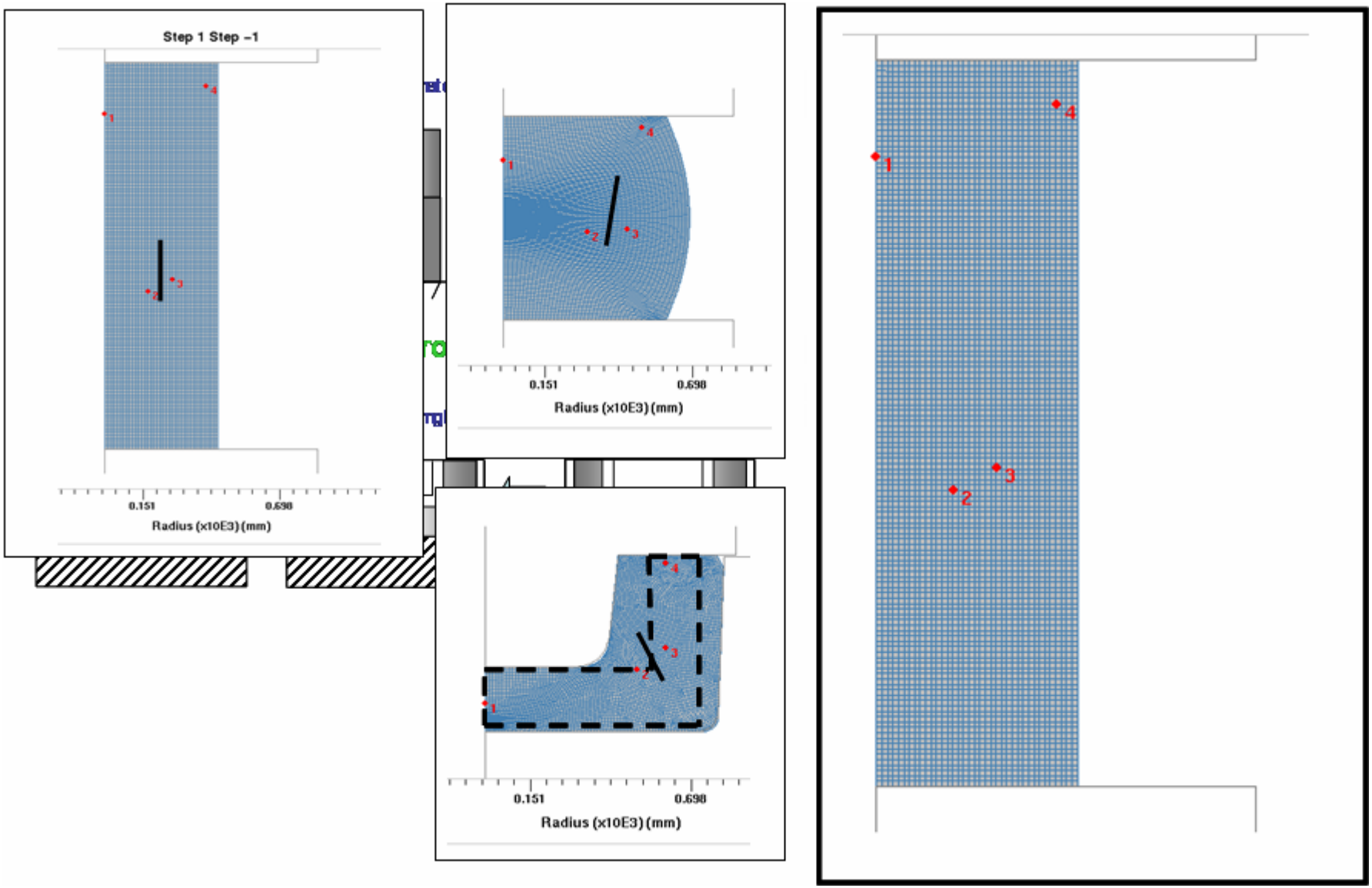
} Veränderung der Werkstoffstruktur und des Schwingfestigkeits-verhaltens

Umformsimulation (Umformgrad)

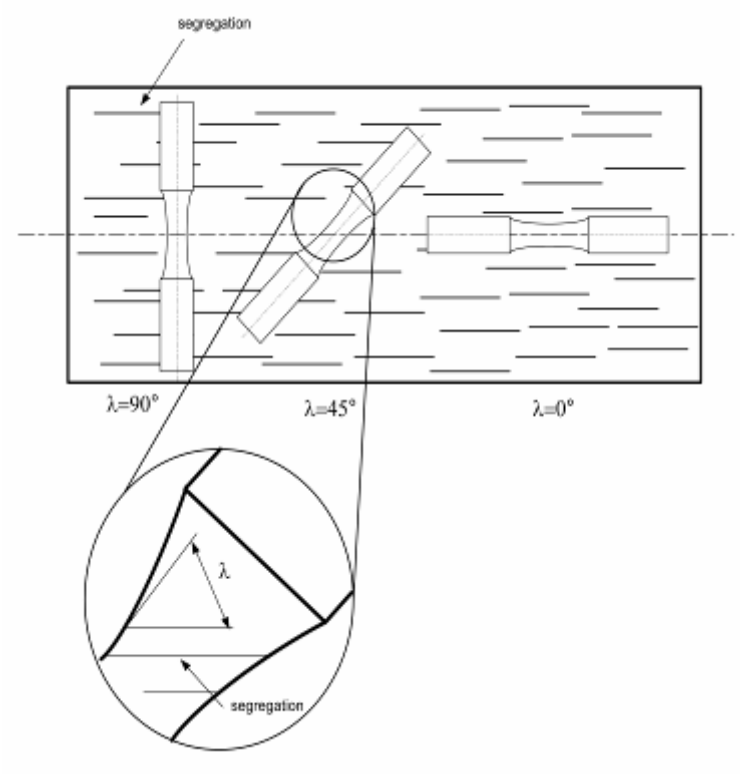


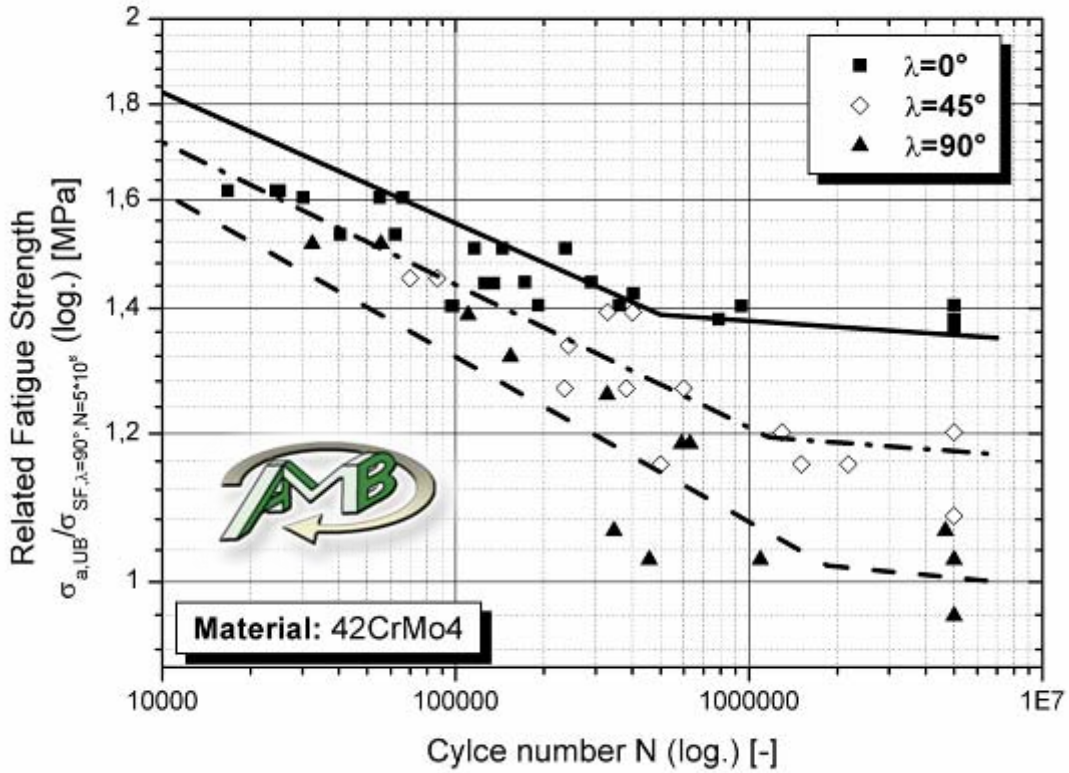


Umformsimulation (Seigerungslage)



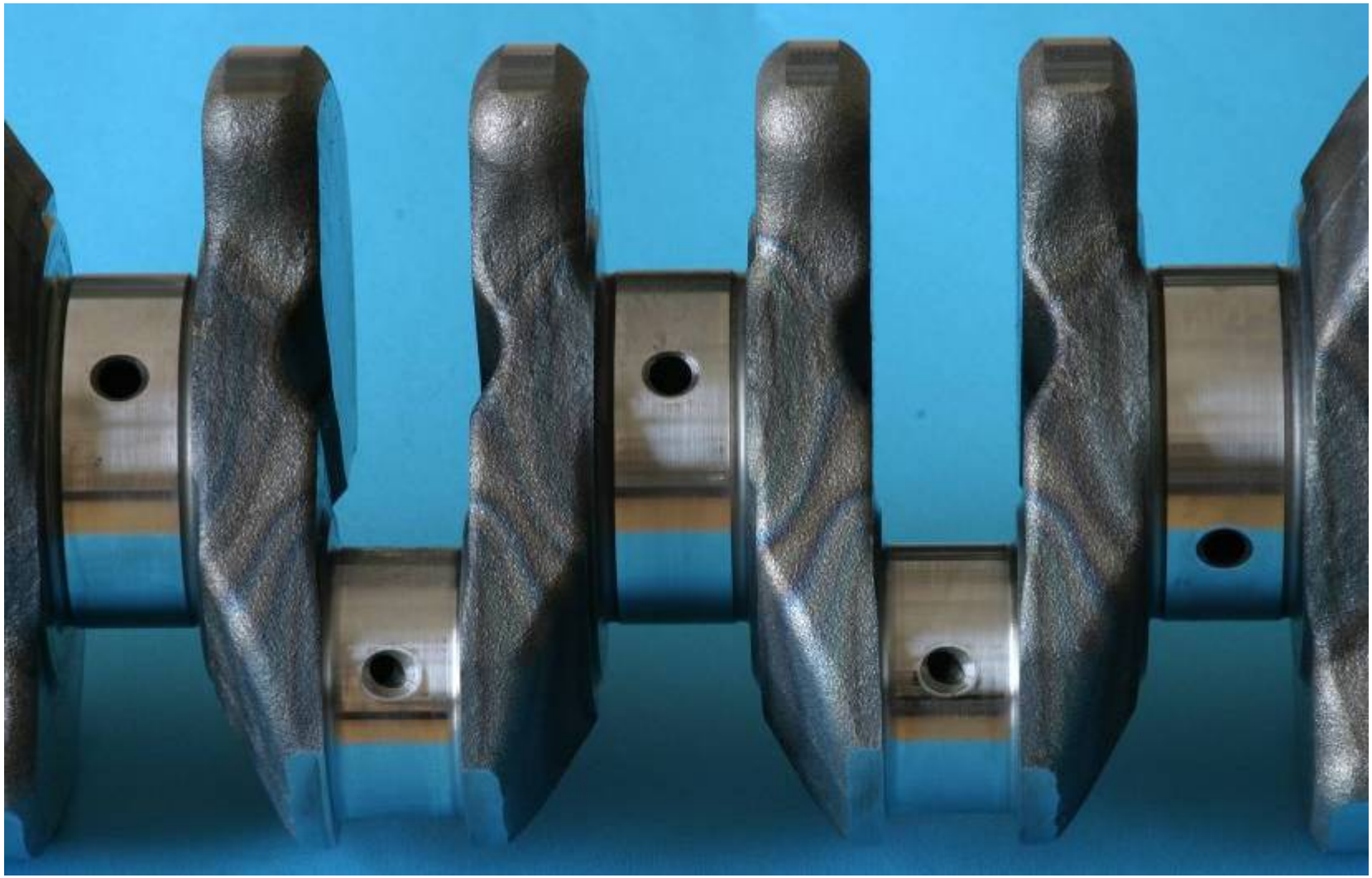
Einfluss der Seigerungslage auf die Schwingfestigkeit



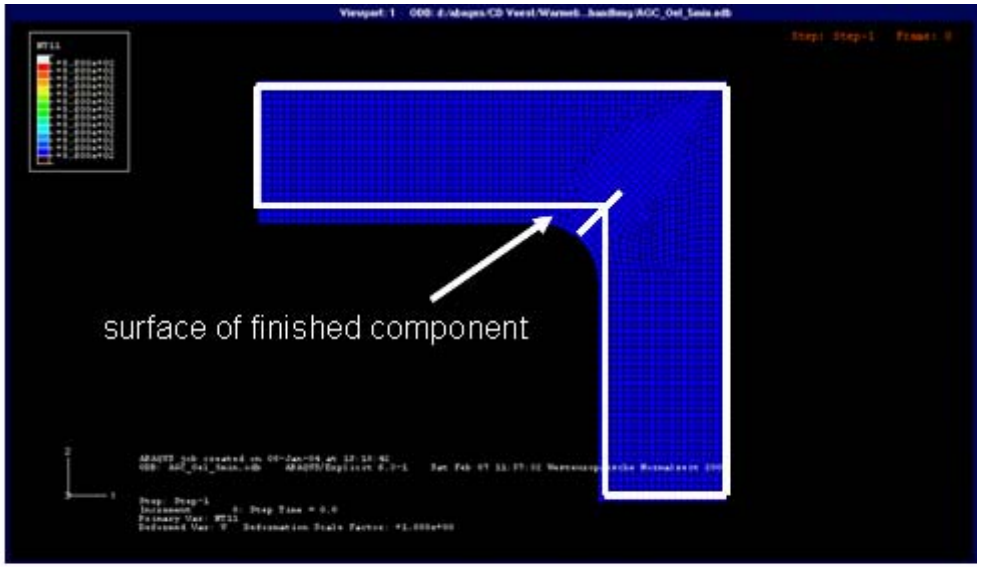


Fröschl, 2006

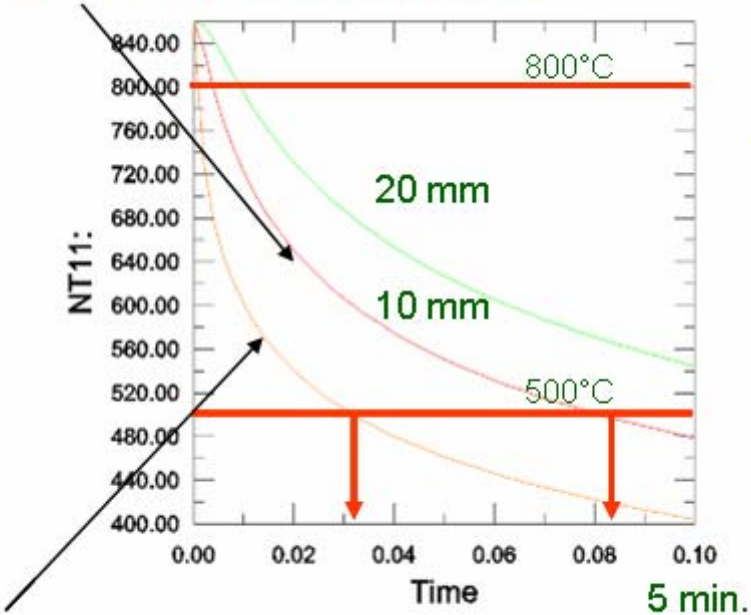
Leichtbau durch Fertigung - Wärmebehandlung



Härtevorgang

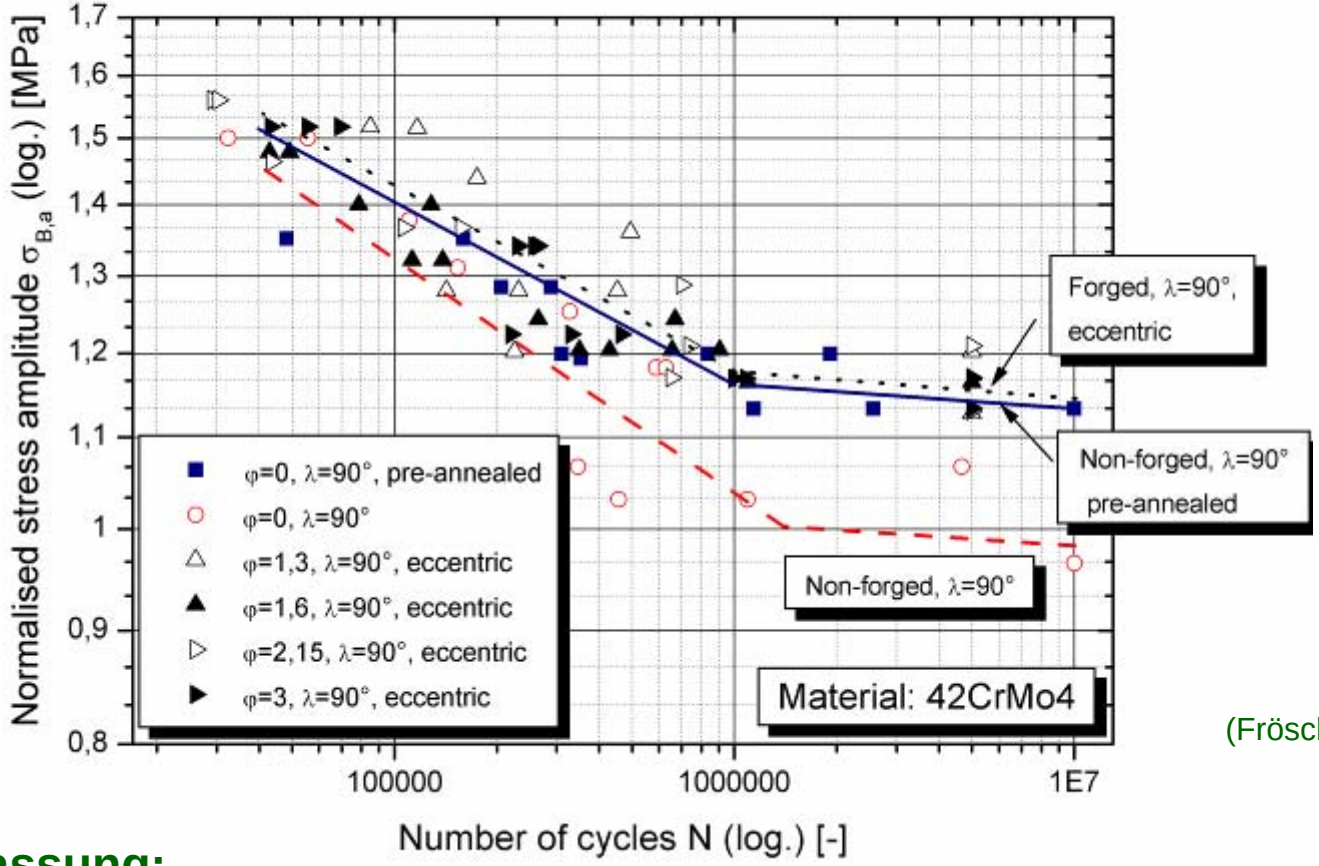


Oberfläche des endbearbeiteten Bauteiles



Oberfläche des wärmebehandelten Bauteiles

Einfluss der Glühbehandlung im Schmiedeofen



(Fröschl 2006)

Zusammenfassung:

1. Glühbehandlung im Schmiedeofen führt zu einen Schwingfestigkeitsanstieg
2. Keine Abhängigkeit der Schwingfestigkeit vom Vergleichsumformgrad (42CrMo4)

Leichtbau durch Fertigung - Oberflächenbehandlung

Einfluss durch Oberfläche

Druckeigenspannungen

Verringerung der Zugspannungsamplitude im Kerbgrund

Verfestigungseffekt

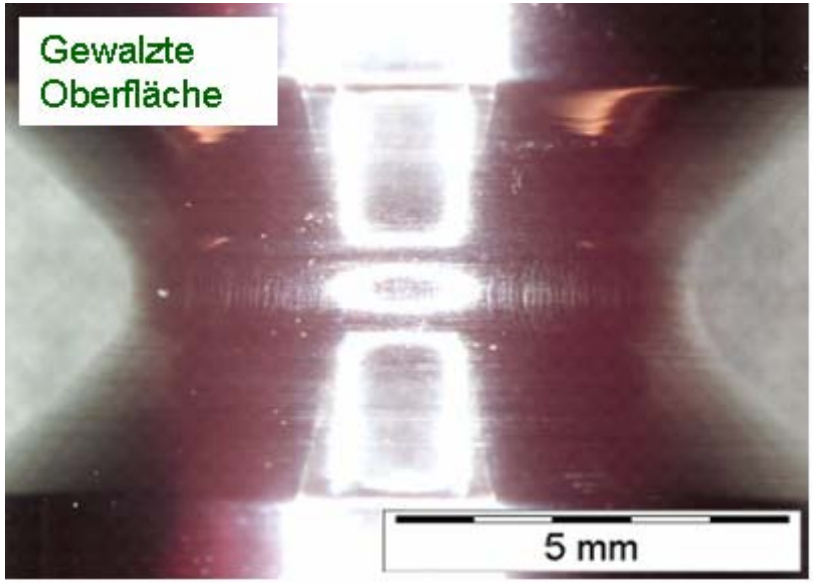
Erzeugung neuer Korngrenzen (Kornzerkleinerung) und dadurch Behinderung des Rissfortschreitens (vor allem bei Werkstoffen mit grobem Korn)

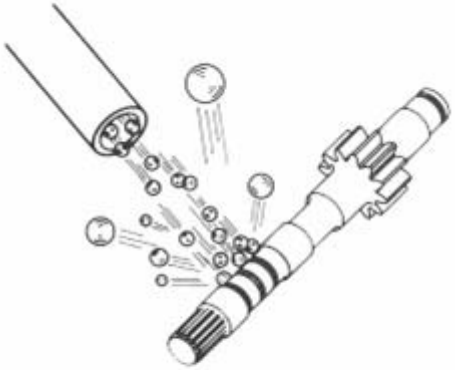
Rauhigkeitsänderung

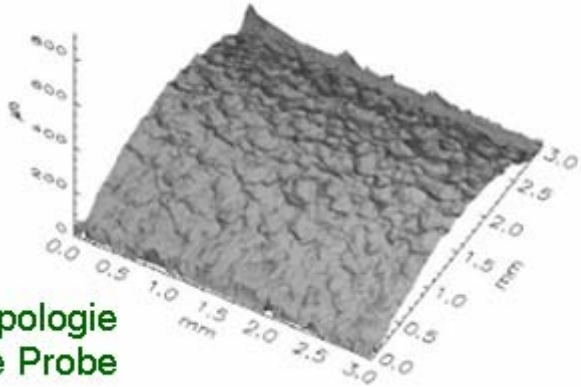
deutliche Verbesserung (z.B. Rollen)

Verschlechterung durch Umstrukturierung (z.B. Kugelstrahlen: Einfluss des Überdeckungsgrades)

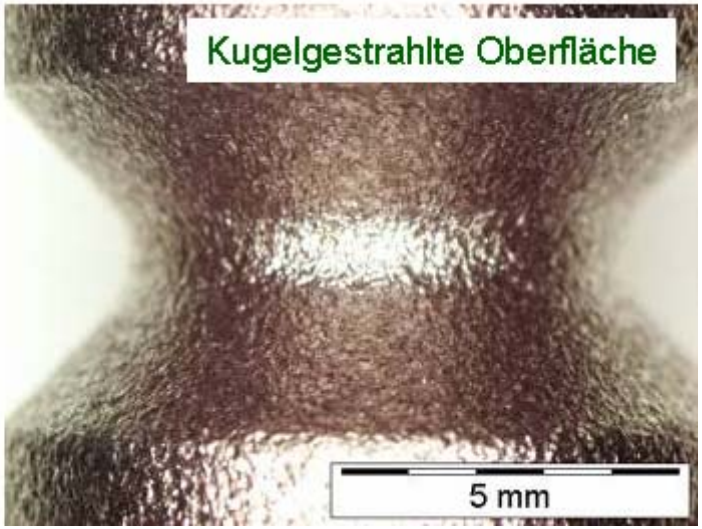
Oberflächeneinfluss



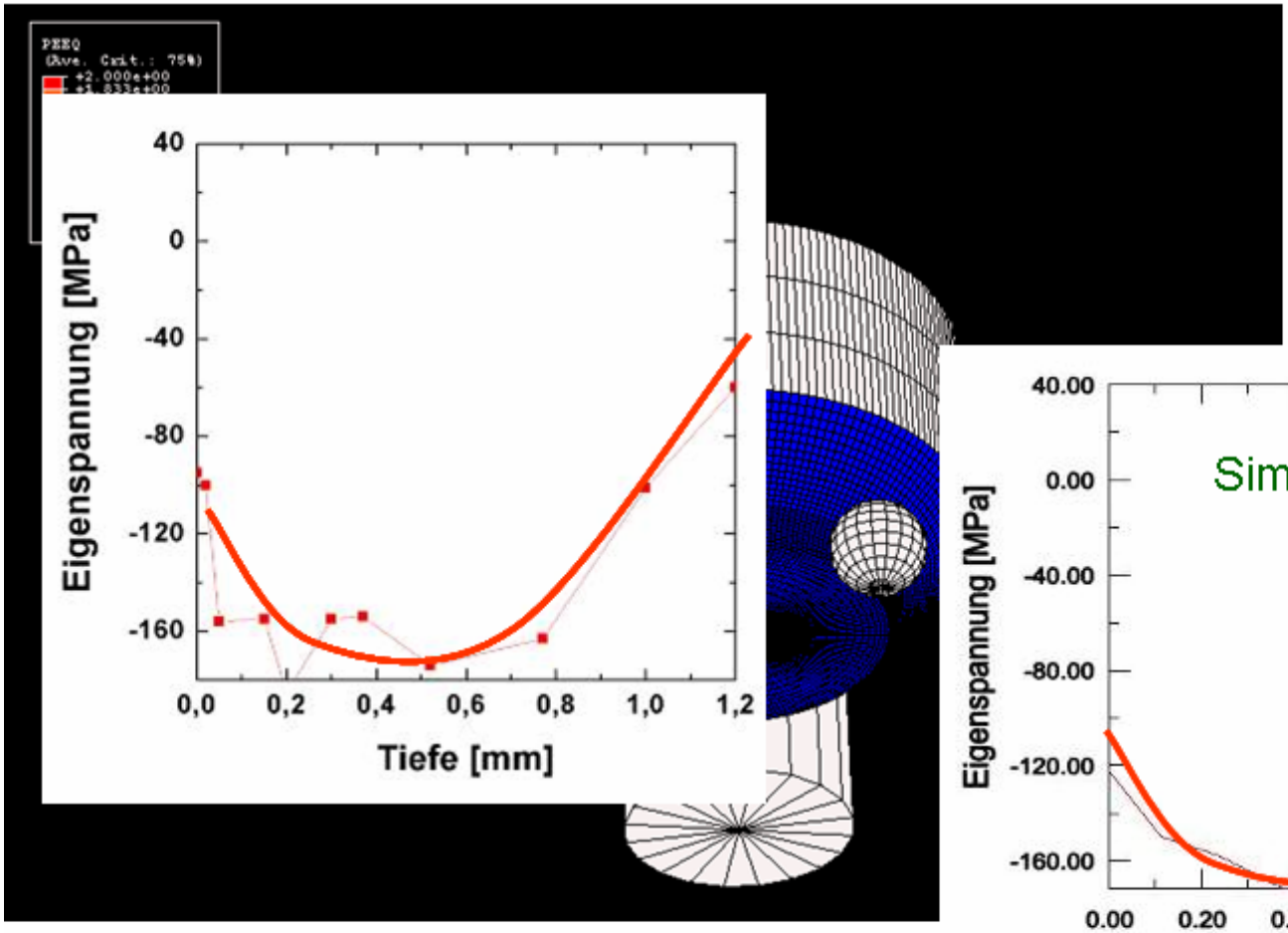


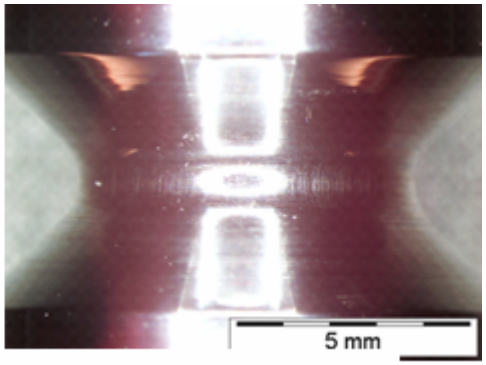


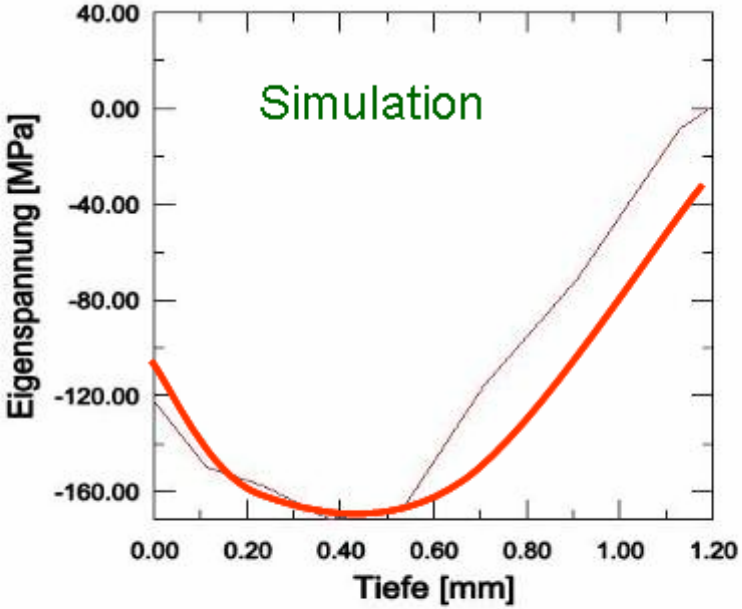
Oberflächentopologie kugelgestrahlte Probe



Finite Elemente Simulation Festwalzen

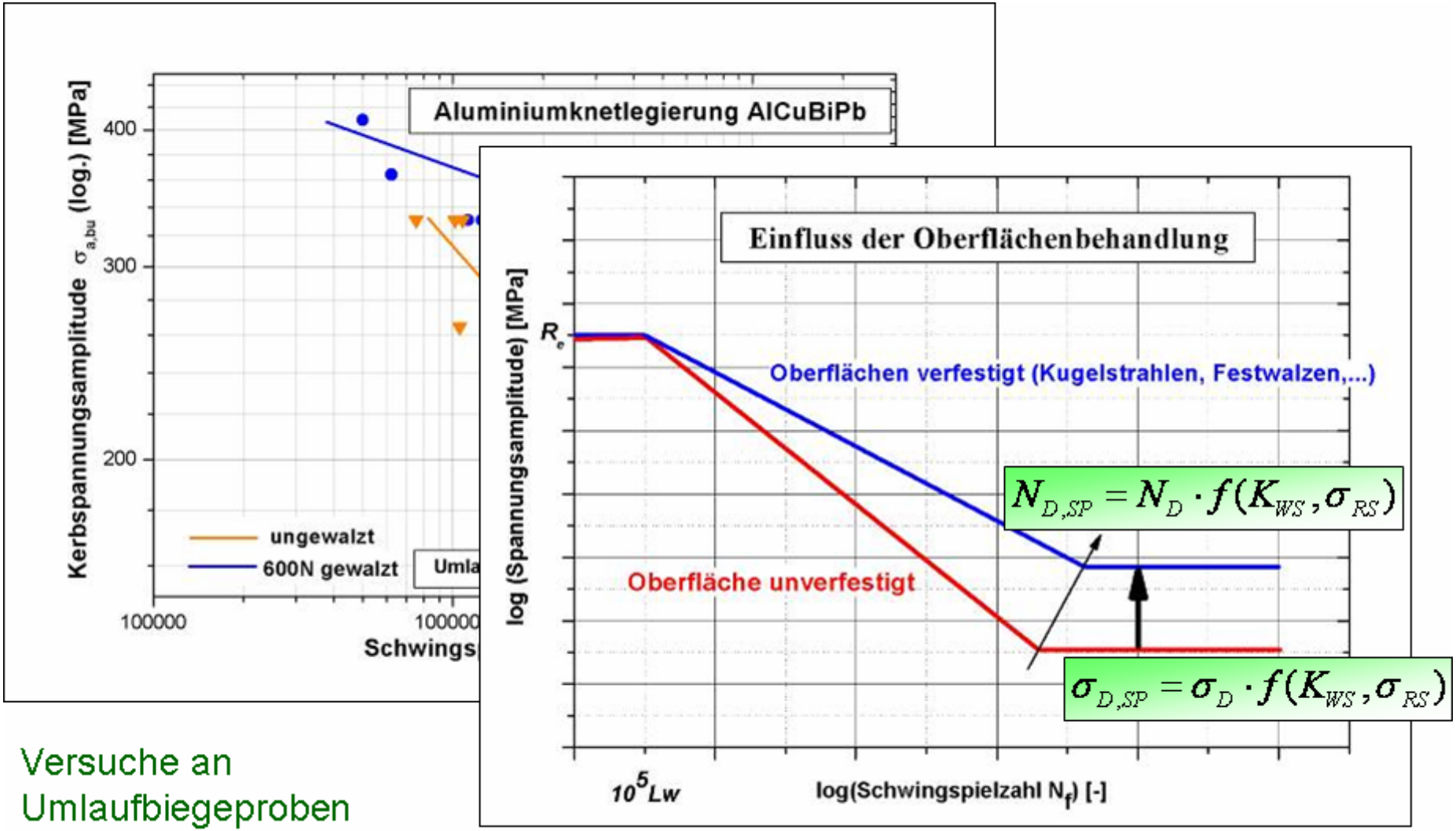






- ➔ Berechnung der Eigenspannungsverteilung
- ➔ Vergleich der Eigenspannungen aus Simulation und Messung

Modell: Einfluss Oberflächenbehandlung



Versuche an Umlaufbiegeproben

Potentiale metallischer Werkstoffe in Leichtbauapplikationen

1. Leichtbau
2. Betriebsfeste Auslegung
3. Bedeutung der Leichtmetalle im Leichtbau
4. Leichtbaupotentiale durch Gestaltung, Werkstoff und Fertigung
5. Wirtschaftliche Betrachtung der Werkstoffe
6. Zusammenfassung

Wirtschaftliche Betrachtung

→ **Werkstoffkosten sind nicht alleine ausschlaggebend:**

- Entwicklungsaufwand (z.B. Erprobung)
- Fertigungskosten
- Recyclingkosten
- Verfügbarkeit
- Nutzen für Endanwender (z.B. Nutzlast)
- etc.

Potentiale metallischer Werkstoffe in Leichtbauapplikationen

1. Leichtbau
2. Betriebsfeste Auslegung
3. Bedeutung der Leichtmetalle im Leichtbau
4. Leichtbaupotentiale durch Gestaltung, Werkstoff und Fertigung
5. Wirtschaftliche Betrachtung der Werkstoffe
6. Zusammenfassung

Zusammenfassung

- **Potential zur Nutzung des Leichtbaupotentials liegt in der Optimierung Systemkonfiguration - Bauteilgestaltung - Fertigung**
- **Leichtbau und Sicherstellung der Zuverlässigkeit gegenüber Ausfall fordert verstärkt Simulationsmethoden zur Ermittlung der Lebensdauer**
- **Potential liegt in der interdisziplinären Zusammenarbeit, z.B. Simulation von**
  - Erstarrung
  - Gefügeausbildung
  - Umform- und Schmiedeprozess
  - Wärmebehandlungen
- **Nicht die Werkstoffkosten, sondern die Kosten der Gesamtkonfiguration sind entscheidend**

Montanuniversität Leoben
Lehrstuhl für Allgemeinen Maschinenbau

Leitung:
Univ.Prof. Dipl.-Ing. Dr. Wilfried Eichlseder

Franz-Josef-Straße 18
A-8700 Leoben

www.mu-leoben.at/institute/maschbau.htm

amb@mu-leoben.at
fatigue@mu-leoben.at
Tel. 0043 3842 402 1400
Fax. 0043 3842 402 1402

Vielen Dank für Ihre Aufmerksamkeit !