

Internationales Forschungsprojekt „Eisenbahnfahrwerke 3“ – ein Zwischenbericht

43. Tagung „Moderne Schienenfahrzeuge“, 3.-6. April 2016, TU Graz

F.-J. Weber (Siemens), S. Jenne (GHH Radsatz), H.-P. Gänser (MCL), K. Kunter (ViF), J. Maierhofer (MCL), A. Deisl (Siemens)

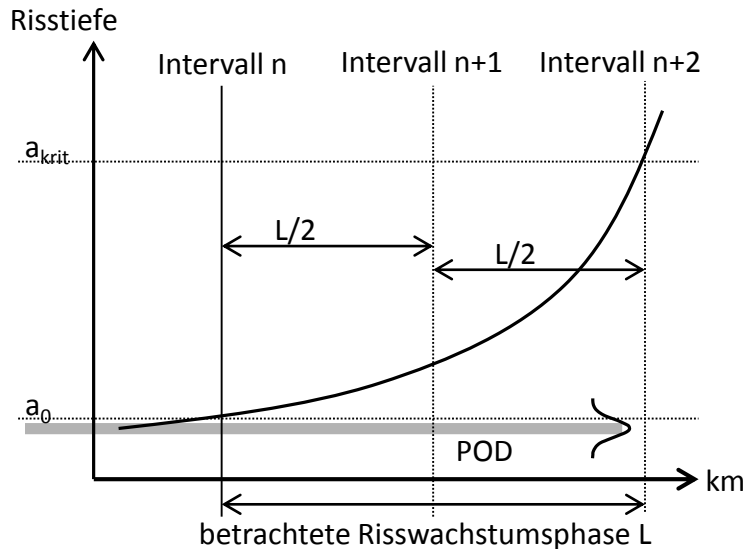


- 1. Wie alles begann**
- 2. Was bisher rauskam**
- 3. Wie es weitergeht**
- 4. Wer mehr wissen will...**

Festlegung von Inspektionsintervallen:

- a) Betriebserfahrung
- b) Rechnerisch (→ EBFW3)**
- c) Mischform

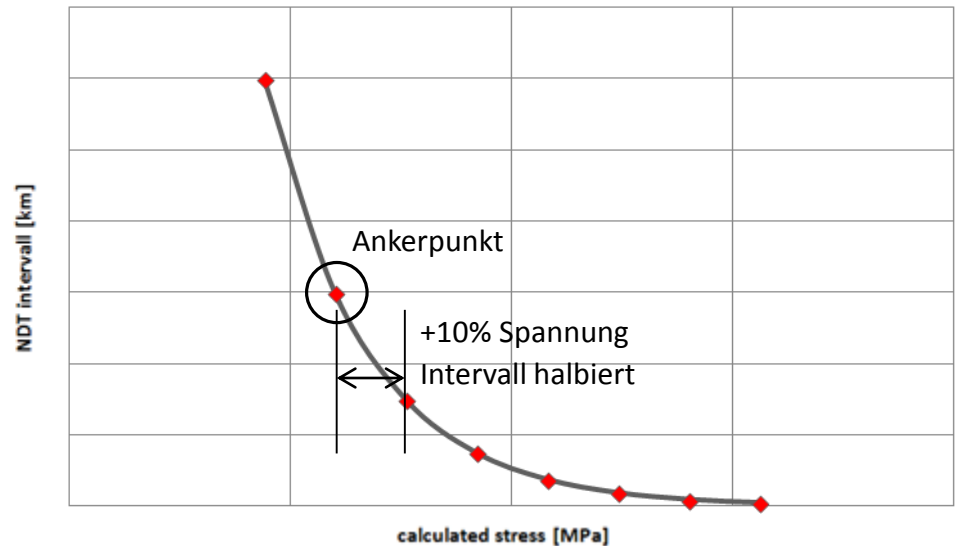
b) Rechnerische Festlegung



Ermittlung der Laufleistung durch:

- Bauteilversuch
- Berechnung des Risswachstums

c) „Kurven-Verfahren“ (derzeit in Entwicklung)



- Ankerpunkt der Kurve: erfahrungsbasiert
- Spannung $\pm 10\%$ bewirkt Verdopplung/Halbierung des Intervalls (Anleihe aus Bruchmechanik)

Zielsetzung:

Validierte rechnerische Methode zur Bestimmung der Rissfortschrittsrate und Festlegung von Inspektionsintervallen

- Modell für Rissfortschrittsrate bei Radsatzwellen aus EA1N und EA4T soll Prognosen bei unterschiedlichen Bauformen (z. B. Hohlbohrung), unterschiedlichen Spannungskonzentrationen und bei unterschiedlichen Einsätzen / unterschiedlichen Lastkollektivformen ermöglichen
- Methode zur Werkstoffcharakterisierung für andere Werkstoffe langfristig 1:1 Versuche nur zur Validierung
- Methode zur Festlegung von Inspektionsintervallen; dabei besondere Berücksichtigung der bestehenden umfangreichen Betriebserfahrung „Großversuch Eisenbahn seit 150 Jahren“

Projektteilnehmer:

Industriepartner

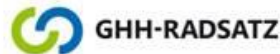
Alstom



BVV



GHH



Siemens



Stadler



Voith



Beirat

Politecnico di Milano



TU Graz



Verband der deutschen
Bahnindustrie e.V.



DB Systemtechnik GmbH



Wissenschaftliche Partner

Virtuelles Fahrzeug



Materials Center
Leoben



TU Graz



TU Clausthal



Fraunhofer IWM



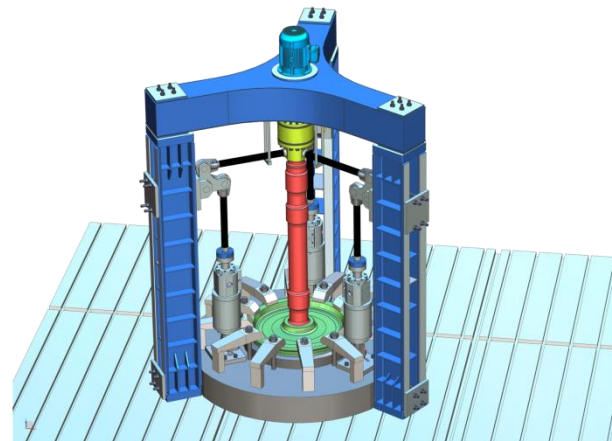
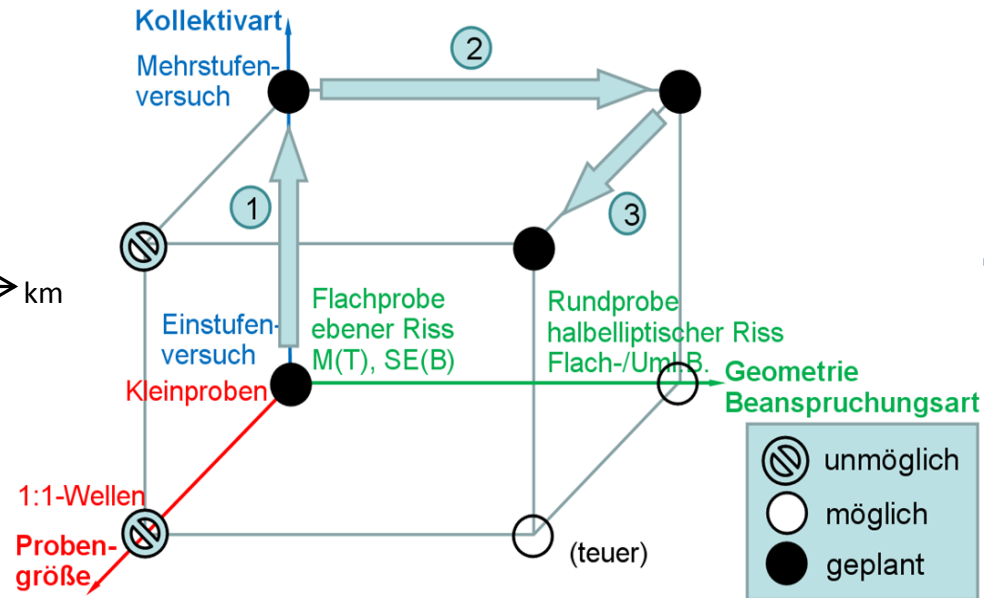
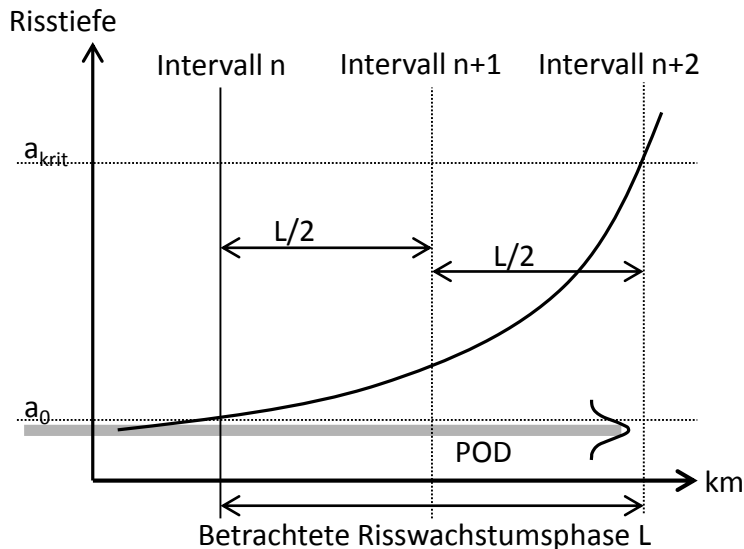
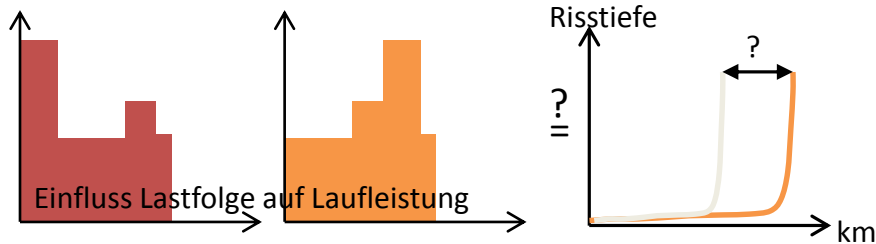
Erich Schmid
Institute



MU Leoben

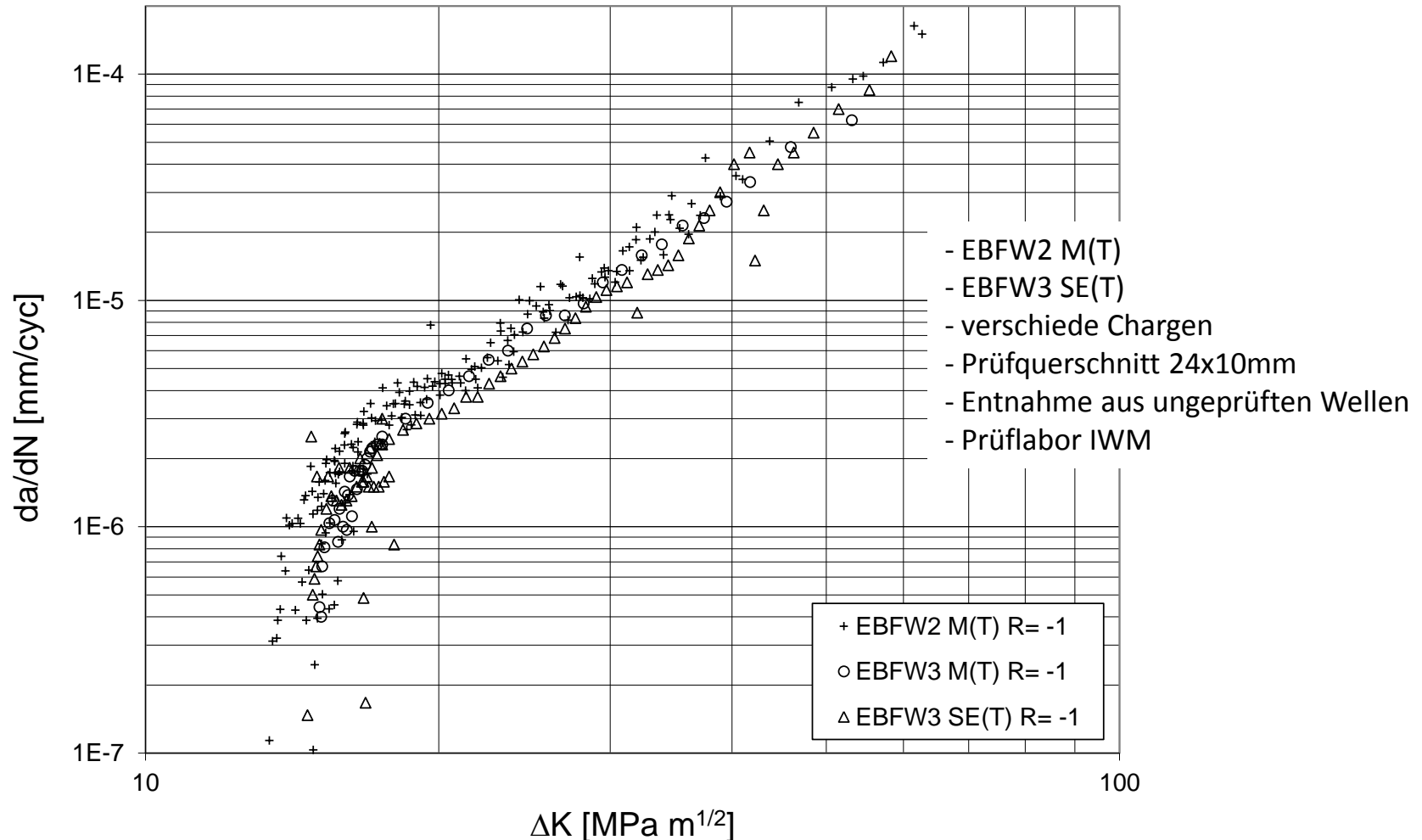


Grundlegende Herangehensweise:



1. Wie alles begann
- 2. Was bisher rauskam**
3. Wie es weitergeht
4. Wer mehr wissen will...

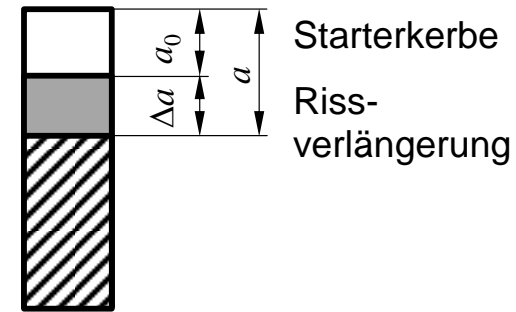
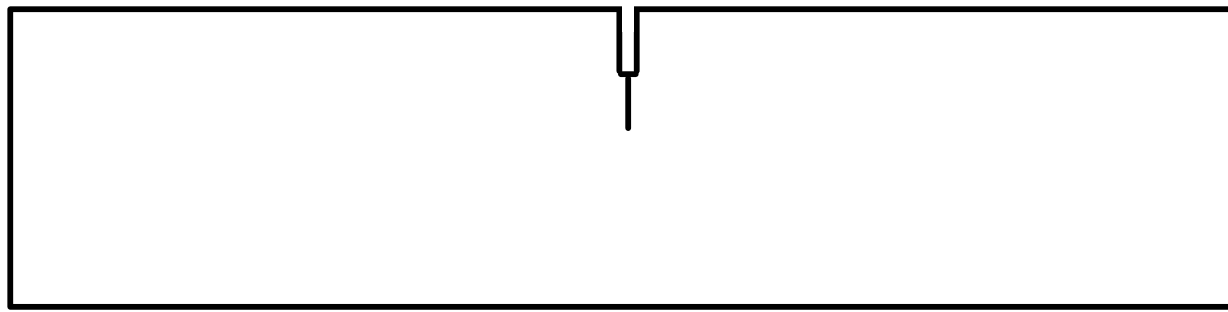
Streuung von Risswachstumsversuchen an Kleinproben:



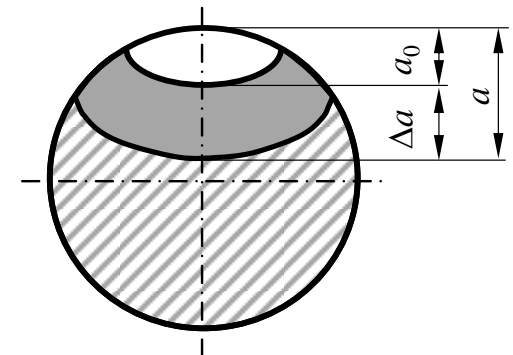
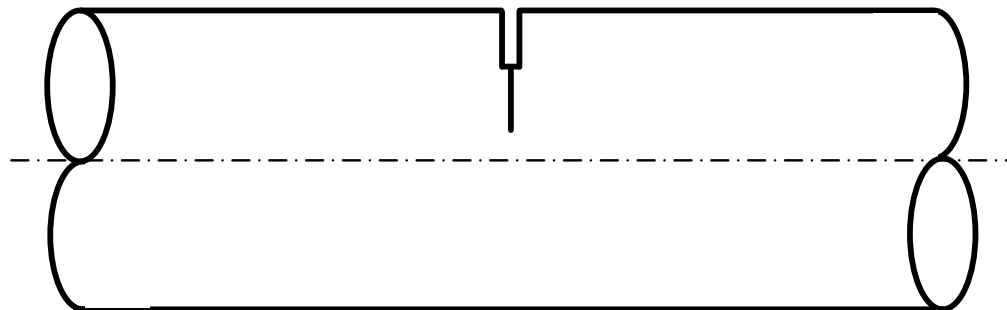
... und an Radsatzwellen?

[Gänsler et al: Int. J. Fatigue 2016]

Abhängigkeit des Rissfortschritt-Schwellwertes von der Rissverlängerung:



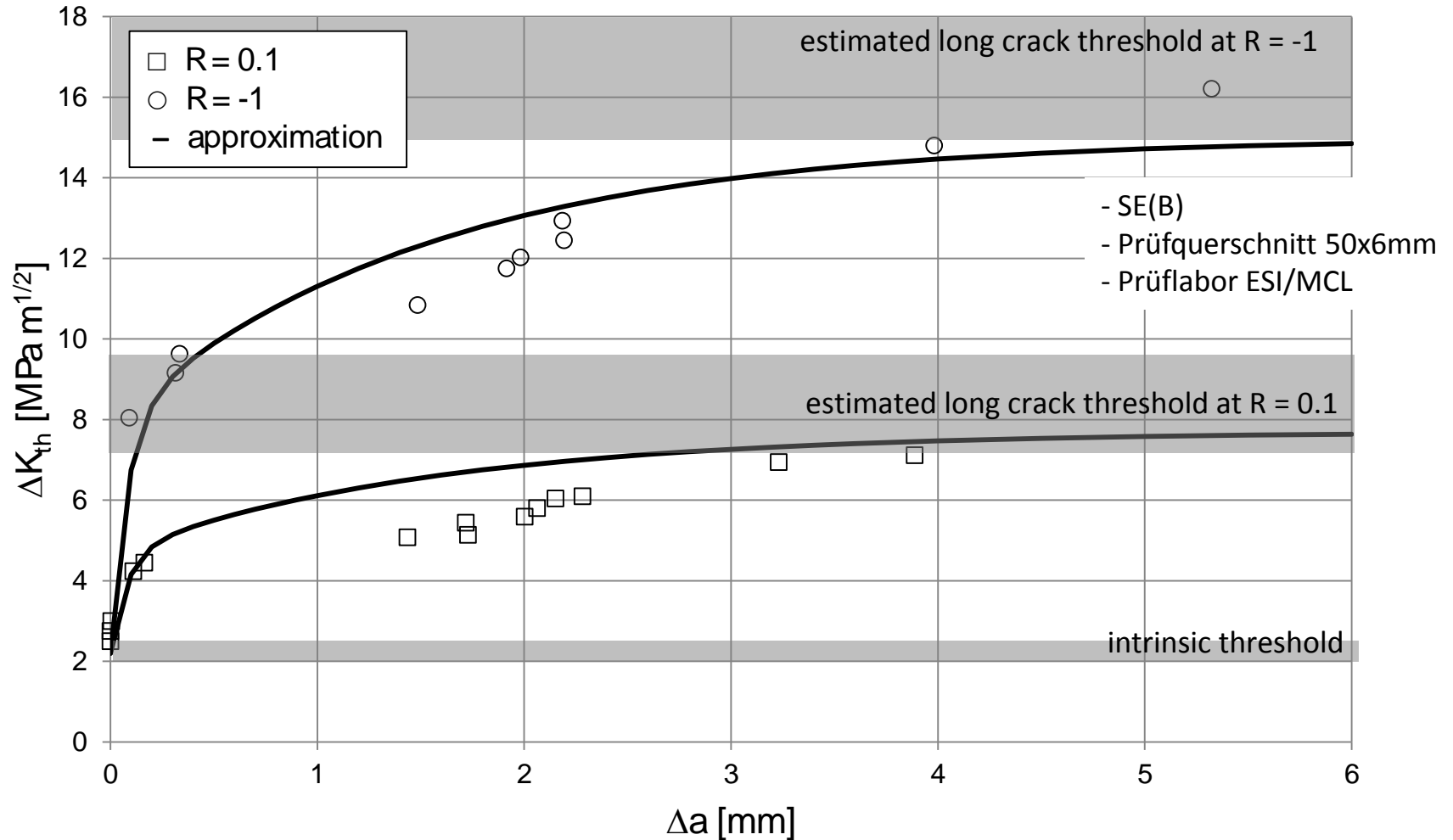
(a)



(b)

[Gänsler et al: Int. J. Fatigue 2016]

Abhängigkeit des Rissfortschritt-Schwellwertes von der Rissverlängerung:



[Gänsler et al: Int. J. Fatigue 2016]

1. Eigenspannungen



2. Überlasten



Warum leben Radsatzwellen länger als berechnet?

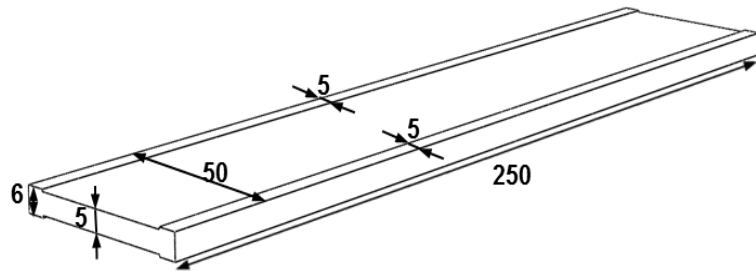
3. „kleine“ Lasten



4. Betriebspausen



Druckeigenspannungen:

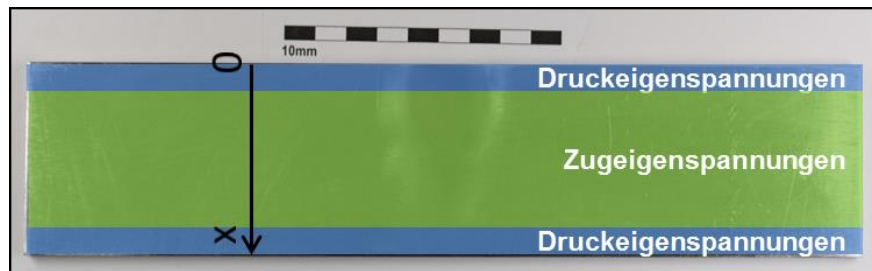


Probe
(SEB – Single Edge Notch Bending)

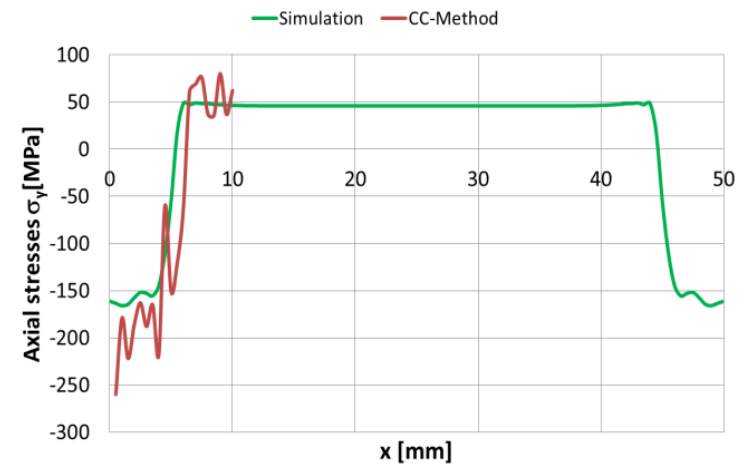


Walzen

Eigenspannungsverteilung nach dem Walzen:

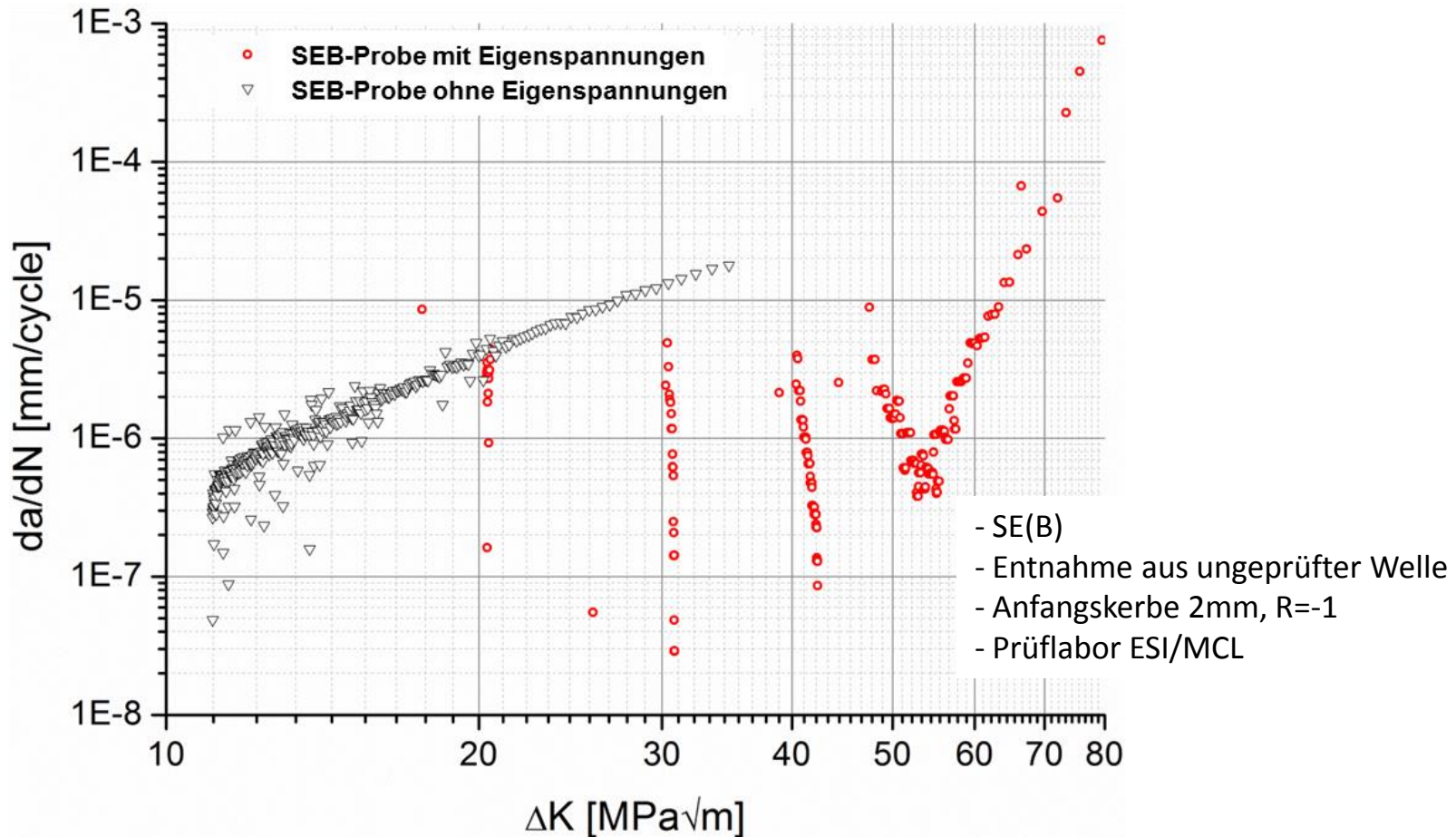


- Entnahme aus ungeprüfter Welle
- Prüflabor ESI/MCL



[Maierhofer et al: Proc. ECF20 2014]

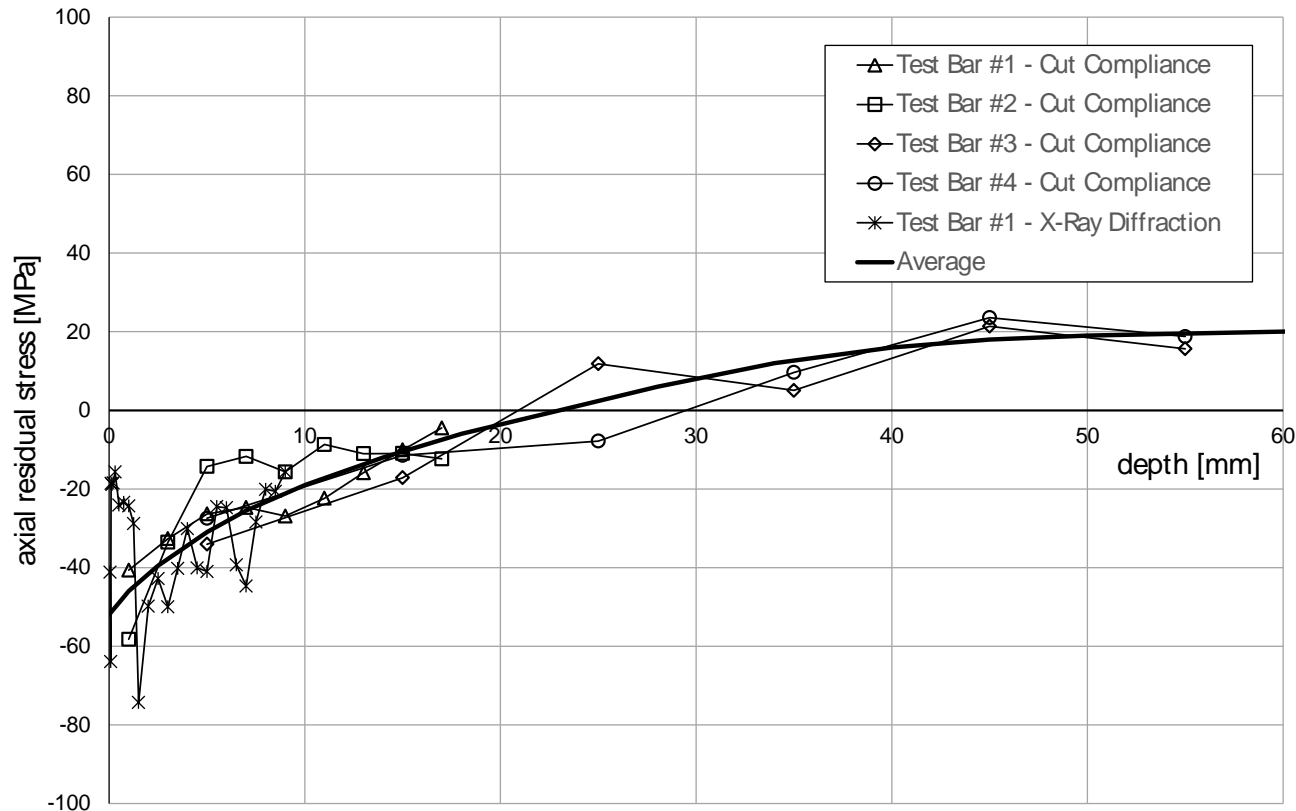
Druckeigenspannungen:



→ Erhöhung des Langrisschwellwertes in Flachstäben um ~450 %!

[Maierhofer et al: Proc. ECF20 2014]

Druckeigenspannungen in Probestäben EA4T Ø190:



- Probestäbe Ø190
- Prüflabor ESI/MCL

Bei den untersuchten Radsatzwellen traten Druckeigenspannungen an der Oberfläche auf. Dies erhöht die Restlebensdauer.

[Gänsler et al: Int. J. Fatigue 2016]

1. Eigenspannungen



2. Überlasten



Warum leben Radsatzwellen länger als berechnet?

3. „kleine“ Lasten

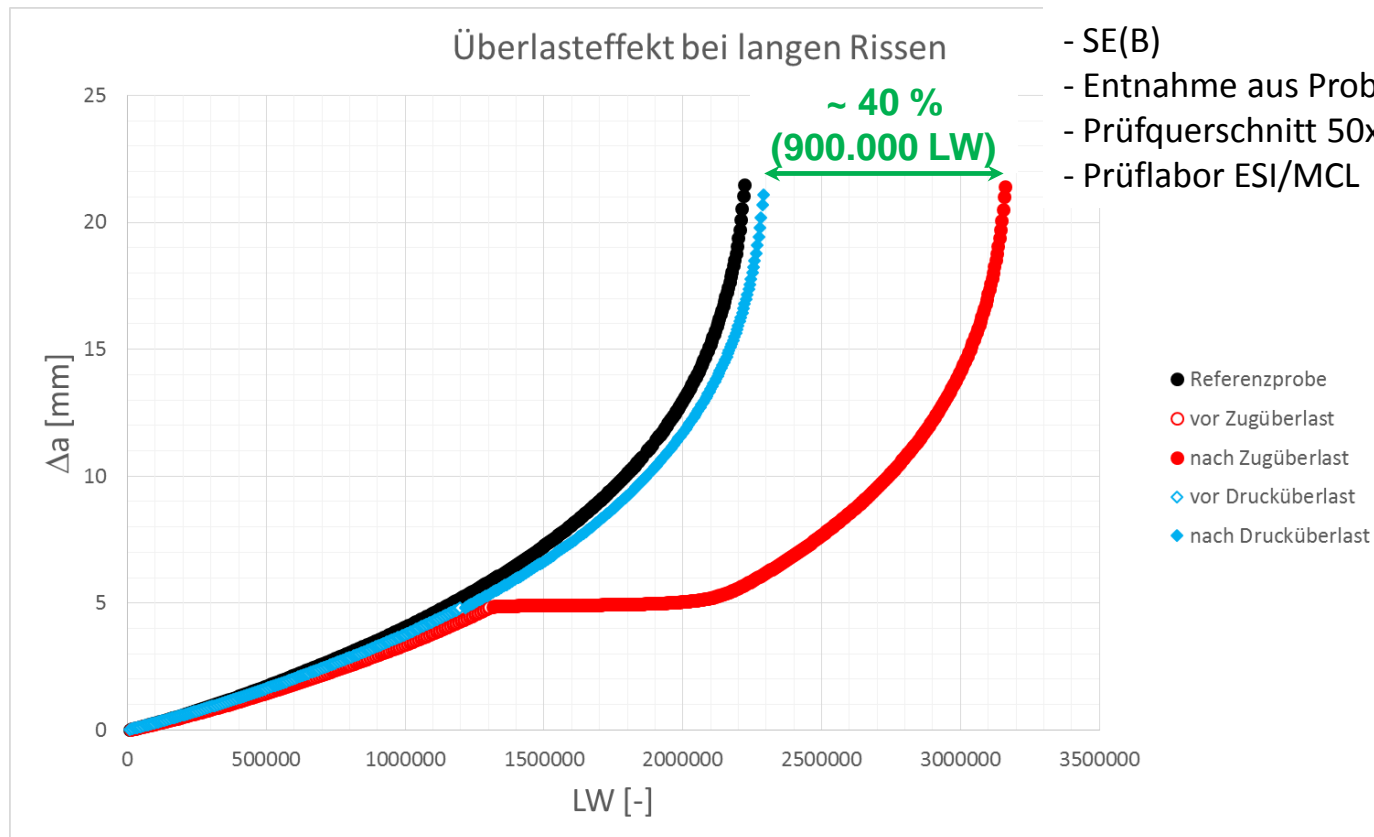


4. Betriebspausen

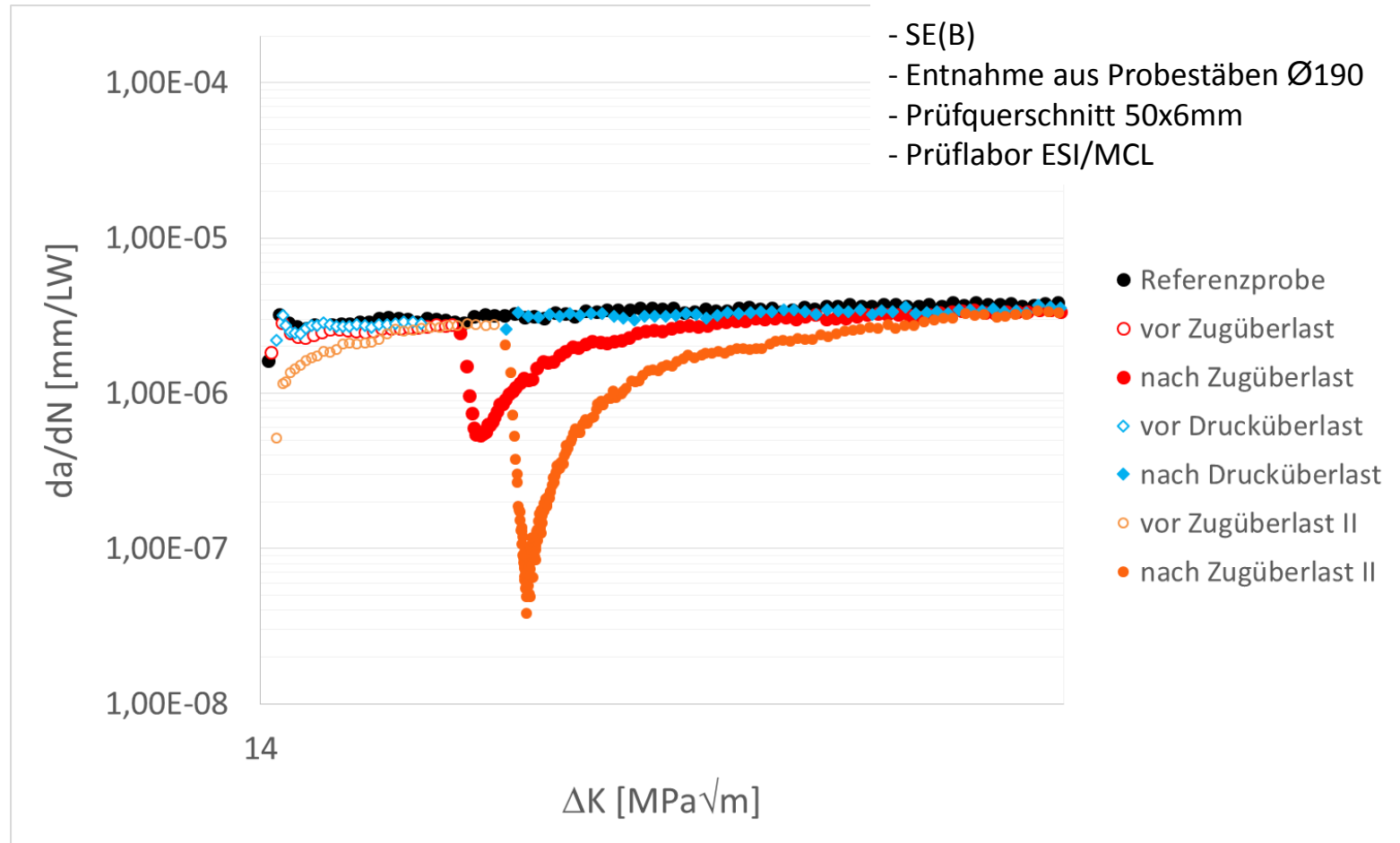


Einfluss einer einzelnen Zug- bzw. Drucküberlast:

- Drucküberlast** : kein erkennbarer Einfluss auf Risswachstum / Lebensdauer
- Zugüberlast** : Risswachstumsgeschwindigkeit wird deutlich verringert;
Lebensdauer deutlich erhöht



Einfluss einer einzelnen Zug- bzw. Drucküberlast:



→ **Größere Zugüberlasten führen zu einer zeitweise stärkeren Absenkung der Risswachstumsrate!**

1. Eigenspannungen



2. Überlasten



Warum leben Radsatzwellen länger als berechnet?

3. „kleine“ Lasten

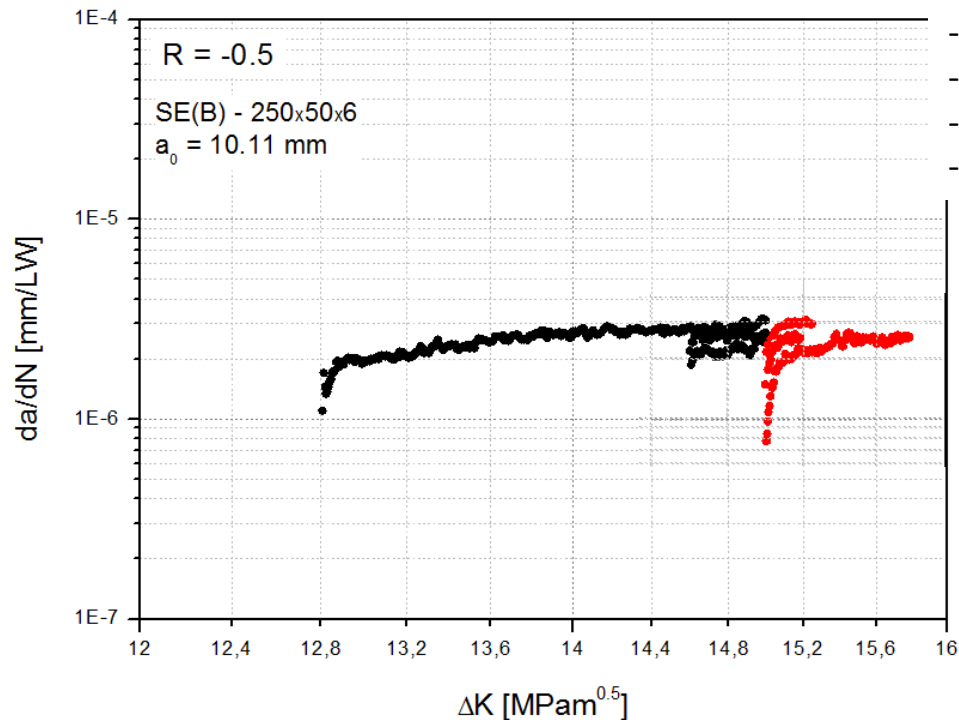


4. Betriebspausen



Einfluss kleiner Grundlasten unterhalb des Rissfortschritt-Schwellwertes:

- Lastsenkung auf $\Delta K = 9 \text{ MPa}\sqrt{\text{m}}$ für 50.000 / 200.000 / 1.000.000 LW
- anschließend Lasterhöhung auf ursprünglichen Wert



- SE(B)
- Entnahme aus Probestäben $\varnothing 190$
- Prüfquerschnitt 50x6mm
- Prüflabor ESI/MCL

→ Längeres Schwingen bei niedriger Grundlast unterhalb des Schwellwertes führt zu einer zeitweise stärkeren Absenkung der Risswachstumsrate!

→ Auf Grund dieses Ergebnisses ist eine Versuchsführung mit Omission konservativ.

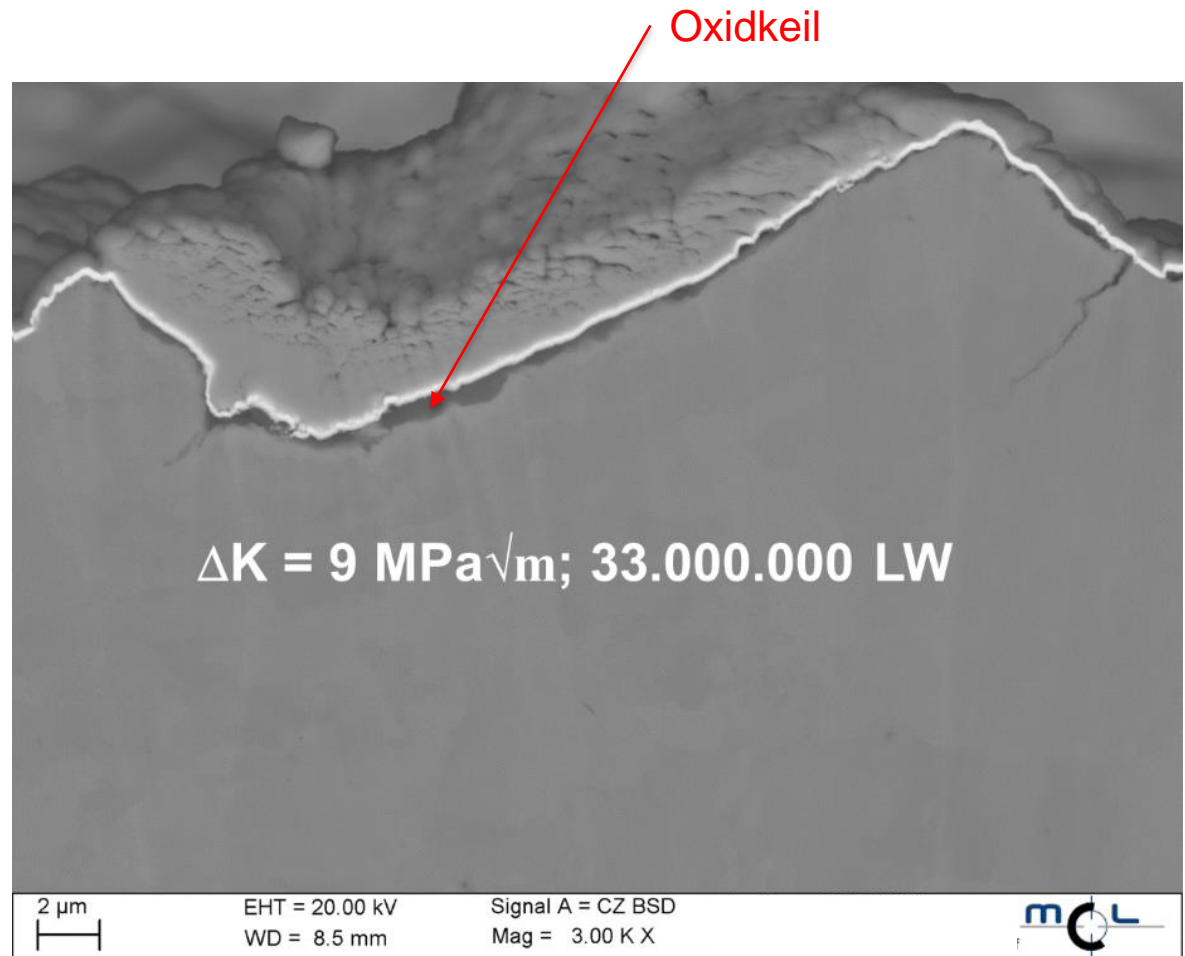
Einfluss kleiner Grundlasten unterhalb des Rissfortschritt-Schwellwertes:



oxidinduziertes
Riss schließen¹



rauheitsinduziertes
Riss schließen¹



¹ S. Suresh: *Fatigue of Materials*, Cambridge, 1998.

1. Eigenspannungen



2. Überlasten



Warum leben Radsatzwellen länger als berechnet?

3. „kleine“ Lasten



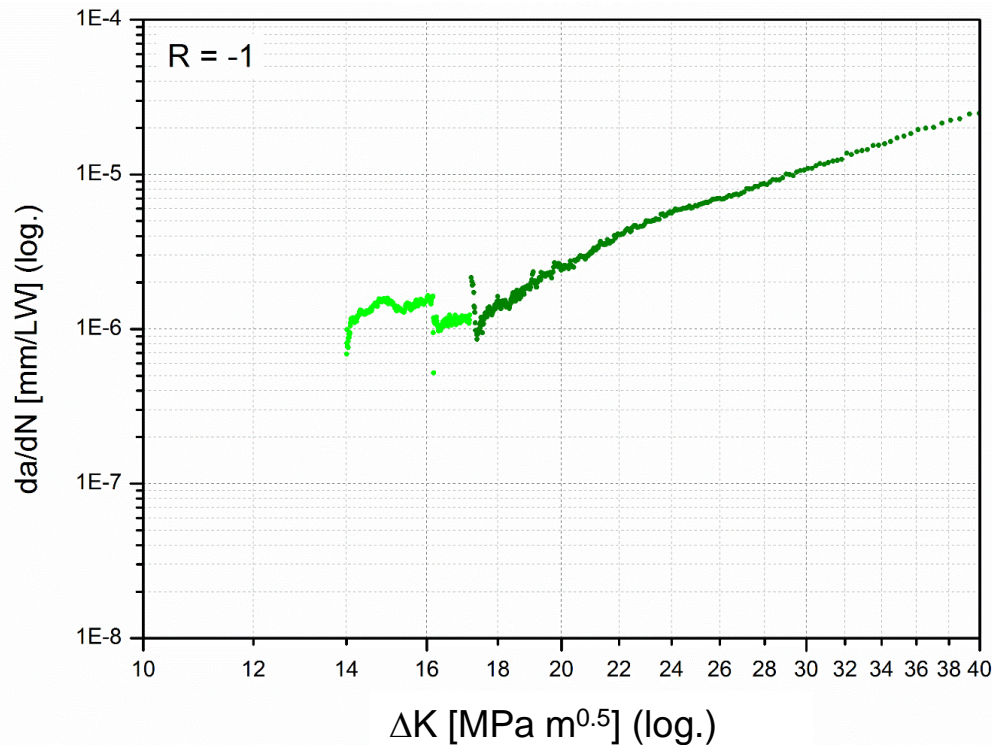
4. Betriebspausen



Einfluss von Zeiteffekten:

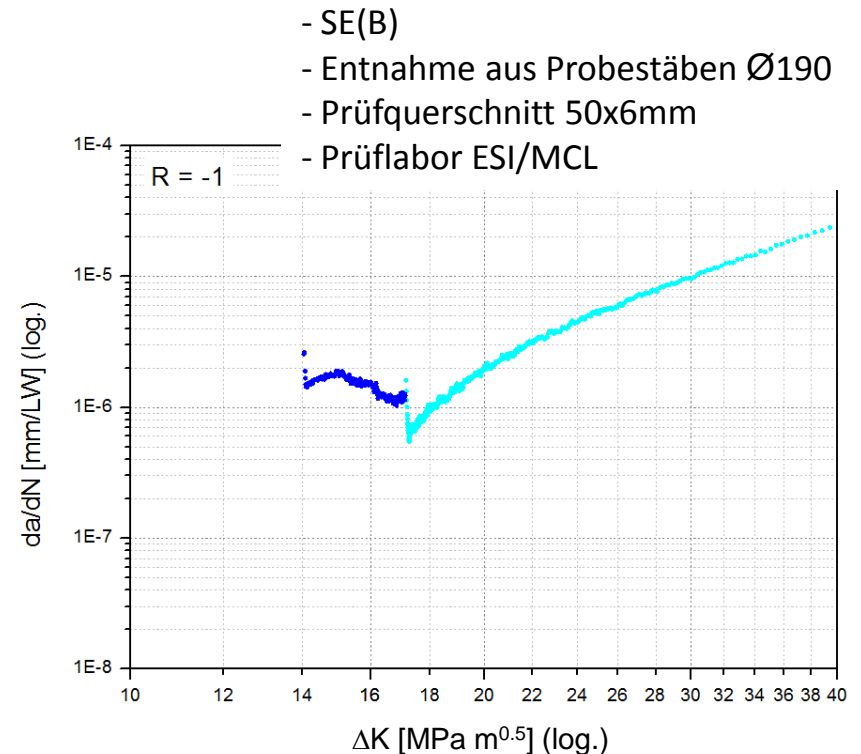
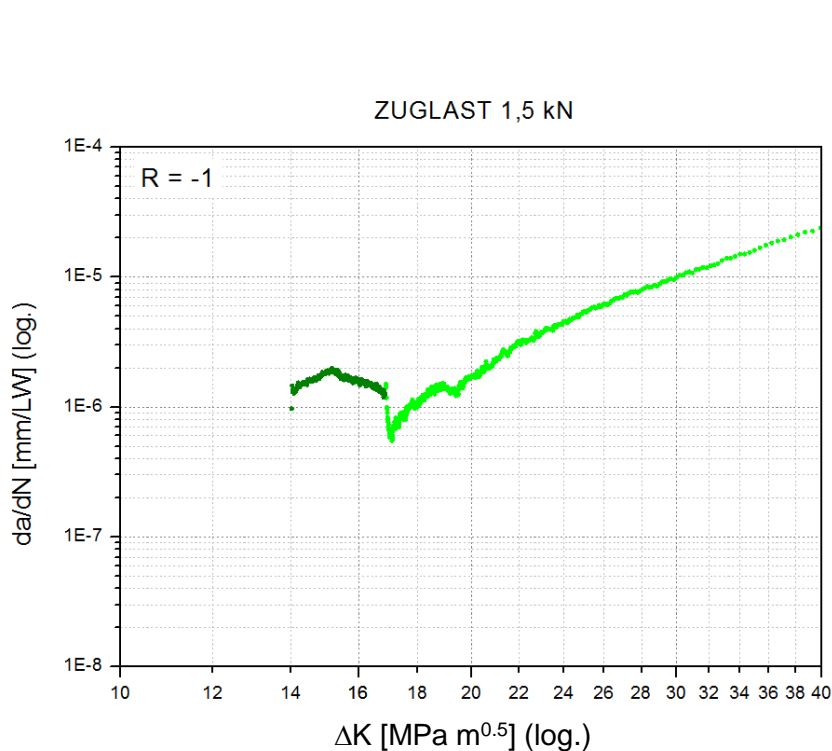
- Unterbrechung des Versuchs
- Schwingung gestoppt
- nach einigen Tagen wieder gestartet

- SE(B)
- Entnahme aus Probestäben Ø190
- Prüfquerschnitt 50x6mm
- Prüflabor ESI/MCL



Einfluss von Zeiteffekten:

- Identische Effekte unter überlagertem statischen Zug bzw. Druck



→ **Längerer Stillstand führt zu einer zeitweise stärkeren Absenkung der Risswachstumsrate!**

Lastannahmen mit realistischen Reihenfolgen

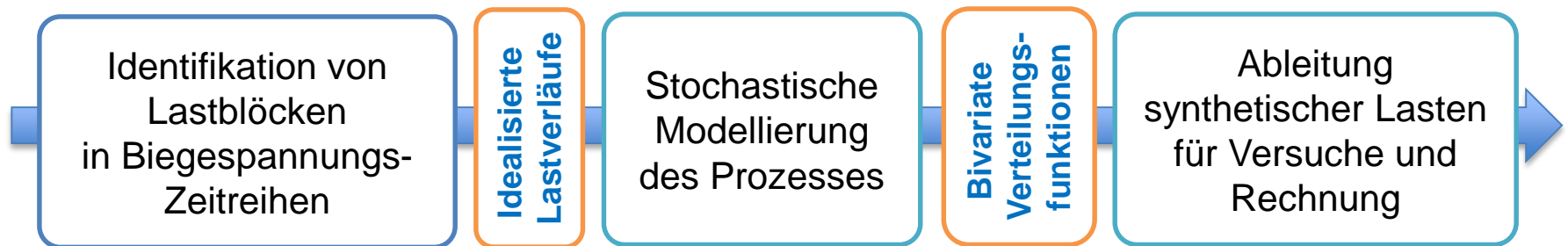
Stand der Technik vor EBFW 3:

- Erstellung von Prüflasten aus Messkollektiv durch Diskretisierung der Laststufen
- Festlegung von Lastblöcken
- Zufällige Durchmischung der Lastblöcke

→ **Einzellasten o. Blöcke mit veränderter Amplitude führen zu verändertem Risswachstum**

→ **Die Auswirkung von Reihenfolgeinflüssen bei langen Blocklastfolgen muss weiter untersucht werden**

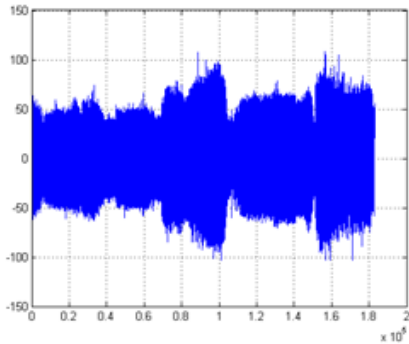
Dreistufiges Schema



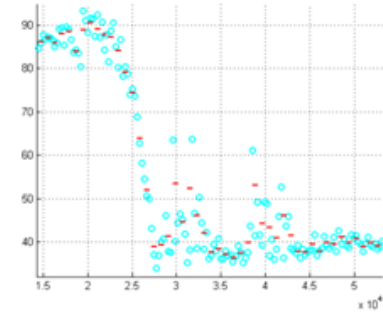
Identifikation von Lastblöcken

Biegespannung aus Streckenversuch

Datenreduktion auf Umkehrpunkte

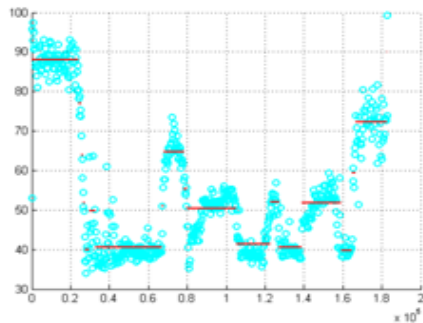


Fortlaufende Vereinigung benachbarter Amplituden mit geringstem Unterschied

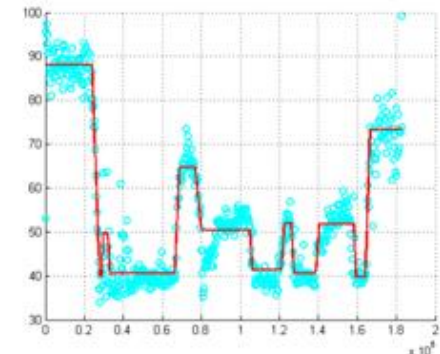


Ähnliche Niveaus: Lastblock

Übergangsbereiche: Lineare Rampen

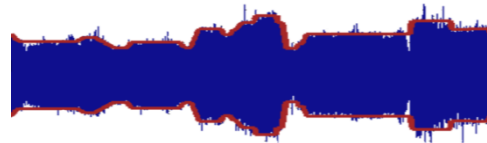


Idealisierter Verlauf der Biegespannung



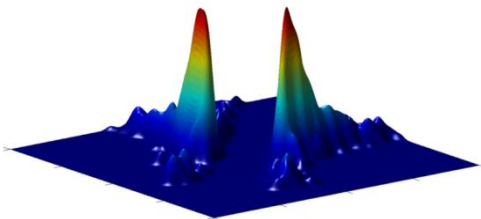
Stochastische Modellierung des Prozesses

Analyse der idealisierten
Biegespannung aus Streckenversuch

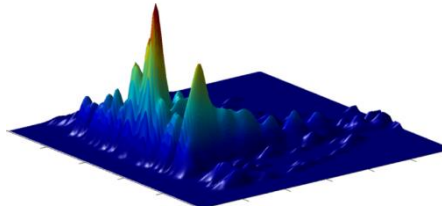


Kerndichteschätzung

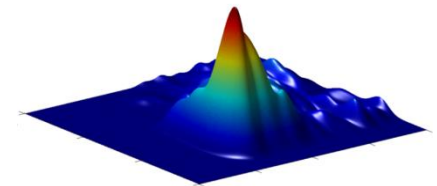
Wahrscheinlichkeitsdichte
von Übergängen



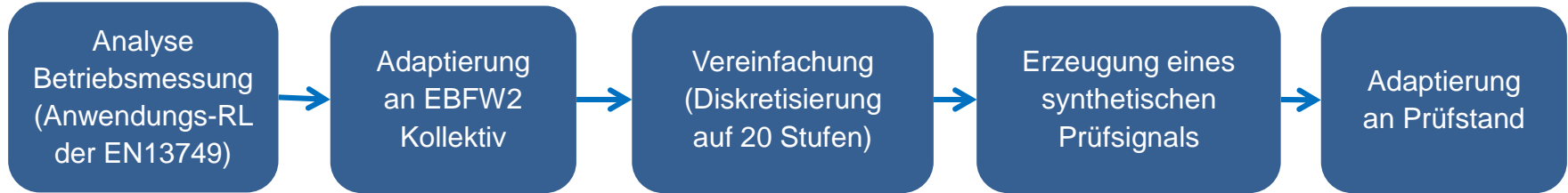
Wahrscheinlichkeitsdichte
von Amplitude und Länge der
Lastblöcke



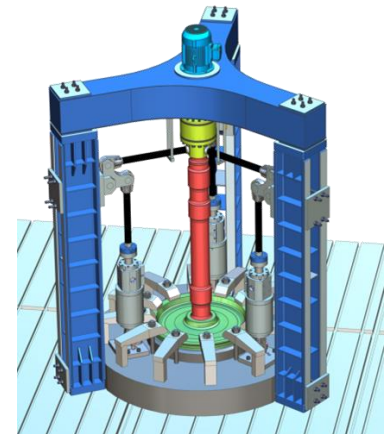
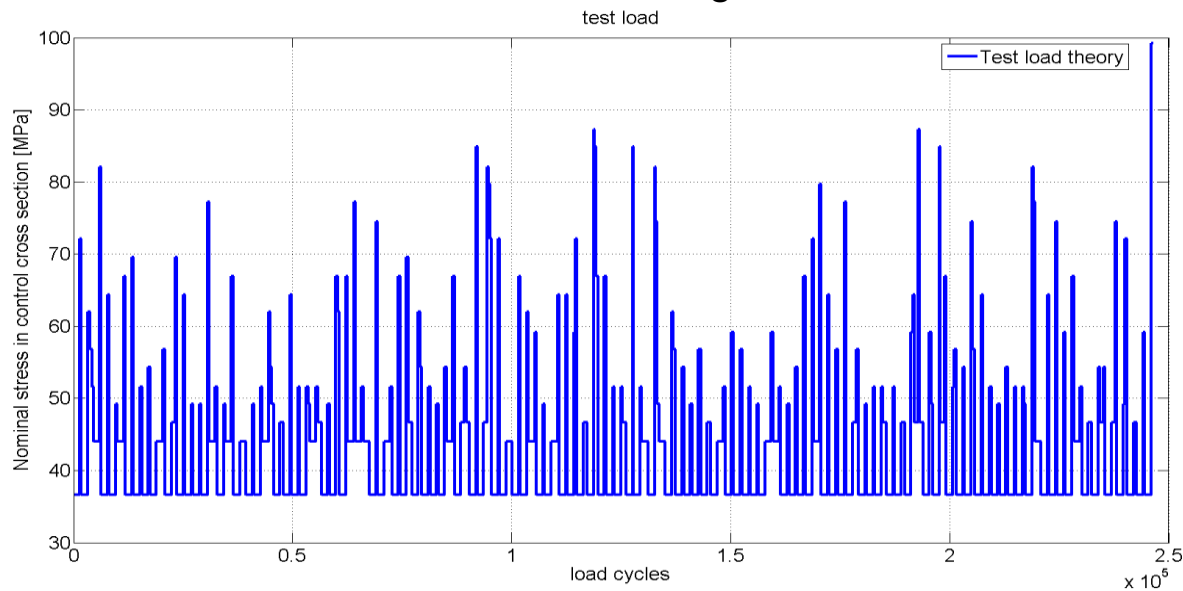
Wahrscheinlichkeitsdichte
der Amplitudendifferenz
und Übergangslänge



Synthese von Prüflasten



- Jede Stufe tritt einmal auf
- Reduktion der Signallänge um Faktor 7
- Die charakteristische Lastreihenfolge bleibt erhalten



1. Wie alles begann
2. Was bisher rauskam
- 3. Wie es weitergeht**
4. Wer mehr wissen will...

Rissfortschrittsversuche an Radsatzwellen im Maßstab 1:1 zeigen erheblich längere Restlebensdauern als mit den bisher verfügbaren Rechenmodellen zu erwarten wäre.

Die Effekte von

1. Eigenspannungen
2. Überlasten (plastizitätsinduziertes Riss schließen)
3. Omission (oxidisches Riss schließen)
4. Betriebspausen

wurden in EBFW3 an Kleinproben EA4T nachgewiesen und quantitativ untersucht.

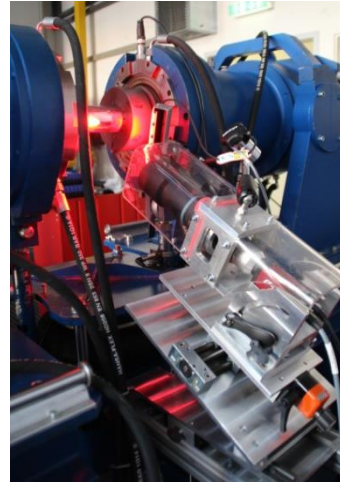
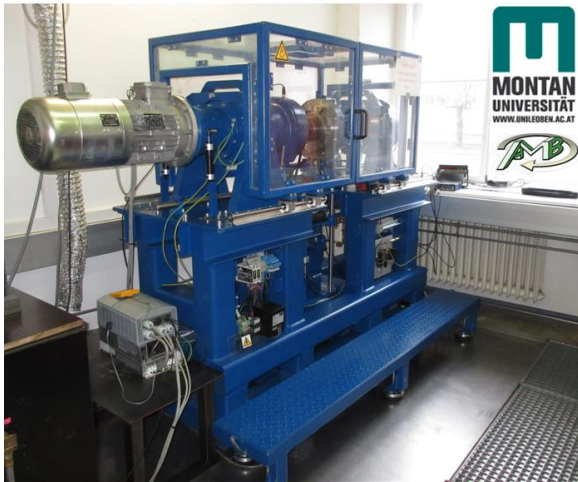
Weiterer Projektverlauf

- Erarbeitung verbesserter physikalisch basierter Modelle für die Effekte Eigenspannung, Überlasten und Omission und Implementierung in die Berechnungsprogramme ERWIN und INARA
- Statistische Auswertung weiterer Kleinprobenversuche zur Ermittlung der Parameter dieser Modelle
- Untersuchung der Übertragbarkeit auf Proben 1:3 und 1:1 Dazu wurden verbesserte Prüfstände an der MU Leoben und der TU Graz in Betrieb genommen

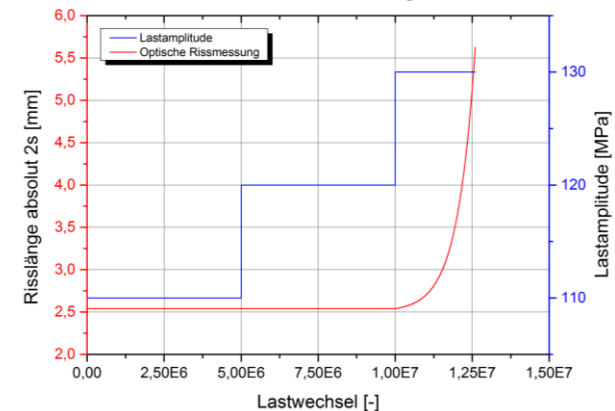
Übertragbarkeit I: Versuche an 1:3-Wellen

D. Simunek / M. Leitner (Lehrstuhl für Allgemeinen Maschinenbau, Montanuniv. Leoben)

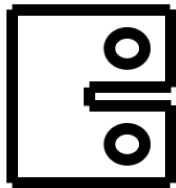
Umlaufbiegeprüfung (4-Punkt-Biegung) Optische Rißmessung



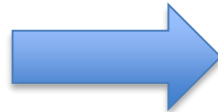
→ Abgleich mit Berechnungen
→ Einfluss Probengröße/-form



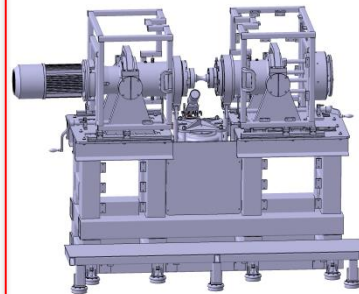
Materialcharakterisierung
(Kleinprobenversuche)



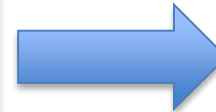
Größeneinfluss?



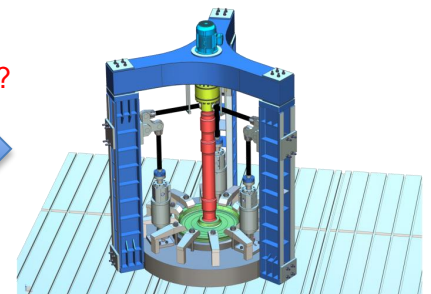
1:3-Versuche



Größeneinfluss?



1:1-Versuche



Übertragbarkeit II: Versuche an 1:1-Wellen



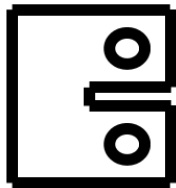
C.Thöni / C. Moser
Institut für Maschinenelemente
und
Entwicklungsmethodik, TU Graz



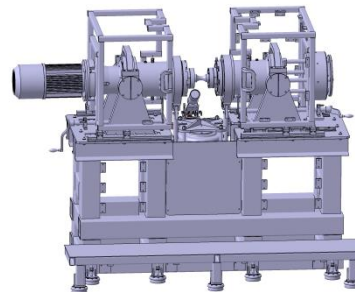
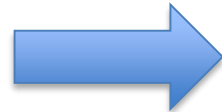
Materialcharakterisierung
(Kleinprobenversuche)

1:3-Versuche

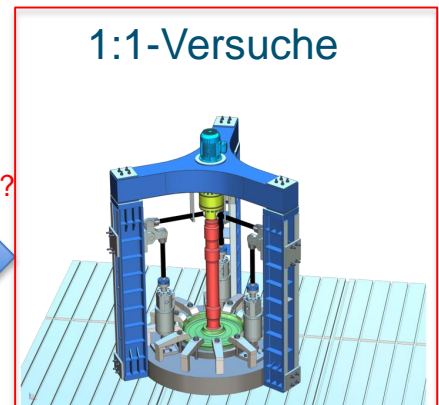
1:1-Versuche



Größeneinfluss?



Größeneinfluss?



Bisherige Veröffentlichungen im Projekt:

Zeitschriftenbeiträge:

- [1] M. Koch, A. Deisl, H.-P. Gänser, S. Jenne:
Internationales Forschungsprojekt „Eisenbahnfahrwerke 3“.
ZEVrail **138** (2014) 93-97
- [2] H.-P. Gänser, J. Maierhofer, R. Tichy, I. Zivkovic, R. Pippan, M. Luke, I. Varfolomeev:
Damage tolerance of railway axles – The issue of transferability revisited.
International Journal of Fatigue **86** (2016) 52-57

Vorträge:

- [3] A. Deisl, H.-P. Gänser, S. Jenne, R. Pippan: *Eisenbahnfahrwerke 3 – EBFW3. Description and aims of the new project.* ESIS TC24 Workshop Railway Axles: Advances in Durability Analysis and Maintenance. Mailand, 01.-02.10.2014
- [4] C. Moser, C. Thöni, T. Thurner: *Das Projekt Radsatzwellenprüfstand an der TU Graz.*
- [5] M. Koch, S. Jenne, H.-P. Gänser, A. Deisl: *Internationales Forschungsprojekt EBFW3.*
- [6] K. Kunter, J. Fasswald: *Generierung von Prüflasten für Radsatzwellen unter Berücksichtigung von realistischen Lastreihenfolgen.*
Fachsymposium Mechanische Umweltsimulation: Schwerpunkt Betriebsfestigkeit. Graz, 27.11.2014
- [7] J. Maierhofer, H.-P. Gänser, R. Pippan: *Zyklisch belastete Bauteile leben länger als gedacht! Warum eigentlich?* 48. Tagung des DVM-Arbeitskreises Bruchmechanik und Bauteilsicherheit, Freiburg, 16.-17.02.2016