



## Untersuchung des Abbrandverhaltens von Carbonfasern in carbonfaserverstärktem Siliziumcarbid

R. Lebmeier, G. Obermeier, M.G.R. Sause, S. Horn, Universität Augsburg,  
Lehrstuhl für Experimentalphysik II, Institut für Physik



# Inhalt

- **Motivation**
- **Probenoxidation**
- **Mikrostruktur**
- **Mechanische Prüfung**
- **Ultraschallprüfung**
- **Ausblick**

## Motivation



Nasenkappe des  
Raumgleiters X-38  
Foto: DLR



C/SiC-Bremsscheibe  
Foto: SGL

- Oxidation der C-Fasern durch thermische Belastung
- Verschlechterung des schadenstoleranten Verhaltens
- schwierige Prüfung des Grades der Werkstoffdegradation

## Probengeometrie

- kurzfaserverstärkte LSI-C/SiC Rundproben
- 26 mm Durchmesser
- 3 mm Dicke

## Effekt thermischer Belastung

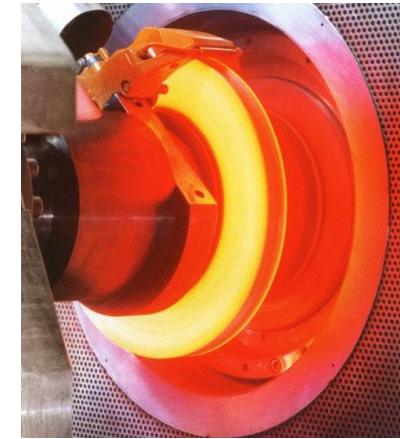
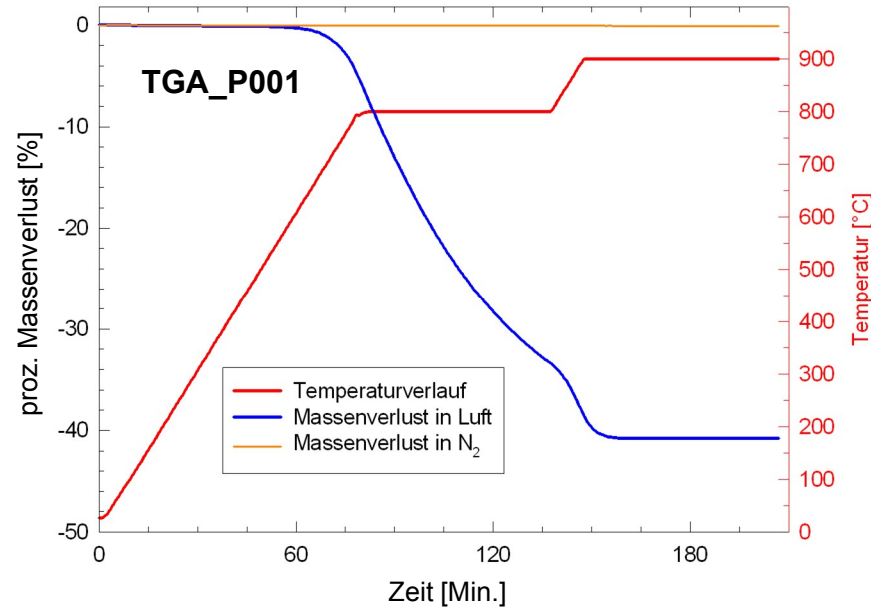
nachher



vorher

- zerstörungsfreie Prüfung des Faserabbrands für Massenverluste unterhalb von 3%?

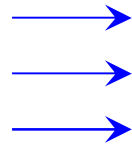
rascher relevanter  
Massenverlust im oxidativen  
Temperaturbereich unter  
Sauerstoffeinfluss



C/SiC-Bremsscheibe  
im Prüfstandseinsatz  
Foto: SGL

## Gezielte Oxidation im Rohrfurn

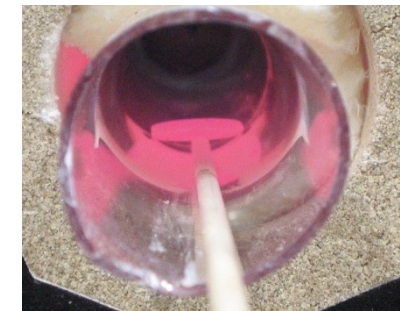
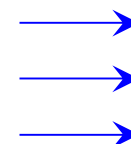
Luft/N<sub>2</sub>-Durchfluss  
5 Liter / Min.



800° C



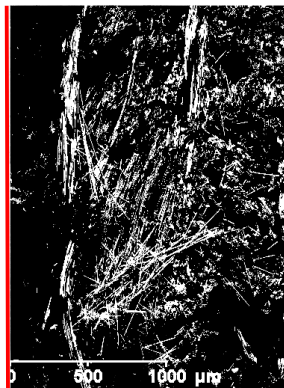
Probe



C/SiC-Probe

## REM / EDX

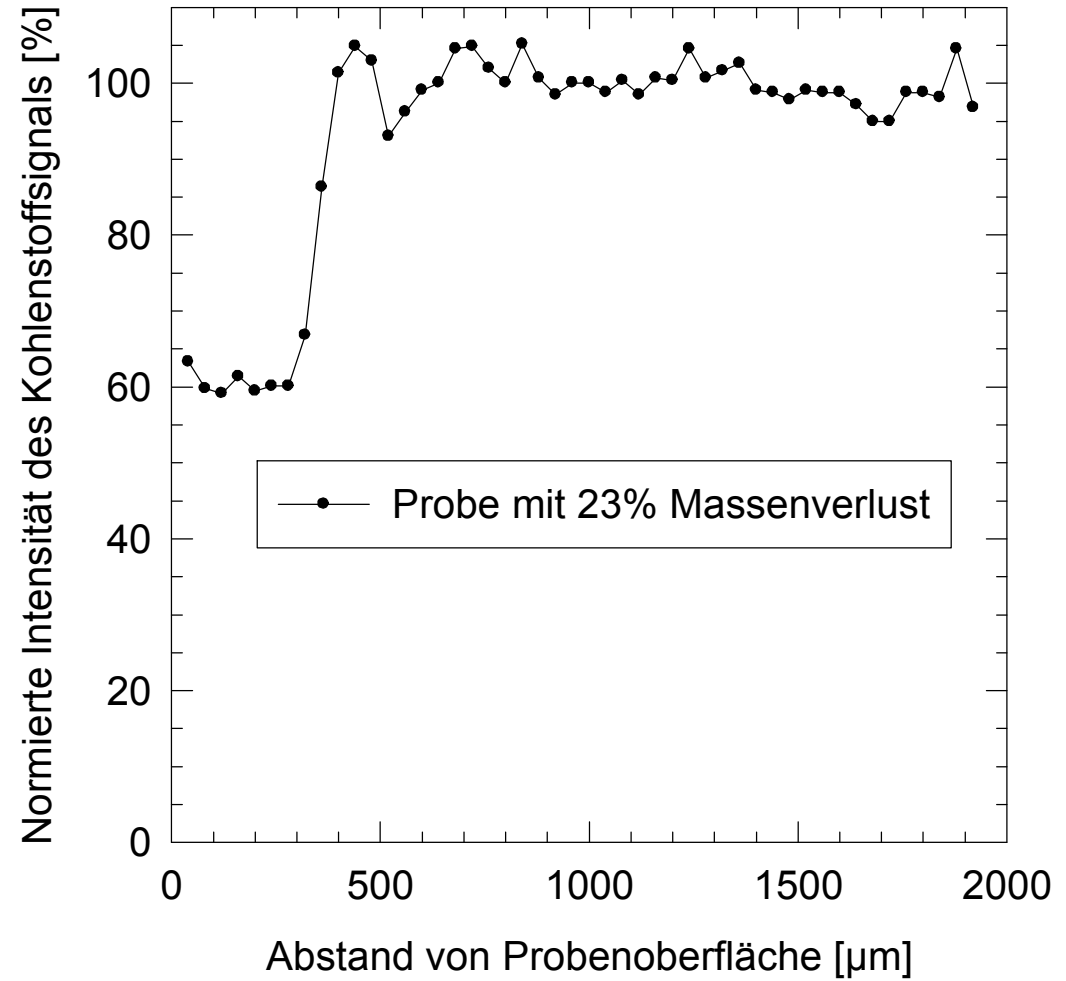
Oberfläche der Rundprobe



C - Mapping



Si - Mapping



Räumliche Abbrandanalyse mittels REM / EDX

Computertomograph  
phoenix nanotom m:

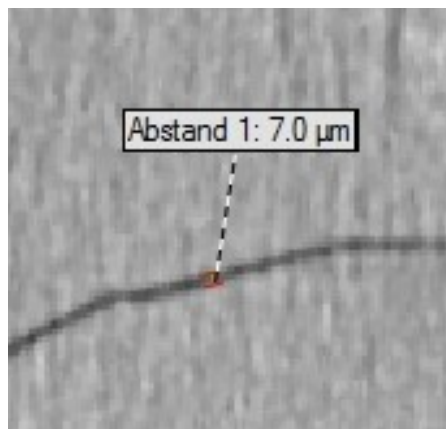
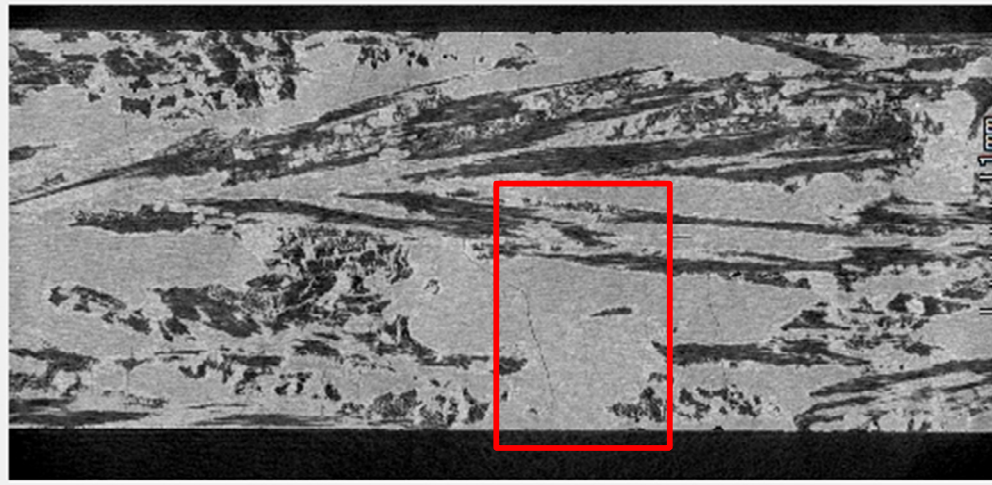
- max. Röhrenspannung 180kV
- max. Ausgangsleistung 15W
- min. Voxelgröße 0,3 $\mu$ m

Messeinstellungen:

- Molybdän / Wolfram-Target
- 70kV – 150kV
- 50 $\mu$ A – 220 $\mu$ A
- Voxelgröße ca. 2,5 $\mu$ m
- 2000 Bilder / Messung



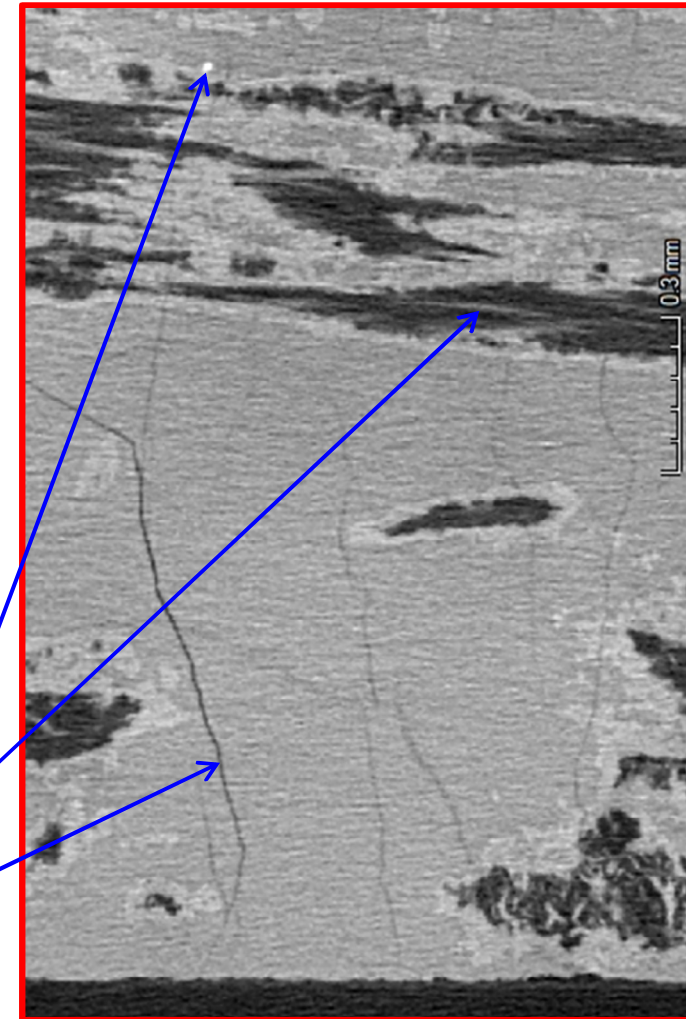
## P018 / 0,0% Massenverlust



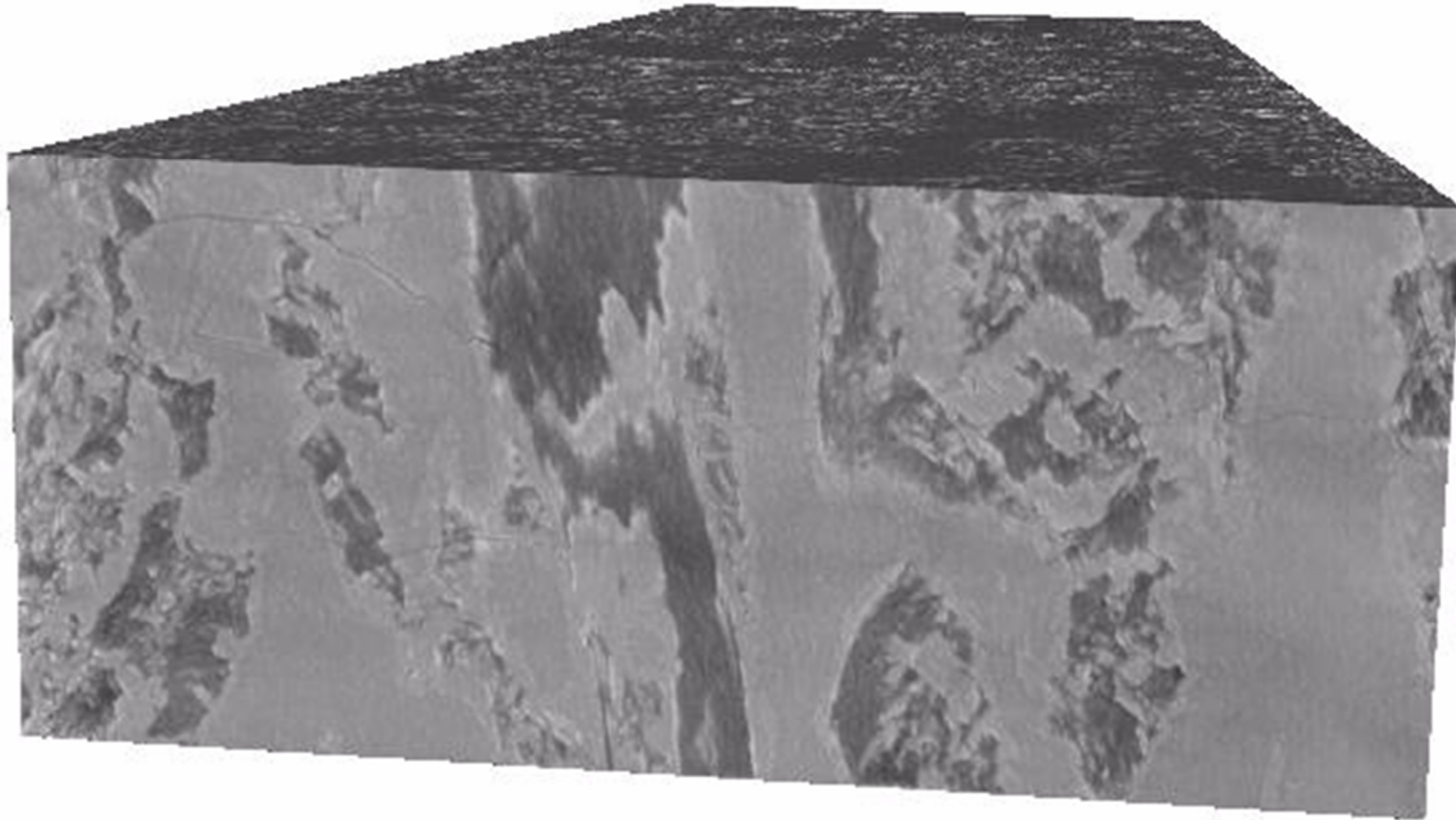
Bereiche sehr hoher Absorption

Faserverstärkung

Mikrorissstruktur

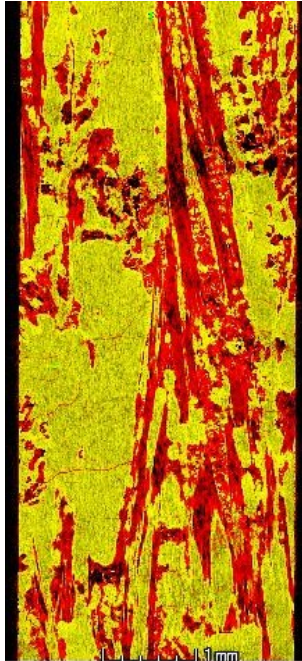


**P004 / 2,7% Massenverlust**





## CT-Untersuchungen verschiedener Massenverluste



P018 / 0,0%



P018 / 20,2%



P018 / 31,9%

- Grauwerte zur Verdeutlichung des C-Verlustes eingefärbt:  
rot -> C, gelb -> SiC, schwarz -> Luft

## Doppelringbiegeversuch

ähnlich EN1288-5

Bestimmung der Biegefestigkeit von Glas



### Messparameter:

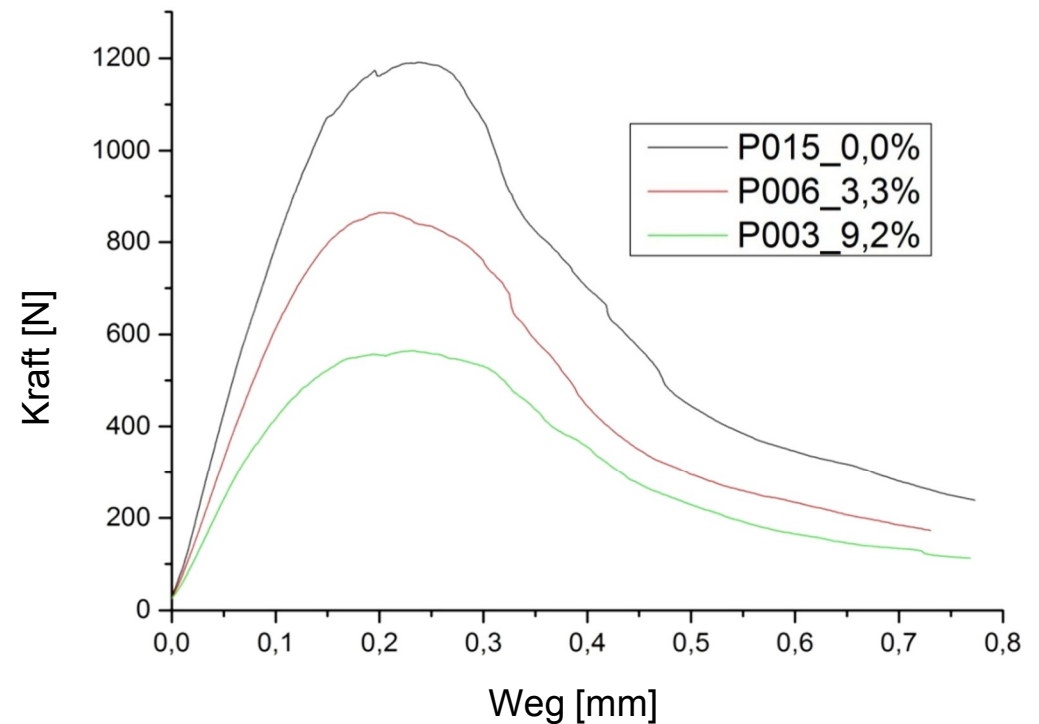
- Probe  
Ø26mm x 3,06 ±0,02mm
- Prüfgeschwindigkeit  
1mm/Min.
- Auflager  
Ø15mm/Ø22mm
- Druckstempel  
Ø4mm



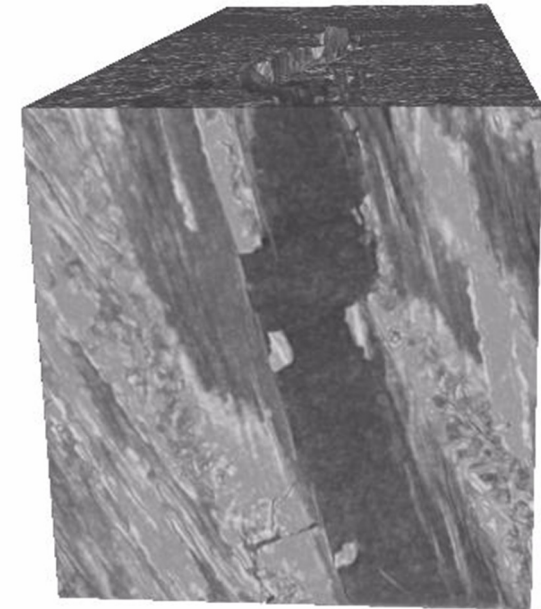
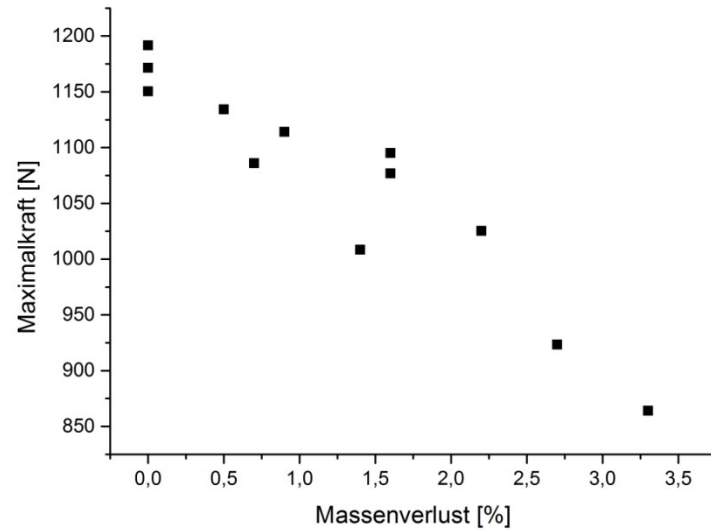
Auflager



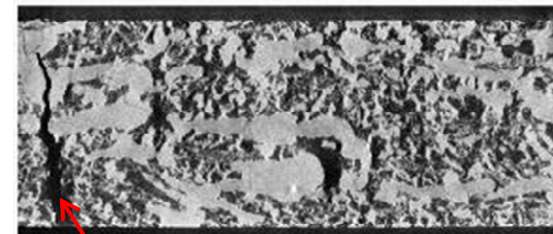
Druckstempel



## Auswertung des Doppelringbiegeversuchs



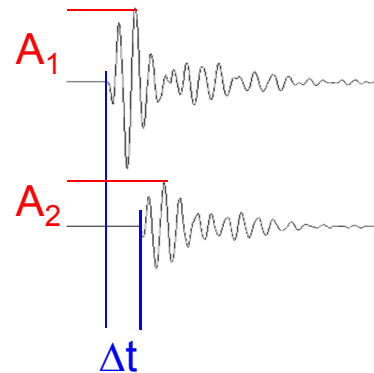
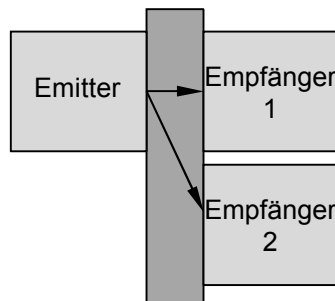
geprüfte Probe (Unterseite)



Rissstruktur der  
mechanischen Prüfung

## Messung von Schallgeschwindigkeit und -dämpfung

### Sensoranordnung



- unterschiedliche Maximalamplituden
- unterschiedliche Einsatzzeitpunkte der Wellen

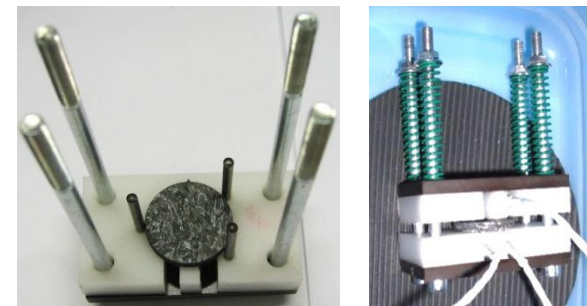
$$\text{Schallgeschwindigkeit} = \frac{\text{Wegunterschied der Mittelpunkte}}{\text{Unterschied der Ersteinsatzzeitpunkte } \Delta t}$$

Dämpfung aus Verhältnis der Maximalamplituden  $A_1, A_2$

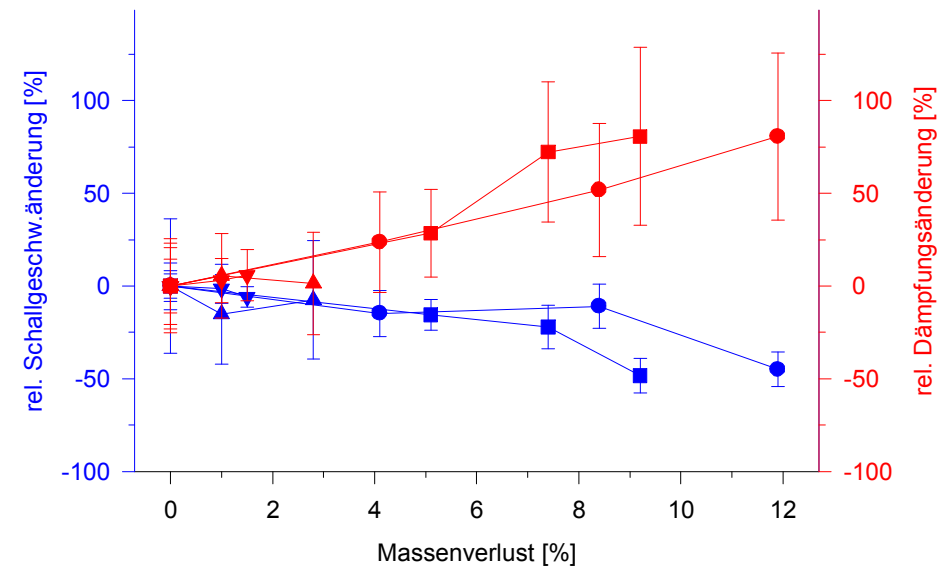
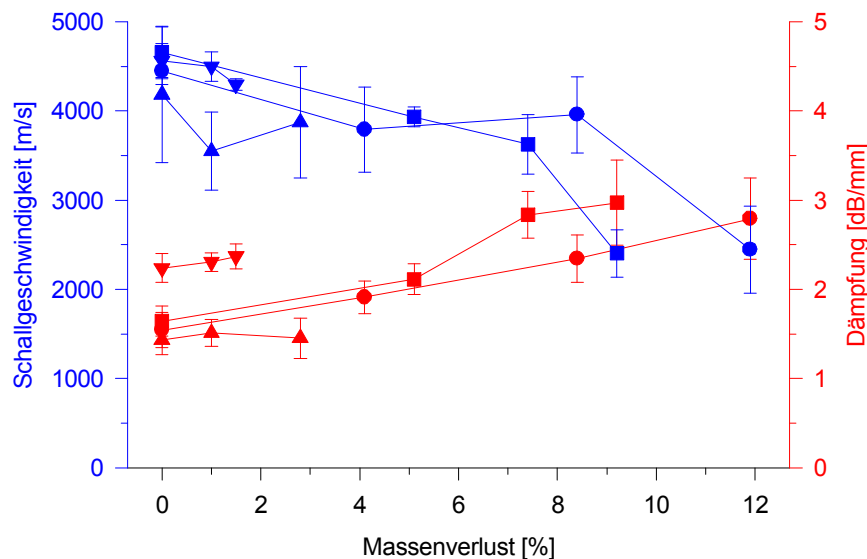
### Messablauf

- Pro Messung ca. 100 Schallpulse
- Je Abbrandstufe 10 Messungen (Ein- und Ausbau, erneute Ankopplung)

### Messaufbau

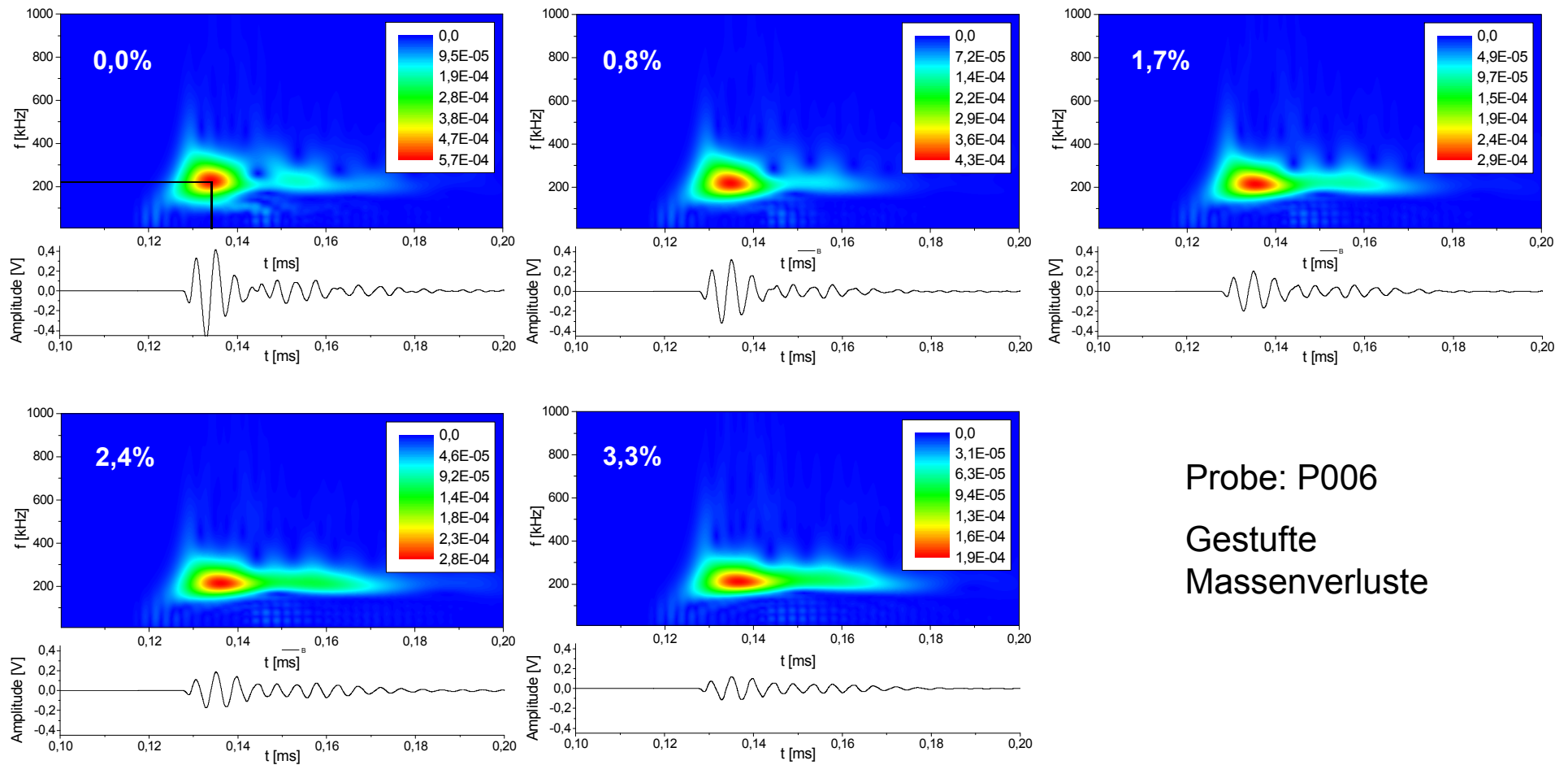


## Messung von **Schallgeschwindigkeit** und **-dämpfung** ohne Berücksichtigung von Frequenzabhängigkeit



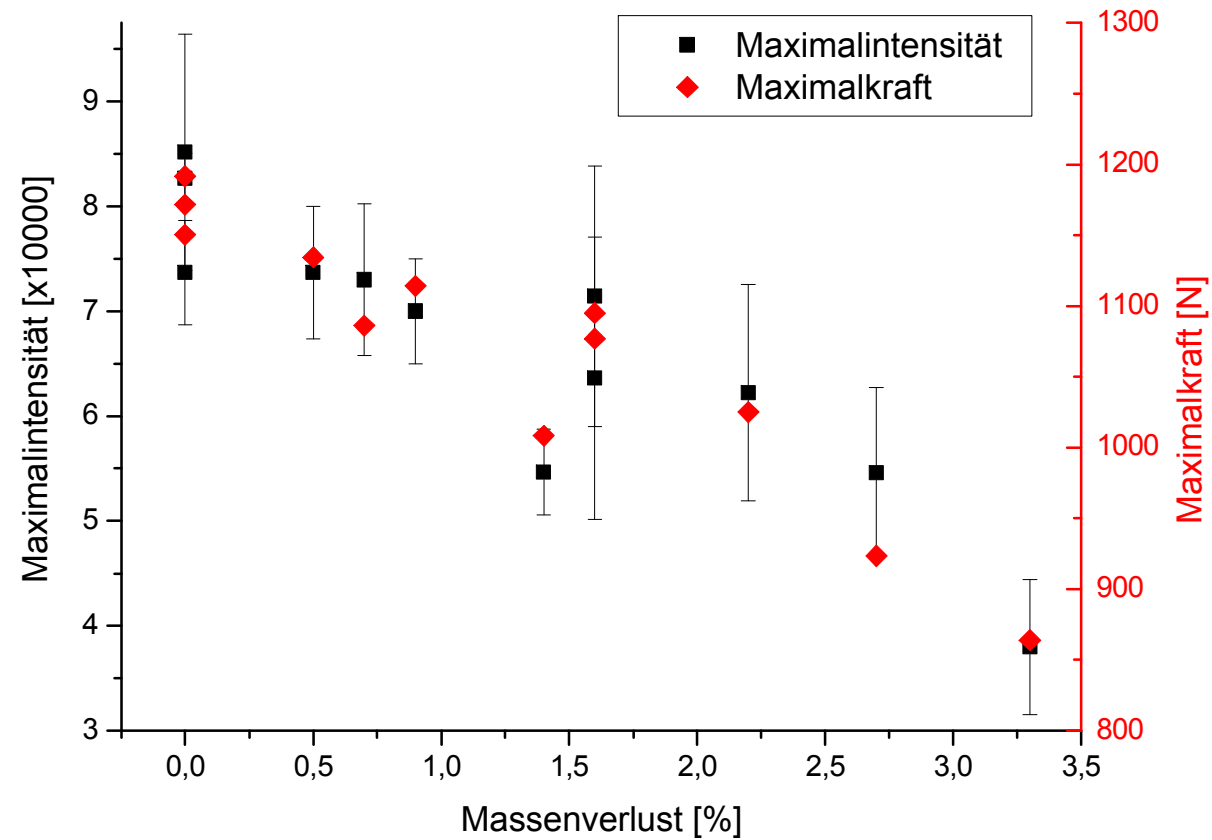
- Fehlerindikatoren: Standardabweichung der 10 Messungen (größer als Standardabweichung der Pulsfolgen einer Einzelmessung)

## Frequenzabhängige Auswertung mittels Wavelet-Transformationen

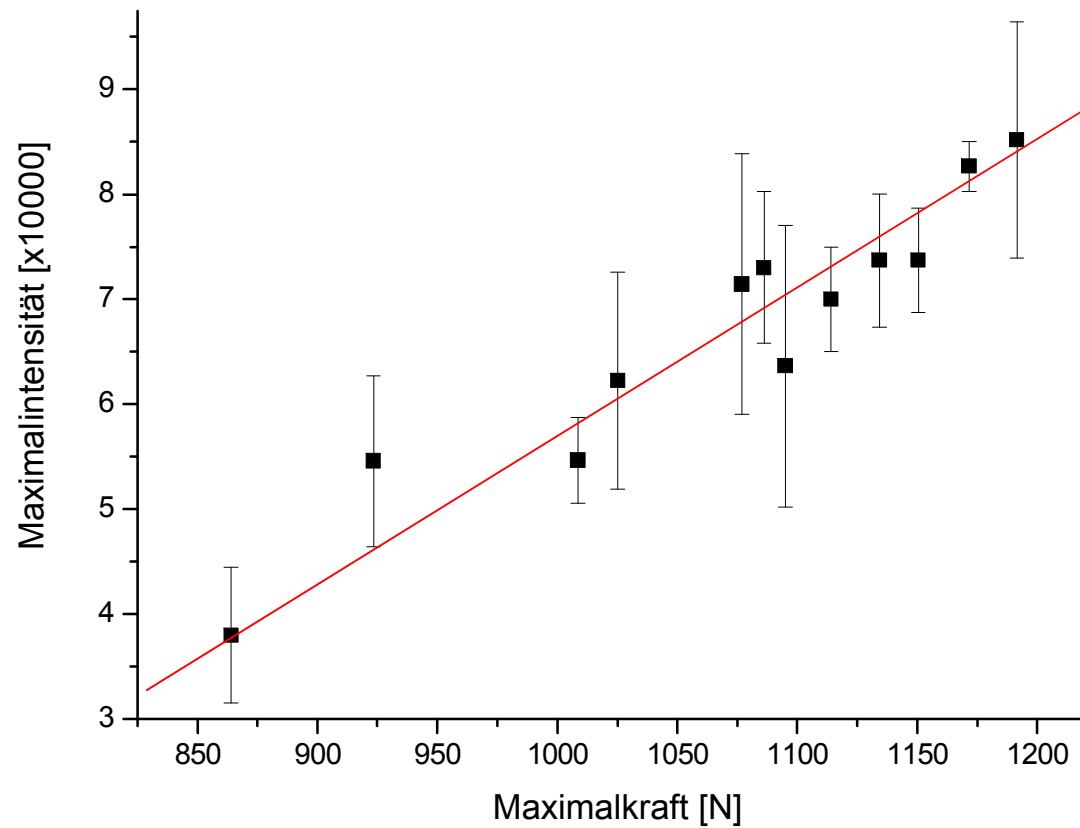


Probe: P006  
Gestufte  
Massenverluste

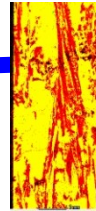
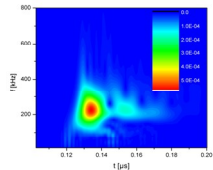
## Zusammenhang Maximalintensität, Maximalkraft und Massenverlust



## Abhängigkeit der Maximalintensität von der Maximalkraft







- NDT-Verfahren unter 3% an Couponproben möglich
- Übertragung auf technisch relevante Bauteildimensionen?
- Erhöhung der Aussagesicherheit der NDT-Verfahren

