



Faserkeramik-Kolloquium 2009: Oxidkeramische Verbundwerkstoffe
03. November 2009, DLR-Köln

Aktiv gekühlte Faserkeramikkomponenten für Raketenantriebe

M. Ortelt, H. Hald, A. Herbertz
DLR-ST – Institut für Bauweisen- und Konstruktionsforschung



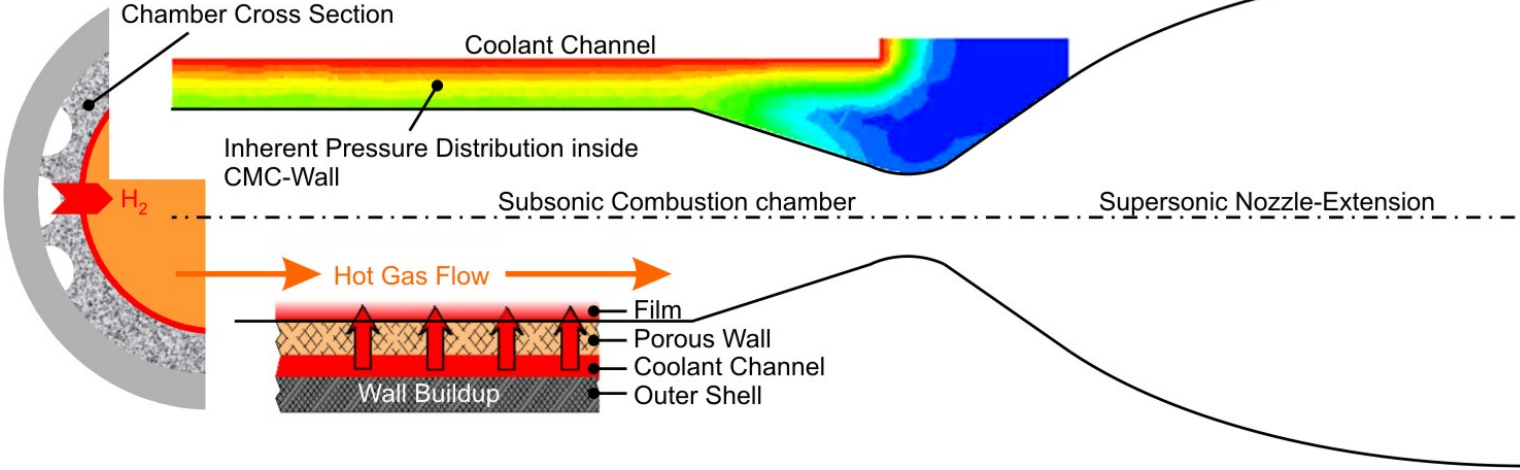
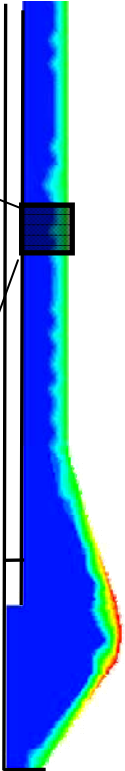
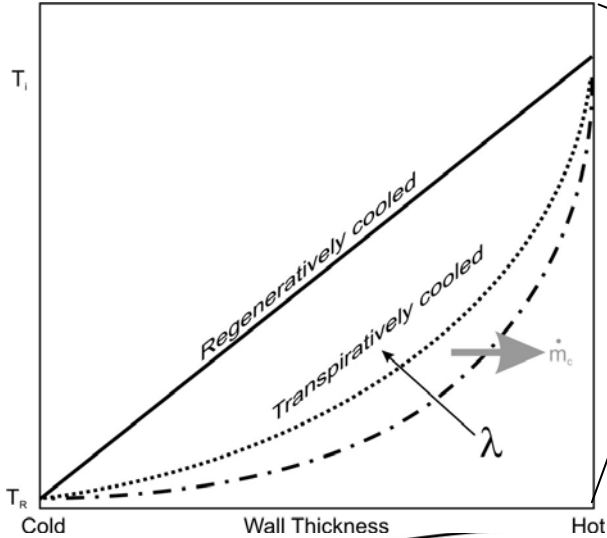
Gliederung

- Entwicklungslinie am DLR
- Einführung in das Effusions-Kühlprinzip für die faserkeramische Raketenbrennkammer des DLR
- Methodik der Diffusionsanpassung in Bezug auf die Beeinflussung innerer Materialeigenschaften
- Exemplarische Ergebnisdarstellung aus einer 90 bar-Versuchskampagne mit einer Subscale-Raketenbrennkammer
- Herausforderungen bzgl. weiterer Werkstoffanpassungen
- Zusammenfassung und Ausblick



Effisiv gekühlte Raketenschubkammer

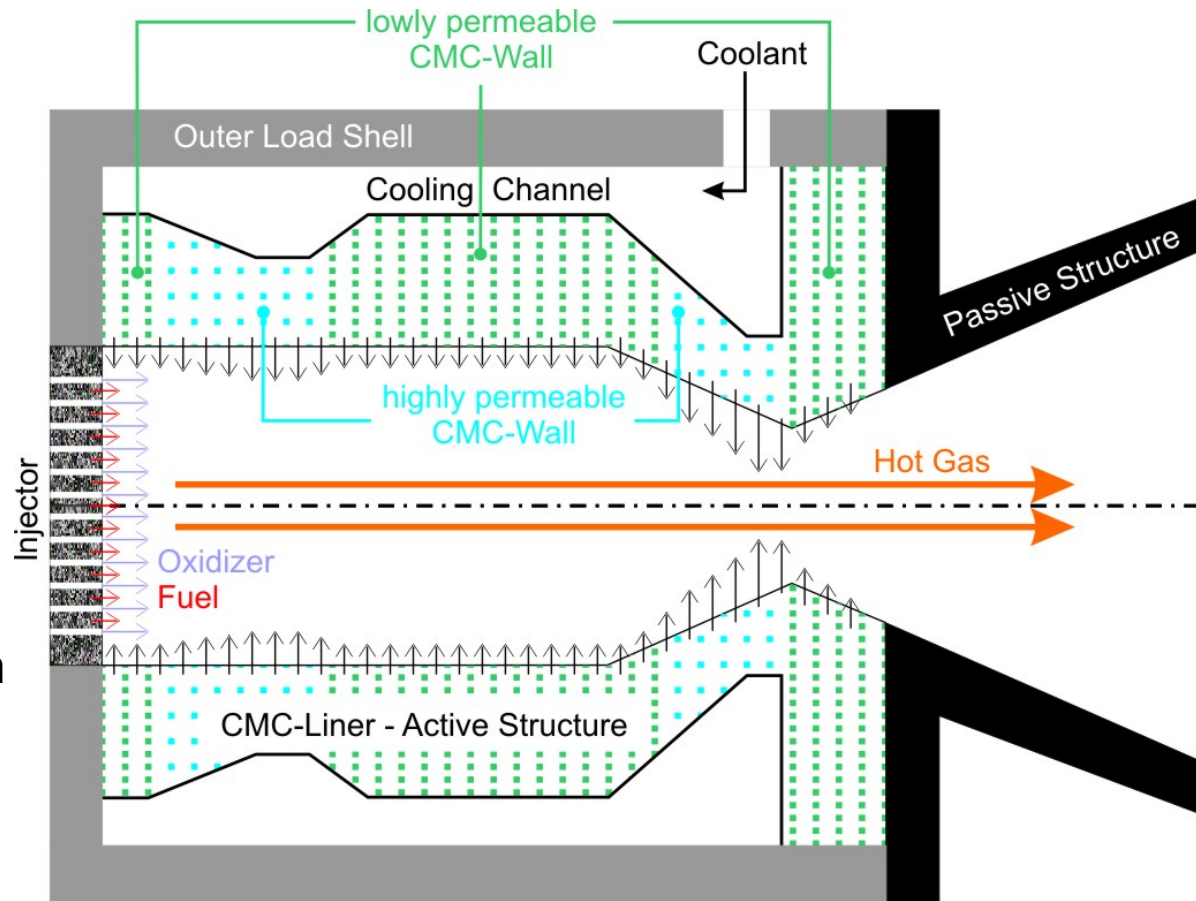
System-Prinzip





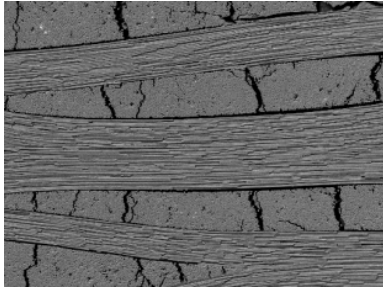
Bauweisen-Leitkonzept

- Segmentierte Permeabilität
- Fein-Tuning der inneren Liner-Durchströmung mit Hilfe angepasster Verteilerkanalkonturen





Entwicklungsstatus des aktiv gekühlten C/C-Innen-Liners

C/C Standard Configuration					Forchheimer-Equation
Fibre	HTA	ϵ	12 - 13 %	$\frac{\Delta p}{L} = \frac{\eta}{k_d} \cdot v + \rho \cdot k_f \cdot v^2$ $\Delta p = \frac{p_{in}^2 - p_{out}^2}{2 \cdot p_{in}}$	
Matrix	JK60	ρ	1.3 g/cm ³		
1. Pyrolysis	900 °C	k_d	$2 \cdot 10^{-13} \text{ m}^2$		
2. Pyrolysis	1650 °C	k_f	$8 \cdot 10^7 \text{ 1/m}$		

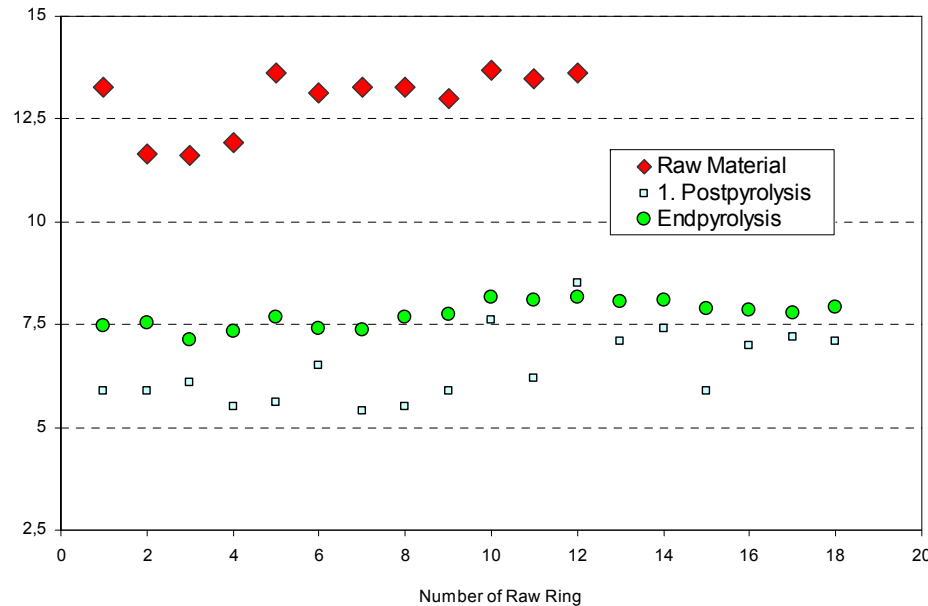
Materialeigenschaften

Einfluss auf die Kühlfluid-Diffusion

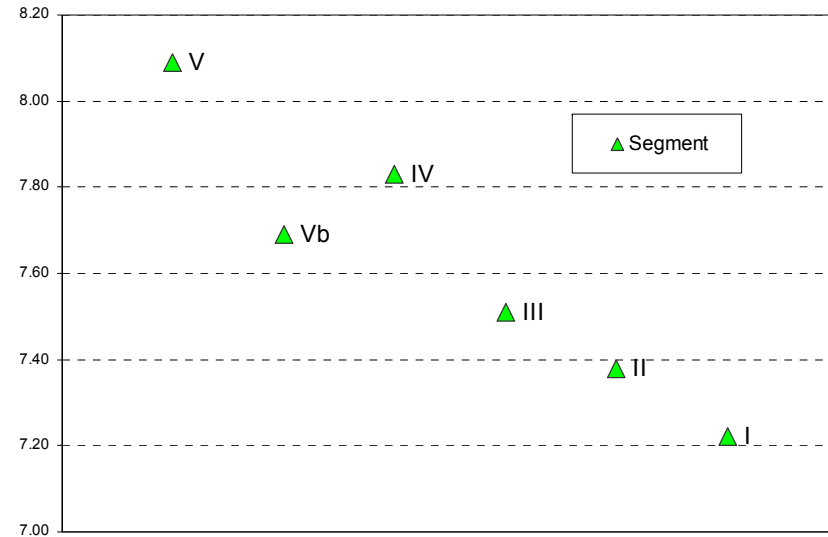


Funktionale Materialanpassung

Porosity



Porosity



Mehrstufige Herstellung

Resultierende Porositäten

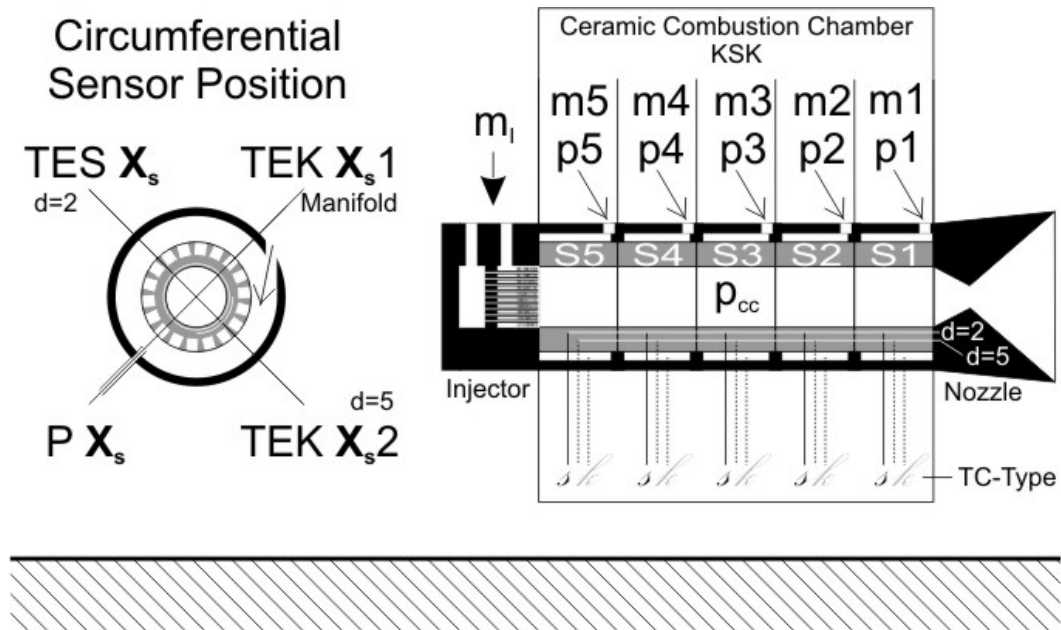
➔ Permeabilitätsänderung: $k_d : 2 \cdot 10^{-13} \text{ m}^2$ → $k_d : 3.8 \cdot 10^{-14} \text{ m}^2$
 $k_f : 8 \cdot 10^7 \text{ 1/m}$ → $k_f : 3.3 \cdot 10^8 \text{ 1/m}$
Standard → **Neu**
 Permeabilität zu hoch! → Verbesserter Durchströmwiderstand!

Komponententestkampagne 2008 am Europäischen Forschungs- und Technologie- Prüfstand P8

Hardware-Beschreibung

- 5 axial gestapelte Ringsegmente
- Unabhängige LH2-Versorgung pro Segment
- 2 Thermoelementpositionen pro Segment
- Individuelle Druckmessung in den Ringverteilern

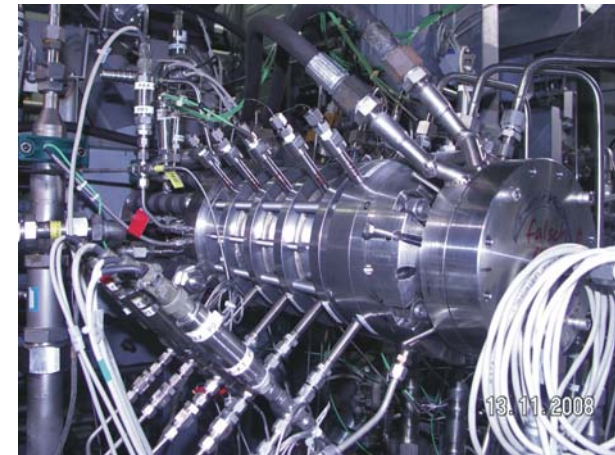
Prinzipieller Kammernaufbau und Messausrüstung





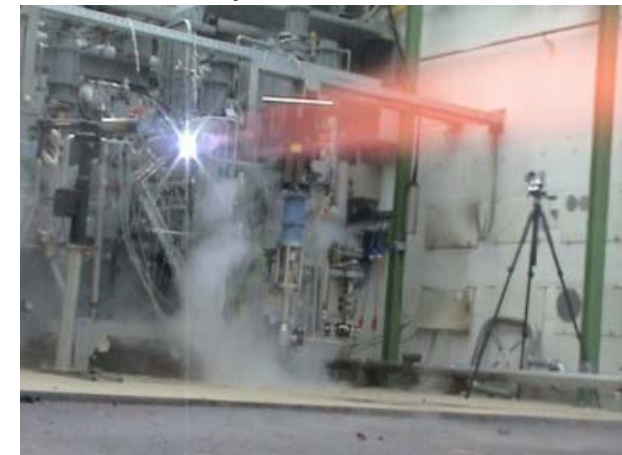
Kampagnen-Eckdaten

- Oxidator LOX
- Brennstoff: LH2
- Kühlmedium: LH2
- Anzahl von Tests:
 - Cold Flows 2
 - Zünd-Tests 1
 - Heißläufe 3



Mounted Specimen

- Typischer Brennkammerdruck: 90 bar
- Gesamtmassenstrom: 3.2 kg/s
- Kühlmassenrate: 10 - 5.8%
- Innenwand-Druckverlust: 2 -10 bars
- Testdauern: 30 – 50 s



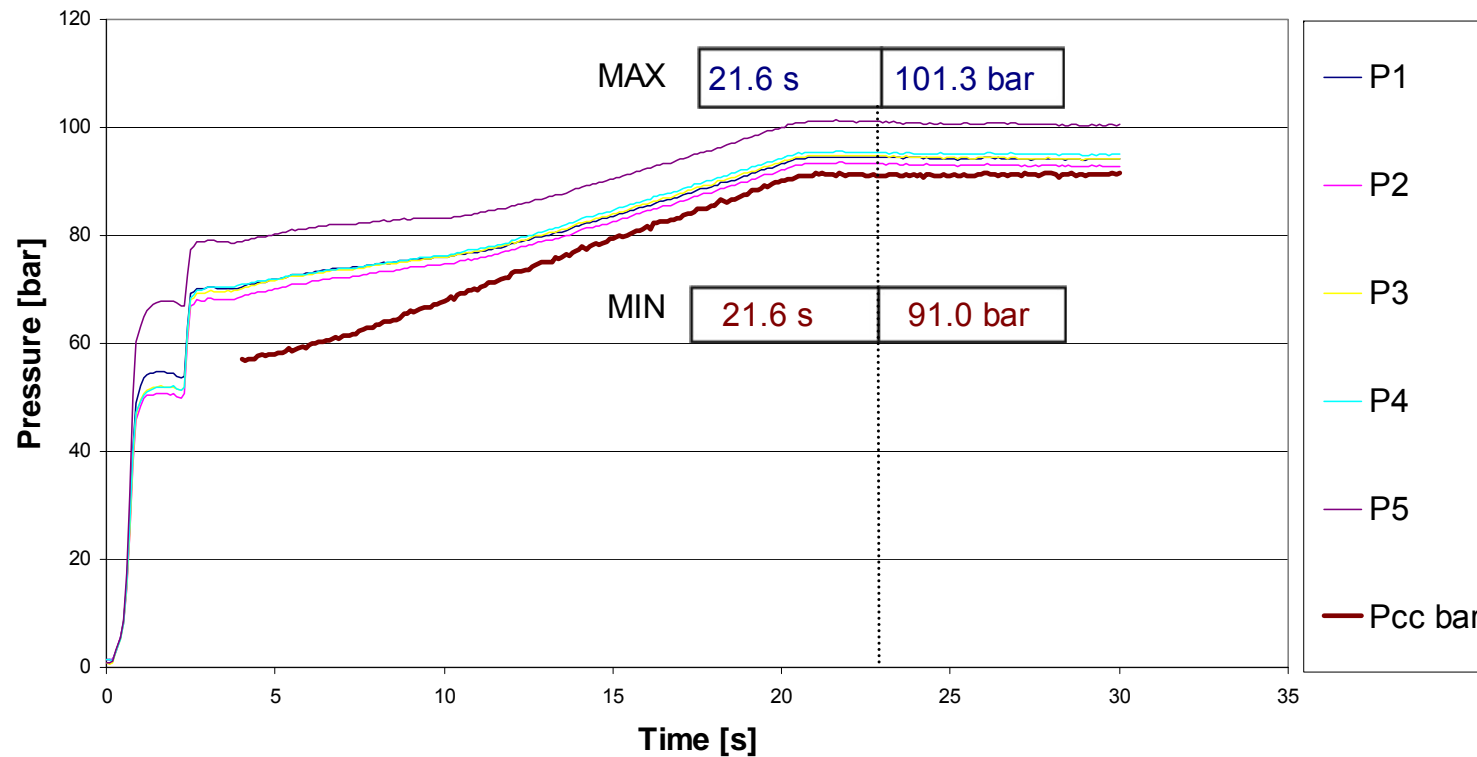
Hot Run at P8 Test Bench



Testergebnisse unter typischen Heißlaufbedingungen

Druckverteilungen

Propulsion 2010 - KSK - KT 50 mm-Hardware - P8 2008
Hot Run 2 - *Coolant Manifold & Chamber Pressures* Versus *Time*

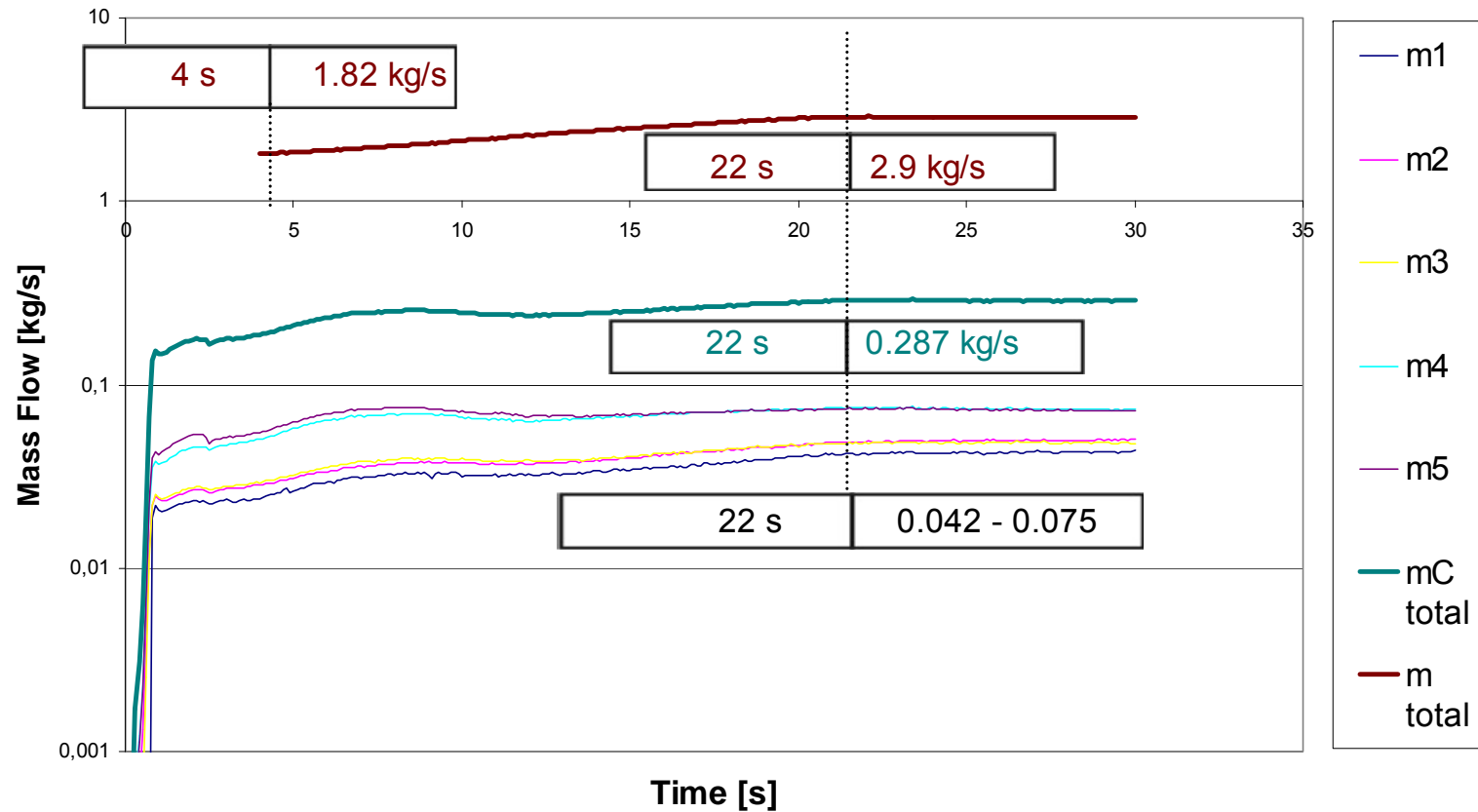




Testergebnisse unter typischen Heißlaufbedingungen

Massenstromverteilungen

Propulsion 2010 - KSK-KT 50 mm Hardware - P8 2008
Hot Run 2 - Mass Flows Versus Time

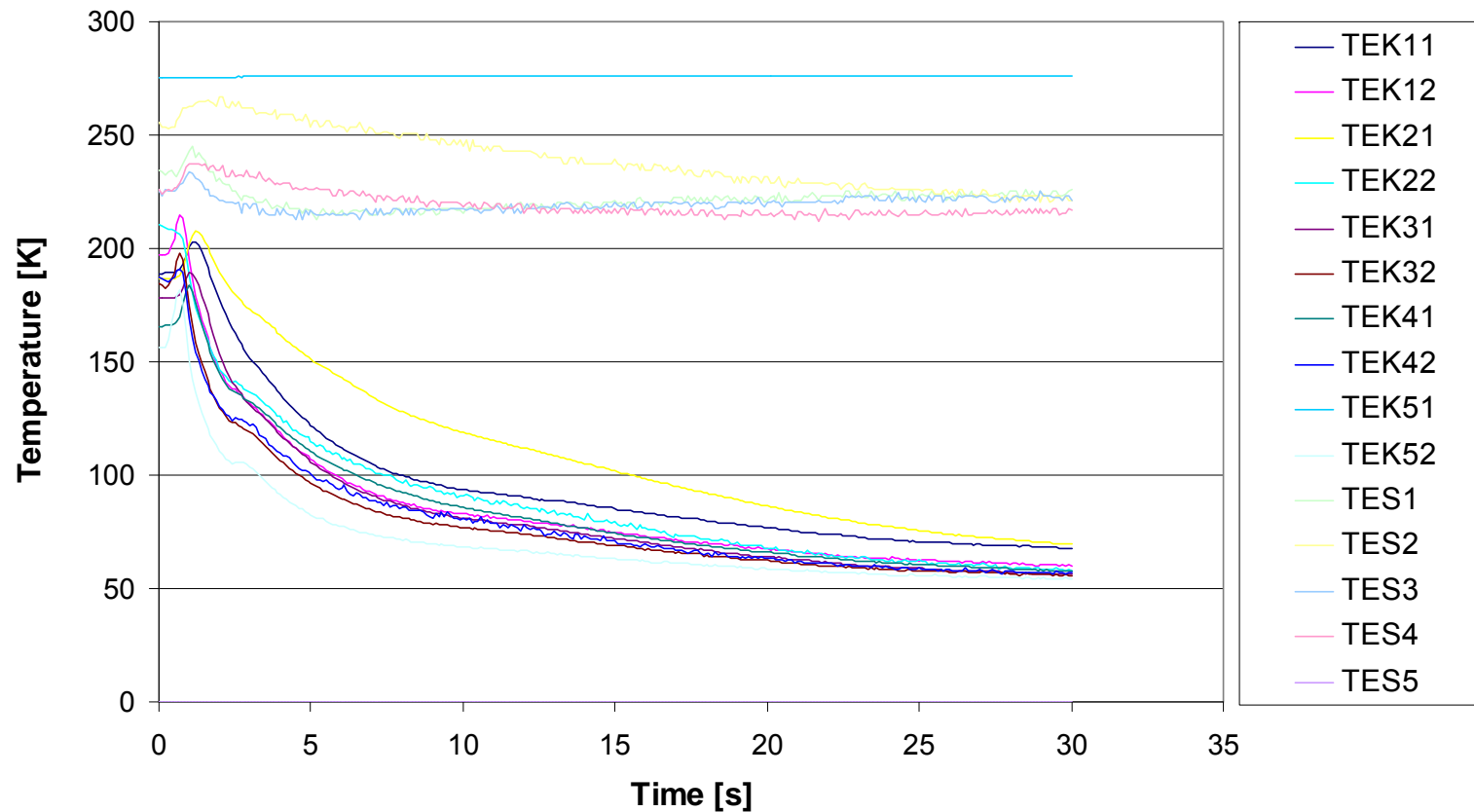




Testergebnisse unter typischen Heißlaufbedingungen

Temperaturverteilungen

Propulsion 2010 - KSK-KT 50mm Hardware - P8 2008
Hot Run 2 - Temperatures Versus Time

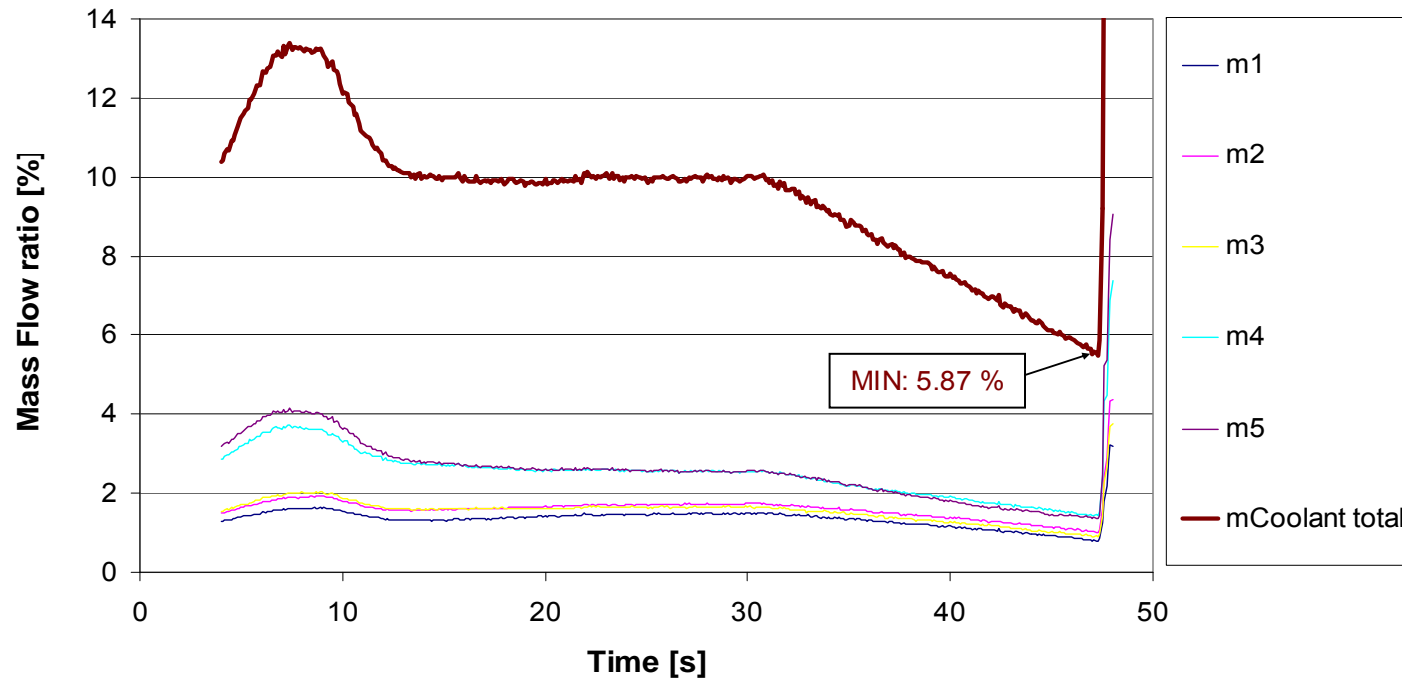




Testergebnisse unter typischen Heißlaufbedingungen

Kühlmassenraten

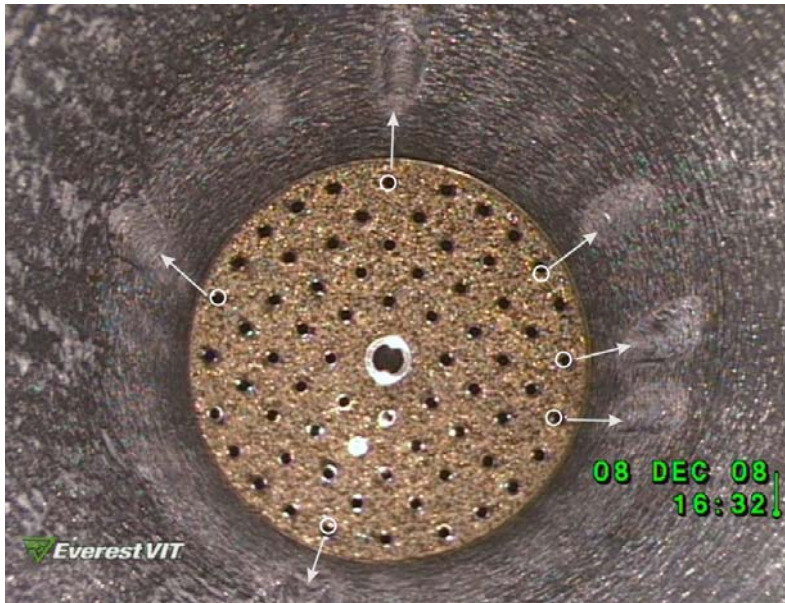
Propulsion 2010 - KSK-KT 50 mm Hardware - P8 2008
 Hot Run 3 - *Coolant Mass Flow Ratio's* Versus *Time*



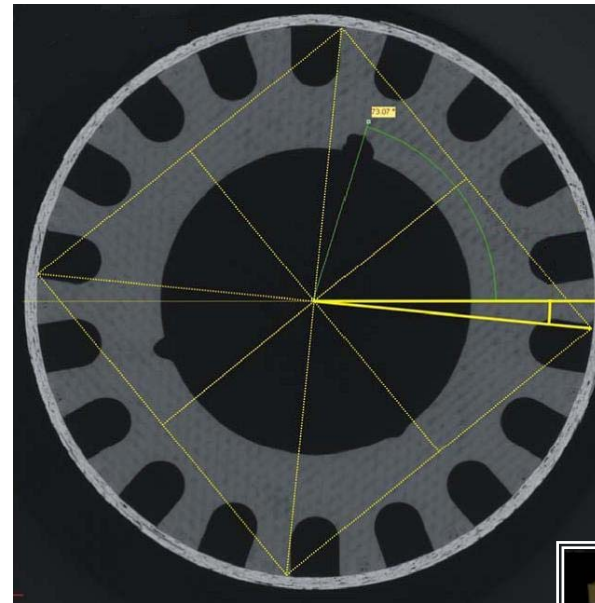
t	m1	m2	m3	m4	m5	mCoolant _{total}
s	%	%	%	%	%	%
25	1,4	1,7	1,7	2,6	2,6	8,9



Injektor-Wand-Interaktion



Abtragungsspuren am injektornahen C/C-Segment



CT-Scan

Abtragungsspuren in der Nähe der äußeren LOX-Röhrchen

Länge: ca. 50 mm

Tiefe: Bis 5 mm

Interpretationsansätze:

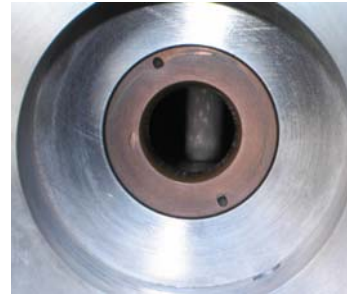
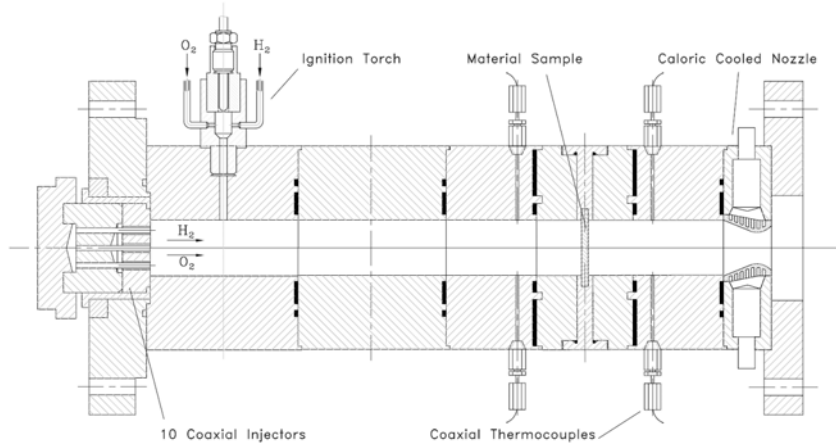
- Chemische Interaktion von Sauerstoff und Kohlenstoff
- Erhöhte Verbrennungsaktivität an der aktiven Wand
- Strömungseffekte

Konsequenzen:

- Untersuchung von Effekten und Werkstoffalternativen



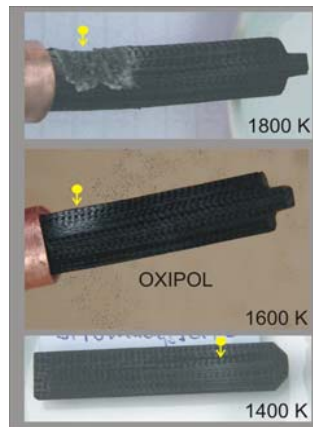
Materialuntersuchungen in Heißgasatmosphäre



M3-Prüfstand
 Lampoldshausen
 30-mm-Mikrobrennkammer
 Treibstoffe: GH2/GOX
 Kammerdruck: 10 bar
 Heißgas-Temp.: 1400-2200K
 Heißgasbestandteile:
 Überwiegend H2O und H2



Schmelzphasen und Abrasion
 ab T>1600 K



Abrasion



Thermomechanisches
 Versagen dominant



→ Wichtig: Beibehaltung der guten C/C-typischen Funktionseigenschaften!



Zusammenfassung

- C/C ist durchströmtechnisch und wärmetechnisch ein sehr gutes Modellmaterial für das Effusionskühlprinzip
- Reinfiltrationen ermöglichen eine Anpassung der Liner-Durchströmung
 - Einstellmöglichkeit diskreter Zustände aus Materialporosität und Druckabfall über der Innenwand im Betrieb
- Geschicktes Designkonzept bietet Gestaltungsfreiheit und Sicherheit
- Künftige Materialoptimierungen sollen die gute Funktionalität des C/C beibehalten und gleichzeitig höheren Erosionsschutz bieten

Ausblick

- Einsatz von oxidischen und hybriden Werkstoffen in Heißgastests
- Demonstration eines CFK-Tragmantels mit geringer Wärmedehnung
- Nachweis von Dichtungsapplikationen im LH2-Betrieb
- Weiterentwicklung von Simulations-Tools für die Durchströmung der poröser Wände



Vielen Dank für Ihre Aufmerksamkeit!