

# Wasserstoff und die zukünftige Generation der Verbrennungsmotoren

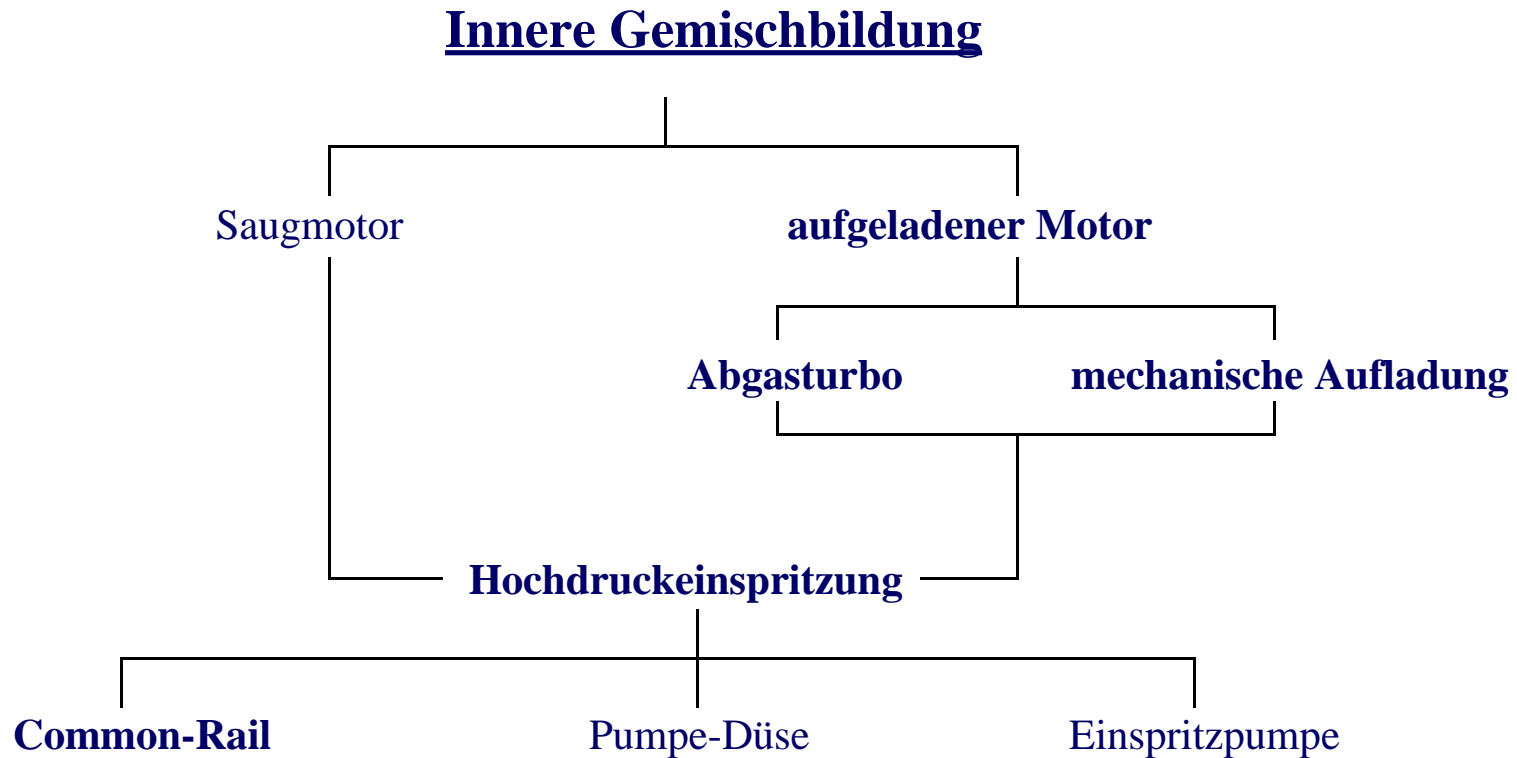
## Inhalt:

1. Bedeutung des Wasserstoffs als Kraftstoff für Verbrennungsmotoren
2. Arten der Gemischbildung bei Verbrennungsmotoren
3. Äußere Gemischbildung bei Wasserstoffbetrieb
4. Energieumsetzung in Gasmotoren mit äußerer Gemischbildung
5. Innere Gemischbildung bei Wasserstoffbetrieb
6. Zukunftschancen wasserstoffbetriebener Verbrennungsmotoren

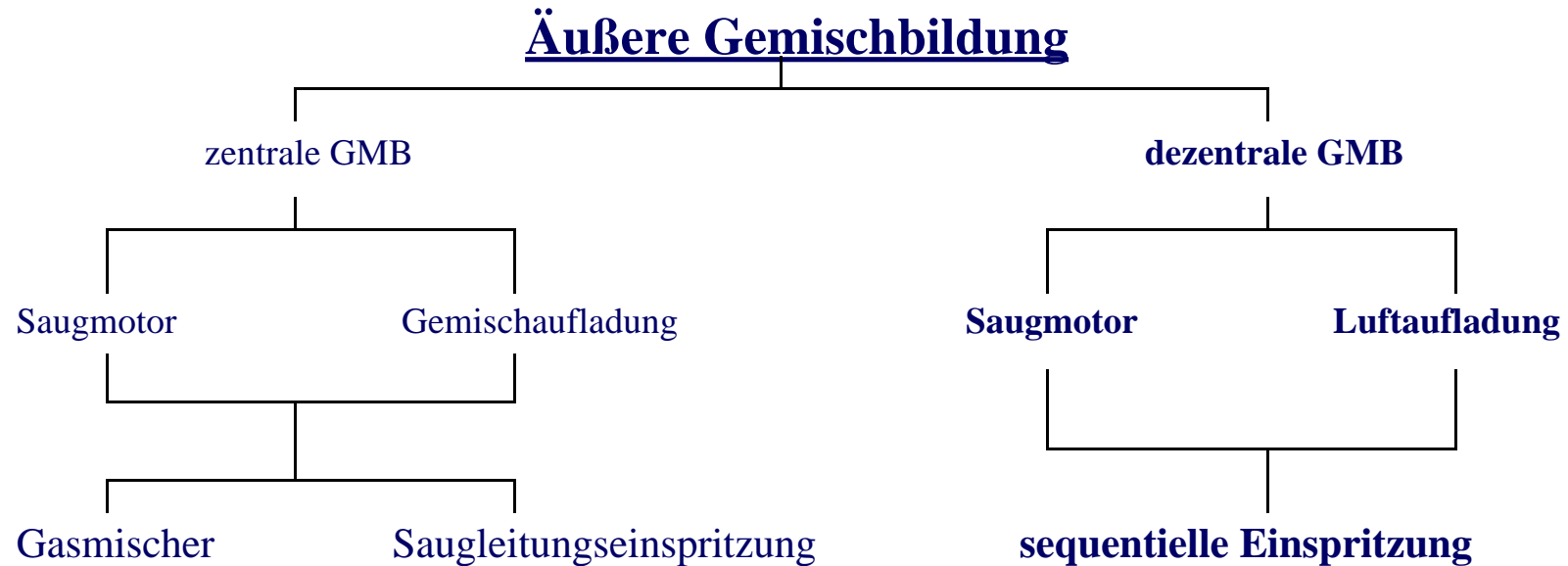
# Bedeutung des Wasserstoffs als Kraftstoff für Verbrennungsmotoren

- Verwendung von Hydrolyse - Wasserstoff - unter Nutzung regenerativer Energien hergestellt
- Ersatz für fossile Energieträger
- Vermeidung der Emissionen  $\text{CO}_2$ ,  $\text{CO}$ ,  $\text{HC}$  bis auf minimale Emissionen durch die Verbrennung von Schmieröl (z.B.,weniger als 2%  $\text{CO}_2$ -Emission eines konventionellen Dieselmotors „, Quelle: Rottengruber, Wiebicke, Woschni, Zeilinger: Wasserstoffdieselmotor mit Direkteinspritzung, hoher Leistungsdichte und geringer Abgasemission; Teil 3; MTZ 61(2000)2)
- Fremd- und Selbstzündung möglich
- große laminare Flammenfrontgeschwindigkeiten
- großer Mindestluftbedarf (ca. 34 kg Luft / kg  $\text{H}_2$ )
- wasserstoffspezifische Gemischbildung und Verbrennung
- sicherheitsgerechte Systeme

# Arten der Gemischbildung bei Verbrennungsmotoren



# Arten der Gemischbildung bei Verbrennungsmotoren



(GMB...Gemischbildung)

Fachhochschule Stralsund

Prof. Dr.-Ing. W. Beckmann, Dipl.-Ing. (FH) C. Sponholz, Dipl.-Ing. J. Bröcker

# Äußere Gemischbildung für wasserstoffbetriebene Verbrennungsmotoren

- Intensive Entwicklungsarbeit an Gemischbildungseinrichtungen für wasserstoffbetriebene Ottomotoren begann in Deutschland um 1980
- Wichtigste deutsche Fahrzeughersteller mit eigenen Entwicklungen sind :
  - BMW (750hL, 12-Zylinder-Ottomotor,  $V_H=5,4 \text{ dm}^3$ ,  $P=150 \text{ kW}$ )
  - Daimler-Benz 1985-1988 (MB310 Transporter, 4-Zylinder-Ottomotor,  $V_H=2,3 \text{ dm}^3$ ,  $P=75 \text{ kW}$ )
  - MAN (SL202, 6-Zylinder-Ottomotor,  $V_H=12 \text{ dm}^3$ ,  $P=130 \text{ kW}$ )

# Fahrzeuge mit H<sub>2</sub>-Ottomotor



Bild : BMW 750 hL (Quelle : BMW AG)

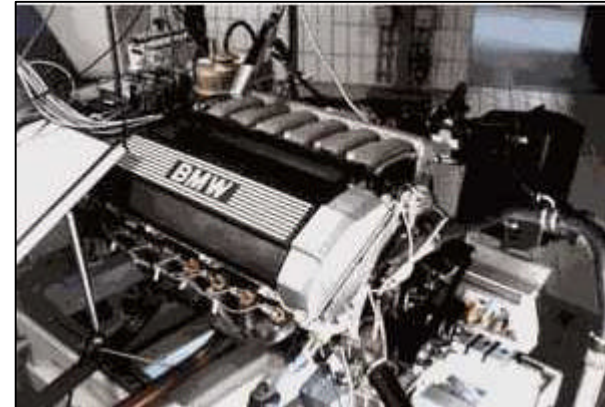


Bild : 6-Zylinder-Ottomotor für Wasserstoff auf dem Prüfstand (Quelle : BMW AG)



Bild : MAN-Bus mit Wasserstoff-Ottomotor (Quelle : MAN AG)

Fachhochschule Stralsund

Prof. Dr.-Ing. W. Beckmann, Dipl.-Ing. (FH) C. Sponholz, Dipl.-Ing. J. Bröcker

# Eigenschaften des Wasserstoffs als Kraftstoff für Ottomotoren

		Wasserstoff	Benzin
Zündenergie in Luft	mJ	0,02	0,24
Zündgrenzen in Luft	Vol-%	4 - 75	1 – 8
Laminare Flamm- geschwindigkeit (st.)	cm/s	ca. 190	ca. 40
Stöchiometrischer Anteil in Luft	Vol-%	29,53	1,76
Gemischheizwert (st.)	kJ/m <sup>3</sup>	3240	3835

Quelle : ISBN 3-88585-660-3

Fachhochschule Stralsund

Prof. Dr.-Ing. W. Beckmann, Dipl.-Ing.(FH) C. Sponholz, Dipl.-Ing. J. Bröcker

# Probleme bei der Verwendung von Wasserstoff als Kraftstoff für Ottomotoren

- Rückzündungen in die Ansauganlage während des Ansaugtakts
- Glühzündungen während des Kompressionstakts
- Klopfende, unregelmäßige Verbrennung
- Stickoxidemissionen



# Maßnahmen zur Beseitigung der Probleme

- Kühlung von heißen Punkten im Brennraum durch Ballastgas (Magerbetrieb)
- Erhöhung der nötigen Zündenergie durch Magerbetrieb des Motors
- Senkung der Verbrennungstemperaturen durch Magerbetrieb des Motors
- Vermeidung von Wasserstoffansammlungen in der Ansauganlage

# Anforderungen an die Gemischbildungsanlage

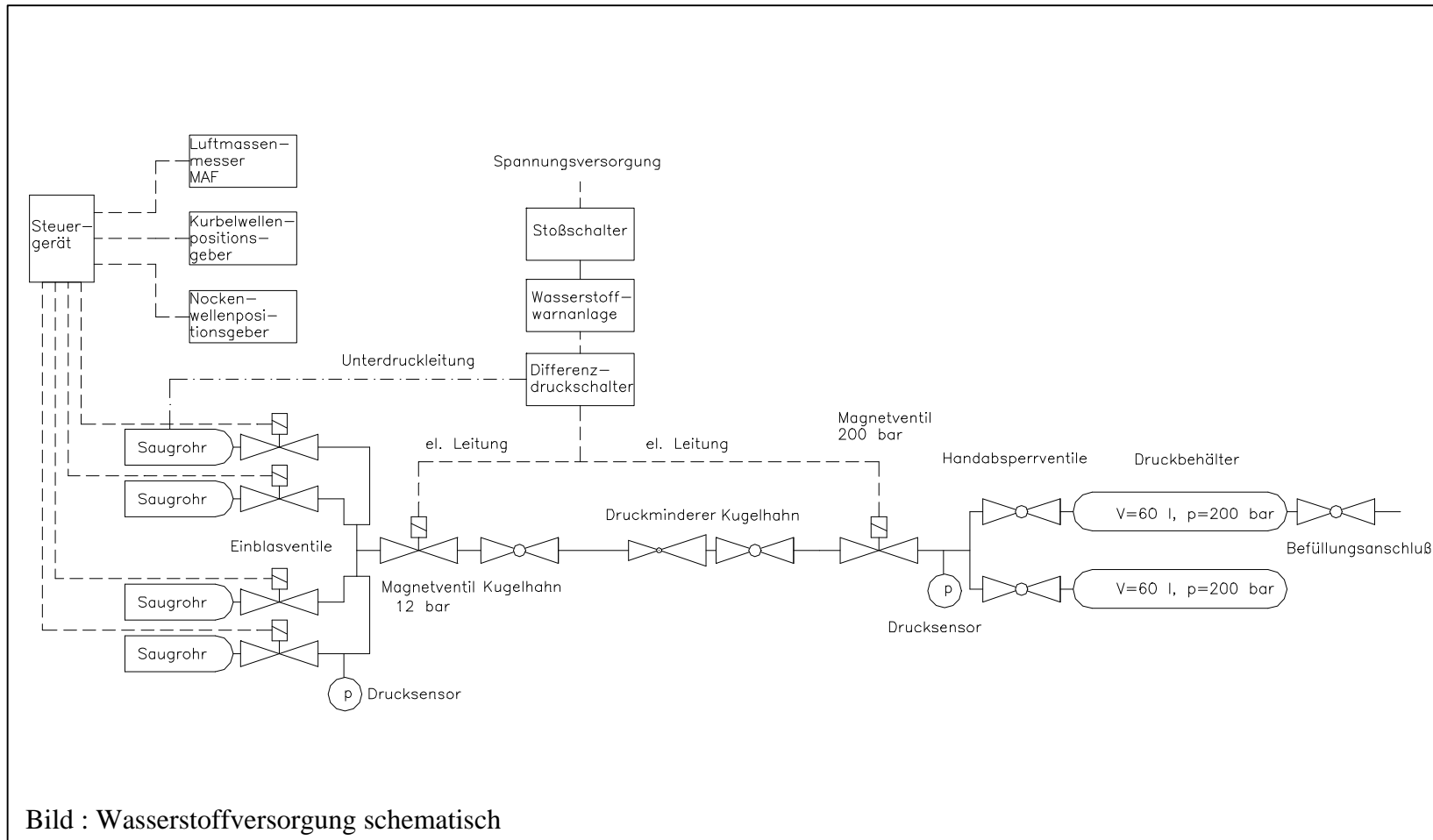
- Ermöglichen des Magerbetriebs des Motors mit einem Verbrennungsluftverhältnis von mindestens  $\lambda = 1,8$
- Sequentielle Wasserstoffeinblasung für jeden Zylinder nur während des Ansaugtakts
- Möglichst späte Einblasung des Wasserstoffs zum Ende des Ansaugtakts
- Verhinderung des Einsickerns von Wasserstoff innerhalb von Stillstandszeiten durch Leckagen der Einblasventile

# Versuchsmotor der FH Stralsund

## **Projekt : Umrüstung eines Serienmotors auf Wasserstoffbetrieb; 1996/1997**

Hersteller	: Ford
Arbeitsprinzip	: 4 Zylinder - 4 Takt - Ottomotor
Hubraum	: 1400 cm <sup>3</sup>
Verdichtung	: 9,5 : 1
Zündwinkel	: 10° vor OT (fest)
Lambda	: ca. 1,8 - 2,0
Leistung	: 18 kW ( $n = 3900 \text{ min}^{-1}$ ); vorher 55 kW im Benzinbetrieb

# Aufbau der Gemischbildungsanlage am Versuchsmotor der FH Stralsund



Fachhochschule Stralsund

Prof. Dr.-Ing. W. Beckmann, Dipl.-Ing. (FH) C. Sponholz, Dipl.-Ing. J. Bröcker

# Aufbau der Gemischbildungsanlage am Versuchsmotor der FH Stralsund

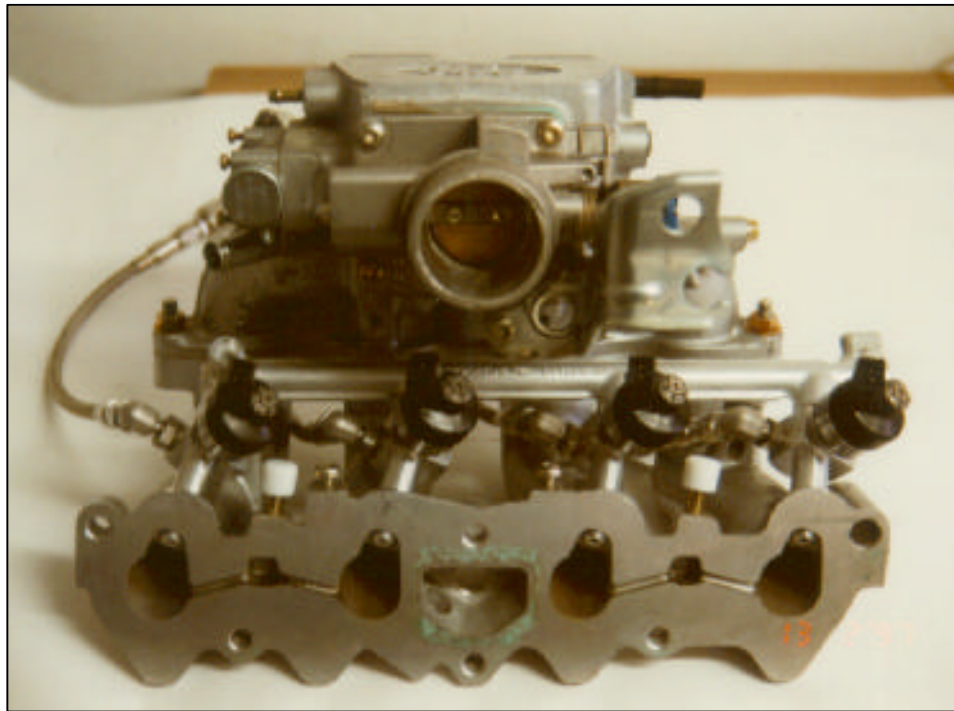


Bild : Ansauganlage Ford-Versuchsmotor



Bild : H<sub>2</sub>-Einblas-Einheit im Saugrohr

Fachhochschule Stralsund

Prof. Dr.-Ing. W. Beckmann, Dipl.-Ing. (FH) C. Sponholz, Dipl.-Ing. J. Bröcker

# Aufbau der Gemischbildungsanlage am Versuchsmotor der FH Stralsund

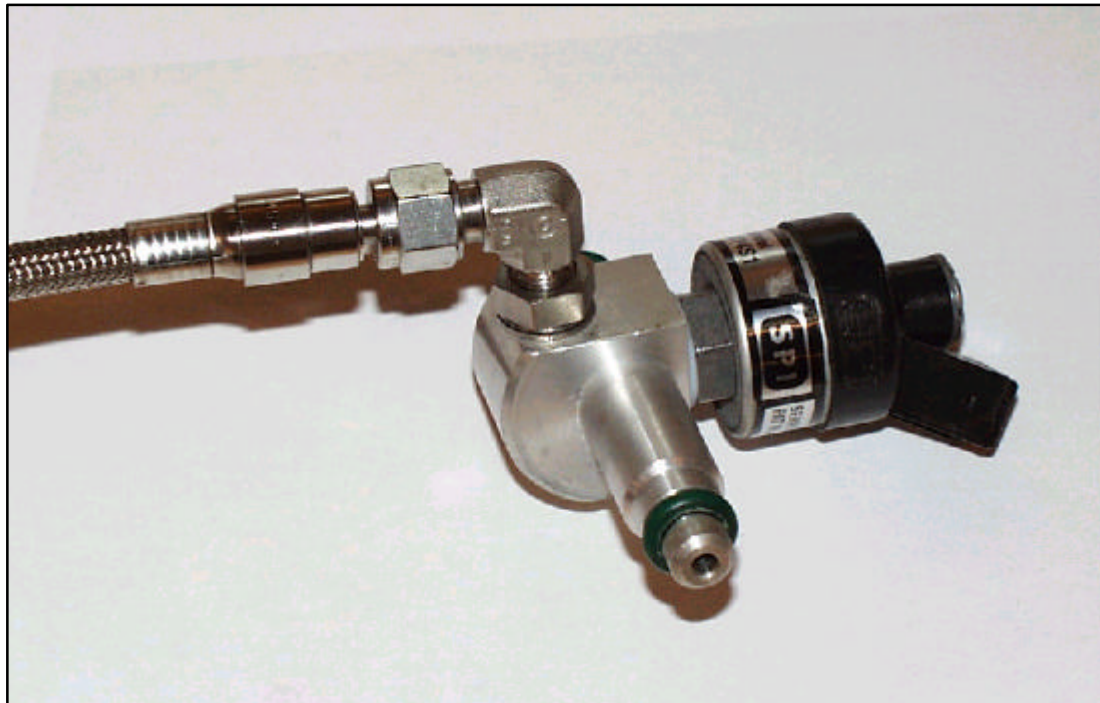


Bild : H<sub>2</sub>-Einblas-Einheit



Bild : H<sub>2</sub>-Steuerventil

Fachhochschule Stralsund

Prof. Dr.-Ing. W. Beckmann, Dipl.-Ing. (FH) C. Sponholz, Dipl.-Ing. J. Bröcker

# Aufbau der Gemischbildungsanlage am Versuchsmotor der FH Stralsund

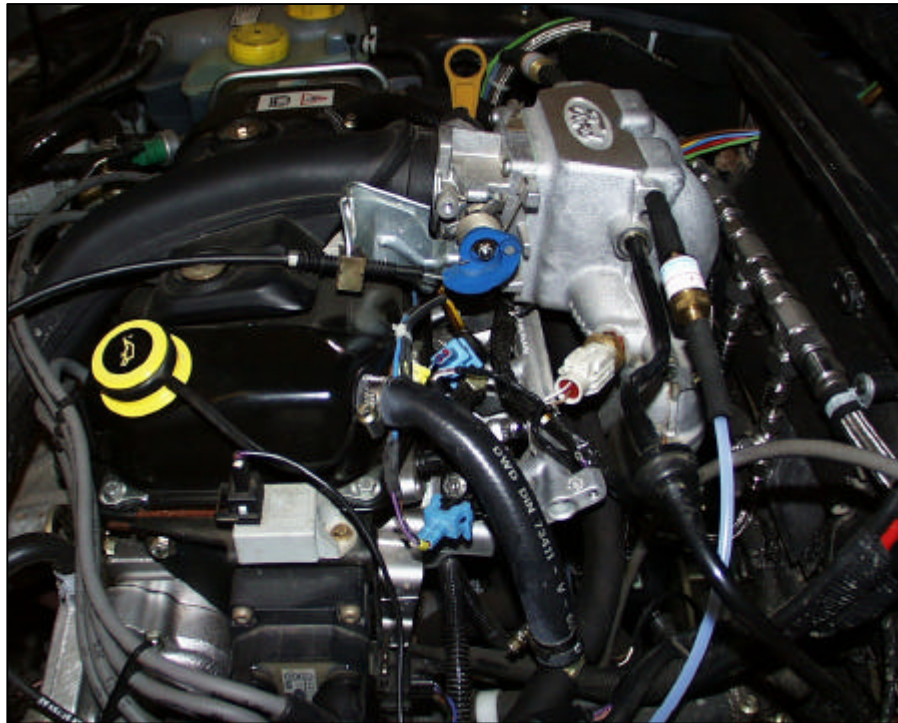


Bild : H<sub>2</sub>-Versuchsmotor



Bild : Unterdrucksensor

Fachhochschule Stralsund

Prof. Dr.-Ing. W. Beckmann, Dipl.-Ing. (FH) C. Sponholz, Dipl.-Ing. J. Bröcker

# Versuchsfahrzeug Ford Escort



Fachhochschule Stralsund

Prof. Dr.-Ing. W. Beckmann, Dipl.-Ing. (FH) C. Sponholz, Dipl.-Ing. J. Bröcker



# Tankeinheit des Testfahrzeugs



Bild : Tankeinheit für Wasserstoff

Volumen : 2 x 60 dm<sup>3</sup>

Speicherdruck : 200 bar

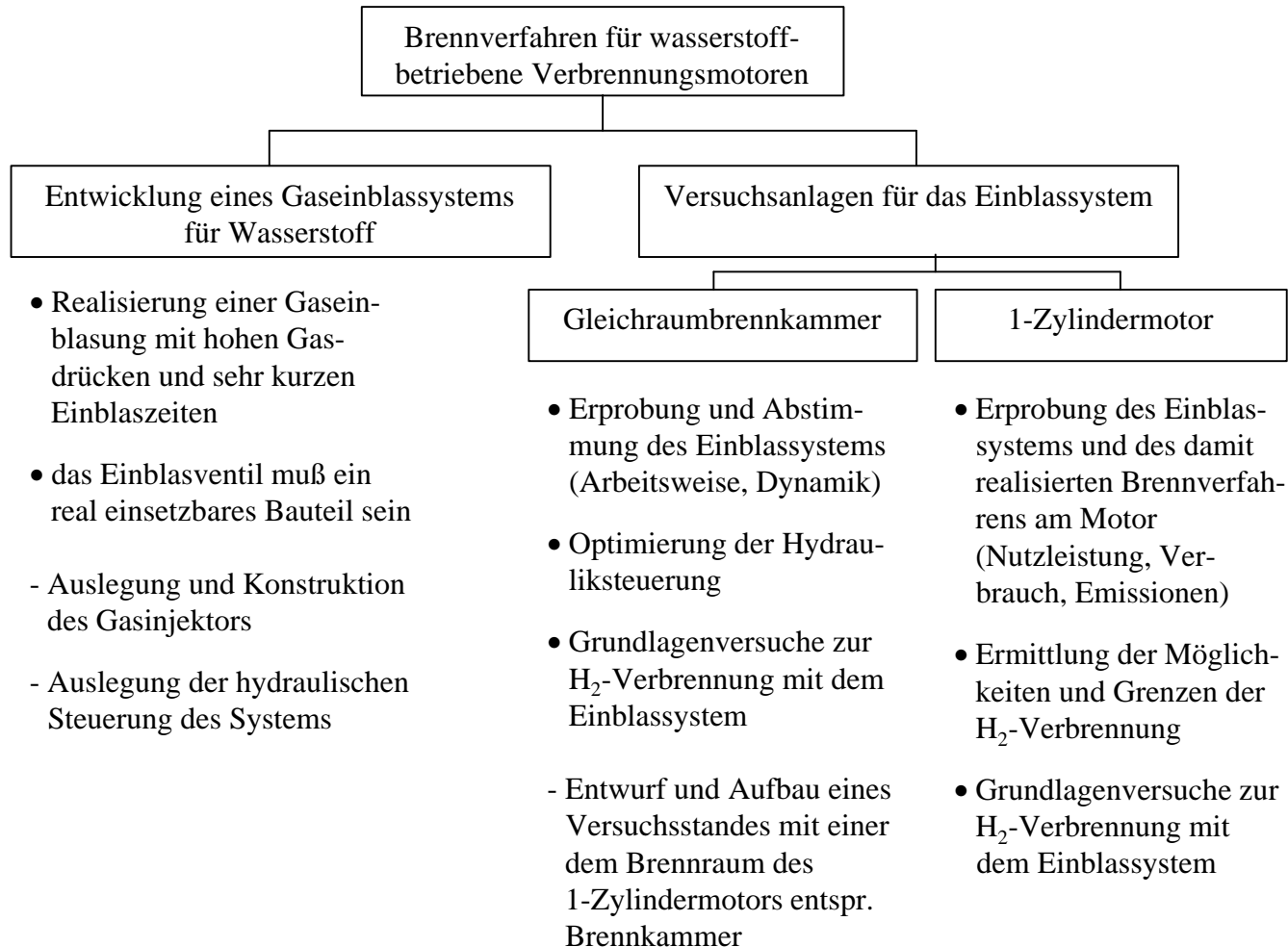
Kapazität : 24 m<sup>3</sup>

Material : Stahl mit Aramidfasern  
ummantelt

Fachhochschule Stralsund

Prof. Dr.-Ing. W. Beckmann, Dipl.-Ing. (FH) C. Sponholz, Dipl.-Ing. J. Bröcker

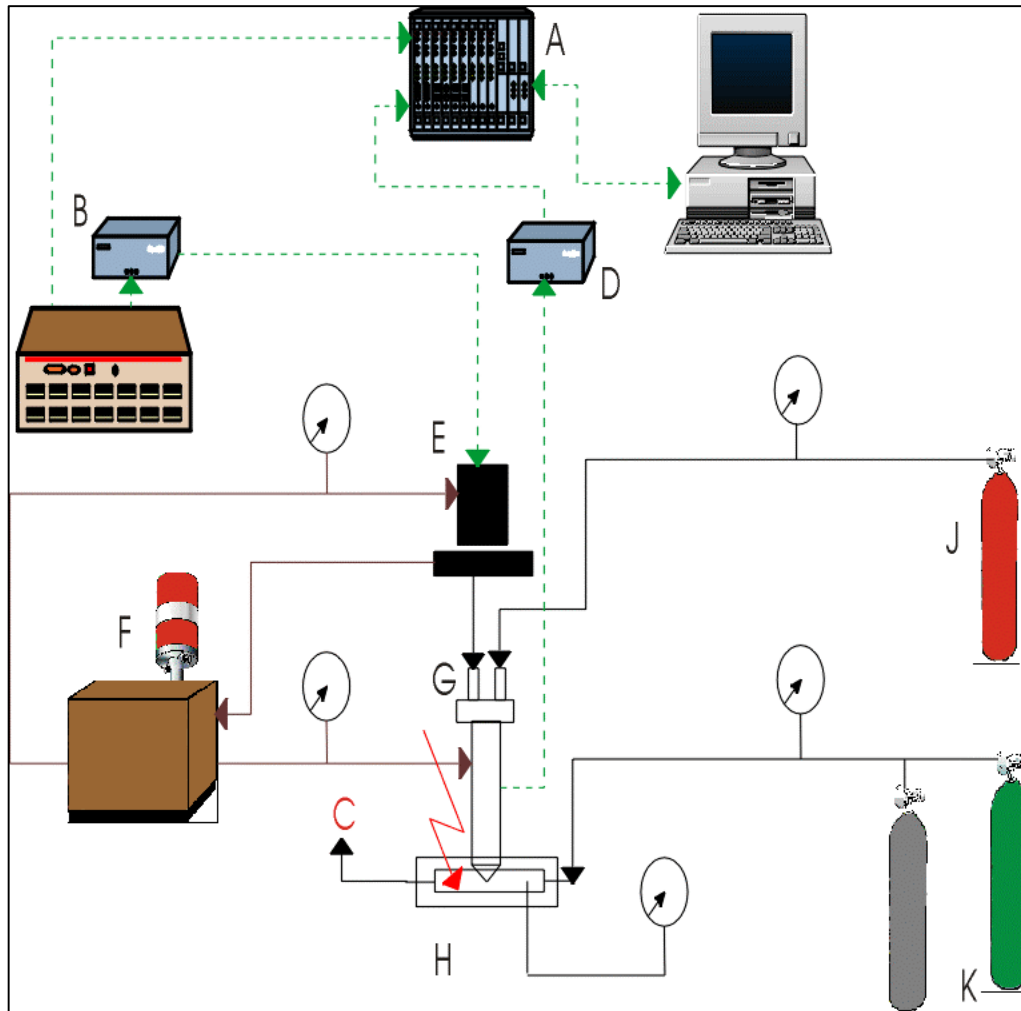
# Projektschwerpunkte – Innere Gemischbildung



Fachhochschule Stralsund

Prof. Dr.-Ing. W. Beckmann, Dipl.-Ing. (FH) C. Sponholz, Dipl.-Ing. J. Bröcker

# Schema des Brennkammerversuchsstandes

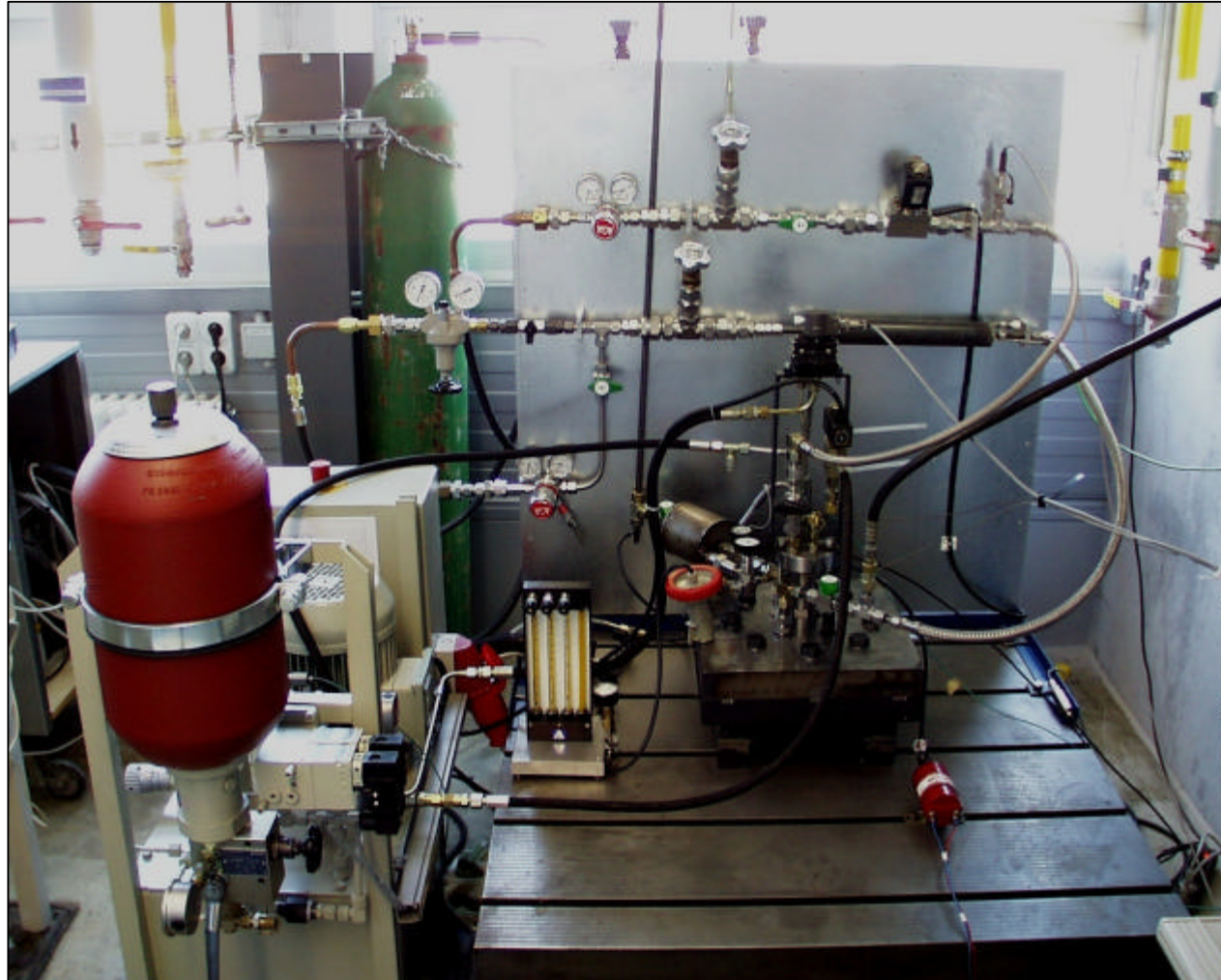


- A** – Meßwerterfassungssystem  
MUSYCS
- B** – Servoverstärker
- C** – Abgasführung mit Probenentnahme
- D** – Nadelhubmessung
- E** – Servoventil
- F** – Hydraulikaggregat
- G** – Einblasventil
- H** – Brennkammer
- J** – Brenngasversorgung
- K** – Verbrennungsluft-  
und Spülstickstoffversorgung

Fachhochschule Stralsund

Prof. Dr.-Ing. W. Beckmann, Dipl.-Ing. (FH) C. Sponholz, Dipl.-Ing. J. Bröcker

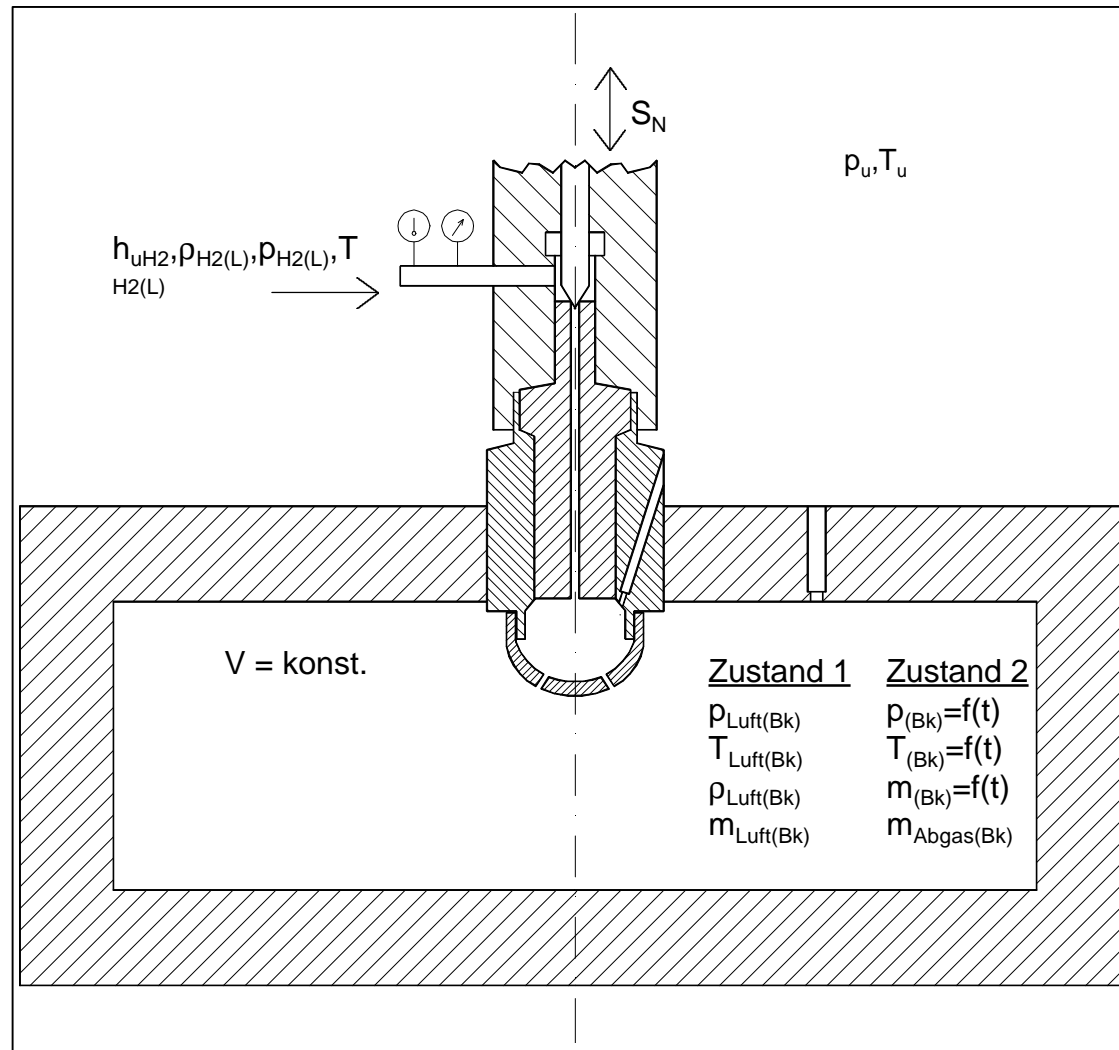
# Brennkammerversuchsstand



Fachhochschule Stralsund

Prof. Dr.-Ing. W. Beckmann, Dipl.-Ing. (FH) C. Sponholz, Dipl.-Ing. J. Bröcker

# Schema der Gleichraumbrennkammer



**Indizes :**

**(u)** – Umgebungsbedingungen

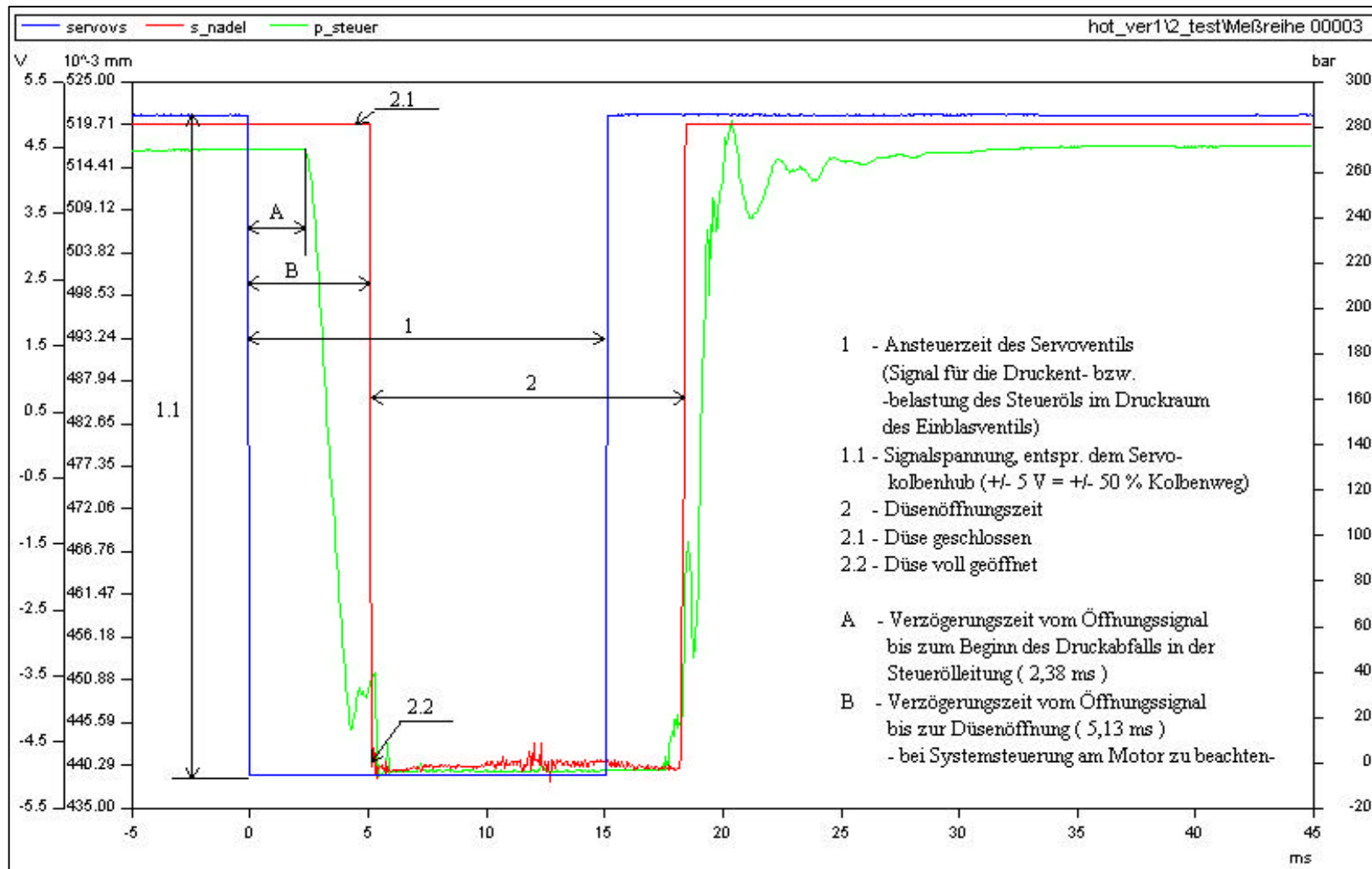
**(L)** - Zustand in der Gasdruckleitung

**(Bk)** - Zustand in der Brennkammer

**Zustand 1** = Ladeluftbedingungen

**Zustand 2** = Prozeßbedingungen

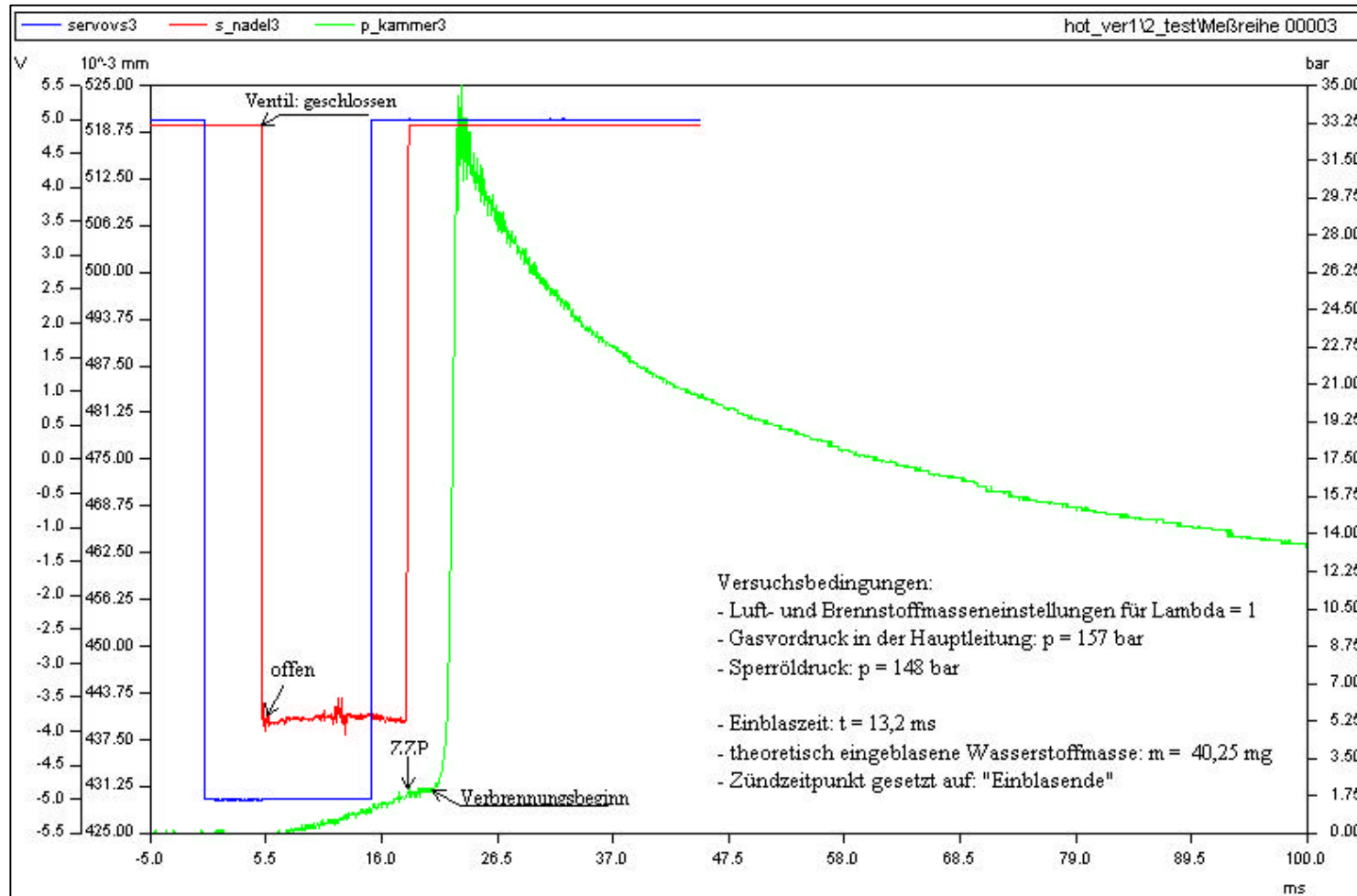
# Ansteuerung des Gaseinblasventils



Fachhochschule Stralsund

Prof. Dr.-Ing. W. Beckmann, Dipl.-Ing. (FH) C. Sponholz, Dipl.-Ing. J. Bröcker

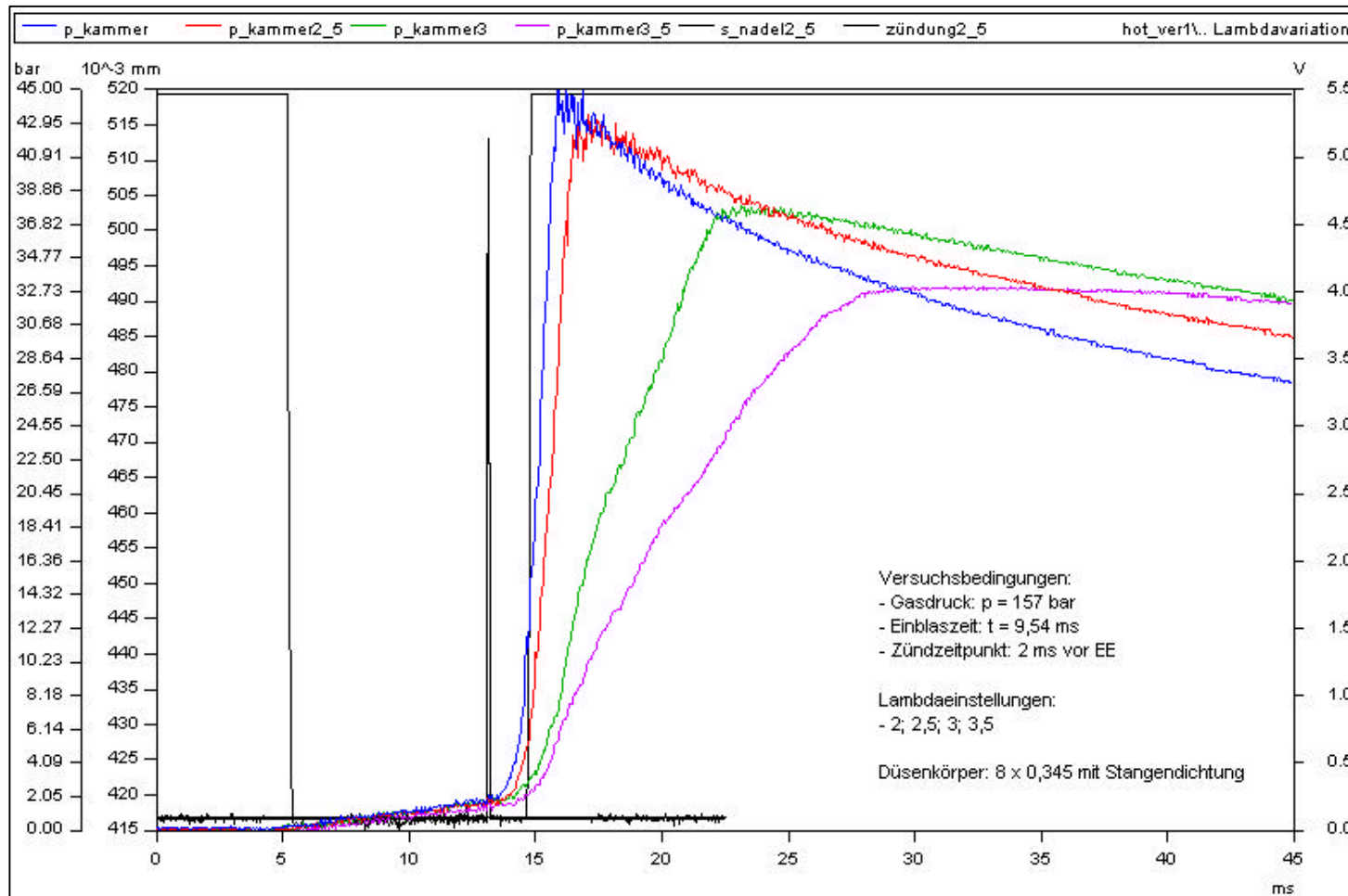
# Verbrennungsprozeß in der Gleichraumbrennkammer



Fachhochschule Stralsund

Prof. Dr.-Ing. W. Beckmann, Dipl.-Ing. (FH) C. Sponholz, Dipl.-Ing. J. Bröcker

# Einfluß des Verbrennungsluftverhältnisses auf den Verbrennungsdruckverlauf

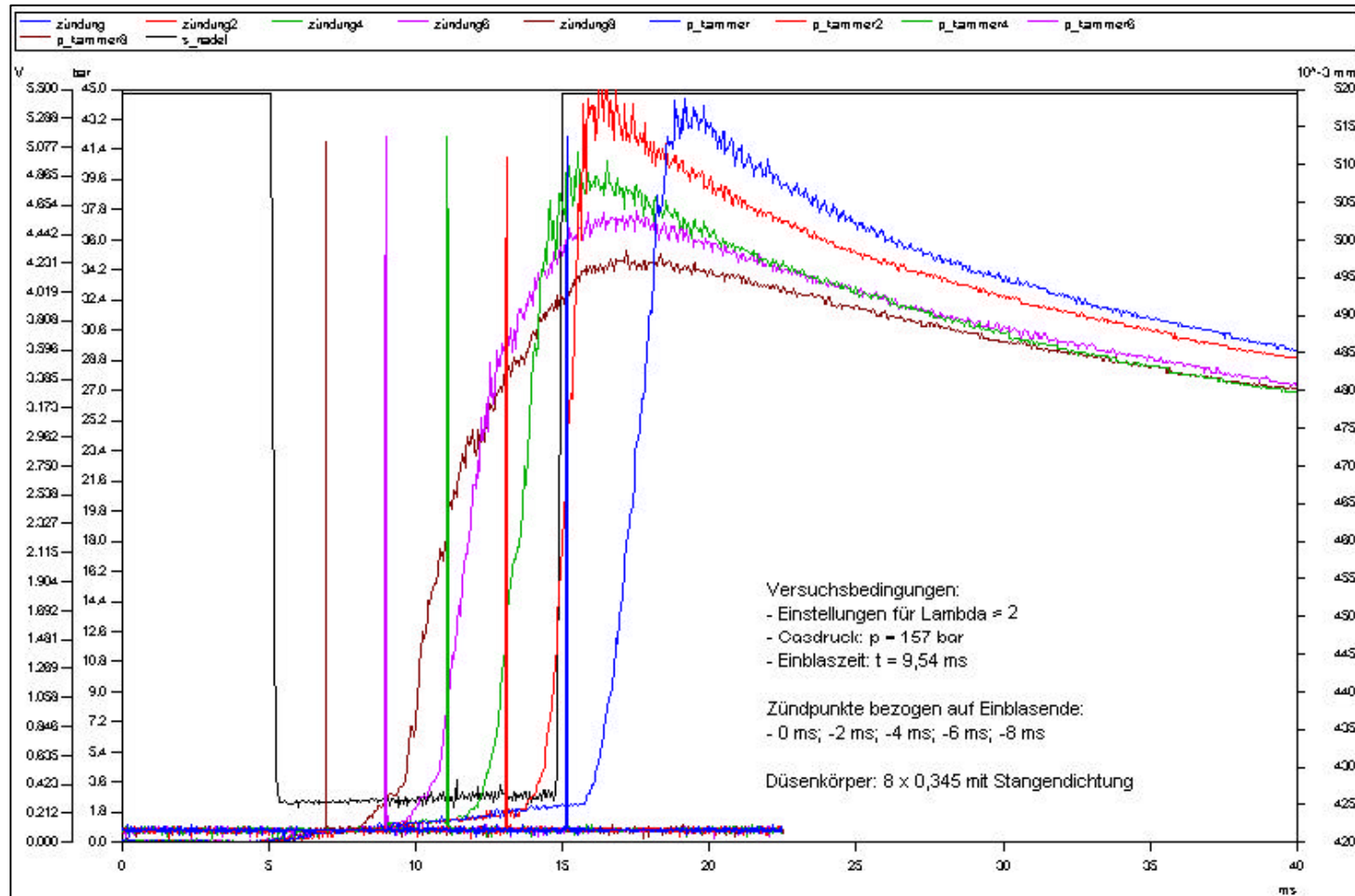


Fachhochschule Stralsund

Prof. Dr.-Ing. W. Beckmann, Dipl.-Ing. (FH) C. Sponholz, Dipl.-Ing. J. Bröcker



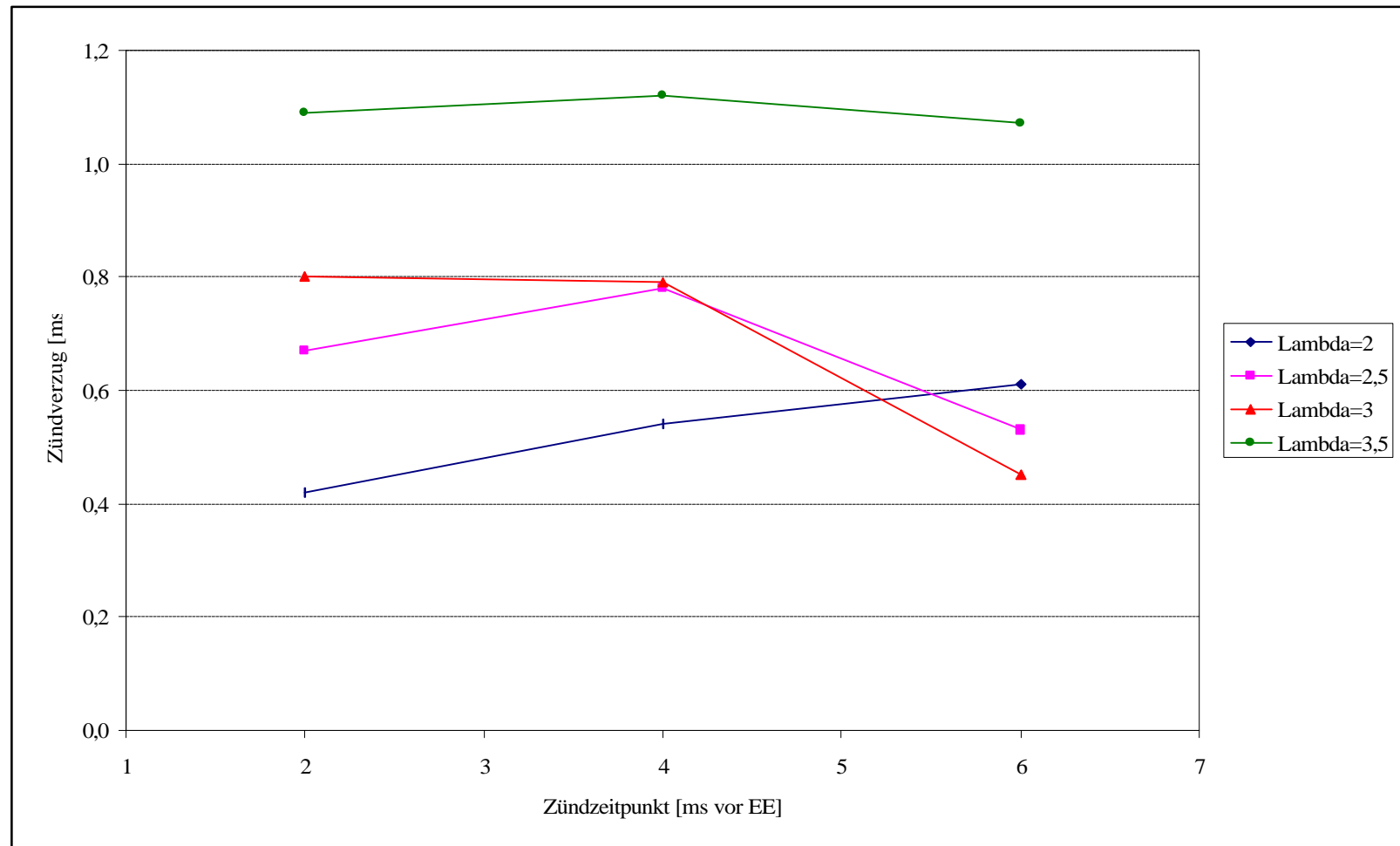
# Einfluß des Zündzeitpunktes auf den Verbrennungsdruckverlauf



Fachhochschule Stralsund

Prof. Dr.-Ing. W. Beckmann, Dipl.-Ing. (FH) C. Sponholz, Dipl.-Ing. J. Bröcker

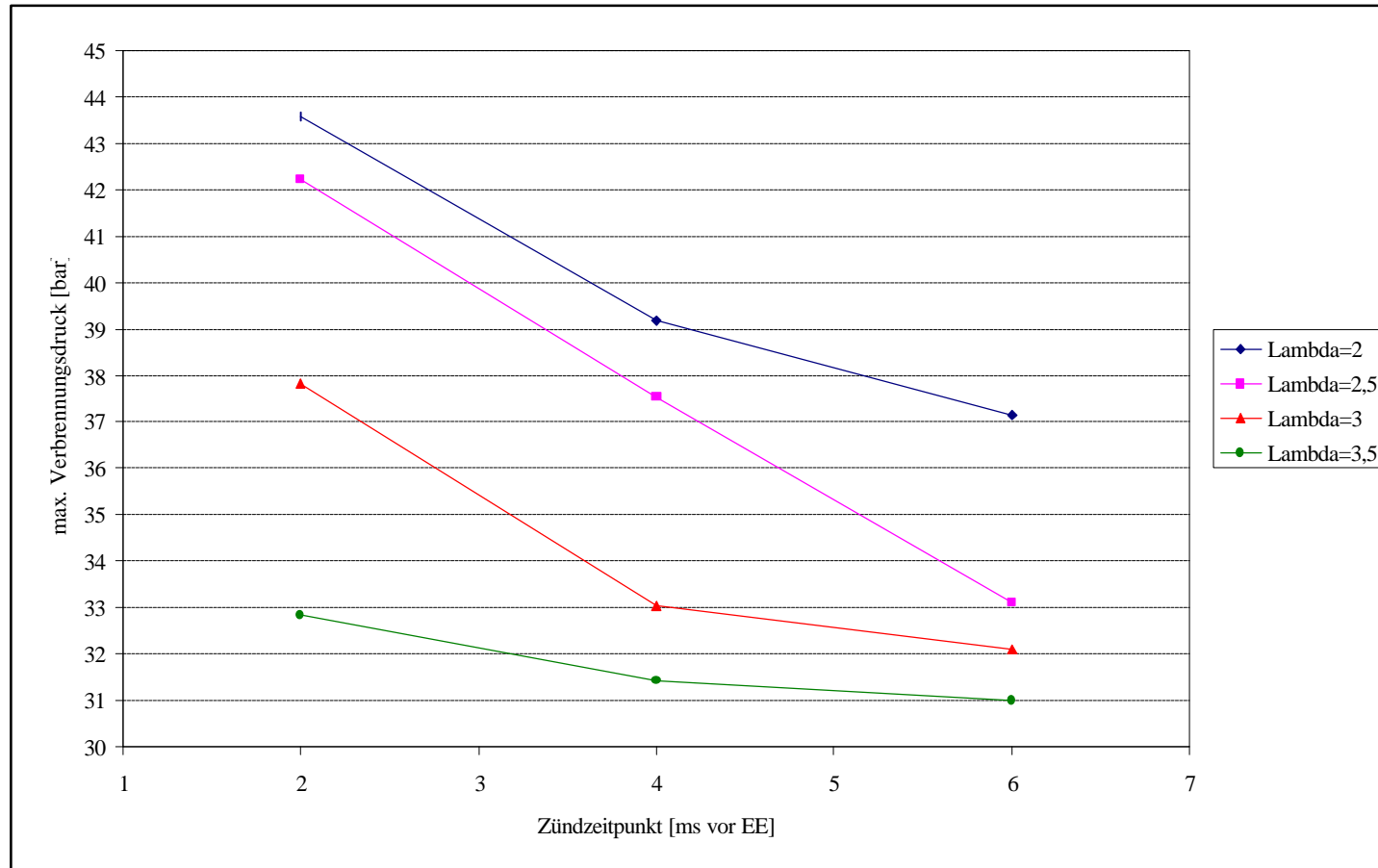
# Einfluß des Zündzeitpunktes und des Verbrennungsluftverhältnisses auf den Zündverzug



Fachhochschule Stralsund

Prof. Dr.-Ing. W. Beckmann, Dipl.-Ing. (FH) C. Sponholz, Dipl.-Ing. J. Bröcker

# Einfluß des Zündzeitpunktes und des Verbrennungsluftverhältnisses auf den maximalen Verbrennungsdruck



Fachhochschule Stralsund

Prof. Dr.-Ing. W. Beckmann, Dipl.-Ing. (FH) C. Sponholz, Dipl.-Ing. J. Bröcker

# Zukunftschancen wasserstoffbetriebener Verbrennungsmotoren

- Nutzwirkungsgrad (effektiver Wirkungsgrad) muß dem des konventionellen Dieselmotors entsprechen
- Verbesserung des Teillastverhaltens im Vergleich zu Brennstoffzellen
- Systemwirkungsgrad, Kosten und Schadstoffemissionen müssen mit denen von Brennstoffzellen verglichen werden
- leistungsbezogene Motormasse und leistungsbezogenes Motorvolumen müssen im Bereich der konventionellen Motoren liegen (unter Berücksichtigung der Hilfsaggregate)
- massebezogene und volumetrische Speicher-Energiedichte muß erhöht werden
- Wasserstoff muß unter Berücksichtigung der Gesamt-Schadstoff-Emission mit regenerativen Energien hergestellt werden
- Aufbau einer Wasserstoff-Infrastruktur