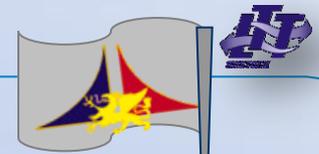


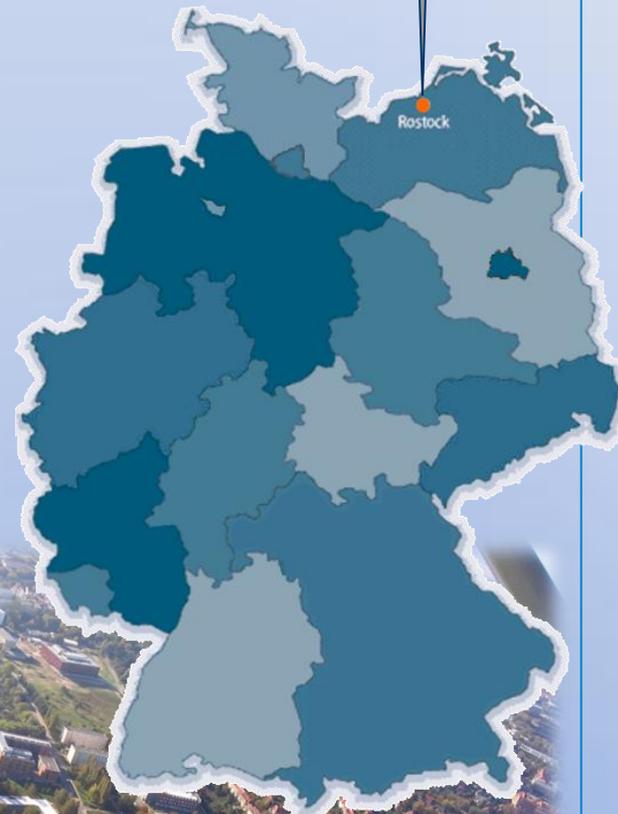


Lehrstuhl für Technische Thermodynamik der Universität Rostock

Prof. Dr.-Ing Egon Hassel



City Harbour



Warnemünde

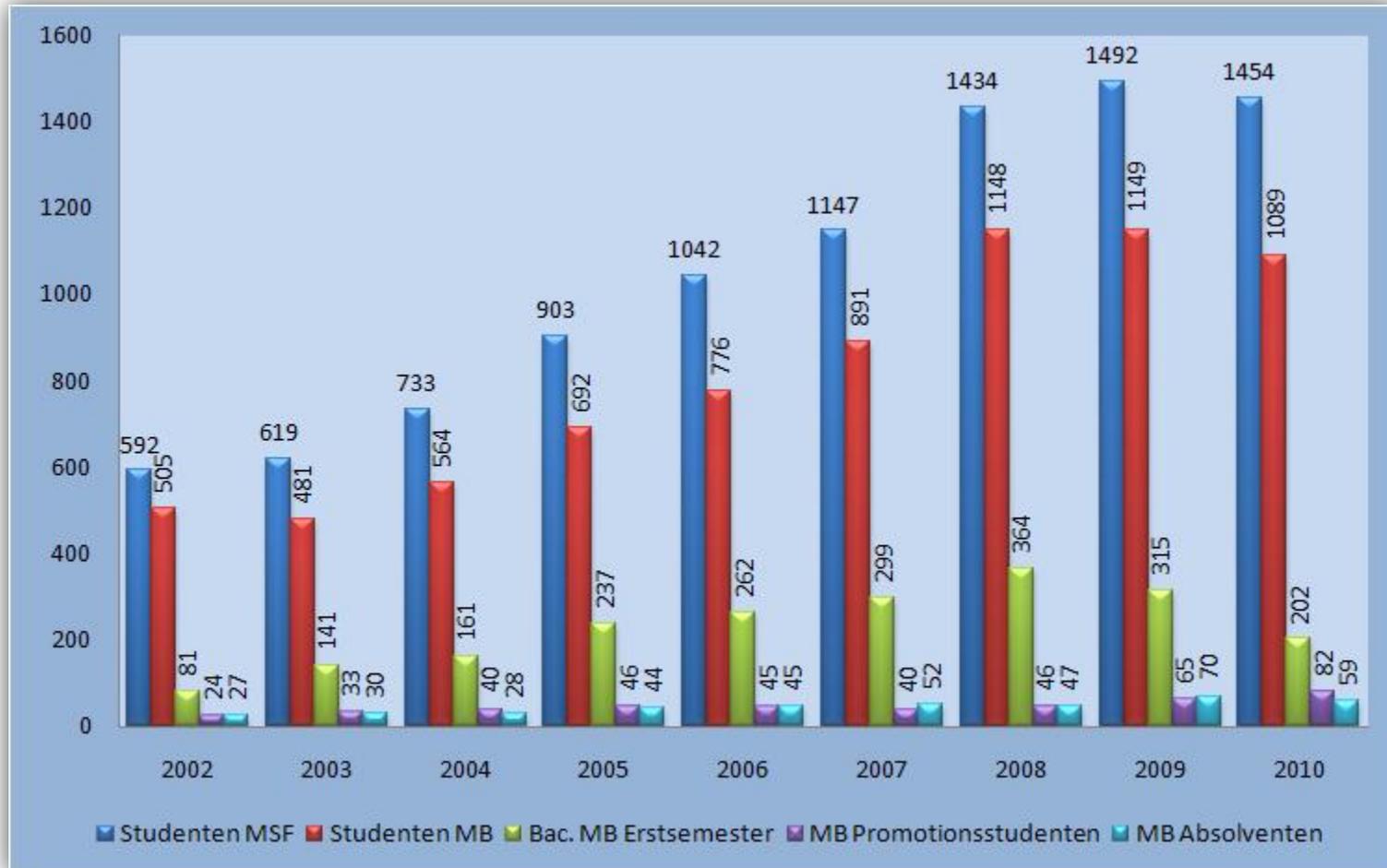


Main Building

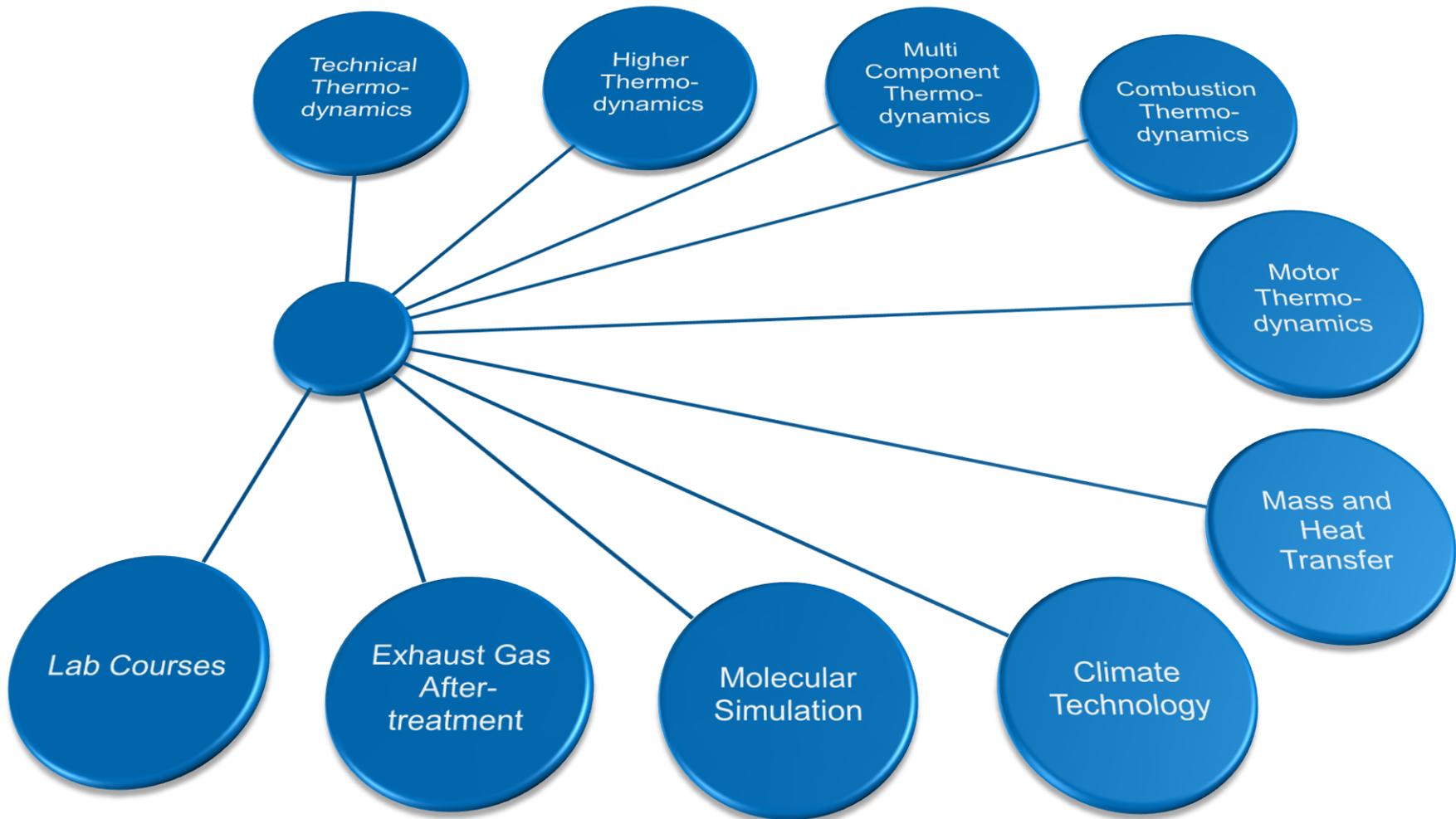


LTT from above

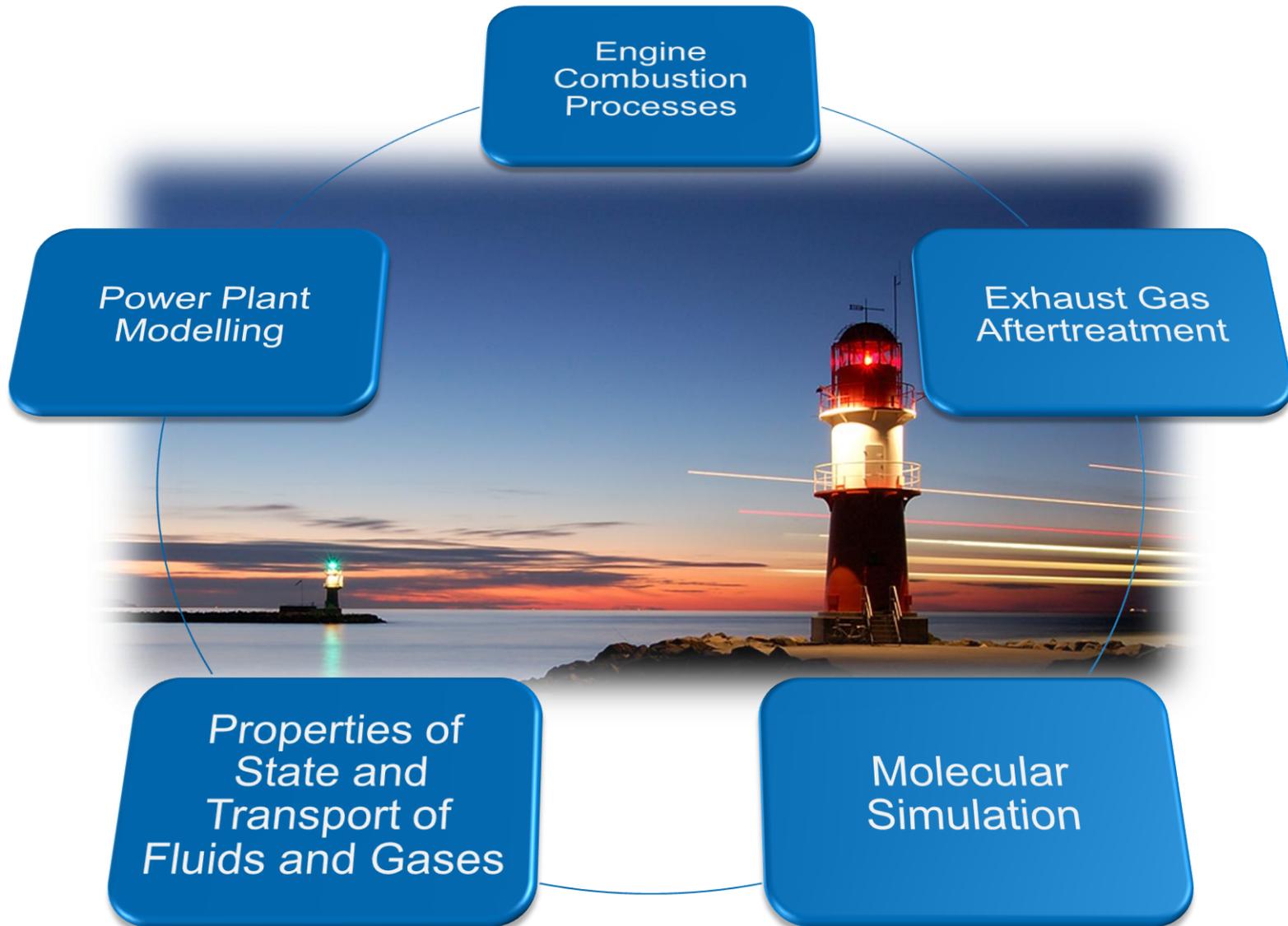
Number of Students at the Faculty of Mechanical Engineering and Ship Building (MSF)



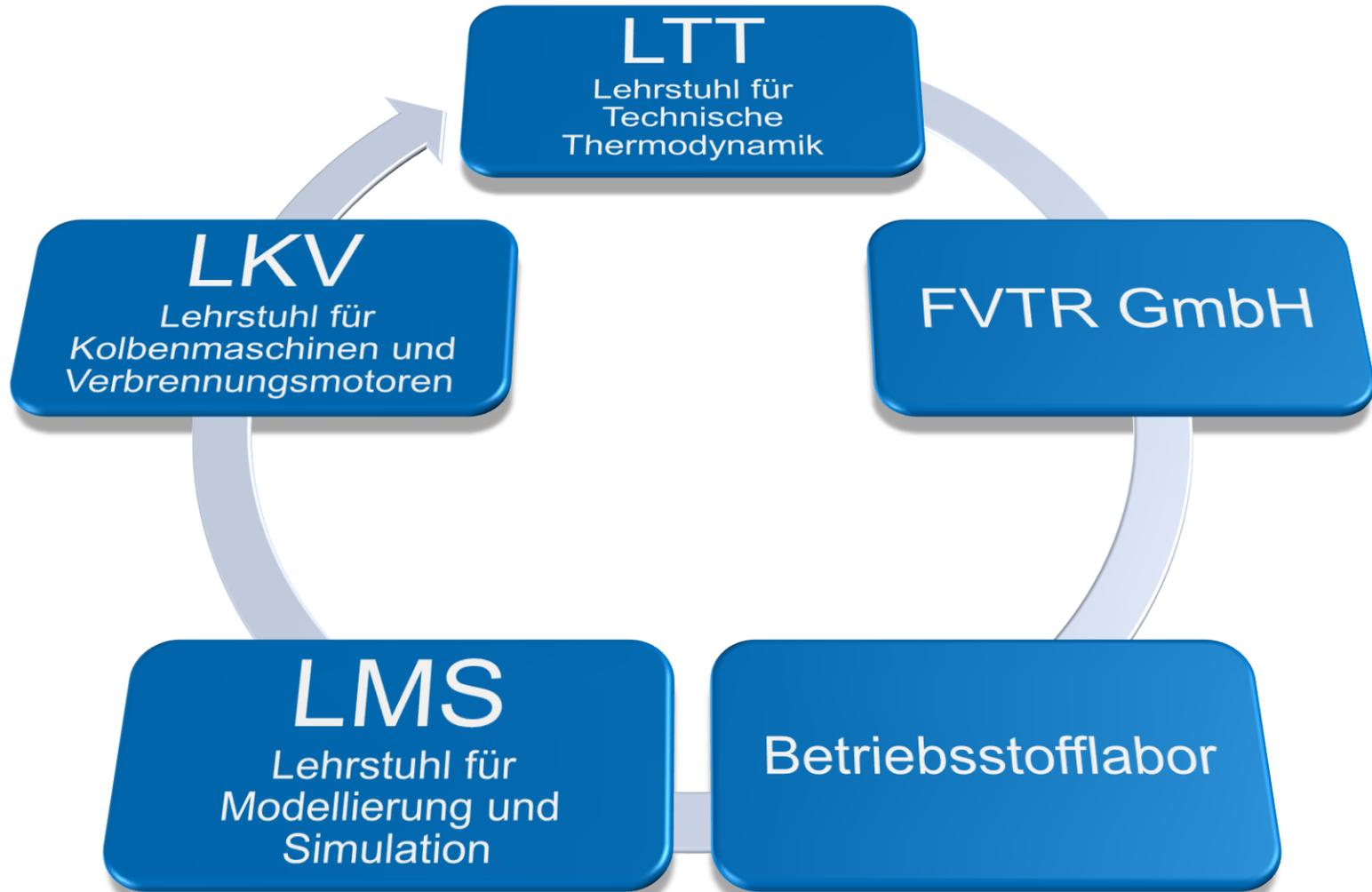
Teaching at LTT



Focus of Research at LTT



Internal Connections

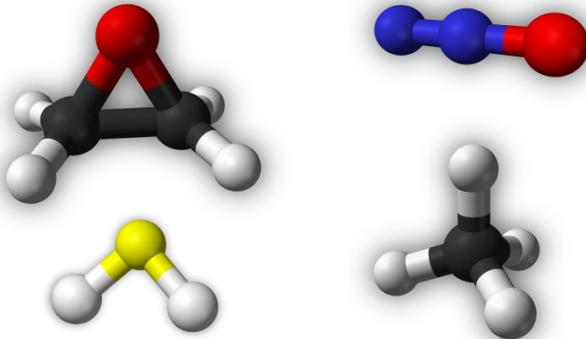


Current Research Projects at LTT

Ab initio-Berechnung hochgenauer thermophysikalischer Eigenschaften von Fluiden in weiten Temperatur- und Dichtebereichen

DFG Projekt
Zeitraum: 01.10.2010-30.09.2012

Motivation: Berechnung von *Stoffdaten* wichtiger industrieller Fluide *innerhalb experimenteller Unsicherheiten*. Ersatz des Experimentes.



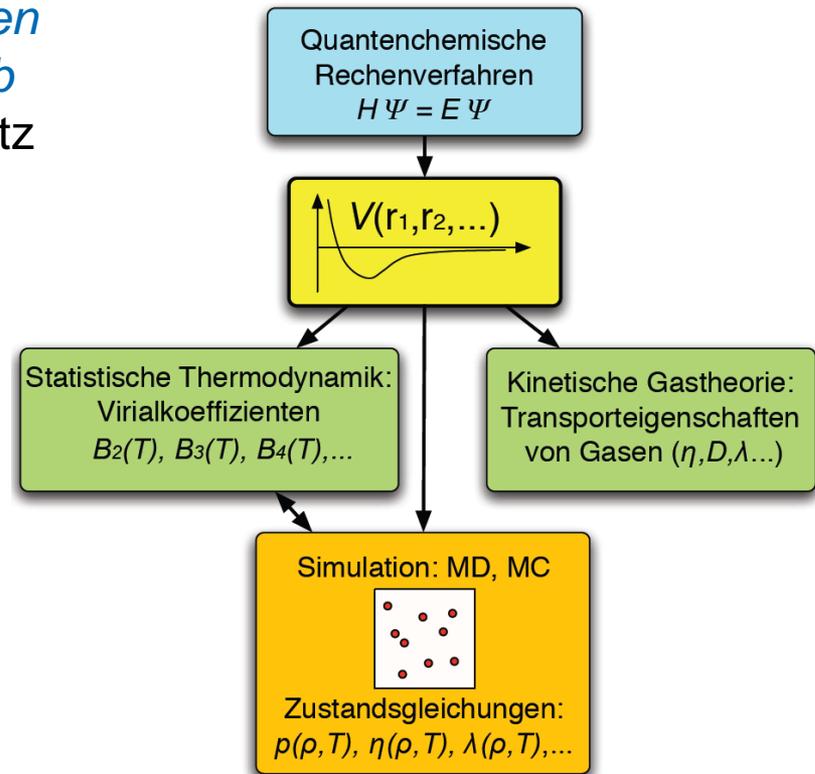
Aktueller Fokus:

Ethylenoxid, Distickstoffmonoxid, Schwefelwasserstoff und Methan

verantwortliche Mitarbeiter:

Dr. Ing. Tatyana Vasiltsova, tatyana.vasiltsova@uni-rostock.de

Dipl.- Chem. Johann-Philipp Crusius, johann-philipp.crusius@uni-rostock.de



Thermodynamische Eigenschaften des Meerwassers

DFG HA 2226/12-1,2 und HE 1199/16-1,2
Zeitraum: 01.01.2008 - 30.06.2011

Motivation

Im Jahre 2006 ist als ein Nachfolger der Joint Panel on Oceanographic Tables and Standards (JPOTS) die Arbeitsgruppe 127 durch die International Association for the Physical Sciences of the Ocean (IAPSO) und das Scientific Committee on Oceanic Research (SCOR) gegründet worden.

Ziele

Den gegenwärtigen Standard für die Meerwasserthermodynamik einzuschätzen und verbesserte Formulierungen vorzuschlagen. Es besteht der Bedarf nach einer Konsistenz zwischen den Meerwassereigenschaften und den genaueren neuen internationalen Standards für die Temperatur (IST-90) und Eigenschaften von reinem Wasser (IAPWS-95).

Ergebnisse

Ein neuer modernisierter Hochdruck-, Hochtemperaturbiegeschwinger DMA HPM für (p, ρ, T) Messungen, statische Dampfdruckanlage für Dampfdruckmessungen und isochorische Löslichkeitsanlage für CO_2 Löslichkeit in Meerwasser sind installiert.

Ausblick

Herstellung einer genauen thermodynamischen Zustandsgleichung.

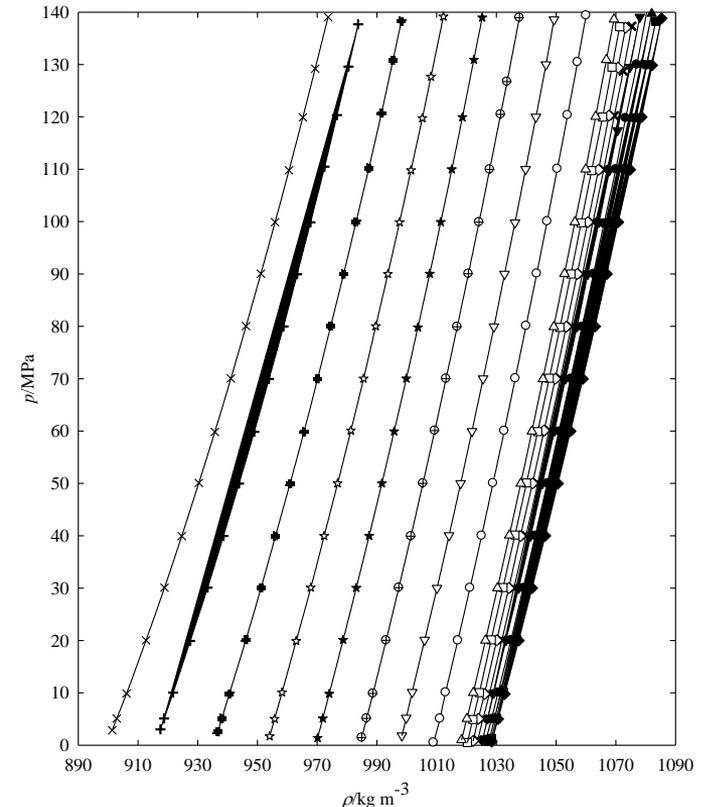


Abb. Der Druck Abhängigkeit vor Dichte des Meerwasser SW34.993

verantwortlicher Mitarbeiter: Dr.-Ing Javid Safarov, javid.safarov@uni-rostock.de

Schwingdrahtviskosimeter mit integrierter Ein-Senkörper-Dichtemessanlage

Studienstiftung des deutschen Volkes
Zeitraum: 01.01.2009 – 30.06.2011

● Motivation

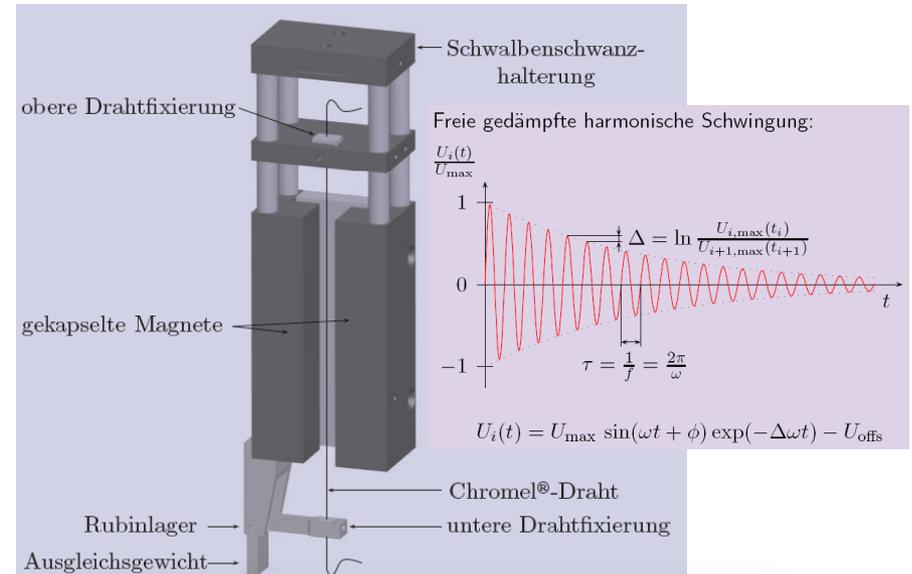
Die Transporteigenschaften fluider Stoffe haben eine große industrielle Bedeutung. Ihre Kenntnis ist Voraussetzung für die Projektierung und Optimierung von technischen Apparaten und Kreisprozessen. Vor diesem Hintergrund sollen genaueste Referenzdaten für industriell und ökologisch bedeutsame Fluide (z. B. Propan, Ethan, n- und Isobutan) in Form von $\eta p p T$ -Daten ermittelt werden.

● Ziele

Bestimmung von Dichte und Viskosität mittels eines hochgenauen quasi-simultanen Verfahrens und Generierung von verbesserten aktuellen Viskositätszustandsflächen unter Nutzung der neuen präzisen $\eta p p T$ -Datensätze

● Messbereiche

Druck: 0 – 30 MPa; Temperatur: 253 – 473 K;
Dichte: 0,6 – 2000 kg/m³; Viskosität: 6 – 150 μ Pas



verantwortlicher Mitarbeiter: Dipl.-Ing. (FH) Sebastian Herrmann, sebastian.herrmann@uni-rostock.de

Betriebsstofflabor: Aufgabenfelder

- normgerechte Kraft- und Schmierstoffanalytik
- Begleitung von Motorenprüfstands- und –praxistests
- Ursachenermittlung bei Schadensfällen
- Prüfung und Bewertung neuer Versuchskraftstoffe
- Mitarbeit bei der Normung neuer Kraftstoffe
- Test und Bewertung von Kraft- und Schmierstoffadditiven
- Abgasanalytik
- Beständigkeitstests von Werkstoffen
- Bereitstellung von physikalisch-chemischen Brennstoffdaten als Basis für die thermodynamische Modellierung



Verkokte Einspritzdüse



Verkokte Kolbenringe



Schmieröleindickung nach Pflanzenölbetrieb



Ascheablagerungen - Kolben

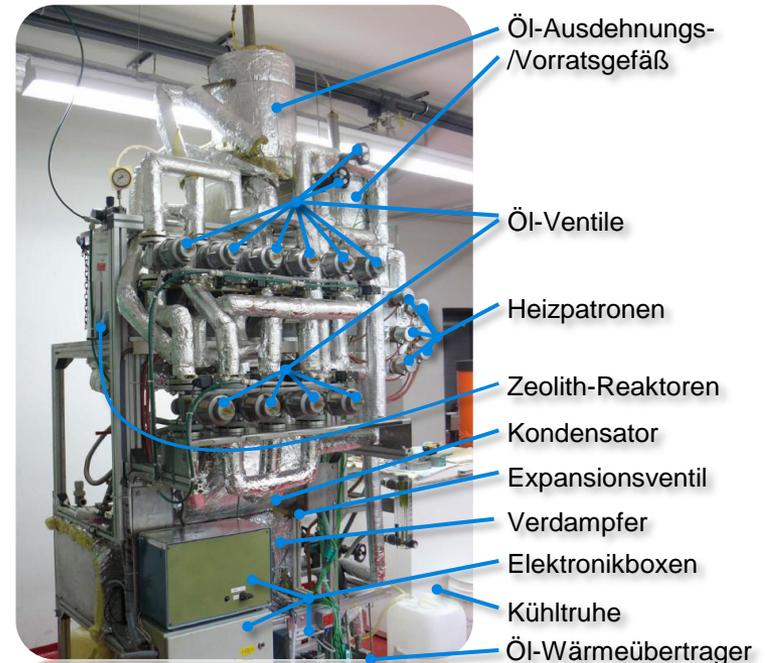
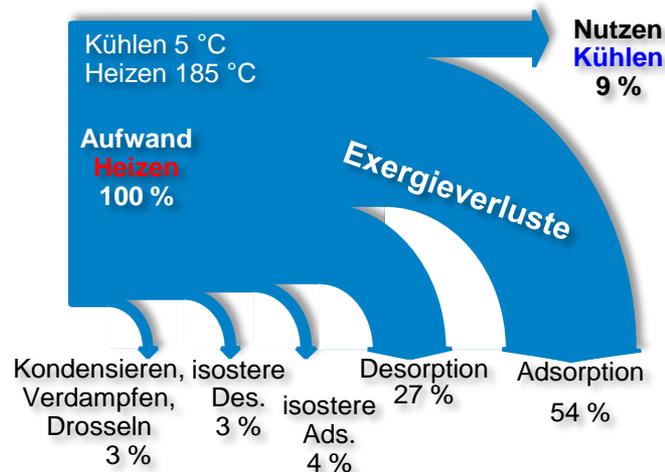
Experimentelle und numerische Untersuchung einer Adsorptionskältemaschine (AdKM) auf Zeolith/Wasser Basis

Motivation

Steigende Strompreise, umweltbelastende Kältemittel (Treibhauseffekt, Ozonabbau).
AdKM: Primäre Nutzung von Abwärme und Solarthermie, natürliche und umweltfreundliche Kältemittel.

Thermodynamische Analyse

Potenzial zur Verbesserung der Anlageneffizienz mit Wärmerückkopplung.



verantwortliche Mitarbeiter

Dr.-Ing. Tetyana Vasylytsova, tetyana.vasylytsova@uni-rostock.de

Dipl.-Ing. Hannes Schmidt, hannes.schmidt@uni-rostock.de

Kraftwerksbetrieb bei Einspeisung von Windparks

VGB PowerTech - Lenkungsreis
Zeitraum: 01. 10. 2009 - 31. 01. 2012

Motivation

- Zunehmende Beeinflussung des Betriebs der thermischer Kraftwerke durch Ausbau Windenergie
- Ermittlung der daraus zu erwartenden Anforderungen und Belastungen
- Aufzeigen von Optimierungspotentiale auf verfahrens- und leittechnischer Seite

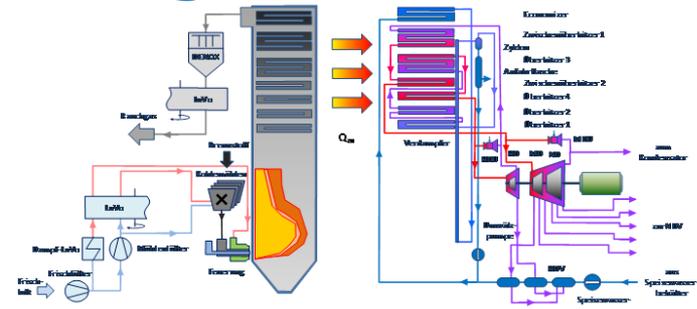
Modell

- Aufbau eines detaillierten, instationären, thermodynamischen Kraftwerkmodells
- Abbildung des Wasser-Dampfkreislaufes und des Luftpfades mit den Kohlemühlen durch eindimensionale oder konzentrierte Teilmodell unter Verwendung der Programmiersprache Modelica

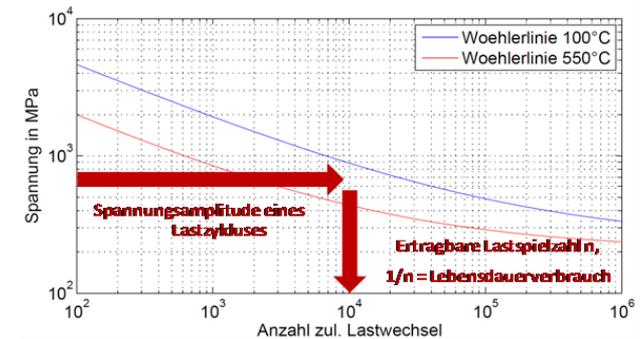
Ergebnisse

- Bewertung des zukünftigen Kraftwerksbetriebs durch Ermittlung der Ermüdung hochbelasteter Bauteile (z.B. Sammler und Verteiler der Heizflächen)
- Untersuchung und Implementierung von optimierten Anlagenkomponenten (z.B. modellgestützte Kohlemühlenregelung)

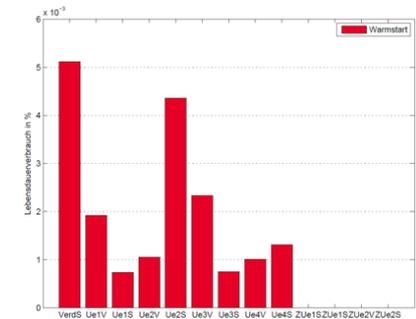
verantwortlich Mitarbeiter: Dipl.-Ing Sebastian Meinke, sebastian.meinke@uni-rostock.de



Struktur des Kraftwerksmodells



Bewertung von zukünftigen Belastungen

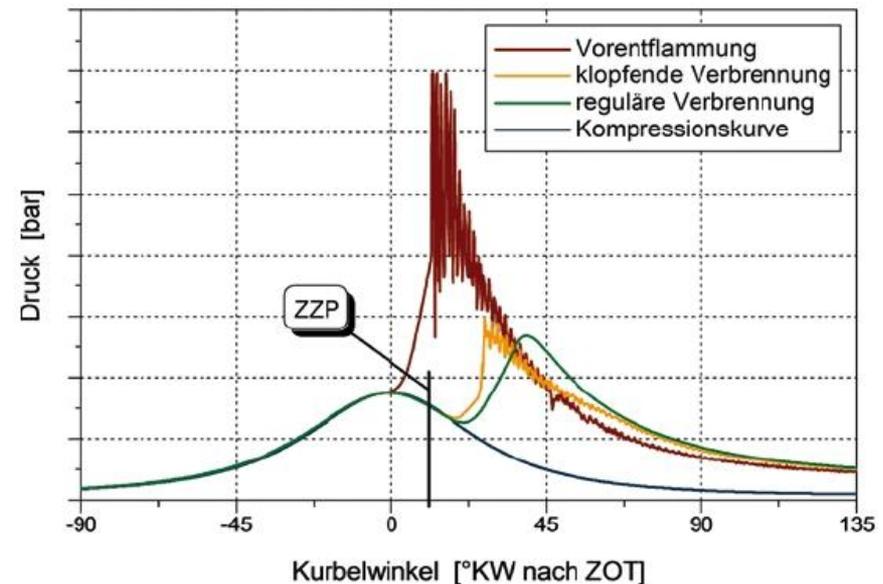


Ermüdung Sammler und Verteiler

Analyse der Prozesse bei der Entstehung von Vorentflammungsphänomenen in direkteinspritzenden hochaufgeladenen Ottomotoren

Zeitraum: 2008 - 2011

- Downsizing zur Verbrauchsoptimierung
- **Problem:** Abnormale Verbrenungsverläufe bei niedrigen Drehzahlen und hohen Lasten
- Verschiedene Entstehungshypothesen
 - Ablagerungen
 - Exotherme Zentren
 - Heiße Bauteile



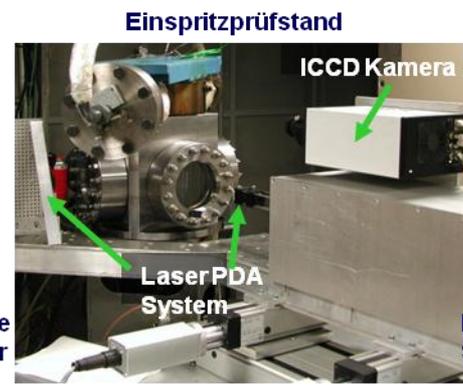
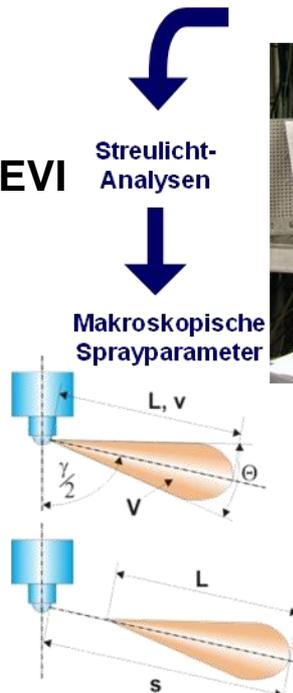
Wiland, J. et.al.: Grenzen des Downsizing bei Ottomotoren durch Vorentflammungen, MTZ, 2009-05

verantwortlicher Mitarbeiter: Dipl.-Ing Christof Benz, FVTR GmbH christof.benz@fvtr.de

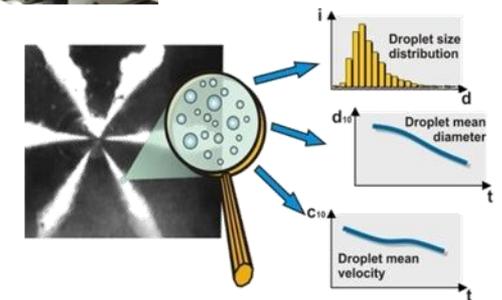
Untersuchung von Kraftstoffsprays

- Umfangreiches Repertoire erprobter Messtechniken
- PDA, Schlieren-Streulicht, EVI
- Dieselinjektoren und Stationärdüsen

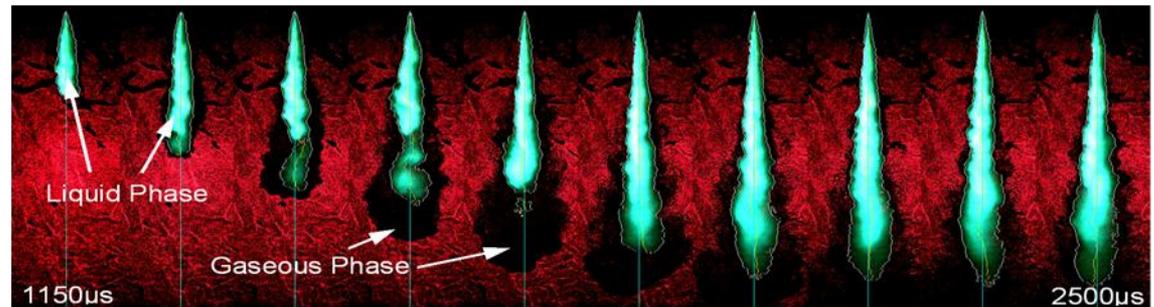
Einspritzverlaufsindikator für große Injektoren



Laser-PDA Analysen
Mikroskopische Sprayparameter



Schlieren-Streulicht Messungen zur Bewertung der Verdampfung



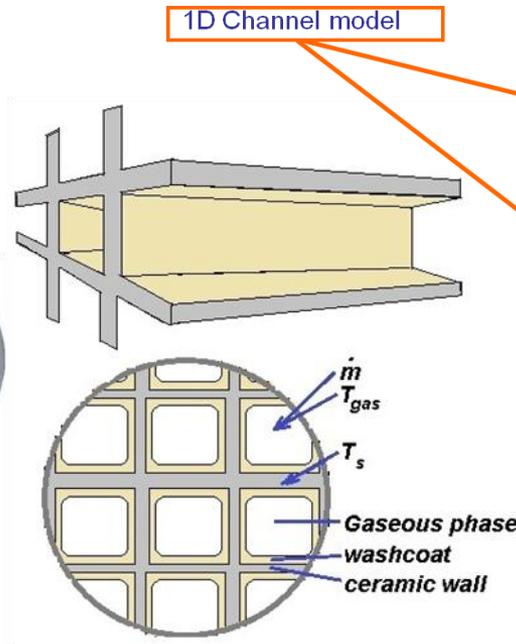
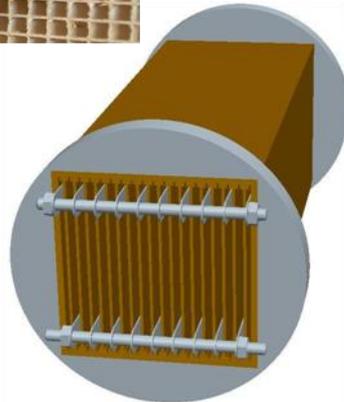
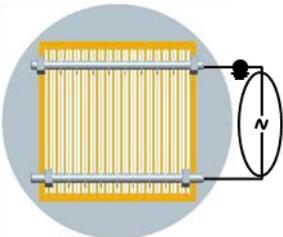
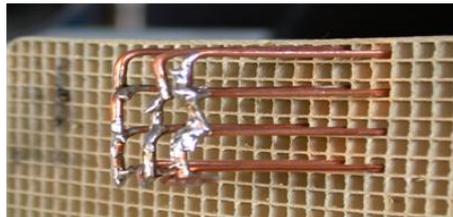
verantwortlicher Mitarbeiter: Dipl.-Ing Fabian Pinkert, fabian.pinkert@uni-rostock.de

Modelling of plasma supported catalysts for reducing NOx emissions

Supported by: Bundeswirtschaftsministerium
Timeframe: 01.09.2010 - 30.09.2013

Development of a prototype of a *plasma supported SCR-Reaktor* for *reduction of NOx emissions*

Replace the NH₃ based system in SCR catalysts through the plasma supported unit
Partners: MET Rostock, INP Greifswald, MUS (Stettin), WTUS (Stettin), LIKAT Rostock



Mass balance

$$\frac{\dot{m}}{A_f} \frac{\partial Y_{g,k}}{\partial z} - GSA \beta_k \bar{M} C_g (Y_{g,k} - Y_{s,k}) = 0$$

$$\beta_k \bar{M} C_g (Y_{g,k} - Y_{s,k}) = M_k w_{wc} \sum_{l=1}^R \nu_{kl} \dot{r}_l$$

Energy balance

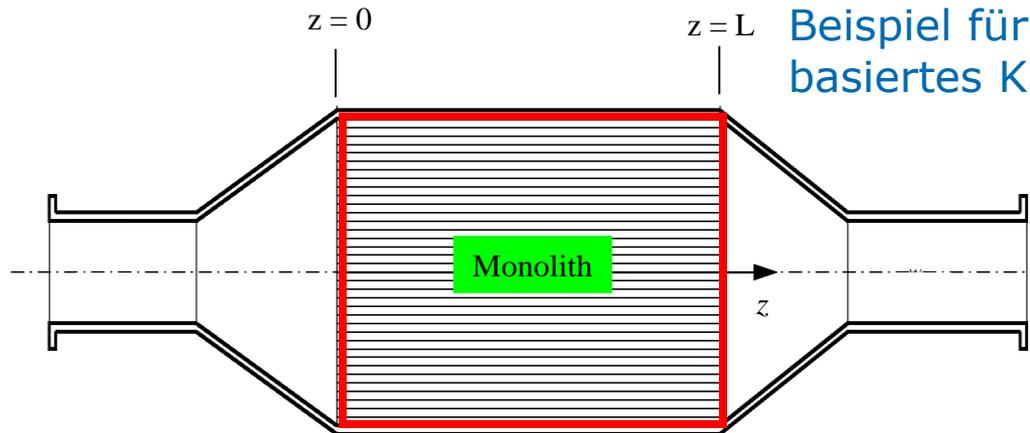
$$\frac{\dot{m} c_{p,g}}{A_f} \frac{\partial T_g}{\partial z} + GSA \alpha (T_g - T_s) = 0$$

$$(1 - \epsilon) \rho_s c_{p,s} \frac{\partial T_s}{\partial t} - GSA \alpha (T_g - T_s) - (1 - \epsilon) \lambda_s \frac{\partial^2 T_s}{\partial z^2} - \dot{Q}_U = \sum_{l=1}^R \dot{r}_l (-\Delta H_l)$$

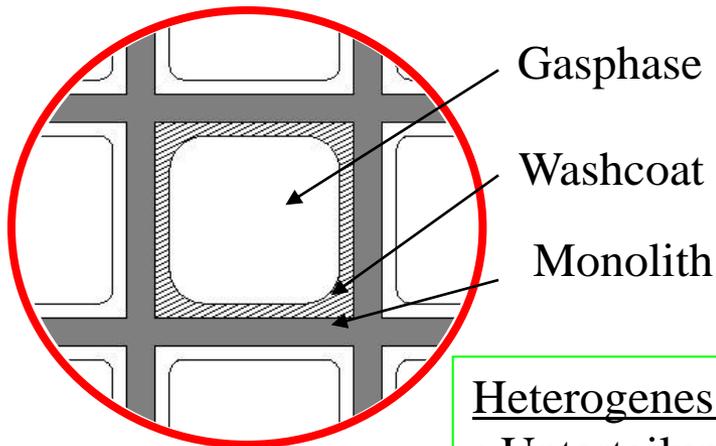
verantwortlicher Mitarbeiter: Dr. rer. nat. Svetlana Kozlova, svetlana.kozlova2@uni-rostock.de

Modellansätze zu Abgasnachbehandlungskomponenten:

- **3-Wege-Katalysator**
- **De-NO_x-Speicherkatalysator**
- **Oxidations-Katalysator**
- **SCR-Katalysator**
- **Rußabbrand am Partikelfilter**
- **Niedertemperaturplasmaunterstützte NO-Reduktionskatalysatoren**



Beispiel für physikalisch-chemisch basiertes Katalysatormodell



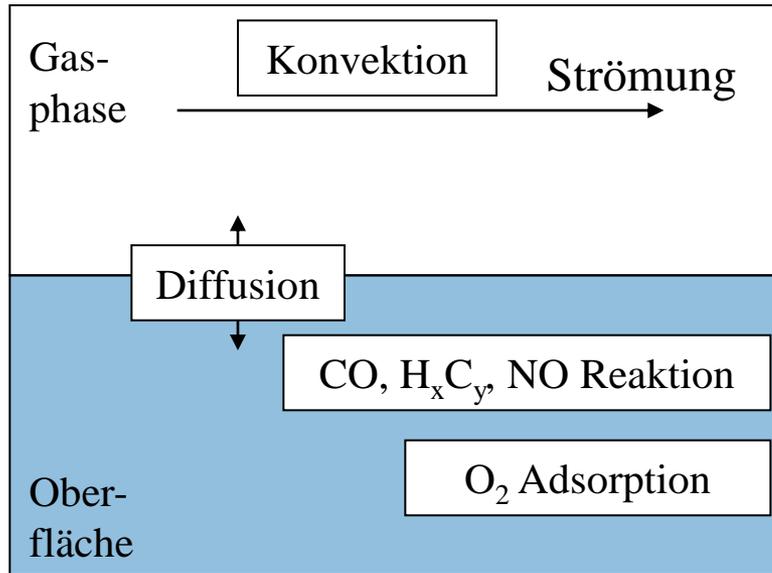
Annahmen für 1D-Modellierung

- homogene An- und Abströmung
- 1D-Strömung in Zellen
- kein Druckverlust über Monolith
- homogene radiale Temperaturverteilung
- Wärmeabgabe an Umwelt

Heterogenes Modell

- Unterteilung in Gas- und Festphase
- chemische Reaktionen auf Oberfläche
- isothermer Washcoat

Massenbilanzen



keine chem. Reaktionen
Konvektiver Stofftransport
Stoffaustausch über Oberfläche

chem. Reaktionen
Diffusiver Stofftransport
Stoffaustausch über Oberfläche
Sauerstoffeinspeicherung in Washcoat

Gas-phase

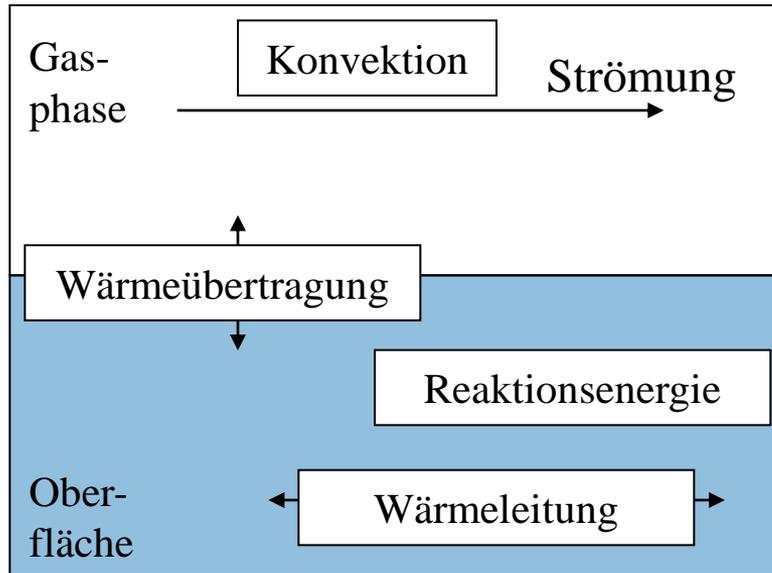
$$\frac{\dot{m}}{A_f} \frac{\partial Y_{g,k}}{\partial z} - GSA \beta_k \bar{M} C_g (Y_{g,k} - Y_{s,k}) = 0$$

Oberfläche

$$\beta_k \bar{M} C_g (Y_{g,k} - Y_{s,k}) = M_k w_{wc} \sum_{l=1}^R \nu_{kl} \dot{r}_l$$

$Y_{g/s}$ – Massenbruch, β_k – Stofftransportkoeff, C_g – Gaskonzentration
 \dot{m} – Massenstrom, M – mittl. mol. Masse, r – Reaktionsrate
 A_f – Querschnittsfläche, GSA – geometric surface area

Energiebilanzen



keine chem. Reaktionen
Keine Wärmeleitung
Wärmeübertragung an Oberfläche

chem. Reaktionen
Axiale Wärmeleitung
Wärmeübertragung an Gasphase
Aufheizung

Gas-
phase

$$\frac{\dot{m} c_{p,g}}{A_f} \frac{\partial T_g}{\partial z} + GSA \alpha (T_g - T_s) = 0$$

Ober-
fläche

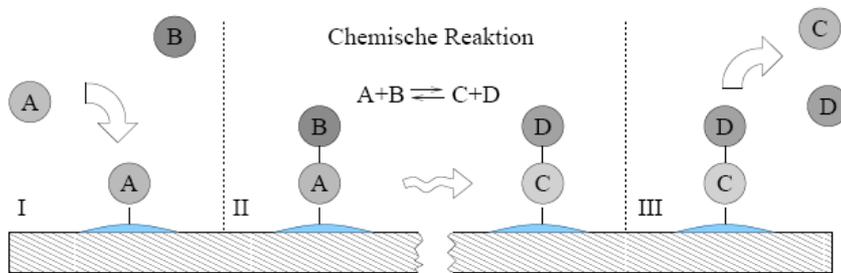
$$(1 - \varepsilon) \rho_s c_{p,s} \frac{\partial T_s}{\partial t} - GSA \alpha (T_g - T_s) - (1 - \varepsilon) \lambda_s \frac{\partial^2 T_s}{\partial z^2} - \dot{Q}_U = \sum_{l=1}^R \dot{r}_l (-\Delta H_l)$$

$T_{g/s}$ – Temperatur, α_k – Wärmeübergangskoeff., $c_{p,g/s}$ – spez. Wärmekapazität
 $\rho_{g,s}$ – Dichte, λ_s – Wärmeleitkoeff., r – Reaktionsrate
 A_f – Querschnittsfläche, GSA – geometric surface area

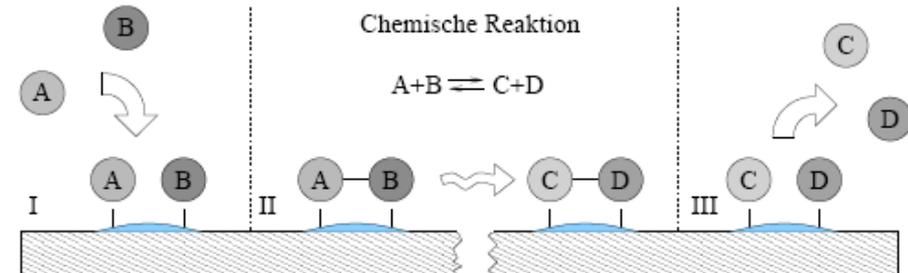
Chemiemodell

- Chemiemodell enthält
 - Adsorption und Desorption verschiedener Spezies
 - Chemische Reaktionen
- Adsorption und Desorption nach Langmuir-Mechanismus
- Reaktionen nach Eley-Rideal- bzw. Langmuir-Hinshelwood-Mechanismus
- Reaktionsgeschwindigkeiten nach Arrhenius-Ansatz
- Reaktionskinetische Parameter der Ansätze:
 - Aktivierungsenergie
 - Frequenzfaktor (Geschwindigkeitskonstante)
 - Inhibitionsterme
- Reaktionsumfang beliebig erweiterbar

Chemiemodell



Eley-Rideal-Mechanismus



Langmuir-Hinshelwood-Mechanismus

Adsorption

$$\dot{r}_{i,ads} = \left(1 - \sum_j \Theta_{j,ads} \right) k_{i,ads} \exp\left(-\frac{E_{a,i}}{R_g T} \right) c_i^\alpha \frac{1}{G_i}$$

Desorption

$$\dot{r}_{i,des} = \Theta_{i,ads} k_{i,ads} \exp\left(-\frac{E_{a,i}}{R_g T} \right)$$

chemische Reaktionen

$$\dot{r}_{i,reak} = k_{i,reak} \exp\left(-\frac{E_{a,i}}{R_g T} \right) \frac{1}{G_i} \prod_j (c_j, \Theta_j)^{\alpha_j}$$

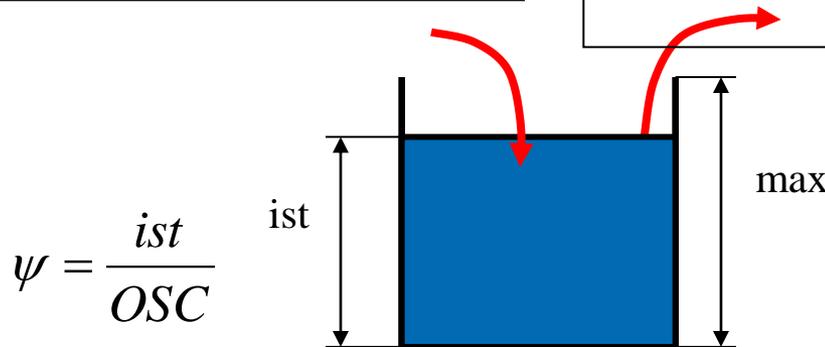
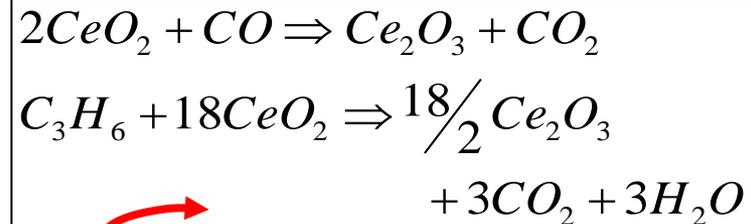
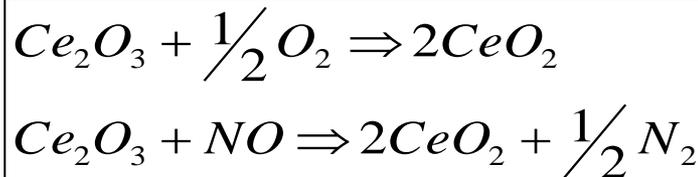
Beispiel: Einspeicherung O2

- Stationäre Speziesbilanzen

$$\frac{\dot{m}}{A_f} \frac{\partial Y_{g,k}}{\partial z} - GSA \beta_k \bar{M} C_g (Y_{g,k} - Y_{s,k}) = 0$$

$$\beta_k \bar{M} C_g (Y_{g,k} - Y_{s,k}) = \dot{R}_k$$

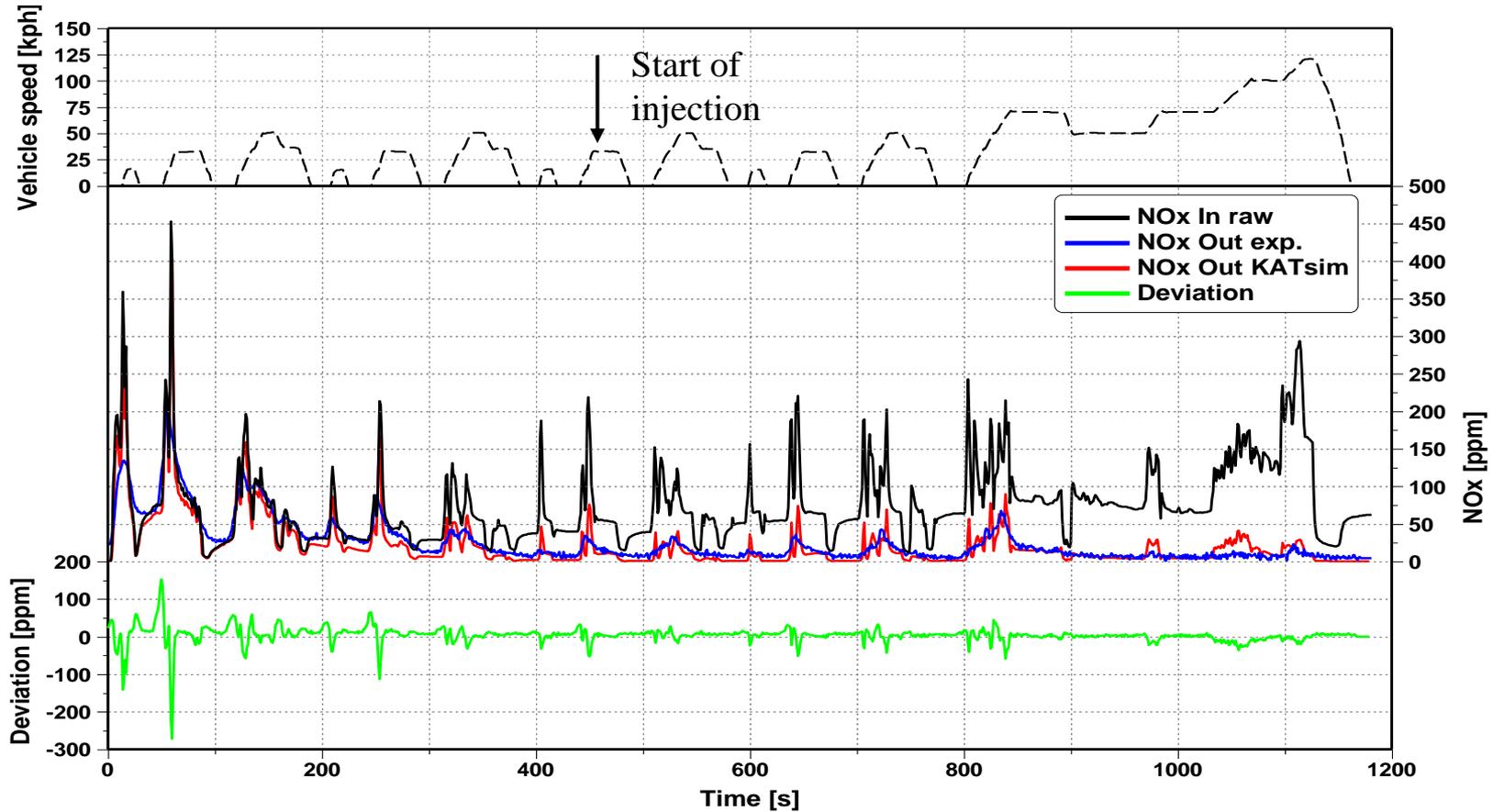
- Untermmodell für instationären Speichervorgang



$$\frac{d\psi}{dt} = \frac{\dot{r}_{ox}}{OSC} - \frac{\dot{r}_{red}}{OSC} \longleftarrow \text{Oxygen Storage Capacity}$$

Simulationsergebnis SCR-Modell

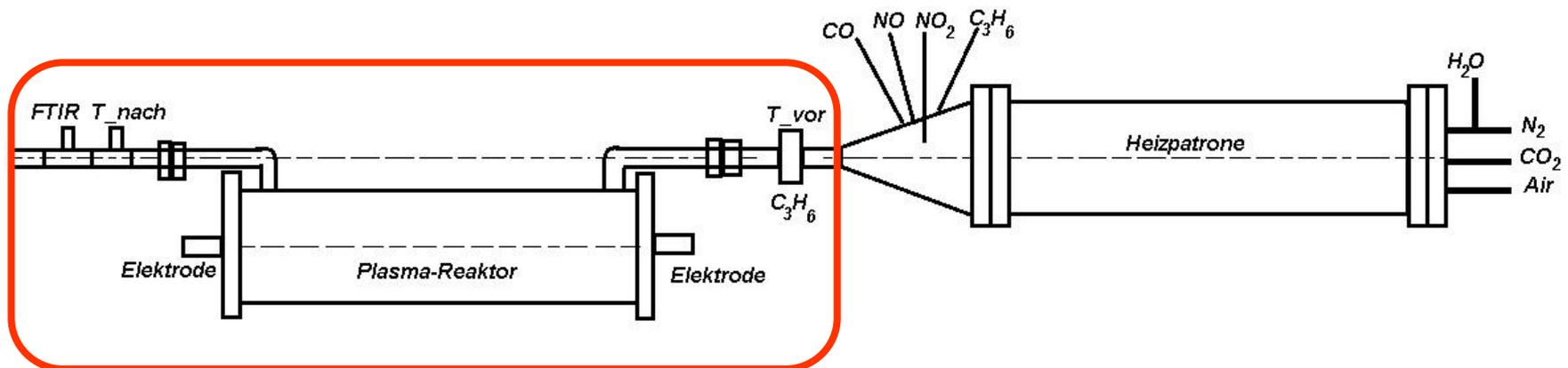
Vergleich Messung – Simulation NO_x



Experimentelle Untersuchungen

Durchgeführt an einem Synthesegasprüfstand:

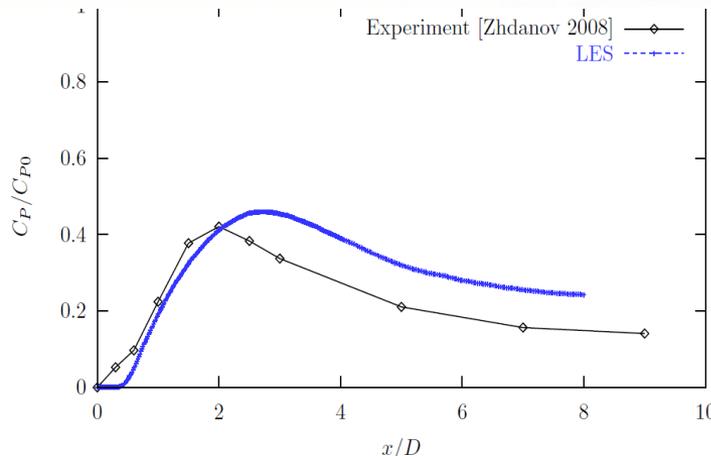
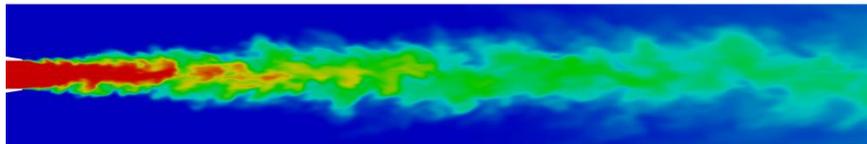
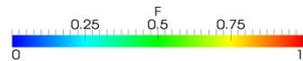
- Ermöglicht es verschiedene Zusammensetzungen von Gasgemischen herzustellen
- Genaue Temperierung der Probe bis 600°C
- Hauptgase: N_2 und Luft
- Störgase: CO , CO_2 , HC , NO , NO_2 etc.
- Präzise Mass-Flow-Controller
- Analyse: FTIR



LES-Modellierung von turbulenten reaktiven Mischungsprozessen bei hohen Schmidt Zahlen

z.Zt. Haushalt, DFG Antrag in Vorbereitung
Zeitraum: 01.01.2009-31.12.2014

- Vorhersage der Mischungsrate und chemischer Umsatz ungenau
- Effekte der für $Sc \gg 1$ charakteristischen dünnflächigen, langezogenen Diffusionschichten in vielen LES Modellen nur rudimentär berücksichtigt



Modellierung

- inkompressible LES Gleichungen
- SGS Modelle: dynamic mixed model, langrangian dynamic mixed model
- schnelle chemische Reaktion ($Da \gg 1$)
- Chemie-Turbulenz Kopplung: EDM, EDC, PDF-Ansätze

Ausblick

- Modellierung der Mischung auf Basis eines multi-fraktalen LES-SGS Modells, welches auch $Sc \gg 1$ berücksichtigen kann
- Untersuchung der charakteristischen Feinstrukturen
- Kopplung mit Reaktionskinetik über Chemie-Turbulenz Schließungsansatz
- Erweiterung der LES Beschreibung auf dichteveränderliche Strömungen ($Da=1$, $Da \ll 1$)



verantwortlicher Mitarbeiter: M.Walter matthias.walter@uni-rostock.de

Project Partners and Sponsors

