

Unterstützung der Applikation mechatronischer Systeme durch Simulation am Beispiel der Taupunktfreigabe von Lambdasonden

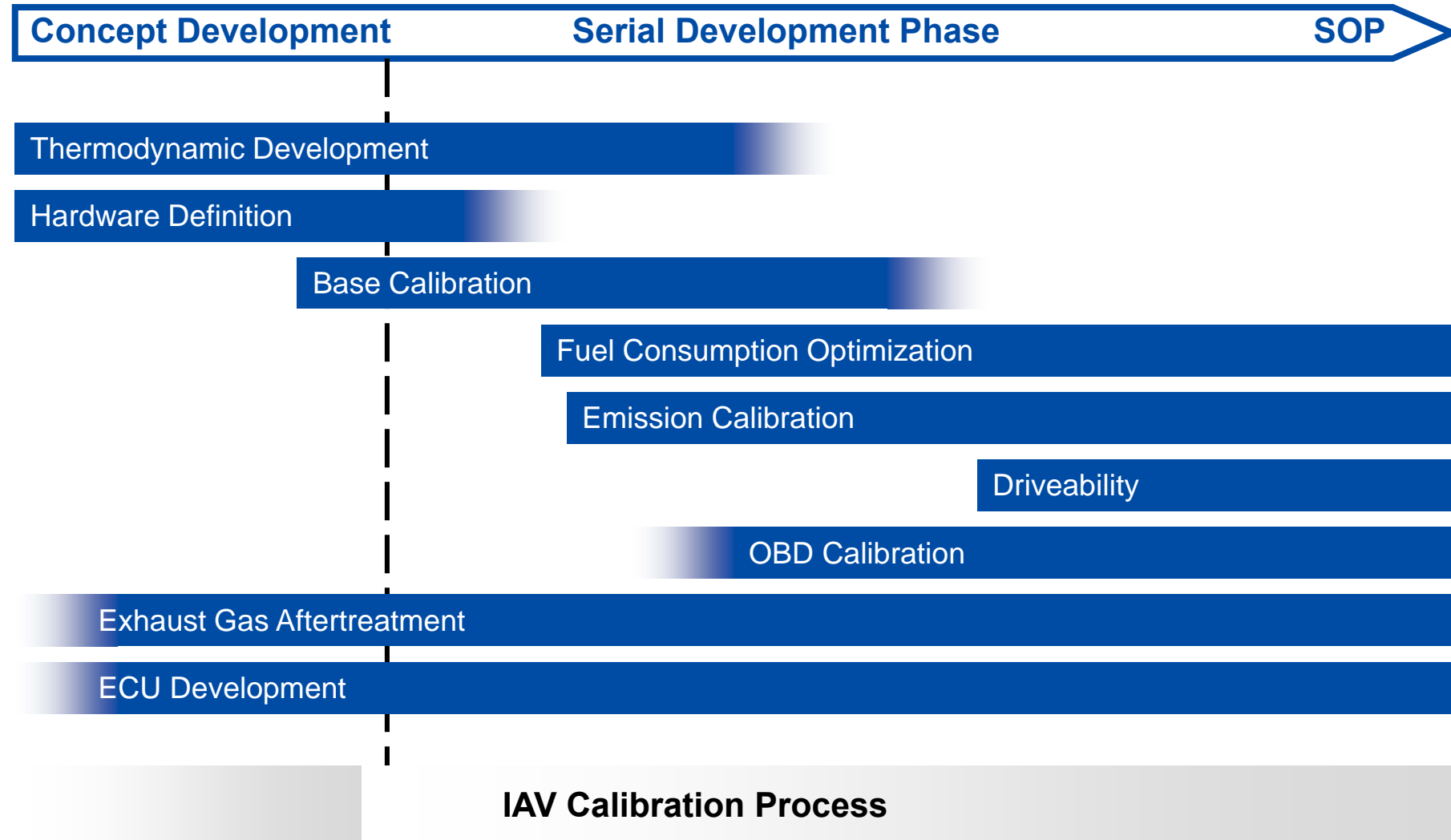
VDI Arbeitskreis Mechatronik
Dr. Wihart Löhr, München, November 2011



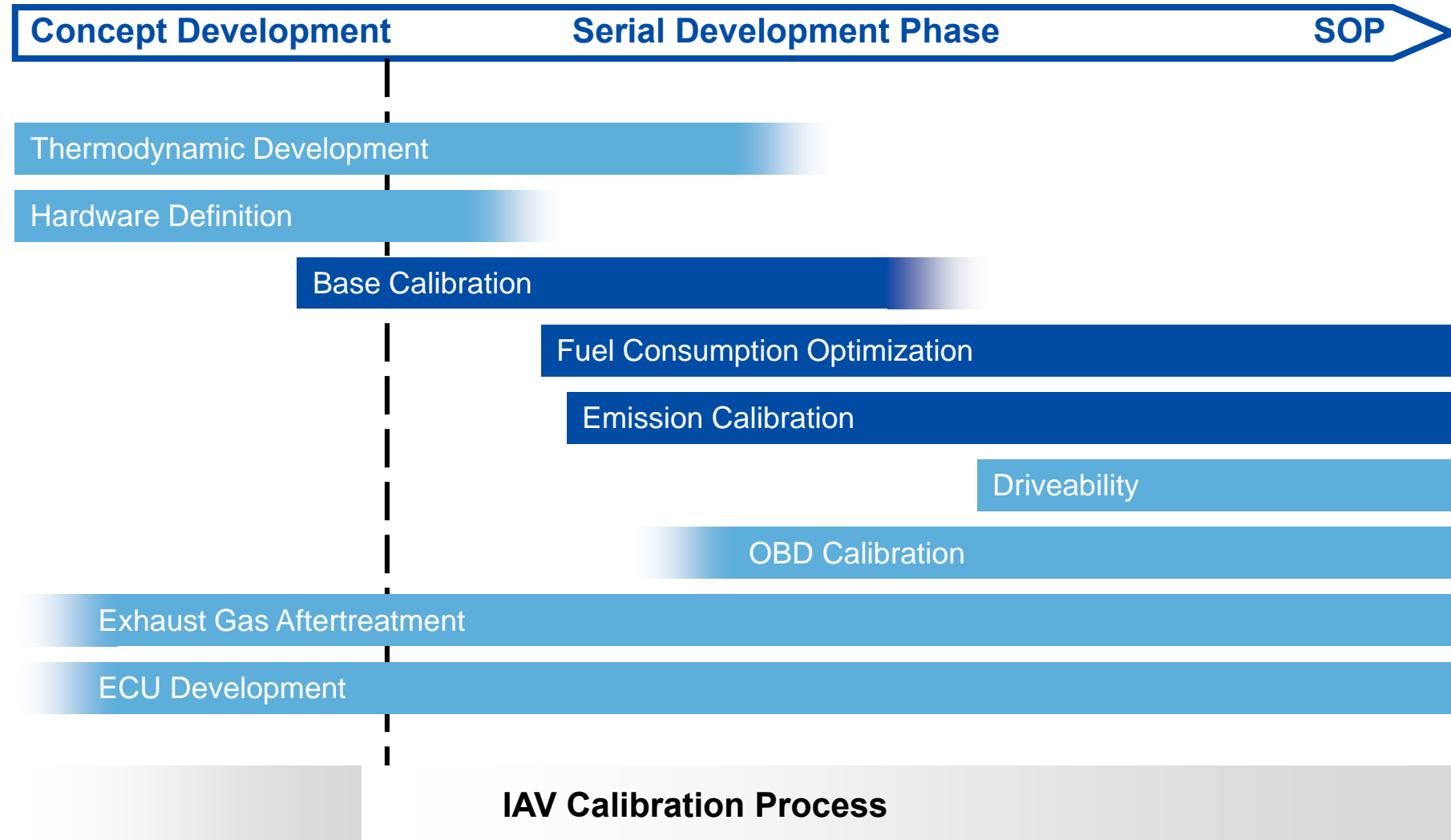
Agenda

- Applikationsprozess
- Modellbasierte Applikation
- Taupunktende Lambdasonden
- Simulationsmodelle im Abgasstrang
- Geometriemodelle
- Validierung
- Simulationsergebnisse
- Weitere Simulationen
- Zusammenfassung
- Studentische Arbeiten @IAV

Applikationsprozess bei Motorsteuerungen



Applikationsprozess bei Motorsteuerungen



Agenda

- Applikationsprozess
- **Modellbasierte Applikation**
- Taupunktende Lambdasonden
- Simulationsmodelle im Abgasstrang
- Geometriemodelle
- Validierung
- Simulationsergebnisse
- Weitere Simulationen
- Zusammenfassung
- Studentische Arbeiten @IAV

Übersicht Grundbedatung

Füllungserfassung

Momentenstruktur

Zündwinkel

Steuerzeiten

Temperaturmodelle

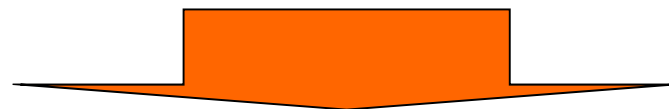
Bauteilschutz

Kraftstoffvorsteuerung

Klopfregelung

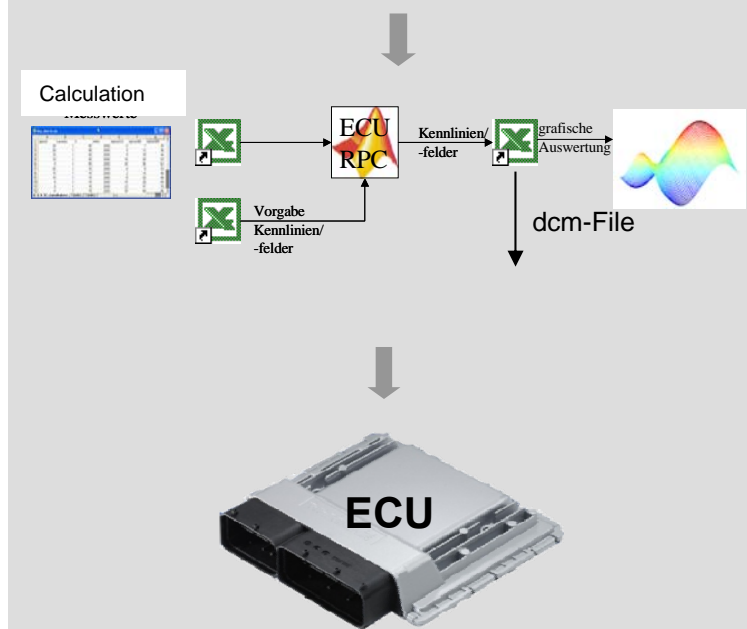
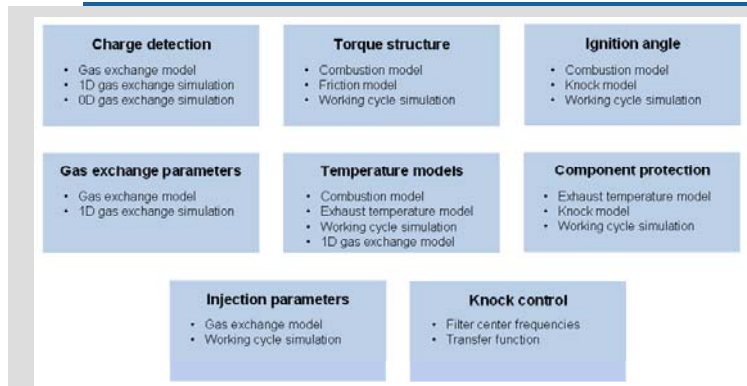
Einspritztiming

Grundbedatung mit Vorausberechnung



Reduzierung des Meßaufwandes

Modellbasierte Applikation Virtuelle Steuergeräteapplikation



Fokus

In der Grundapplikation wird verstärkt auf Simulation und modellbasierte Applikation zurückgegriffen

Motivation

- In frühen Phasen stehen nur wenige Versuchsträger zur Verfügung
- Modelle können im Applikationsprozess wiederverwendet werden
- Schnelle Anpassung an Änderungen z.B. der Hardware
- Fahrzeugvarianten können simuliert werden
→ geringerer Meßaufwand
- Vorteil physikalischer Modelle ist die sehr leichte Anpassbarkeit und Flexibilität

Mehrwert

- Grundbedatung kann erstellt werden bevor der Motor selbst zur Verfügung steht
- Minimierung des Meßaufwandes

Modellbasierte Applikation

Übersicht Werkzeuge

Füllungserfassung

- GT-Power Modell
- 1D-Ladungswechselsimulation
 - QD-Verbrennungssimulation
 - RPC / Matlab-Simulink

Momentenstruktur

- GT-Power Modell
- QD-Verbrennungsmodell
 - Reibmodell
 - RPC / Matlab-Simulink

Zündwinkel

- GT-Power Modell
- QD-Verbrennungsmodell
 - Klopfmodell
 - RPC / Matlab-Simulink

Steuerzeiten

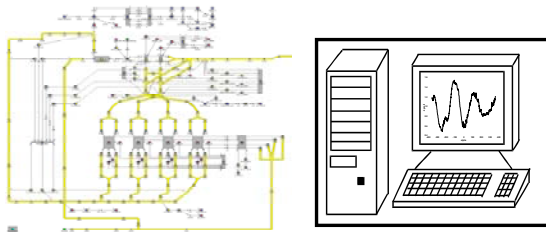
- Ladungswechselmodell
- 1D-Ladungswechselsimulation
- RPC / Matlab-Simulink

Temperaturmodelle

- Verbrennungsmodell
- Arbeitsprozessrechnung
- 1D-Ladungswechselsimulation
- RPC / Matlab-Simulink

Bauteilschutz

- GT-Power Modell
- 1D-Ladungswechselsimulation
 - QD-Verbrennungsmodell
 - Wärmestrommodell / Kopplung
 - RPC / Matlab-Simulink



Modellbasierte Applikation

Übersicht Werkzeuge

Füllungserfassung

- GT-Power Modell
- 1D-Ladungswechselsimulation
- QD-Verbrennungssimulation
- RPC / Matlab-Simulink

Momentenstruktur

- GT-Power Modell
- QD-Verbrennungsmodell
- Reibmodell
- RPC / Matlab-Simulink

Zündwinkel

- GT-Power Modell
- QD-Verbrennungsmodell
- Klopfmodell
- RPC / Matlab-Simulink

Steuerzeiten

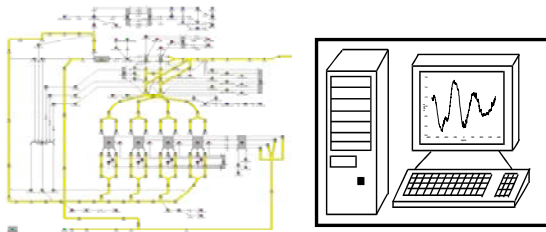
- Ladungswechselmodell
- 1D-Ladungswechselsimulation
- RPC / Matlab-Simulink

Temperaturmodelle

- Verbrennungsmodell
- Arbeitsprozessrechnung
- 1D-Ladungswechselsimulation
- RPC / Matlab-Simulink

Bauteilschutz

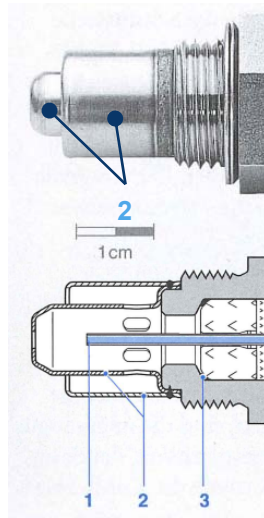
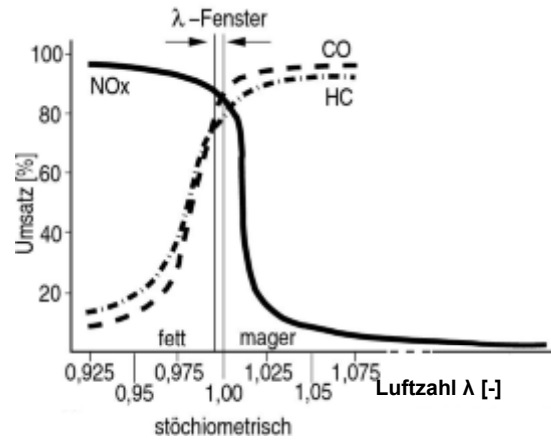
- GT-Power Modell
- 1D-Ladungswechselsimulation
- QD-Verbrennungsmodell
- Wärmestrommodell / Kopplung
- RPC / Matlab-Simulink



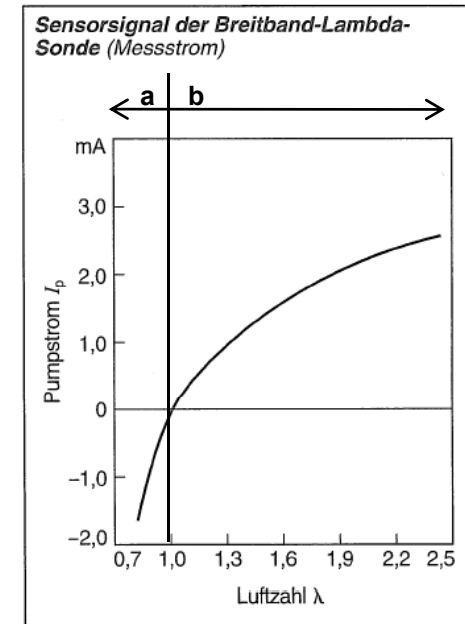
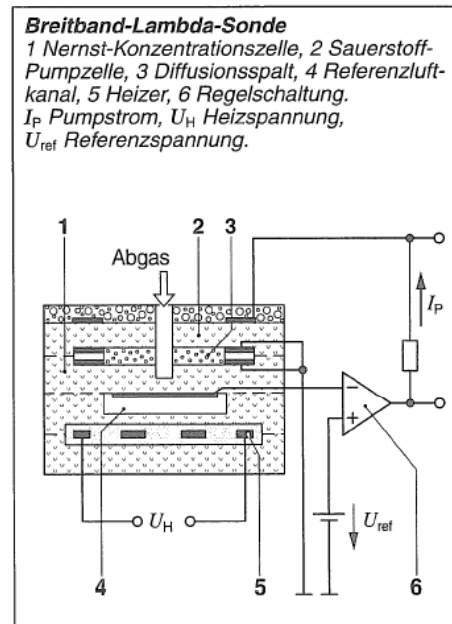
Agenda

- Applikationsprozess
- Modellbasierte Applikation
- **Taupunktende Lambdasonden**
- Simulationsmodelle im Abgasstrang
- Geometriemodelle
- Validierung
- Simulationsergebnisse
- Weitere Simulationen
- Zusammenfassung
- Studentische Arbeiten @IAV

Lambdaregelung

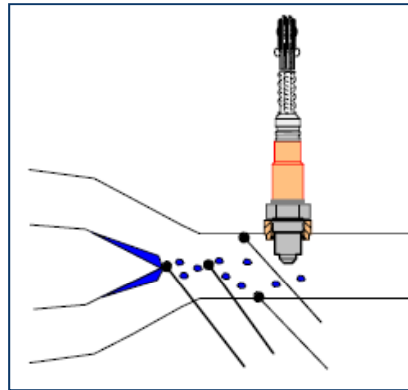


- 1 Messzelle
- 2 Doppelschutzrohr
- 3 Dichtring

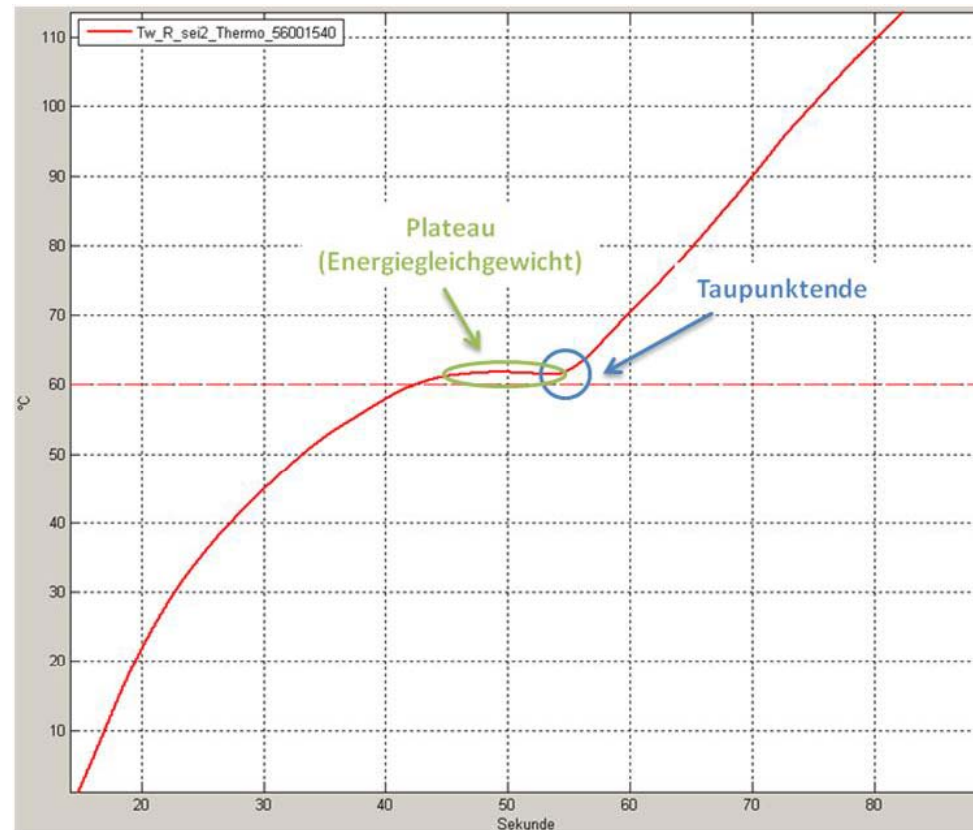


Quelle: Bosch

Taupunktende: Typischer Temperaturverlauf



Quelle: Bosch



Berechnung Abgastemperatur vor Turbine bzw. Katalysator

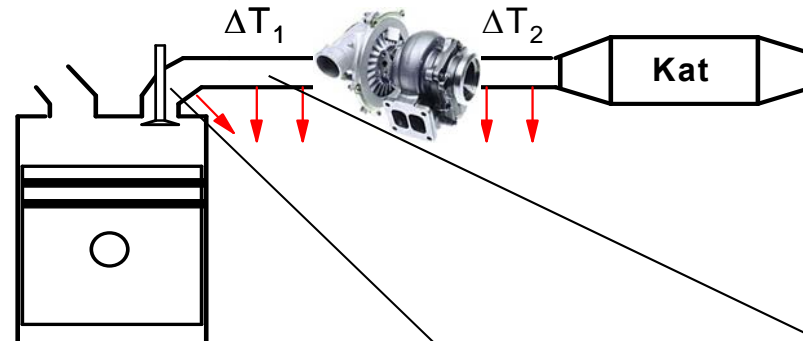
Berechnung der Temperatur vor Turbine bzw. Katalysator mit Hilfe der Arbeitsprozessrechnung und des konvektiven Wärmeübergangs im Auslasskanal und in Abgasrohren

Arbeitsprozessrechnung

Wärmestromberechnung

Berechnung der Abgastemperatur mit der Arbeitsprozessrechnung

$\Delta T_1 = f(\text{Anströmung, Betriebspunkt...})$

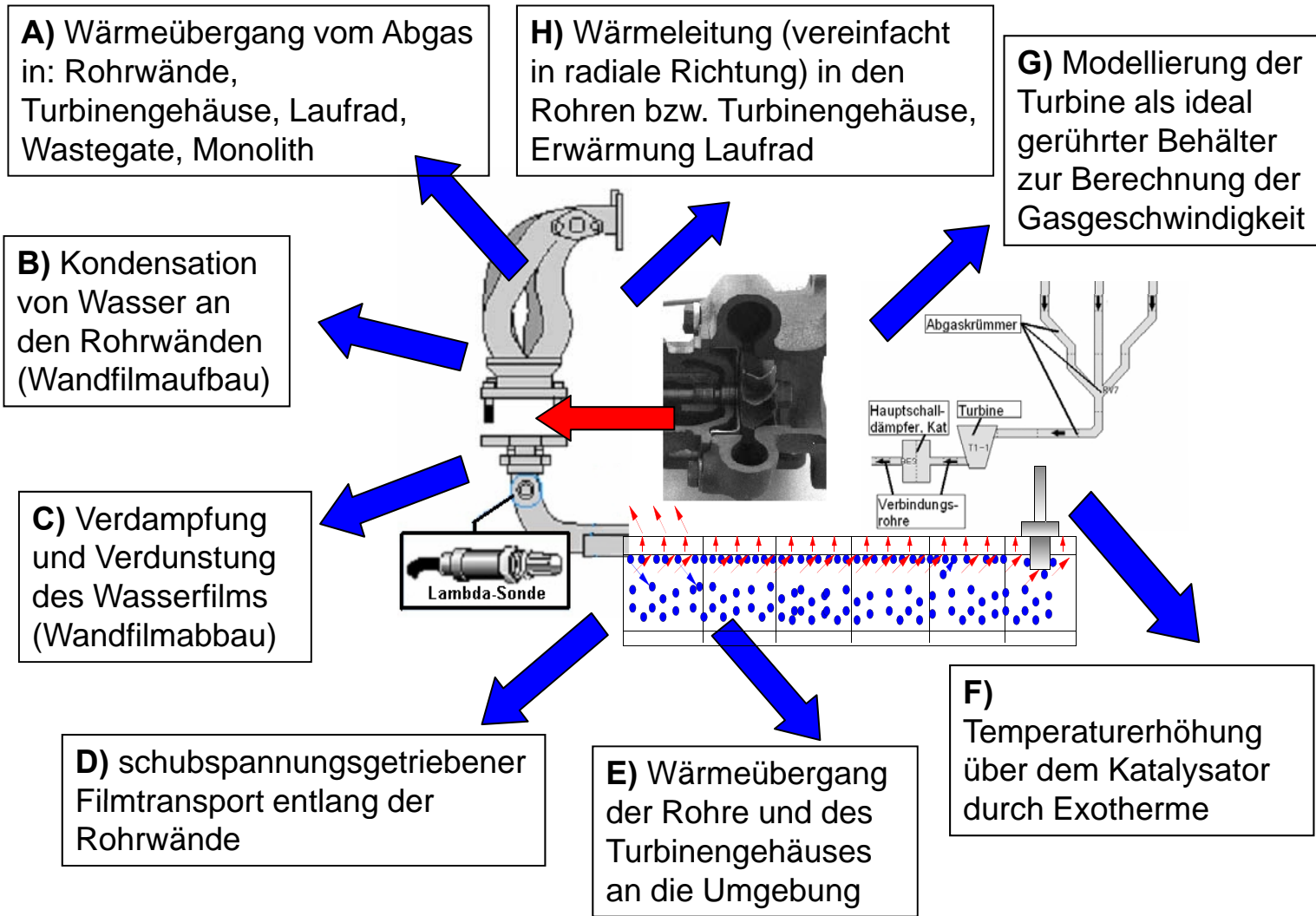


$$T_{UT} = f(n, rl, ZW, \lambda, RGA, T_W) \quad \dot{Q}_K = \alpha_{WÜ} \cdot A_{OK} \cdot (\bar{T}_{AbgK} - T_{WK}) \quad \dot{Q}_R = \alpha_{WÜ} \cdot A_{OR} \cdot (\bar{T}_{AbgR} - T_{WR})$$

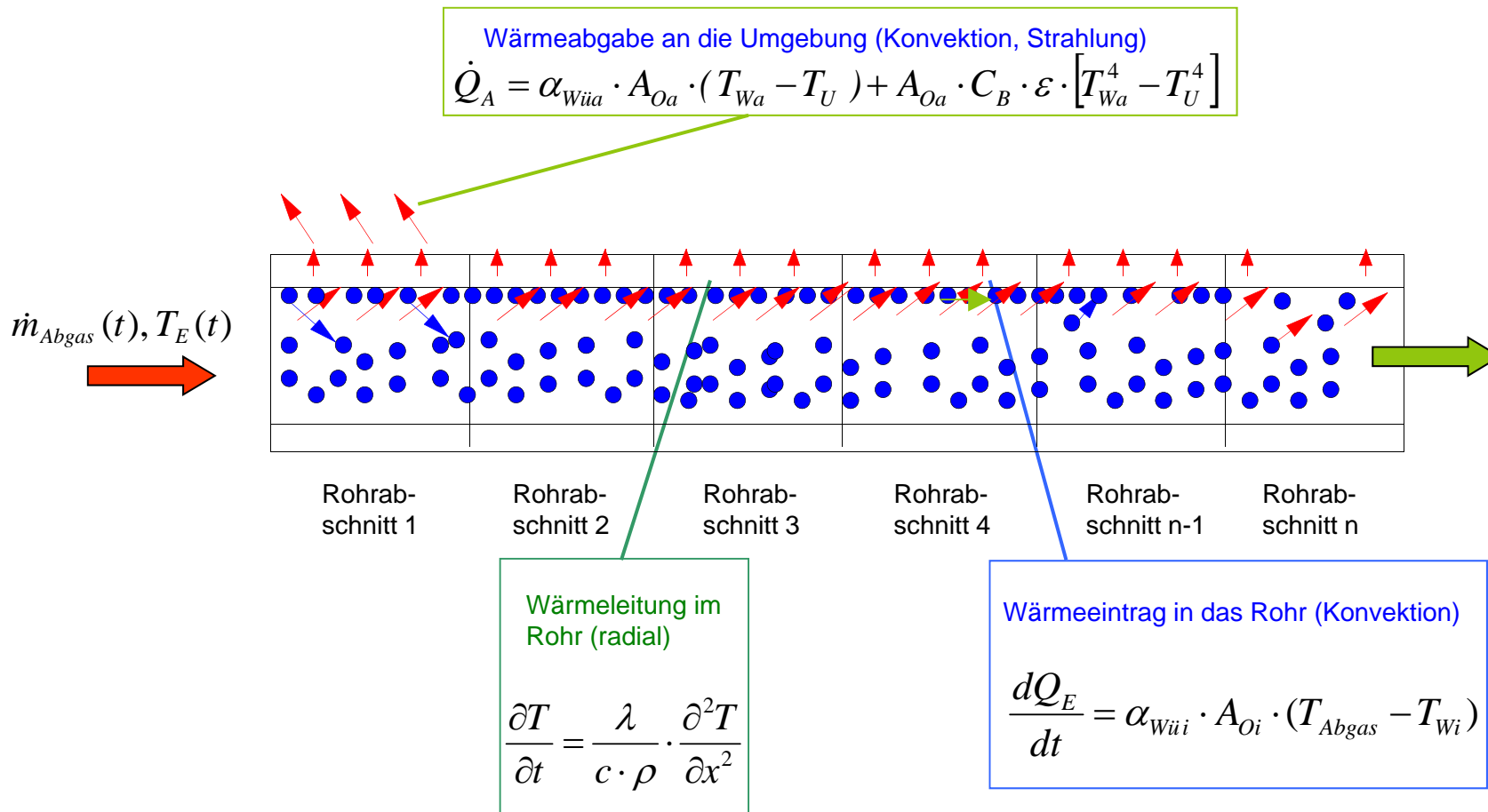
Agenda

- Applikationsprozess
- Modellbasierte Applikation
- Taupunktende Lambdasonden
- **Simulationsmodelle im Abgasstrang**
- Geometriemodelle
- Validierung
- Simulationsergebnisse
- Weitere Simulationen
- Zusammenfassung
- Studentische Arbeiten @IAV

Effekte des Aufheiz- / Abkühlverhaltens an der Abgasanlage



Physikalisches Wärmestrommodell

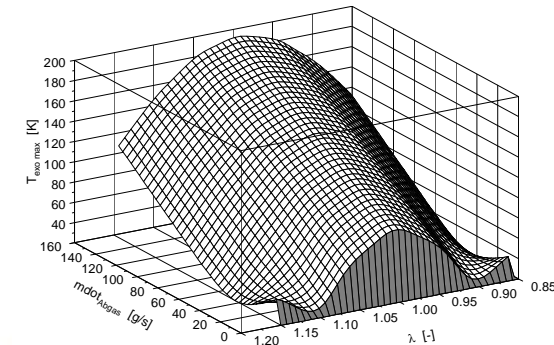
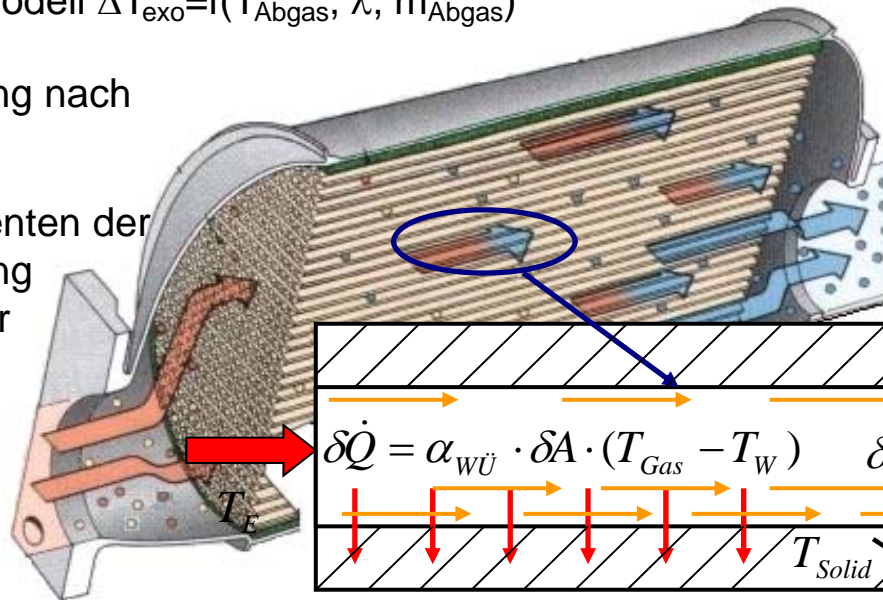


Wärme-/ Exothermiemodell Katalysator

Teilmodelle:

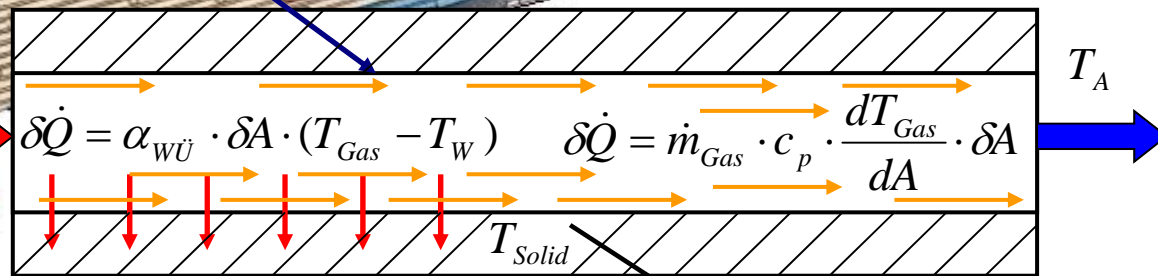
1. Wärmestrommodelle für den Wärmeaustausch zwischen Abgas und Monolith, ggf. Wärmeleitung im Feststoff und Wärmeabgabe an die Umgebung
2. Exothermiemodell $\Delta T_{exo} = f(T_{Abgas}, \lambda, \dot{m}_{Abgas})$

- Modellgleichung nach Lubeski
- Die 5 Koeffizienten der Modellgleichung werden auf der Basis weniger Messungen ermittelt.



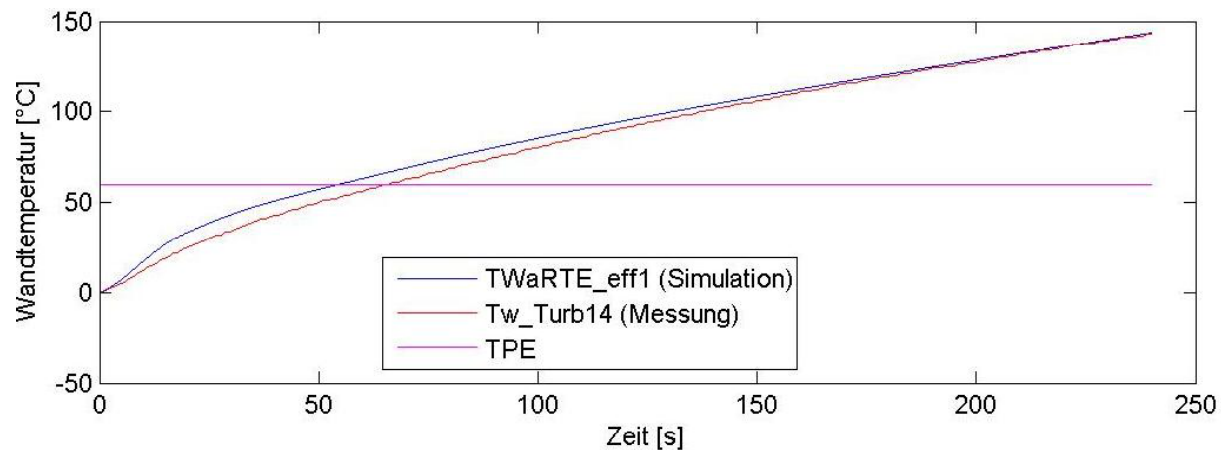
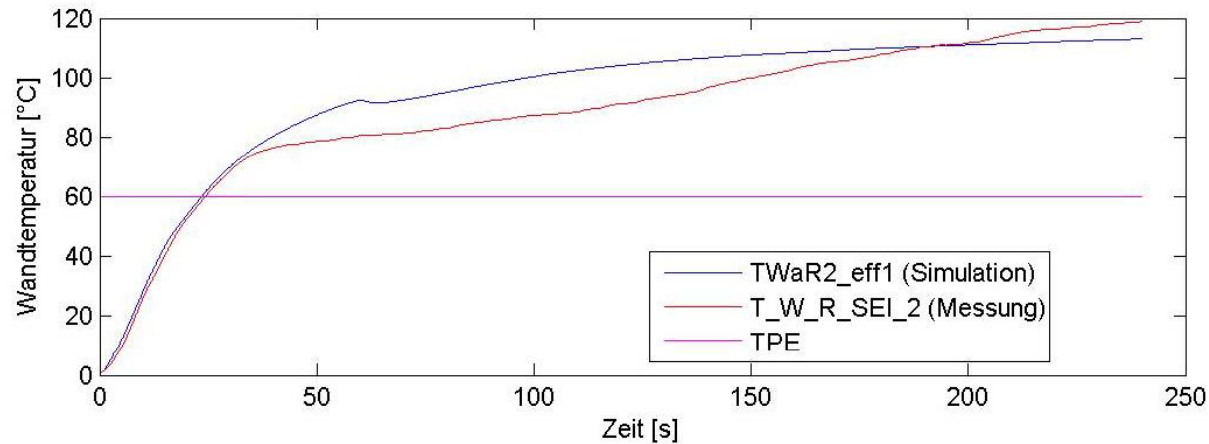
$$T_A = T_A^* + \Delta T_{exo}$$

$$\Delta T_{exo} = \Delta T_{exo \max} \cdot \left(1 - e^{c(T)/\dot{m}_{Gas}}\right)$$



$$\frac{dT_{Solid}}{dt} = \frac{\delta \dot{Q}}{m_{Solid} \cdot c_{Solid}}$$

Optimierung der Temperaturverläufe nach Fehlerabweichung u. Least Square Verfahren

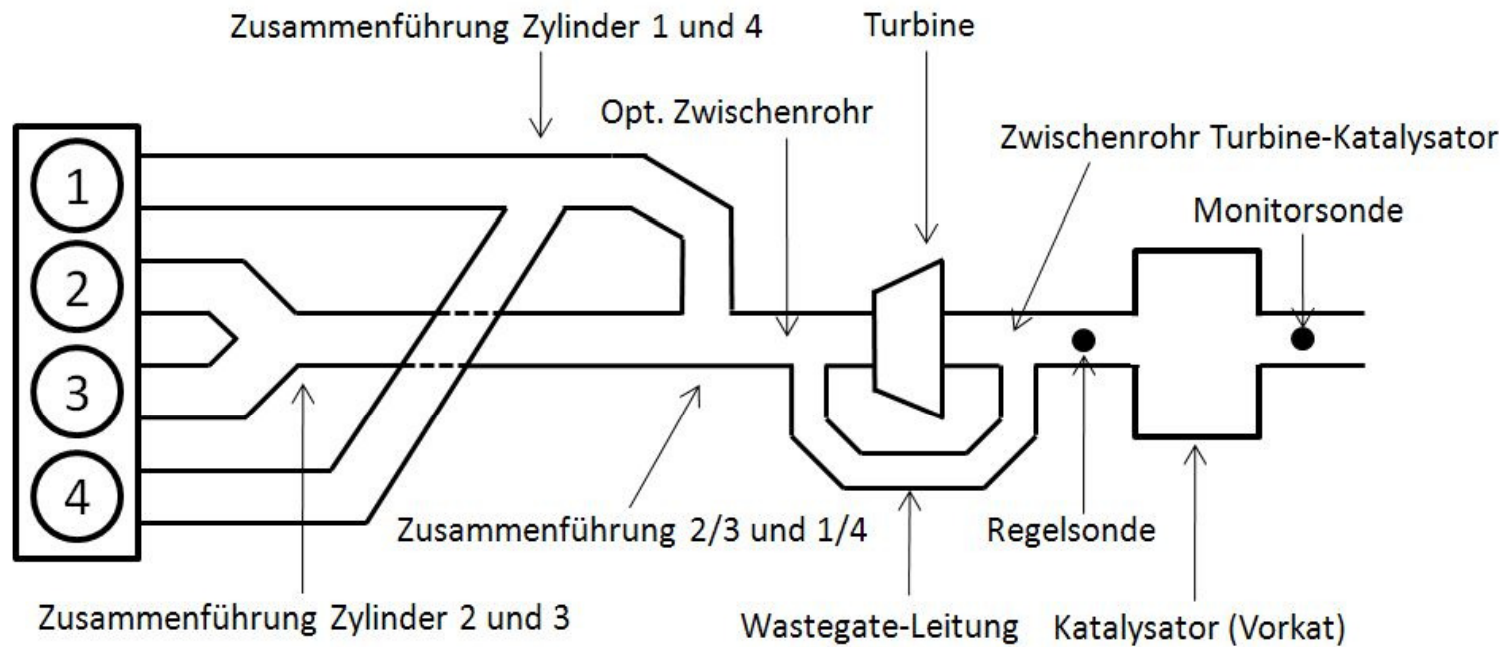


$$SF = \sum_{i=1}^n |T_{Sim} - T_{Mess}|$$

Agenda

- Applikationsprozess
- Modellbasierte Applikation
- Taupunktende Lambdasonden
- Simulationsmodelle im Abgasstrang
- **Geometriemodelle**
- Validierung
- Simulationsergebnisse
- Weitere Simulationen
- Zusammenfassung
- Studentische Arbeiten @IAV

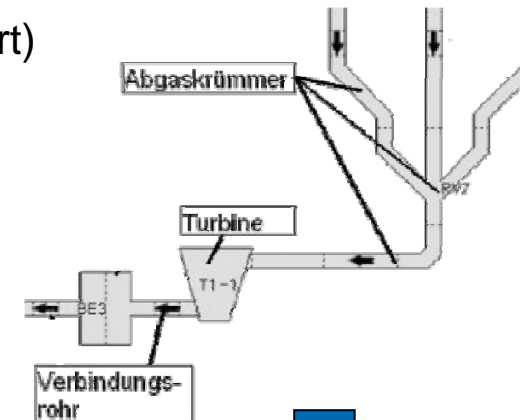
Geometrie einer typischen Abgasanlage



Modellierung der Geometrie

- Grundaufbau des vereinfachten geometrischen Modells im Programm:

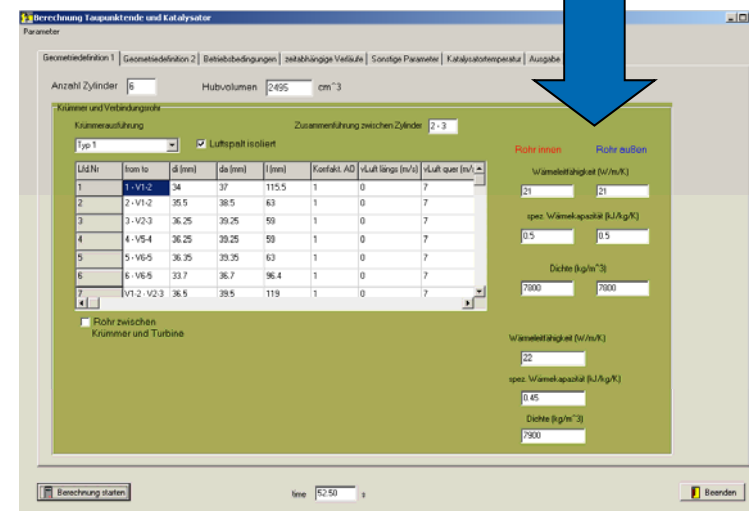
- Krümmer mit Verbindungsrohren (optional luftspaltisoliert)
- optional Zwischenrohr (mehrere Abschnitte möglich)
- optional Turbine
- Rohr bis Lambdasonde (mehrere Abschnitte möglich)



- Überführung der realen Geometrie in ein vereinfachtes Modell

- trotz Vereinfachung: für Verdampfung relevante Eigenschaften korrekt wiederzugeben (z.B Oberflächen, hydraulische Längen, Stoffkonstanten)

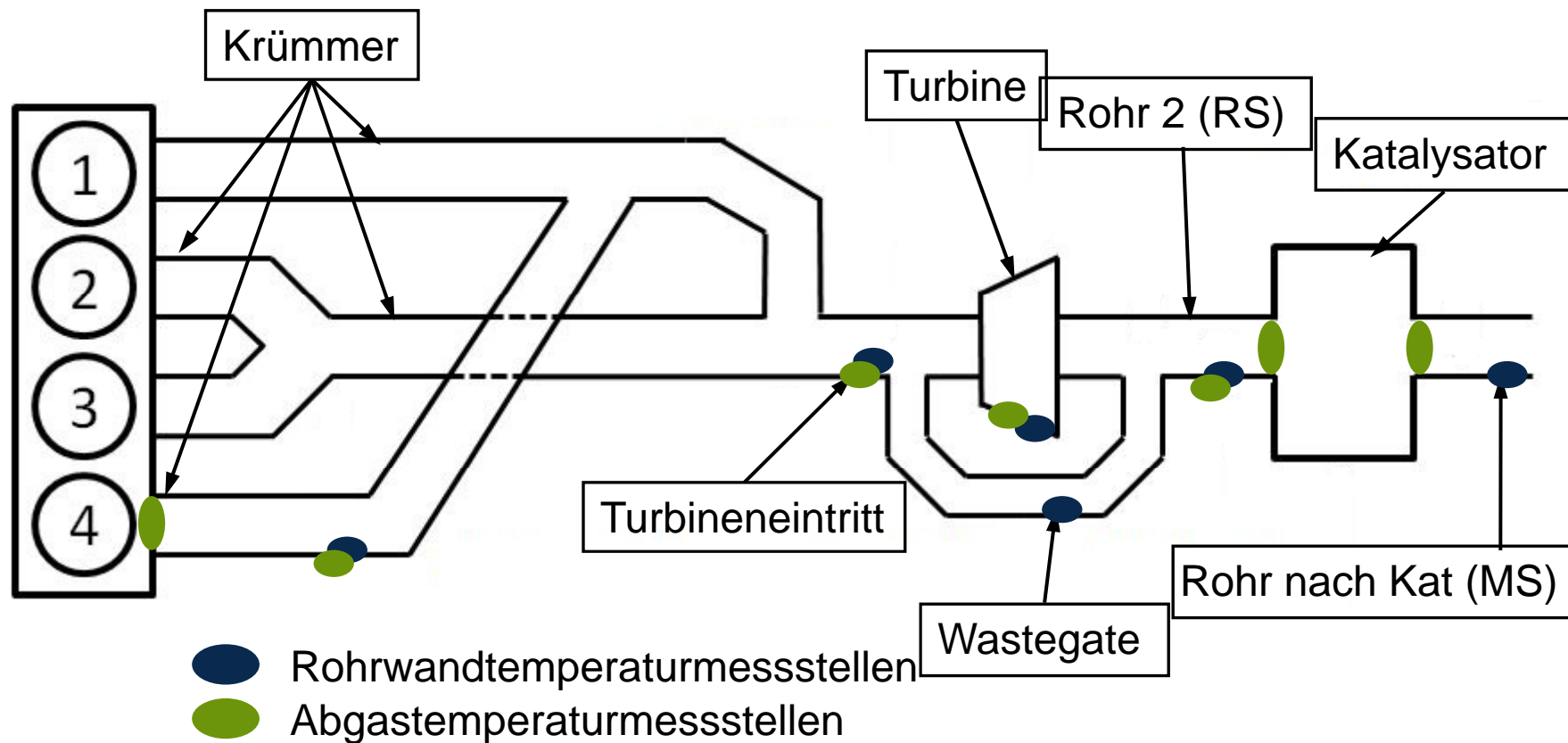
- Einpflegen der Meßstellen für den Abgleich des Modells



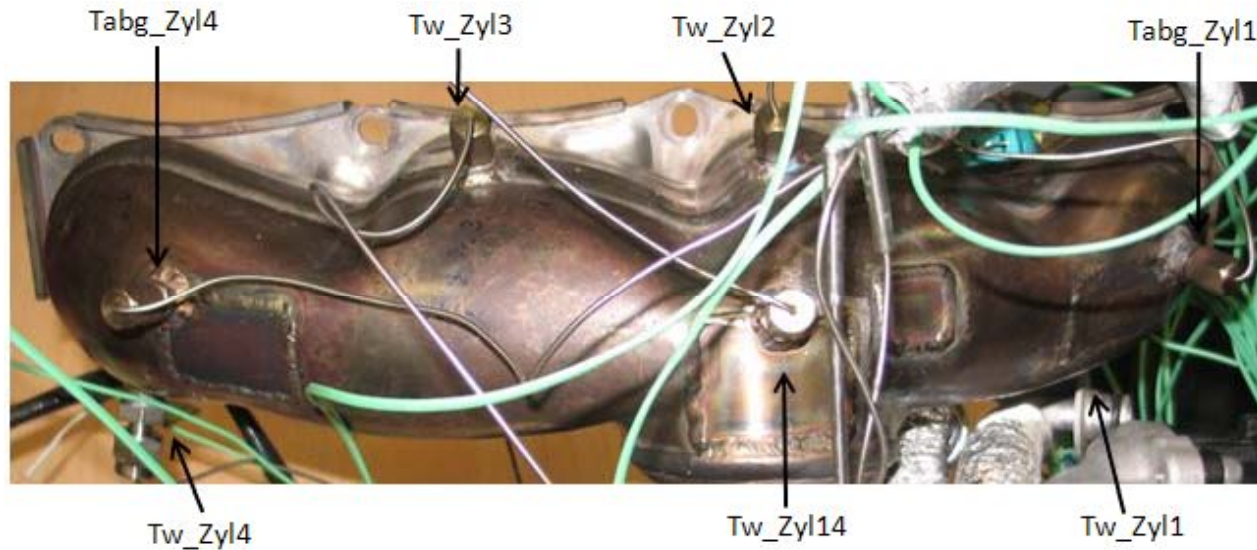
Agenda

- Applikationsprozess
- Modellbasierte Applikation
- Taupunktende Lambdasonden
- Simulationsmodelle im Abgasstrang
- Geometriemodelle
- **Validierung**
- Simulationsergebnisse
- Weitere Simulationen
- Zusammenfassung
- Studentische Arbeiten @IAV

Meßstellenbestückung zur Modellparametrierung



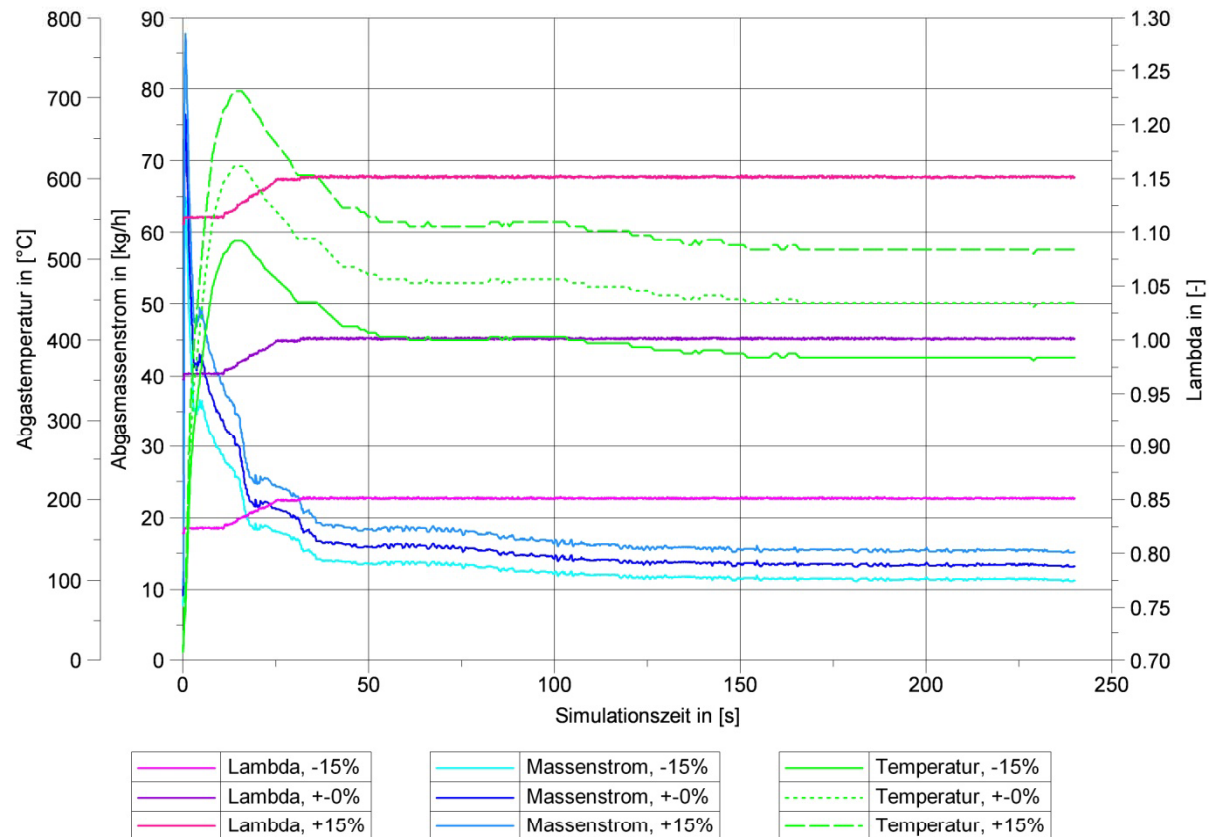
Meßstellenplan beispielhaft am Krümmer



Bezeichnung	Abgasrohr	Referenzpunkt	Abstand [mm]
Tw_Zyl1	Zylinder 1	Motorflansch	30
Tw_Zyl2	Zylinder 2	Motorflansch	30
Tw_Zyl3	Zylinder 3	Motorflansch	30
Tw_Zyl4	Zylinder 4	Motorflansch	30
Tabg_Zyl1	Zylinder 1	Motorflansch	70
Tabg_Zyl4	Zylinder 4	Motorflansch	70
Tw_Zyl14	Zylinder 1 & 4	ATL -Flansch	30

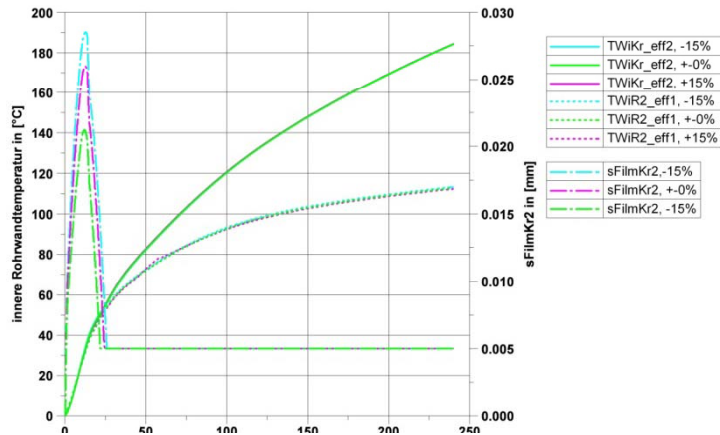
Sensitivitätsanalyse bzgl. der Eingangsdaten

Tool-Eingangsgrößen mit einer Variation von -15%, +0%, +15%

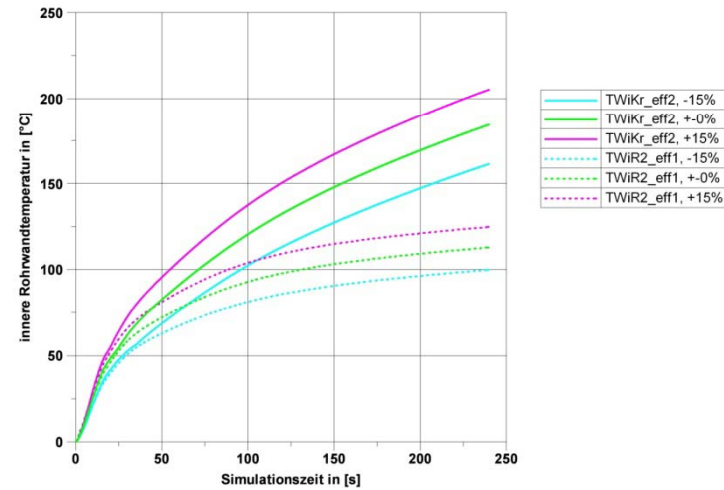


Sensitivitätsanalyse Modellreaktion

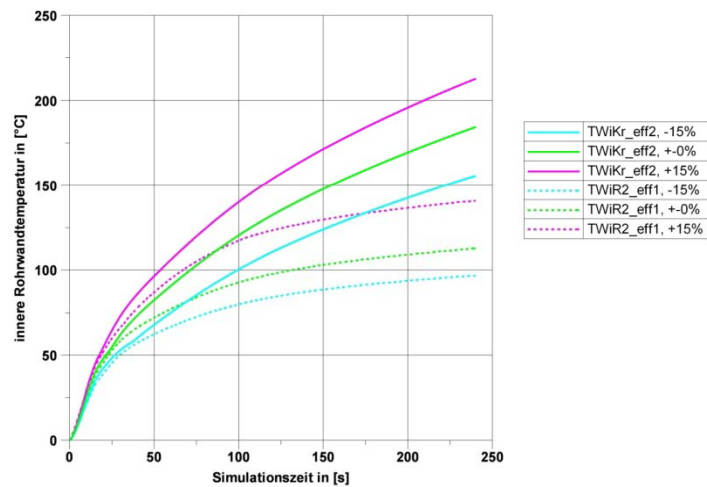
Einfluss bei Variation von Lambda auf die innere Rohrwandtemperatur und den Wandfilm



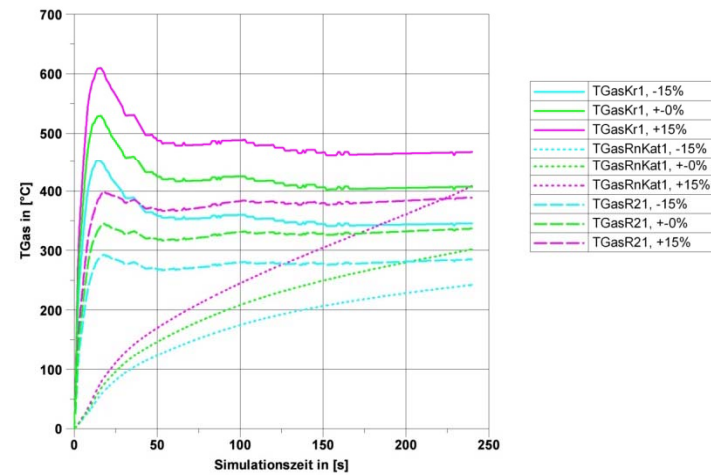
Einfluss bei Variation des Abgasmassenstromes auf die inneren Rohrwandtemperaturen



Einfluss bei Variation der Krümmereintrittstemperatur auf die inneren Rohrwandtemperaturen

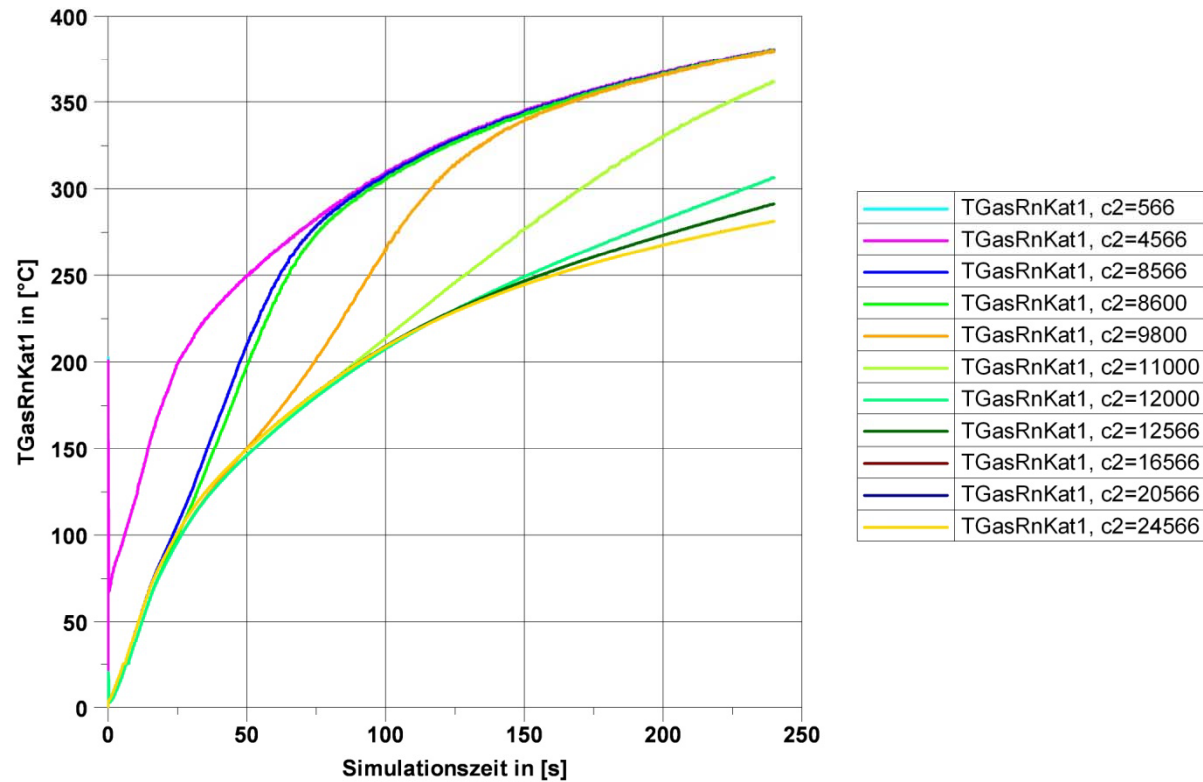


Einfluss bei Variation der Krümmereintrittstemperatur auf die Gastemperaturen



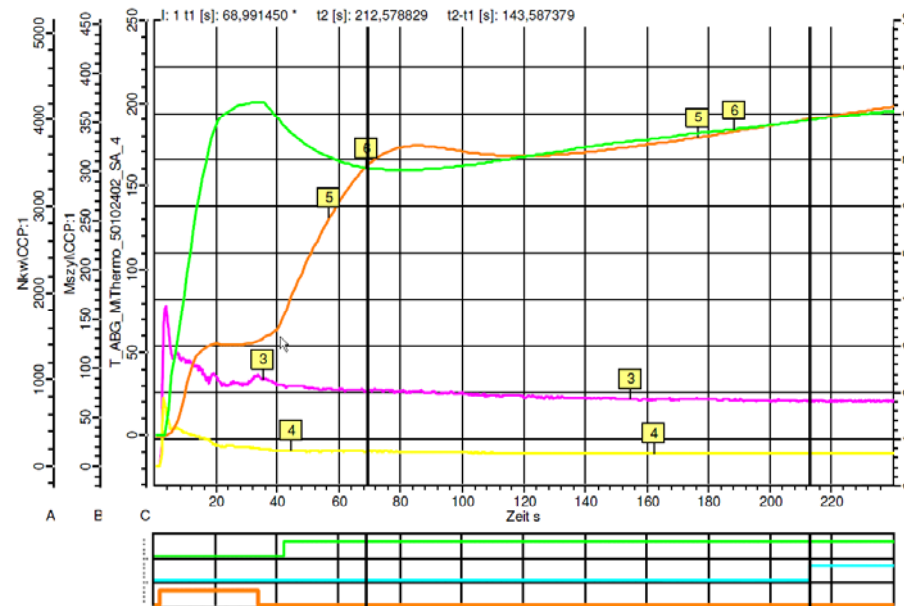
Sensitivitätsanalyse Modellreaktion Katmodell

Einfluss der Konstanten c2 für exotherme Teilreaktion auf die Abgastemperatur



$$\Delta T_{exo\max} = \left\{ \left[A_1^2 + (B_1 + C_1 \cdot \dot{m}_{Abg} + D_1 \cdot (L - L_{\min}))^2 \right]^{-1} + \left[A_1^2 + ((B_1 + C_1 \cdot \dot{m}_{Abg} + E_1 \cdot (L - L_{\min}))^2) \right]^{-1} \right\}^{-0,5}$$

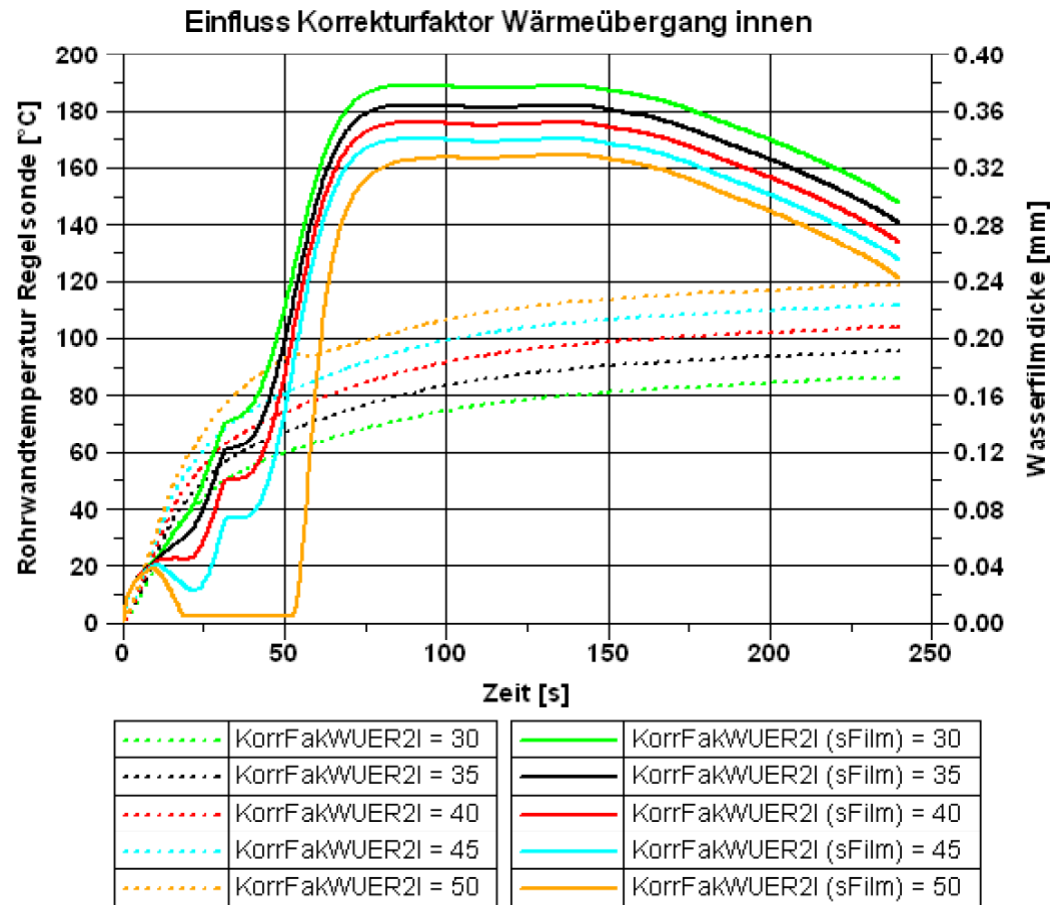
Temperaturverläufe bei Start 0°C



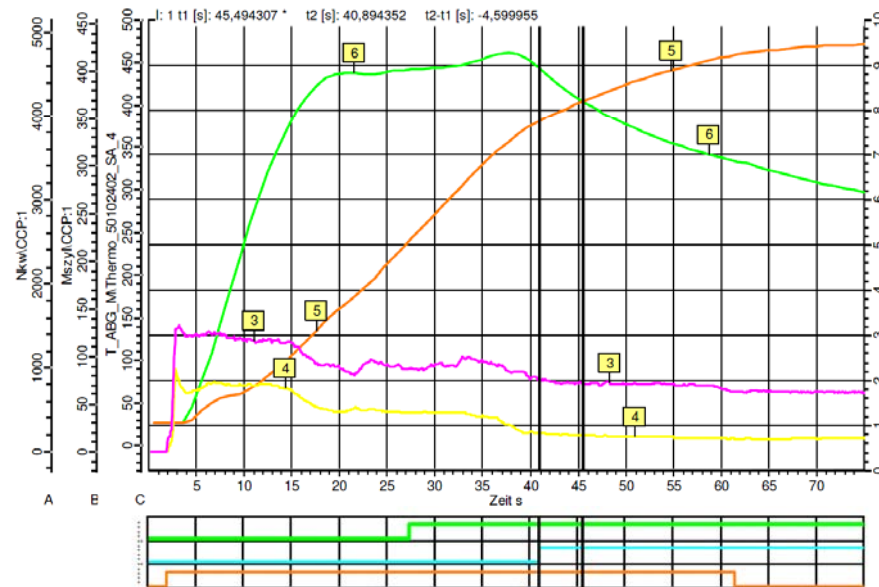
Nr.	Linienfarbe	Einheit	Bezeichnung	Beschreibung
1	Blue	[-]	B_atmtpk	Bedingung TPE-Monitorsonde
2	Orange	[-]	B_kh	Bedingung Katheizen
3	Magenta	[1/min]	nkw	Motordrehzahl
4	Yellow	[kg/h]	MszyI	Angesaugter Luftmassenstrom
5	Orange	[°C]	T_ABG_M	Abgastemperatur nach Katalysator
6	Green	[°C]	T_ABG_R	Abgastemperatur vor Katalysator
A	Black	[-]	A	Schnittpunkt zwischen Verlauf 5 und 6
B	Black	[-]	B	Zeitpunkt TPE-Monitorsonde

Parameteroptimierung Beispiel

Äußere Rohrwandtemperatur

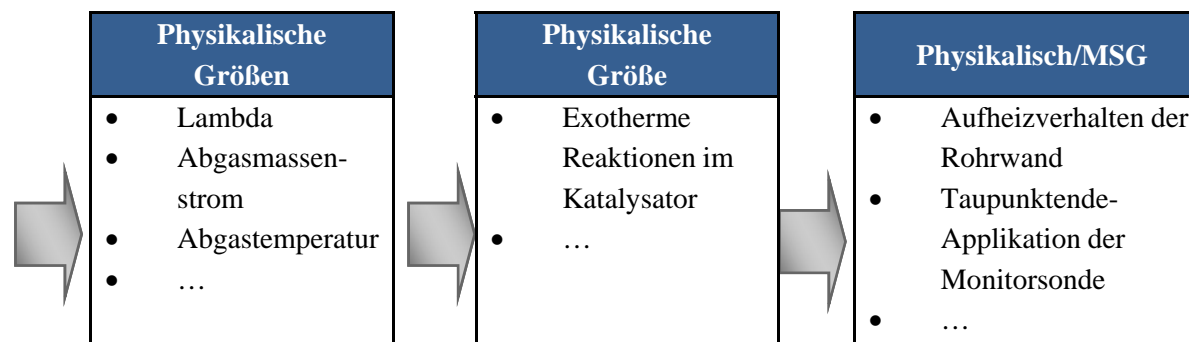
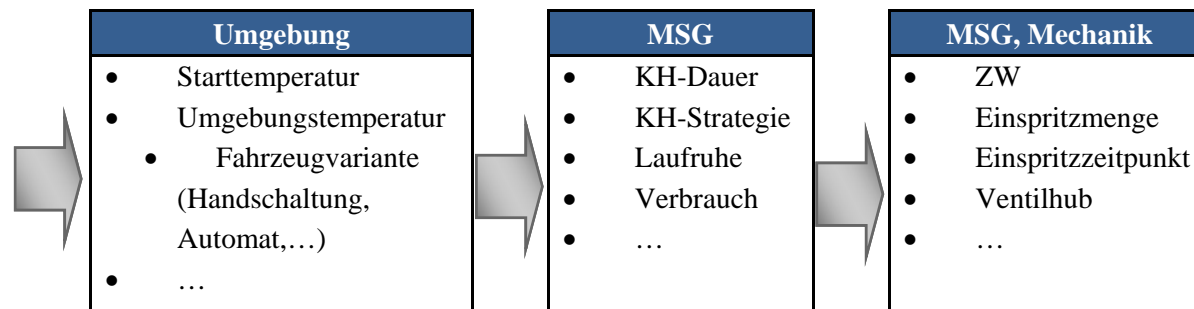


Temperaturverläufe bei Start 25 °C



Nr.	Linienfarbe	Einheit	Bezeichnung	Beschreibung
1	Blue	[-]	B_atmtpk	Bedingung TPE-Monitorsonde
2	Brown	[-]	B_kh	Bedingung Katheizen
3	Magenta	[1/min]	nkw	Motordrehzahl
4	Yellow	[kg/h]	Mszyl	Angesaugter Luftmassenstrom
5	Orange	[°C]	T_ABG_M	Abgastemperatur nach Katalysator
6	Green	[°C]	T_ABG_R	Abgastemperatur vor Katalysator
A		[-]	A	Schnittpunkt zwischen Verlauf 5 und 6
B		[-]	B	Zeitpunkt TPE-Monitorsonde

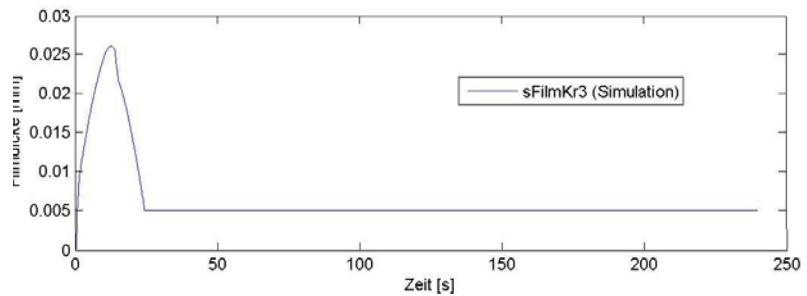
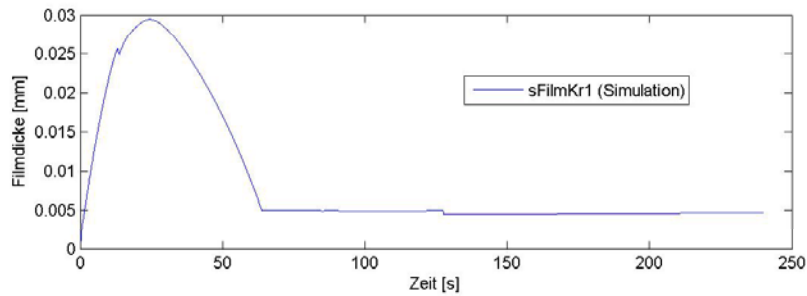
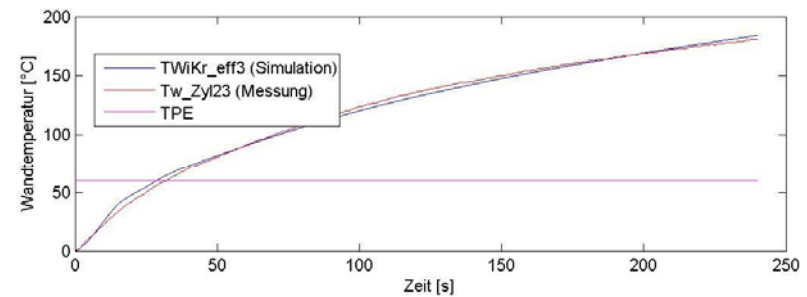
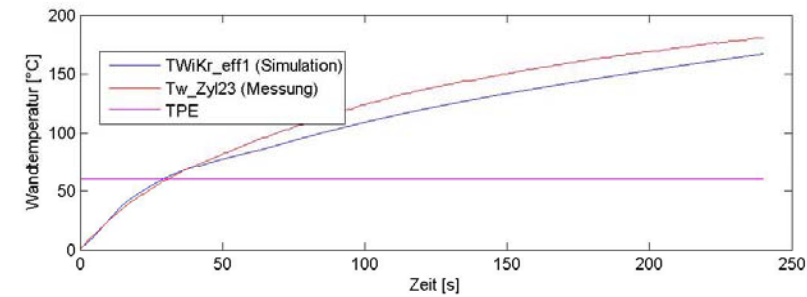
Randbedingungen für die Taupunktendeapplikation in der Motorsteuerung



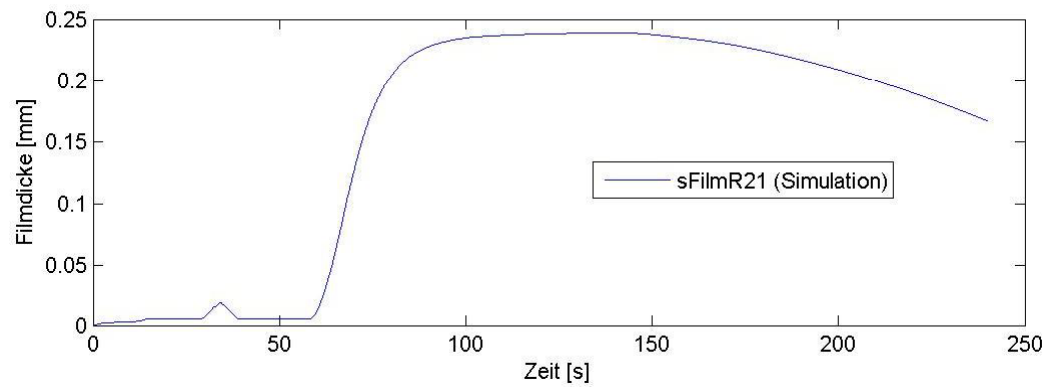
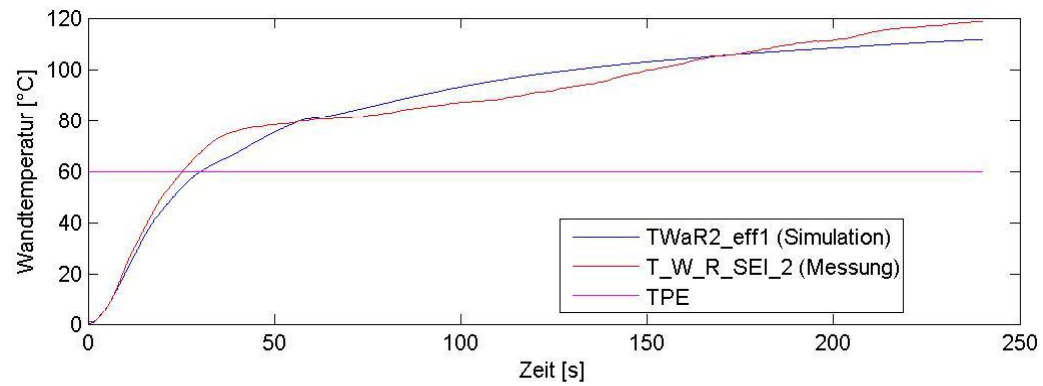
Agenda

- Applikationsprozess
- Modellbasierte Applikation
- Taupunktende Lambdasonden
- Simulationsmodelle im Abgasstrang
- Geometriemodelle
- Validierung
- **Simulationsergebnisse**
- Weitere Simulationen
- Zusammenfassung
- Studentische Arbeiten @IAV

Simulation Krümmer, nach Optimierung bei 0°C Starttemperatur



Simulation Rohr 2, nach Optimierung bei 0°C Starttemperatur



Agenda

- Applikationsprozess
- Modellbasierte Applikation
- Taupunktende Lambdasonden
- Simulationsmodelle im Abgasstrang
- Geometriemodelle
- Validierung
- Simulationsergebnisse
- **Weitere Simulationen**
- Zusammenfassung
- Studentische Arbeiten @IAV

Weitere Simulationen Motorsteuergeräte-funktionen

MIL: Model-in-the-Loop

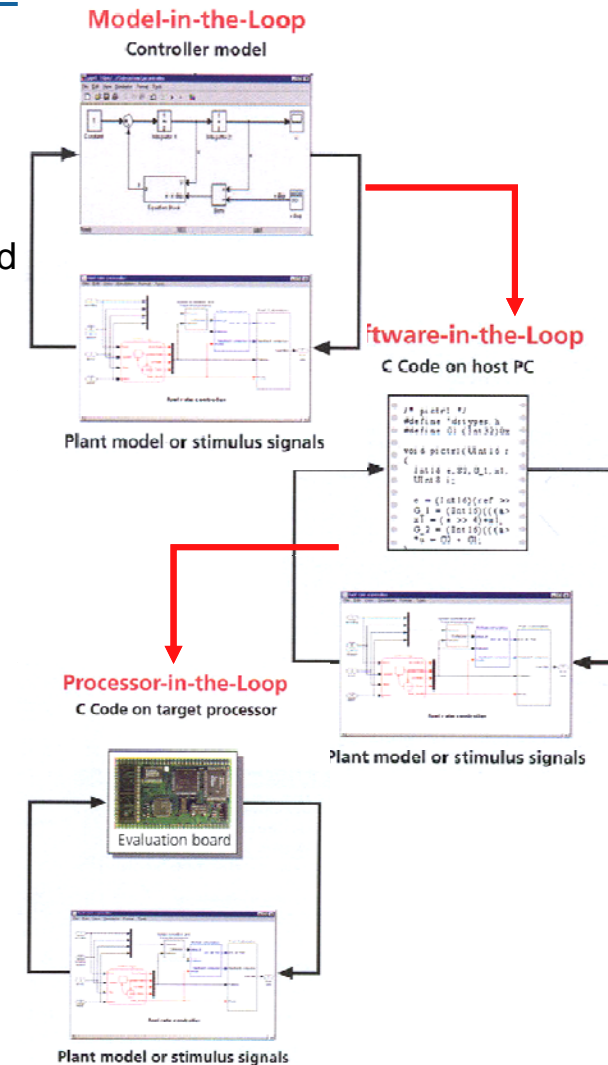
- Test findet ohne spezielle Hardware statt.
- Ein Umgebungsmodell (Bsp. Motormodell) wird benötigt, welches einen hohen Abstraktionsgrad aufweisen darf.
- Die zu entwickelnde Funktion wird in dieses Modell integriert und überprüft.
- Es soll nur die eigentliche Funktionalität nachgewiesen werden.

SIL: Software-in-the-Loop

- Modelle/-Teile werden in die jeweilige Zielsprache überführt und für das aktuelle Simulationssystem (z.B. PC) kompiliert.
- Dies geschieht z.B. per Autocode-Generatoren oder auch noch manuell. Manuell erstellter Code ist auch heute noch bzgl. Speicherplatzbedarf und Performance das Maß der Dinge.
- Der Code kann nun „in the loop“ getestet werden. Hierbei sind z.B. Quantisierungs- und Limitierungseffekte zu beachten.
- Der Test erfolgt noch nicht auf Zielhardware

PIL: Processor-in-the-Loop

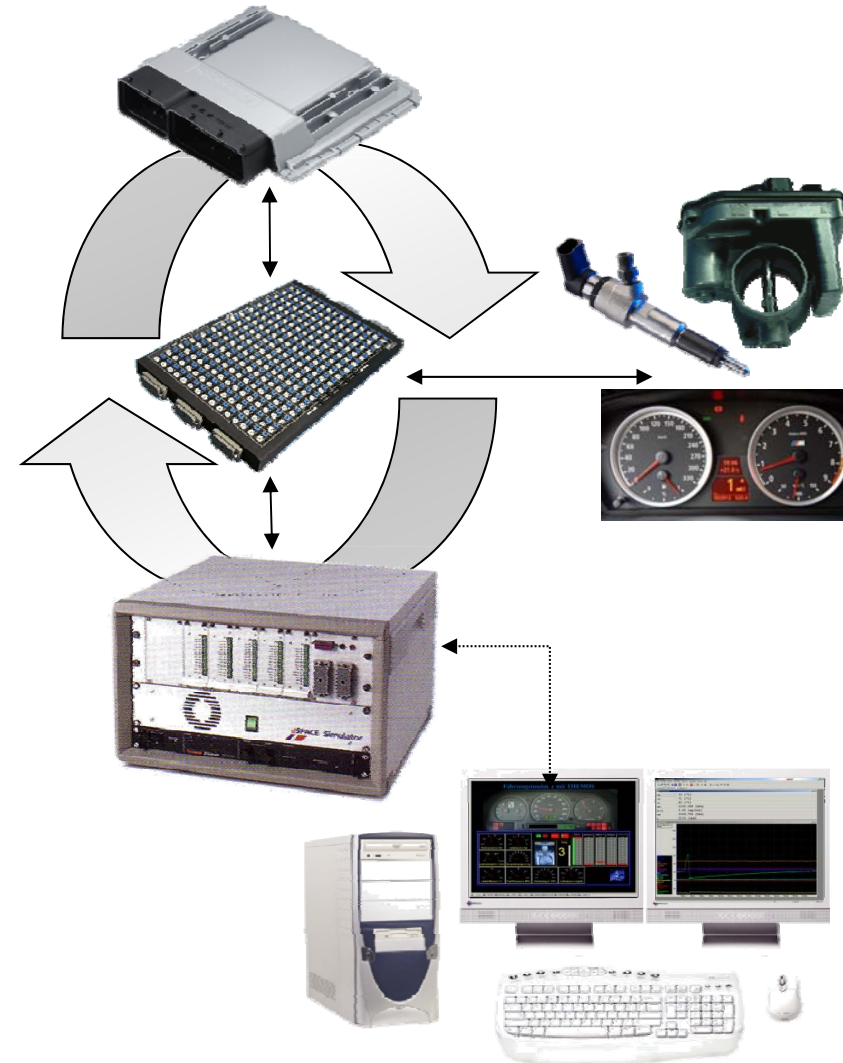
- Code wird für Zielprozessor kompiliert. Hier erfolgt z.B. ein Modultest auf einem Evaluationboard.



Weitere Simulationen Motorsteuergeräte-funktionen

HIL: Hardware-in-the-Loop

- Ein reales Bauteil (Hardware) wird in einem geschlossenen Regelkreis (Loop) betrieben.
- Ziel ist es z.B. ein Steuergerät im virtuellen Fahrversuch zu testen.
- Dazu ist eine Entwicklungsumgebung notwendig, welche die Umwelt nachbildet.
- Diese besteht im Allgemeinen aus einer Simulations- und Hardwareumgebung.
- Echtzeitfähigkeit der Modellsimulation ist unabdingbar.
- Es ist möglich, Hardware-Echtteile oder auch Lastnachbildungen mit dem Steuergerät zu betreiben.
- An einem HiL-System können sowohl Softwarefunktionen als auch Hardwarekomponenten untersucht werden.



Agenda

- Applikationsprozess
- Modellbasierte Applikation
- Taupunktende Lambdasonden
- Simulationsmodelle im Abgasstrang
- Geometriemodelle
- Validierung
- Simulationsergebnisse
- Weitere Simulationen
- **Zusammenfassung**
- Studentische Arbeiten @IAV

Zusammenfassung

- Simulationen sind in vielen Bereichen ein wesentlicher Faktor um
 - Frühzeitig Vorausberechnungen durchführen zu können
 - Bereits in den ersten Prototypenbaustufen gute Steuergerätedaten vorliegen zu haben
 - Meßaufwand bei Varianten oder Bauteiländerungen zu minimieren
 - Zeit und Kosten zu sparen
 - Komplexität bei großen Parameterräumen zu beherrschen
- Im Beispiel der Simulation der Taupunktfreigabe ist das Verhalten der Vorkat- und Nachkatsonde bereits simulierbar
- Potenziale für weiteren Verbesserungsbedarf bei den Katalysator- und Turboladermodellen

Agenda

- Applikationsprozess
- Modellbasierte Applikation
- Taupunktende Lambdasonden
- Simulationsmodelle im Abgasstrang
- Geometriemodelle
- Validierung
- Simulationsergebnisse
- Weitere Simulationen
- Zusammenfassung
- **Studentische Arbeiten @IAV**

Studentische Arbeiten @ IAV

Home » Karriere

Studenten

Wir bieten Studenten zahlreiche Gelegenheiten, Theorie und Praxis erfolgreich miteinander zu verbinden. Ob Praktikum, studentische Mitarbeit, Unterstützung bei der Abschlussarbeit oder als potenzieller Arbeitgeber nach erfolgreichem Studium – bei uns können Sie durchstarten.

Dirk Heckert studierte Fahrzeugtechnik. Parallel ging's zur IAV: Brennverfahrenentwicklung im Bereich Dieselmotorenentwicklung.

Dirk Heckert
Dieselmotorenentwicklung

"Es ist toll, wie gut sich Studium, Hobby und Beruf ergänzen."

209
offene Stellen im Bereich
"Kategorie wählen ..."

Stellen suchen

Initiativbewerbung

Die passende Ausschreibung ist für Sie nicht dabei? Bewerben Sie sich initiativ und teilen Sie uns Ihr Profil und Ihre Vorstellung mit.

Online-Bewerbung

Ansprechpartner

Alle Fragen zur Arbeitswelt und zum Bewerbungsablauf bei IAV beantwortet.

<http://www.iav-inside.com>

Vielen Dank

Dr. Wikhart Löhr

IAV GmbH

Domagkstr. 11b, 80807 München
Telefon +49 89 23542-6640

wikhart.loehr@iav.de

www.iav.com