



Institute for Design and Control of Mechatronical Systems

Identifikation und Modellierung der Dynamik von Emissionsmessgeräten

Parzer Patrick

Johannes Kepler University Linz

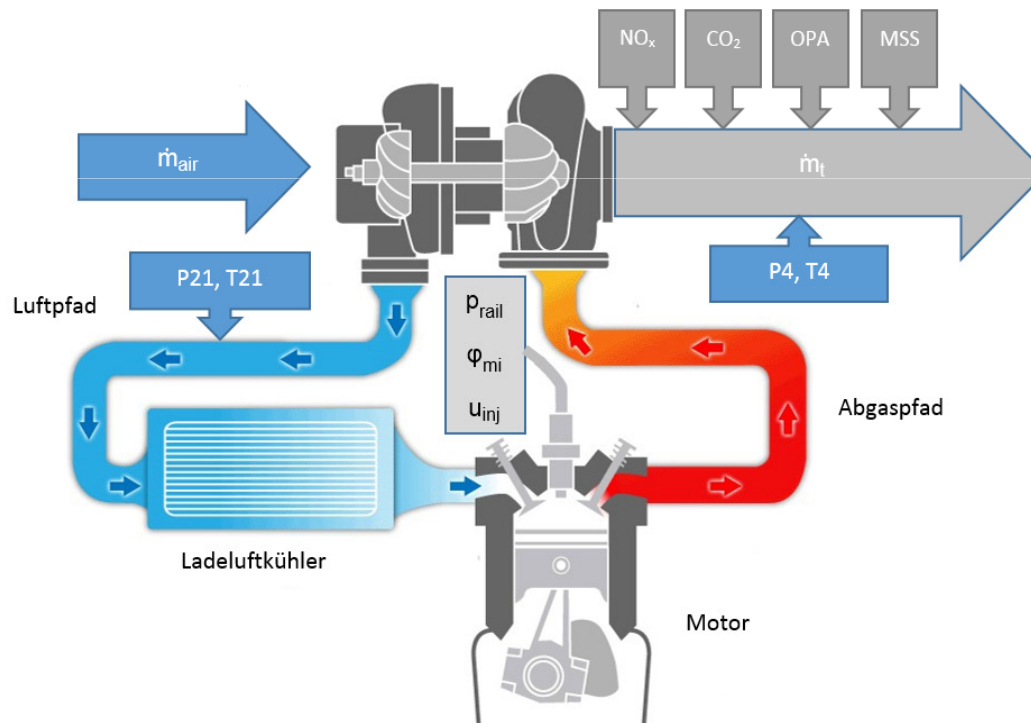
Institute for Design and Control of Mechatronical Systems

Linz, 07.10.2014

1. Aufgabenstellung



- Ziel: Reduzierung der Emissionen
 - Vielzahl an Emissionsmessgeräte zur Erfassung sind notwendig



- Cambustion NOx
- AVL Microsoot MSS
- AVL Opacimeter OPA
- HORIBA MEXA 7100
 - CO2
 - NOx
 - THc
 -
- SmartNOx VDO
- Lambdasensor LSU



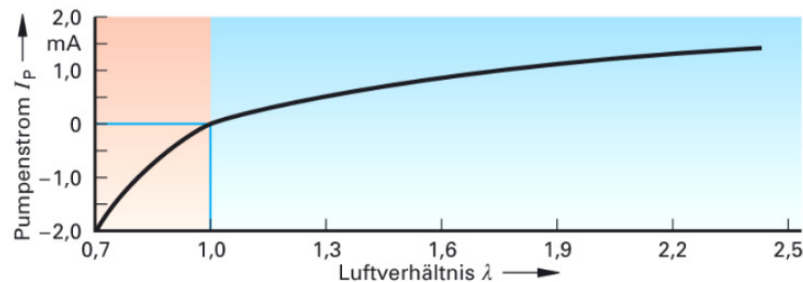
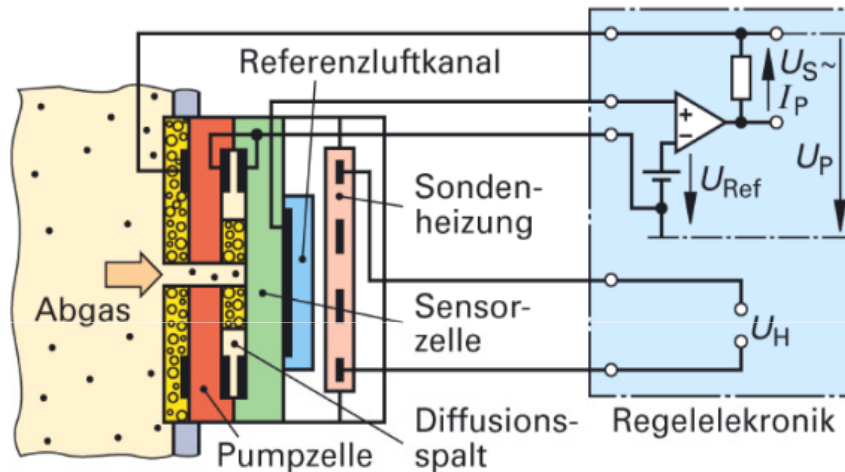
- ✓ Aufgabenstellung
- Messgeräte zur Erfassung der Emissionen
- Dynamische Eigenschaften
- Versuchsplanung
- Messung und Identifikation: Variante 1
- Messung und Identifikation: Variante 2
- Validation anhand NEDC
- Schlussfolgerungen

2. Messgeräte zur Erfassung



Lambdasensor LSU

- Messprinzip:



- Abgas gelangt in Diffusionsspalt
- Sensorzelle vergleicht Sauerstoffgehalt in Diffusionsspalt und im Referenzluftkanal.
- Anlegen einer Pumpspannung U_P , Pumpzelle kann Sauerstoff aus dem Spalt hinein oder hinaus pumpen, so dass die Zusammensetzung im Spalt konstant bei $\lambda = 1$ liegt
- Mageres Abgas $\lambda > 1 \rightarrow I_P > 0$
- Fetteres Abgas $\lambda < 1 \rightarrow I_P < 0$
- Pumpenstrom \rightarrow Sauerstoffgehalt \rightarrow Lambdawert

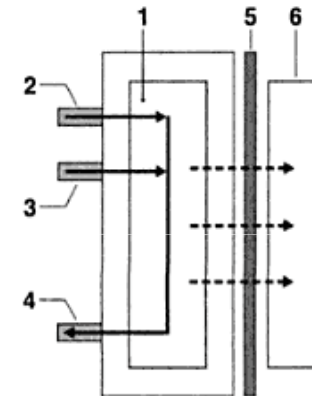
2. Messgeräte zur Erfassung: Stickoxid Messung



Cambustion fNOx 400

- Messprinzip: Chemilumineszenz (CLD)
 1. Messgas wird in der Reaktionskammer (1) mit Ozon gemischt.
 2. Das im Messgas enthaltene NO oxidiert zu NO₂, Moleküle sind teilweise im angeregten Zustand.
 3. Bei der Rückkehr der Moleküle in den Grundzustand wird Energie frei in Form von Licht (→CLD)
 4. Detektor (6) misst emittierte Lichtmenge → Stickstoffmonoxid Konzentration im Messgas.

1 Reaktionskammer, 2 Eingang Ozon, 3 Eingang Messgas, 4 Gasausgang, 5 Filter, 6 Detektor.



SmartNOx VDO

- Messprinzip: Messfühler (Zirkonium Mehrschicht Keramik)

HORIBA MEXA 7100- NOx

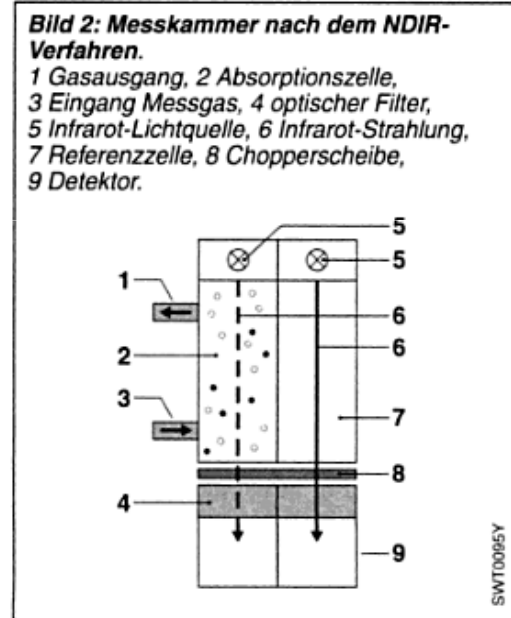
- Messprinzip: Chemilumineszenz (CLD)

2. Messgeräte zur Erfassung: CO2 Messung



HORIBA MEXA 7100- CO2 Messung

- Messprinzip: NDIR Prinzip (non-dispersive Infrared method)
 1. Über einen Strahler erzeugte breitbandige Infrarotstrahlung wird über eine Chopperscheibe durch eine mit Messgas gefüllte Messzelle geführt.
 2. Messkomponenten absorbieren einen bestimmten Wellenlängenbereich der Strahlung
 3. Intensität wird am Ende der Messzelle durch einen Detektor (9) gemessen → CO2 Konzentration



SWT0095Y

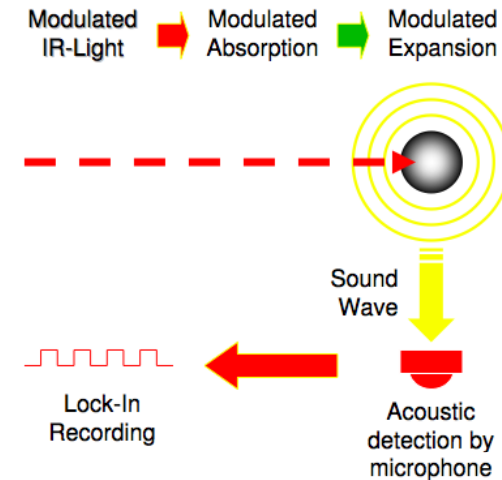
2. Messgeräte zur Erfassung: Partikelmessung



AVL Microsoot MSS- Rußpartikelsensor

Messprinzip: PAS (Photoakustische Spektroskopie)

1. Messgas wird mit einem modulierten Lichtstrahl bestrahlt.
2. Lichtenergie wird von Rußpartikeln absorbiert → Ausdehnung und Kontraktion des Trägergases → Entstehung eines akustischen Signales → wird über Mikrophone aufgenommen.

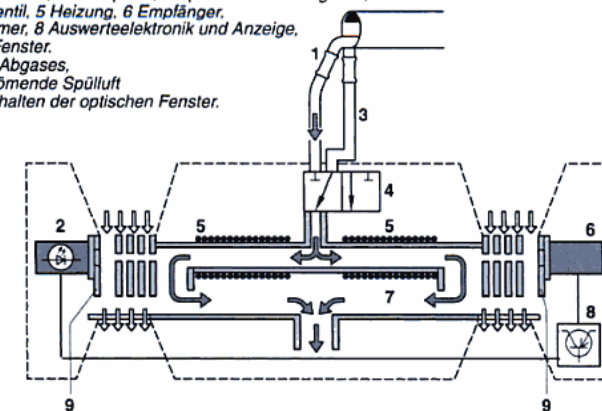


AVL Opacimeter- Trübungsmessgerät

Messprinzip: Beer- Lambert Gesetz

1. Messkammer (7) mit definierter Messlänge wird mit Abgas über Entnahmesonde(1) gefüllt.
2. Lichtschwächung zwischen Lichtquelle (2) und Empfänger (6) wird gemessen → Berechnung der Trübung

1 Entnahmesonde, 2 Lichtquelle, 3 Spülluft für den Abgleich,
4 Kalibrierventil, 5 Heizung, 6 Empfänger,
7 Messkammer, 8 Auswertelektronik und Anzeige,
9 optische Fenster.
➤ Weg des Abgases,
⊃ vorbeiströmende Spülluft zum Freihalten der optischen Fenster.



2. Beer Lambert Gesetz (1729)



$$E_{\lambda} = \lg \left(\frac{I_0}{I_1} \right) = \varepsilon_{\lambda} \cdot c \cdot d$$

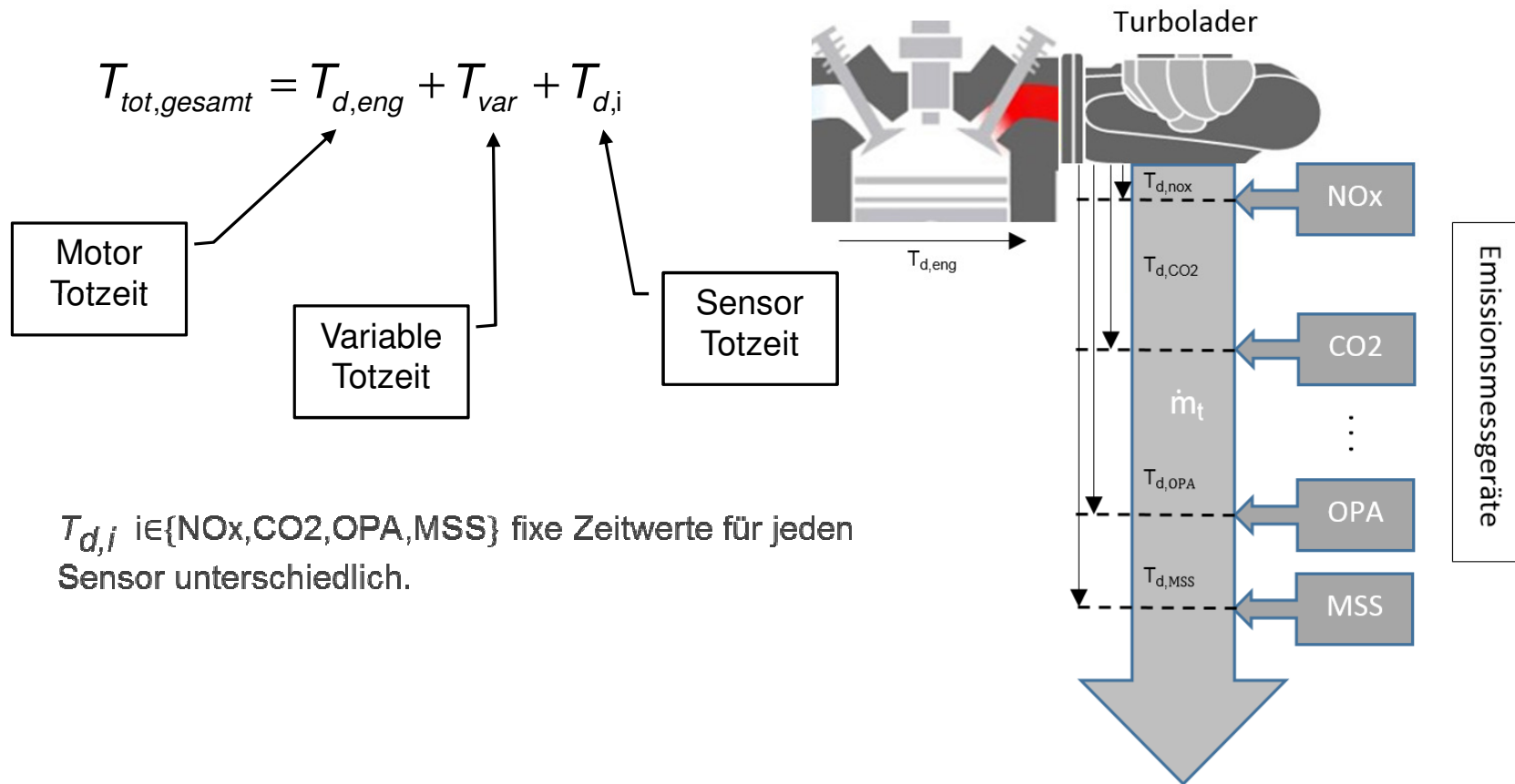
- I_1 : Intensität des transmittierten Lichtes (Einheit: $W \cdot m^{-2}$)
- I_0 : Intensität des einfallenden (eingestrahlt) Lichtes (Einheit: $W \cdot m^{-2}$)
- c : Stoffmengenkonzentration der absorbierenden Substanz in der Flüssigkeit (Einheit: $mol \cdot l^{-1}$)
- ε_{λ} : dekadischer Extinktionskoeffizient (oft auch als spektraler Absorptionskoeffizient bezeichnet) bei der Wellenlänge. Dieser ist eine für die absorbierende Substanz spezifische Größe und kann unter anderem vom pH-Wert oder vom Lösungsmittel abhängen. Bei einer Konzentrationsangabe in Mol wird als dekadischer molarer Extinktionskoeffizient angegeben, beispielsweise in der Einheit $m^2 \cdot mol^{-1}$
- d : Schichtdicke des durchstrahlten Körpers (Einheit: m)





3. Dynamische Eigenschaften-Totzeiten

- Gesamt- Totzeiten werden in 3 Teile aufgeteilt

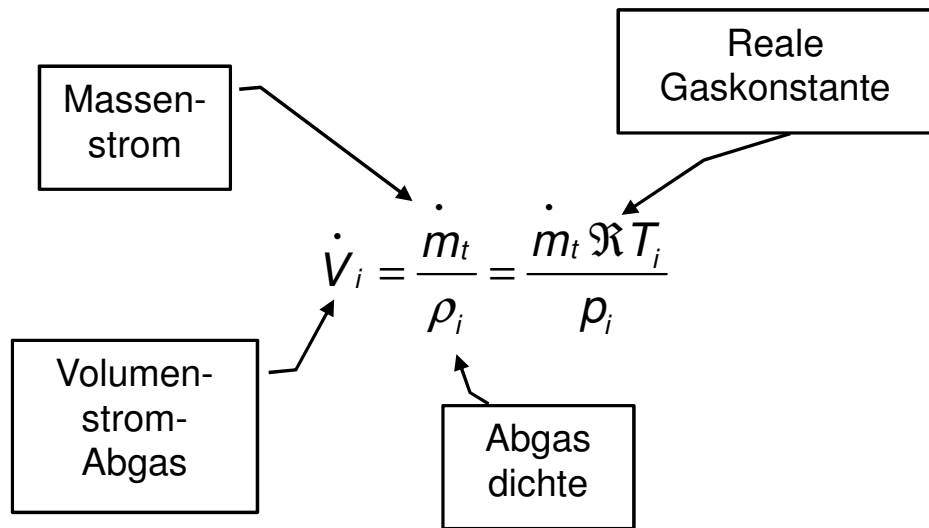




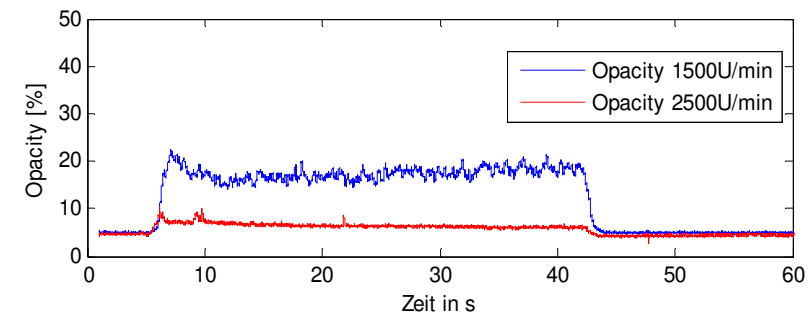
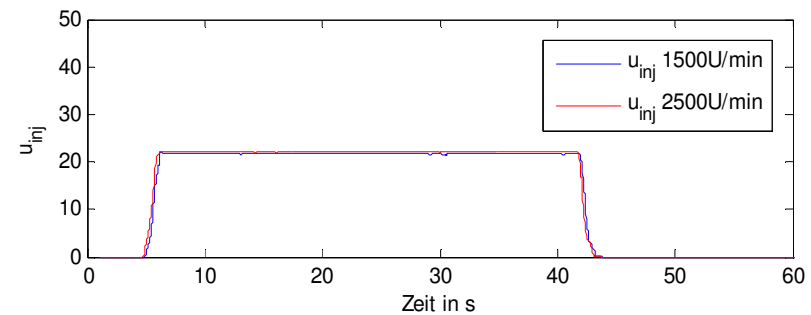
3. Dynamische Eigenschaften- Variable Totzeit

- Veränderung des Betriebspunktes des Motors (Drehzahl, Gaspedalstellung) führt zu unterschiedlichen Totzeiten.

Diese Totzeiten lassen sich über das ideale Gasgesetz ausdrücken:



$$\Rightarrow T_{\text{var}} = \frac{V_i}{\dot{V}_i}$$

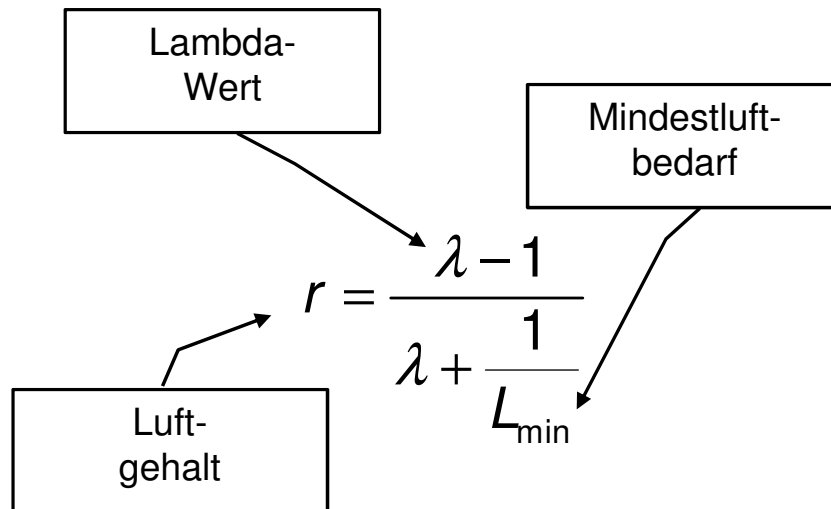


Drehzahl [U/min]	Totzeit [s]
1500 (blau)	0,687
2500 (rot)	0,452



3. Reale Gaskonstante \mathfrak{R}

- Um reale Werte für die Gaskonstante zu bekommen wurde der Satz von Zacharias (1966) herangezogen.



Mindestluftbedarf für Diesel	14,33
------------------------------	-------

$$\mathfrak{R} = \frac{\tilde{R}}{28.89758 + 0.06021 \cdot r}$$

Universelle Gaskonstante $\tilde{R} = 8.314 \text{ J/mol K}$



3. Ansatz von Zacharias (1966)



- Betrachtung der Inneren Energie des Gases im Zylinder.
- Ansatz von Justi (1938) Gaszusammensetzung wird über das Verbrennungsluftverhältnis ausgedrückt.
- Zusammensetzung des Abgases ist als konstant vorausgesetzt.
- Genauere Informationen bezüglich dieses Themas findet man in der Dissertation von Zacharias: Analytische Darstellung der thermodynamischen Eigenschaften von Verbrennungsgasen, TU Berlin 1966.

3. Ansatz von Zacharias (1966)



- X und Y sind die Molanteile
- Aus der Molmasse des Kraftstoffes ergibt sich mit den entsprechenden Molanteilen C und H ein Massenanteil c für Kohlenstoff und h für Wasserstoff

C	X=10.8	c=0.874
H	Y=18.7	h=0.126
O	Z=0	o=0
Mindestluftbedarf	14,33	
Molmasse C	12.0107g/mol	
Molmasse H₂	2.0588 g/mol	

- Über die Sauerstoffbilanz ergibt sich:

$$n_{O_2, \min} = c \cdot \frac{1}{M_c} + h \cdot \frac{1}{2} \cdot \frac{1}{M_{H_2}}$$

- Mit den Anteilen von 21 % Sauerstoff in der Verbrennungsluft und der Molmasse für Luft von 28.85 g/mol ergibt sich der Mindestluftbedarf zu:

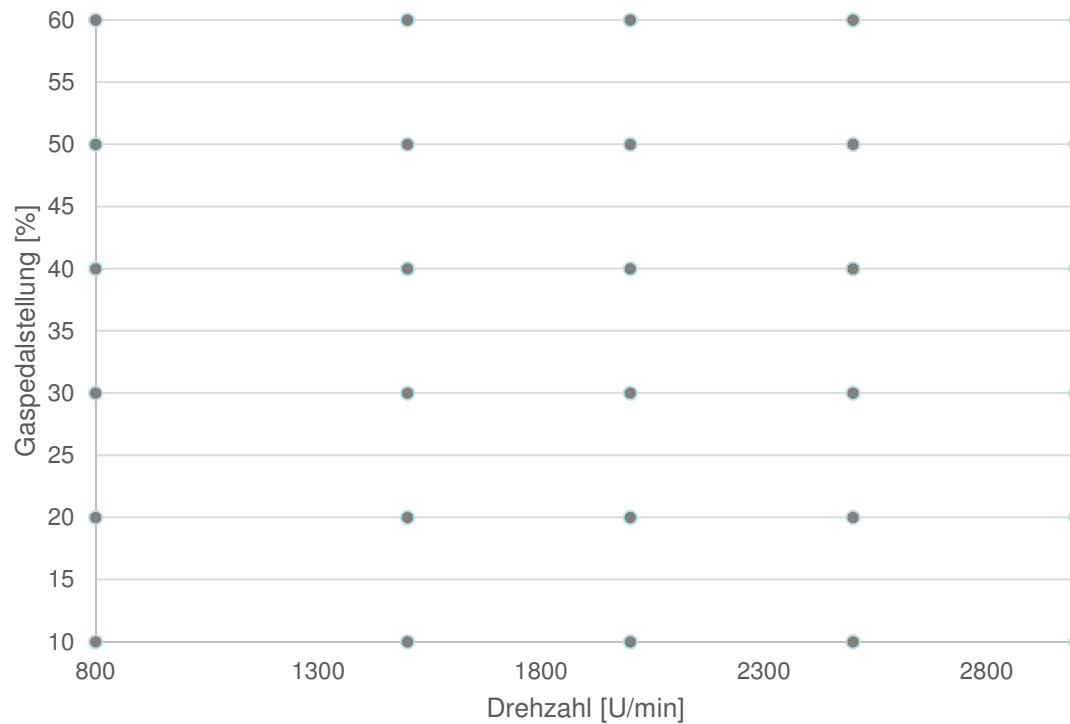
$$L_{\min} = \frac{n_{O_2, \min}}{0.21} \cdot M_{Luft}$$



4. Versuchsplanung



- Festlegung des Betriebsbereiches des Motors
 - Drehzahlbereich: 800- 3000 U/min
 - Gaspedalstellung: 10- 60%

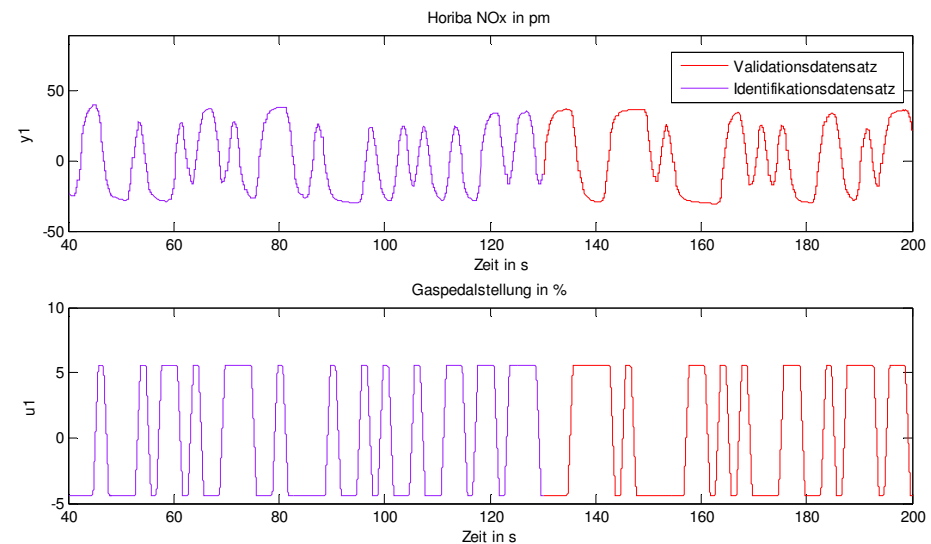


5. Modellbildung



- Variante 1: Direkte Methode
 - Die Anregung erfolgt über die Gaspedalstellung in Form eines PRBS.
 - Durchführung der Messungen in den Betriebspunkten.
 - Identifizieren und Validieren der Modelle.

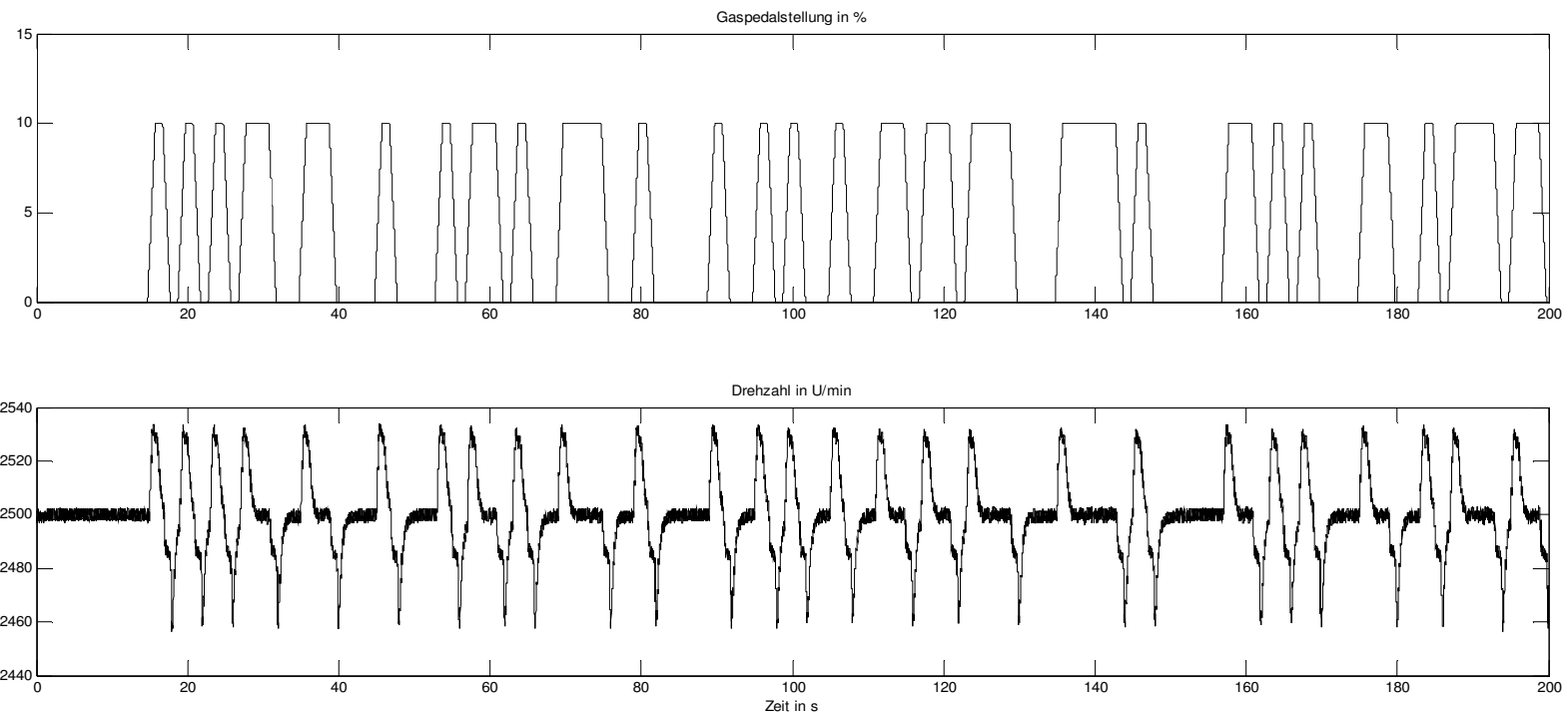
- 1) Zusammenfassen des Datensatzes mit iddata
- 2) Laden des Datensatzes und entfernen der Mittelwerte
- 3) Teilung der Datensätze
- 3) Durchführen der Identifikation (Modellstrukturen,...)



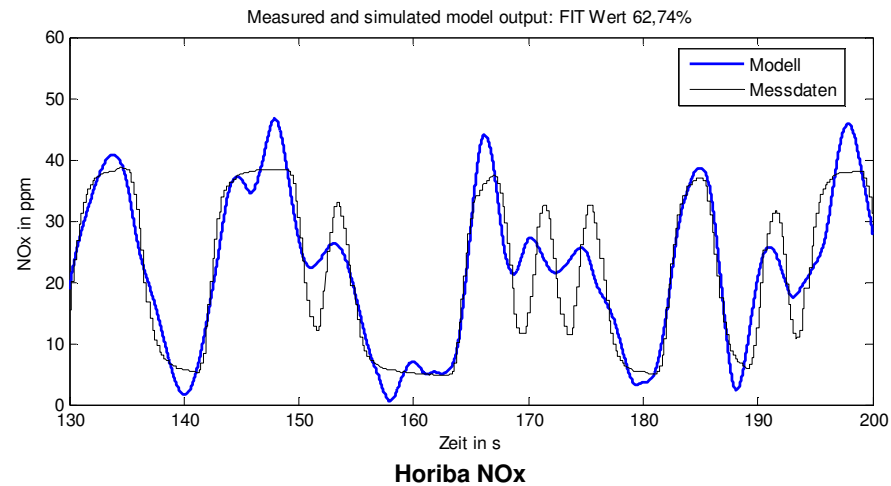
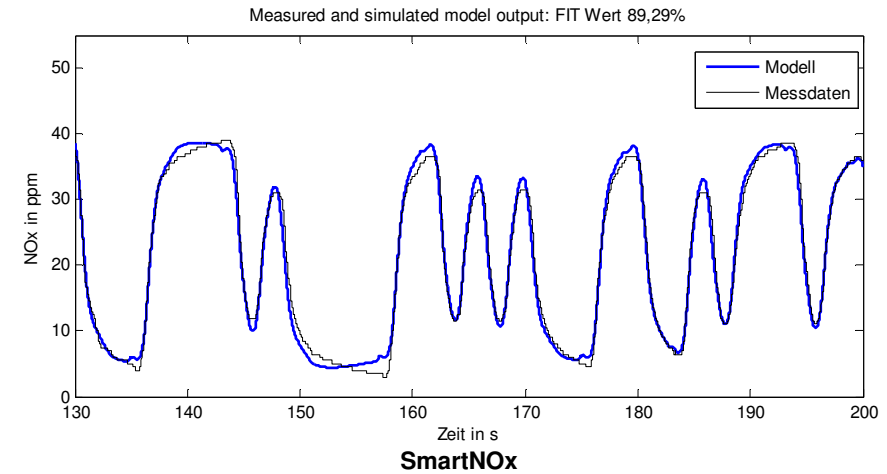
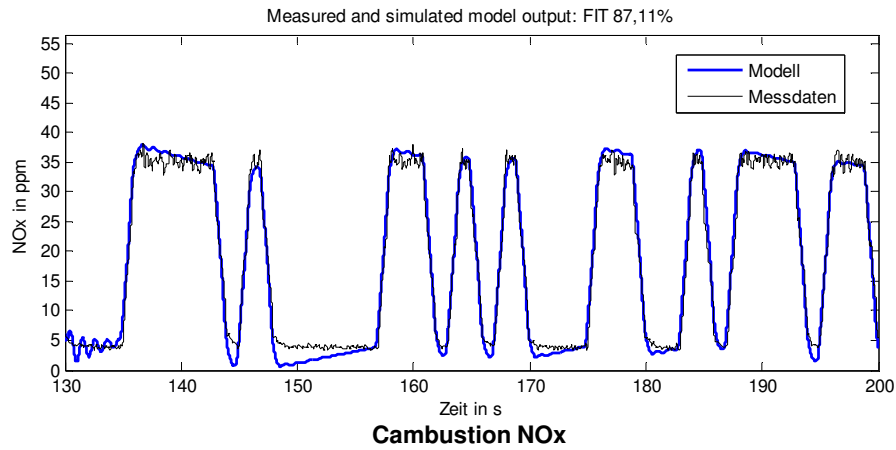
5. Modellbildung Variante 1



- Messvorgang
 - Drehzahlvorgabe: 2500 U/min
 - Gaspedalstellung 0- 10%



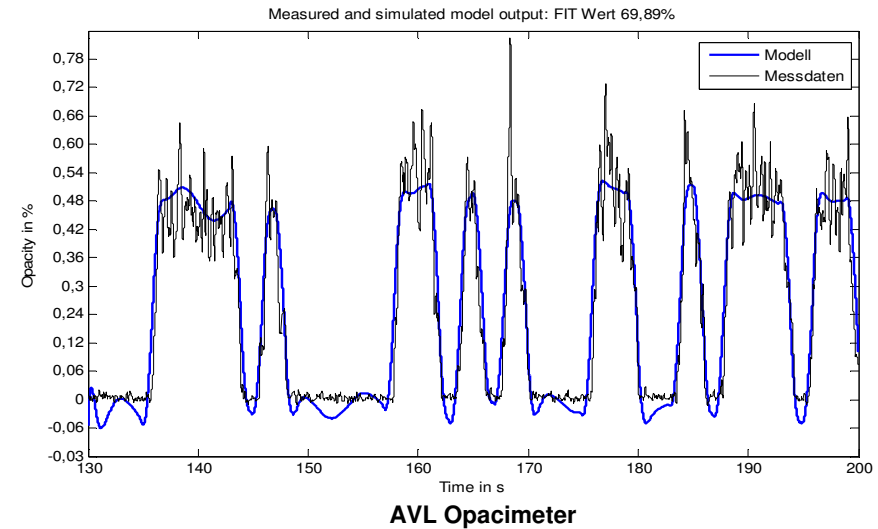
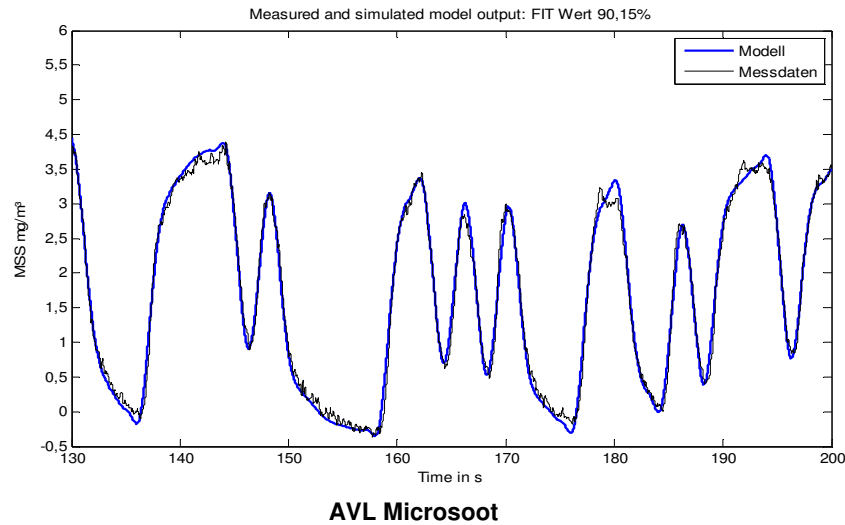
5. Modellbildung Variante 1



Modellstruktur:
tf: 5 poles; 4 zeros

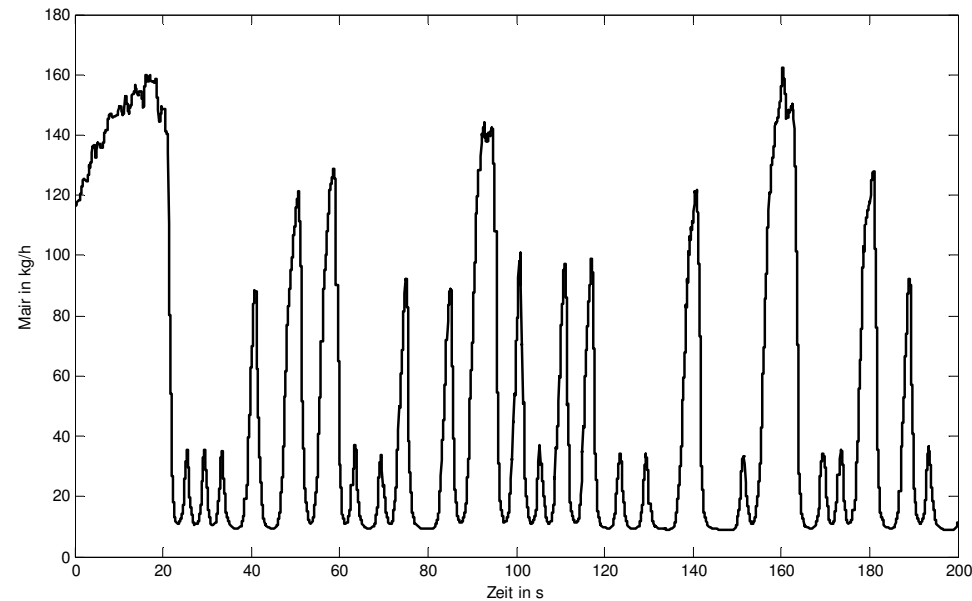


5. Modellbildung Variante 1



	max. Wert	Modellstruktur	FIT Wert
CamNOx	38,9855 ppm	tf: 5 poles 4 zeros	87,11%
Horiba Nox	38,963 ppm	tf: 5 poles 4 zeros	62,74%
Smart Nox	39,218 ppm	tf: 5 poles 4 zeros	89,29%
AVL MSS	6,98 mg/m ³	tf: 5 poles 4 zeros	90,15%
AVL Opacity	0,442%	tf: 5 poles 4 zeros	69,89%

5. Modellbildung Variante 1

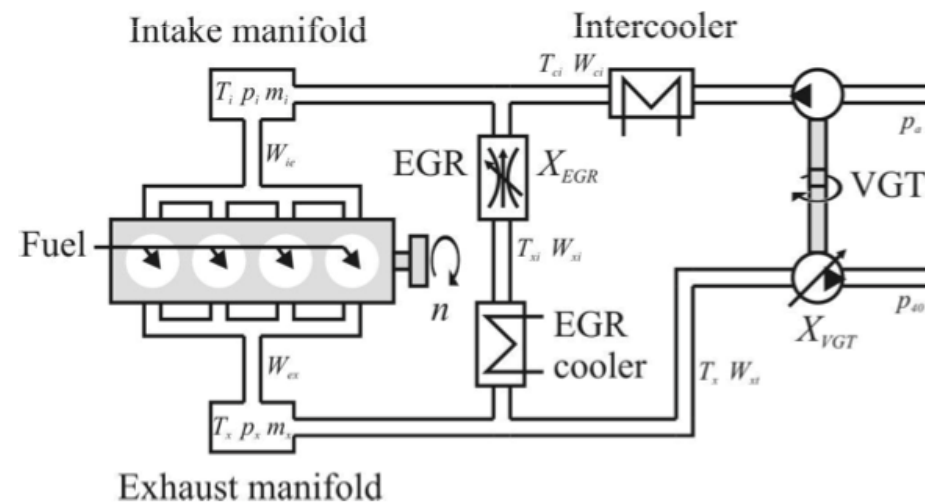


- Bei der Variante 1 wird durch die Anregung über das Gaspedal der Luft- und der Einspritzpfad angeregt.
- Die Totzeiten des Luftpfades sind im Ergebnis enthalten → Nur Einspritzparameteranregung.



5. Modellbildung Variante 2- Anregungssignal

- Gesucht ist ein Anregungssignal, bei dem der Luftpfad nicht mitangeregt wird.
- Das Anregungssignal muss eine Einspritzbezogenen Komponente sein, da die Anforderung ist, dass der Luftpfad nicht mitangeregt wird.

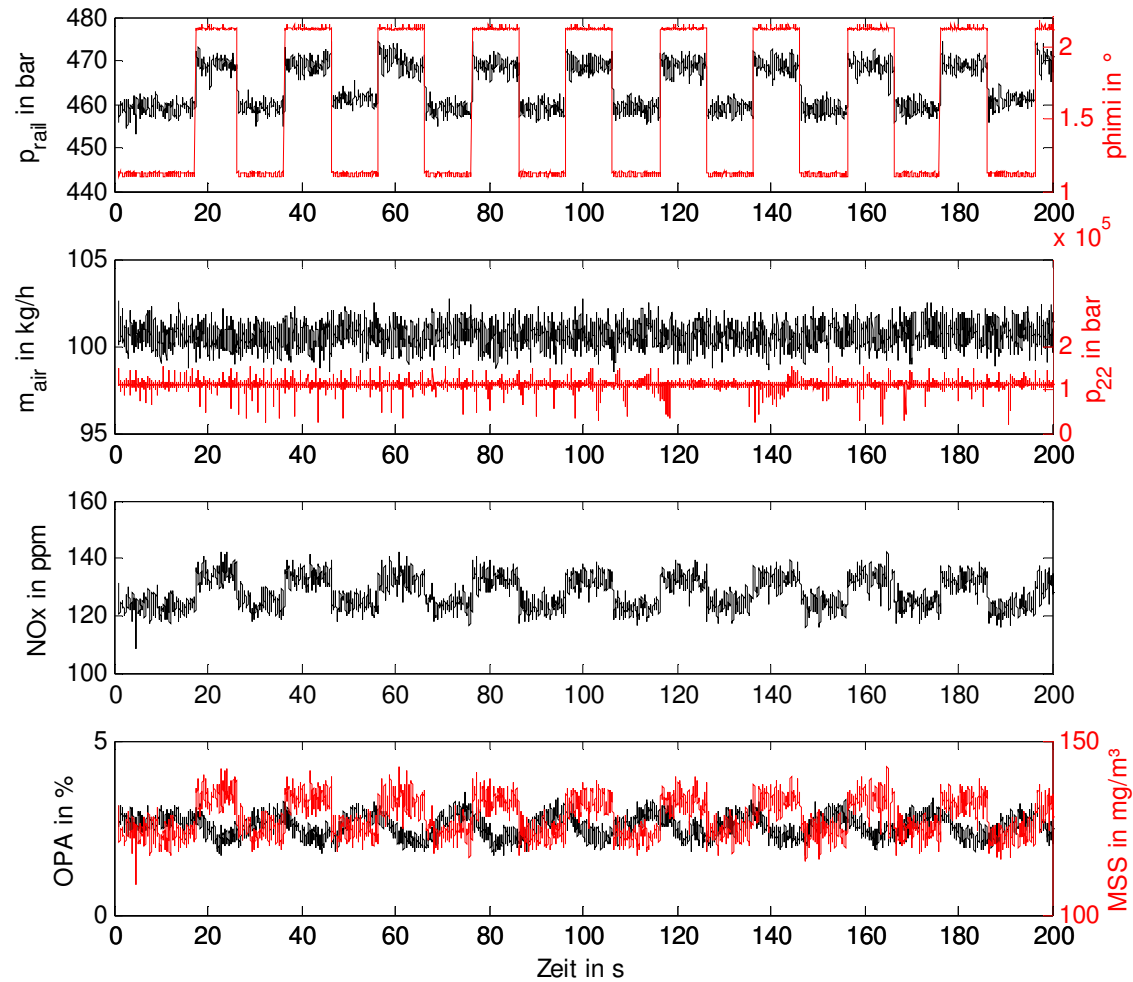


5. Modellbildung Variante 2- Anregungssignal



Kombination aus:

- Common Rail Druck
- Einspritzwinkel



5. Modellbildung Variante 2- Vorgehensweise

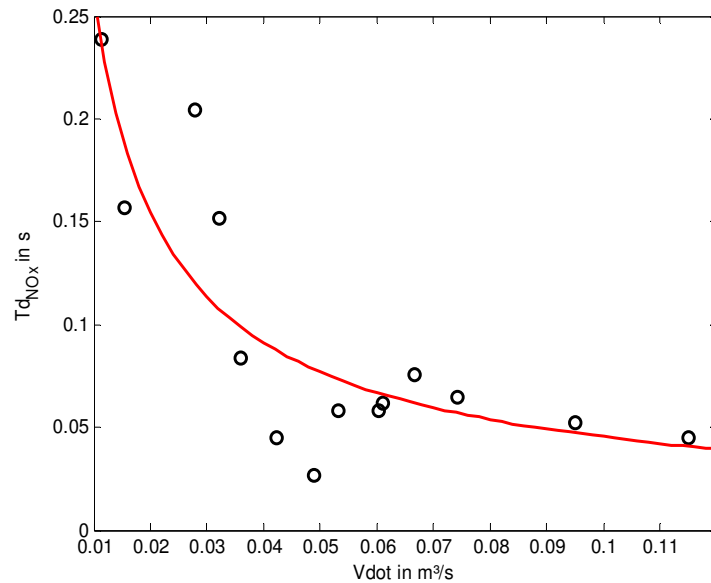


1. Totzeiten werden aus Ausgangs- und Eingangsdatensätzen ermittelt.
2. Totzeiten werden über den Abgasvolumenstrom aufgetragen.
3. Datensatz wird von der Totzeit befreit.
4. Modelle werden erstellt: PTn- Modelle, notwendig zur Validierung der Totzeiten
5. Zeitkonstanten der Modelle werden über dem Abgasvolumenstrom aufgetragen.

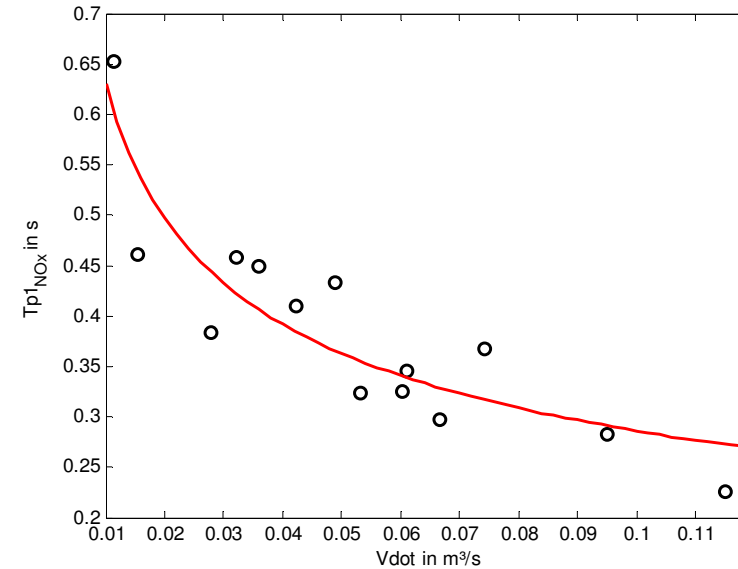
5. Modellbildung Variante 2- Identifikation



- Combustion NOx



$$T_{d,nox}(V_{dot}) = 0.007878 \cdot V_{dot}^{-0.7606}$$
$$RMSE(T_{d,nox}) = 0.03572$$



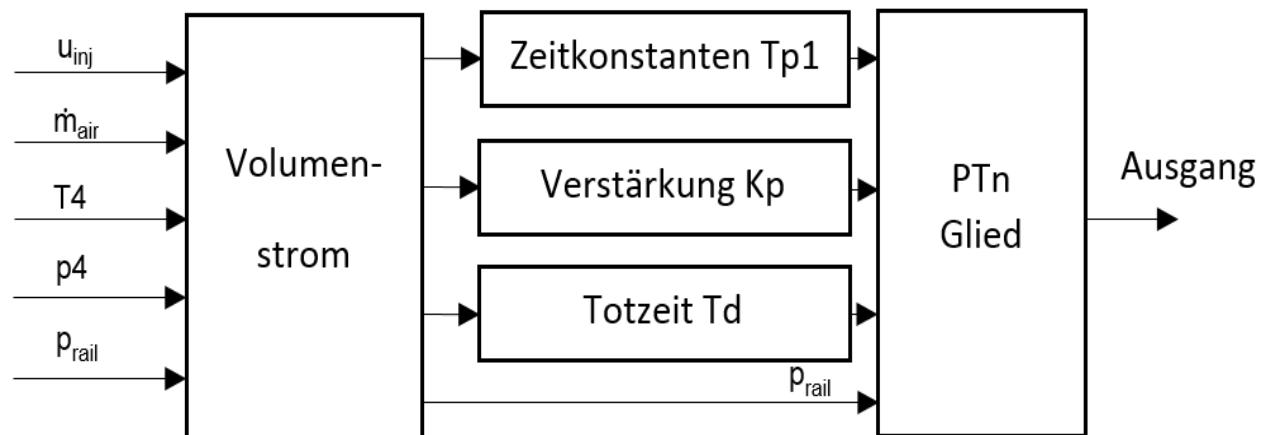
$$T_{p1,nox}(V_{dot}) = 0.1297 \cdot V_{dot}^{-0.3435}$$
$$RMSE(T_{p1,nox}) = 0.04859$$

- Man erkennt sehr gut über die RMSE Werte das die Funktion sehr gut zu den Messpunkten passt.

6. Simulink Modell



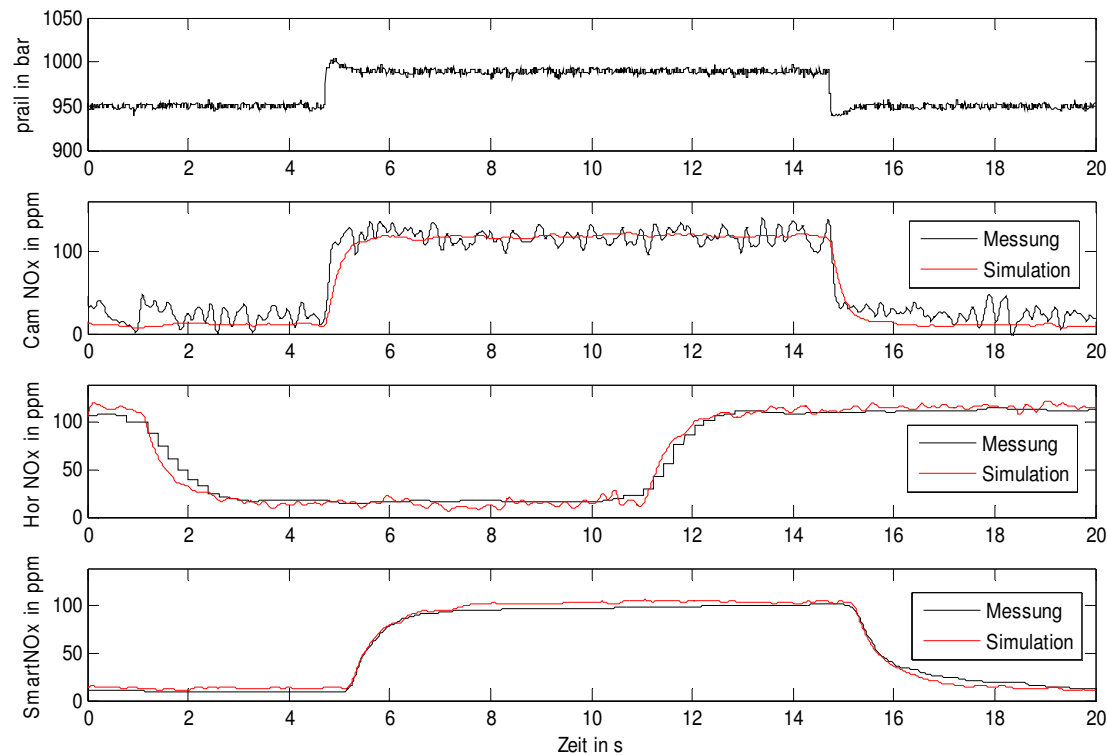
- Um eine Validation durchführen zu können ist ein Simulink Modell notwendig.
 1. Volumenstrom berechnen
 2. Auswahl der Konstanten
 3. PTn Glied



7. Validation der Modelle (Stickoxide)



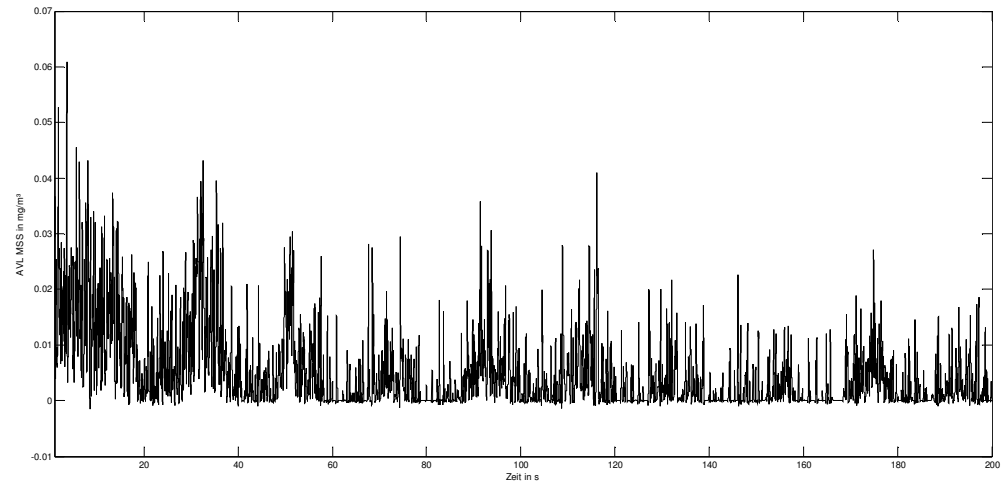
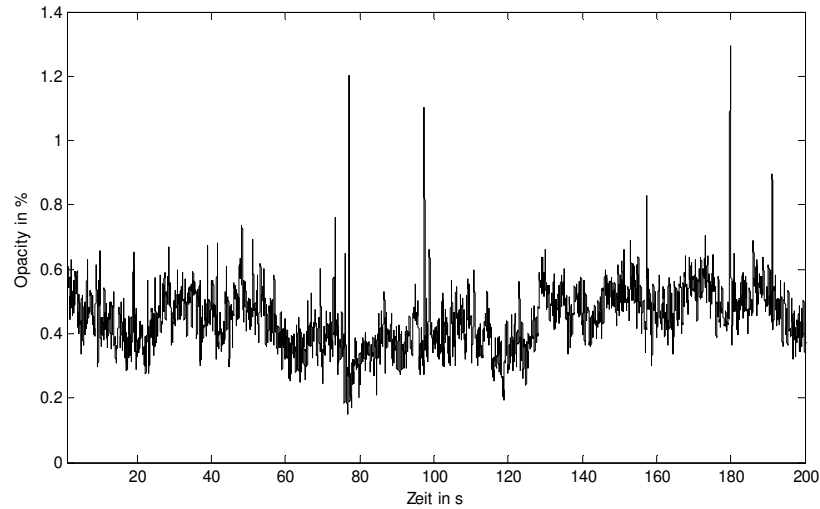
- Betriebspunkt: 2200 U/min Einspritzmenge 6.345 mg/cyc
- Messung und Simulation passen sehr gut zusammen



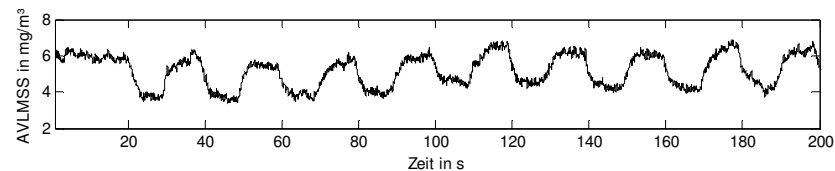
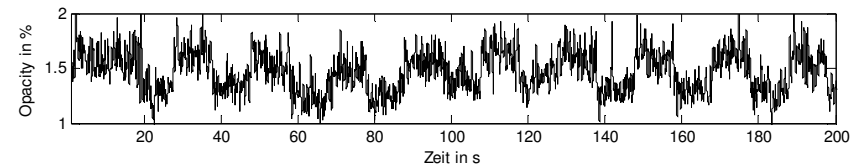
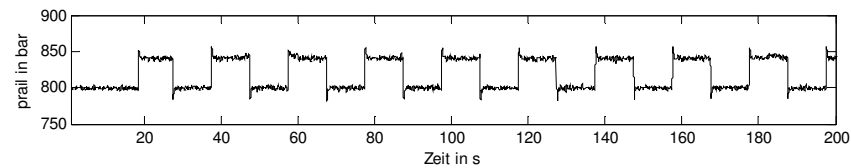
8. Problemstellung Partikelmessung



Drehzahl 2000 U/ min Einspritzmenge 9.23 mg/cyc; Prail 1035bar – 1080 bar



Drehzahl 2000 U/ min Einspritzmenge 5.4865 mg/cyc; Prail 800bar – 850 bar

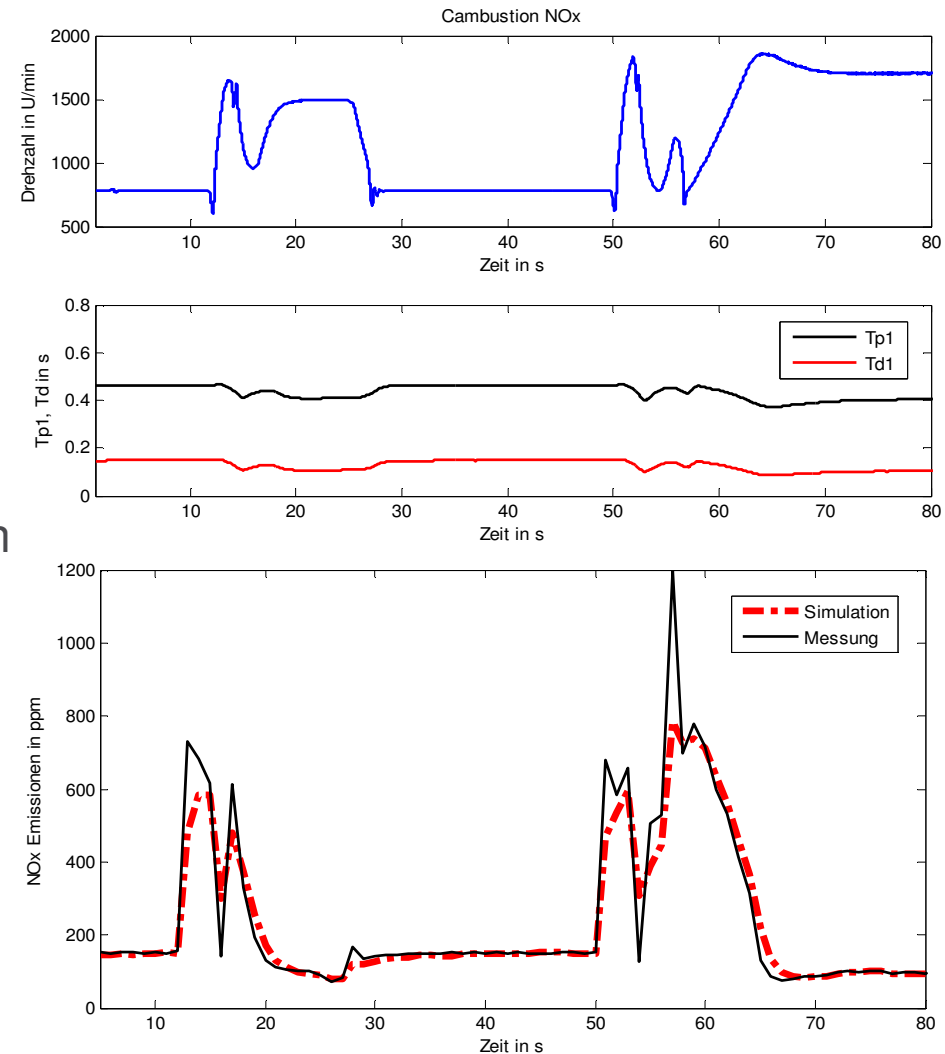


9. Transiente Messzyklen- NEDC



Validation Simulinkmodell

- Aus den Volumenströmen werden die die Totzeiten bzw. Zeitkonstanten ausgewählt.
- Wie man erkennt werden die Totzeiten gut abgeschätzt.
- Peaks werden nicht gut abgeschätzt sind jedoch nicht Hauptaugenmerk dieser Arbeit gewesen.



8. Schlussfolgerungen



- Wie erwartet hat sich gezeigt, dass die Messprinzipien der Sensoren zu unterschiedlichen Totzeiten führen.
- Auch die erwarteten variablen Totzeiten konnten durch Messungen nachgewiesen werden.
- Die Totzeit in der Variante 1 wurde durch die Luftpfadtotzeit verfälscht → Variante 2
- Variante 2 führte zu guten Ergebnissen im Hinblick auf den transienten Messzyklus



Danke für die Aufmerksamkeit!



Formeln Totzeit Motor



$$T_{d,eng} \approx \frac{\omega_{eng}}{2\pi}$$

Der Einspritzzeitpunkt findet am Ende des Kompressionstaktes statt oder dem beginn des Leistungstaktes. Darum wird eine Motorumdrehung als Totzeit herangenommen

