



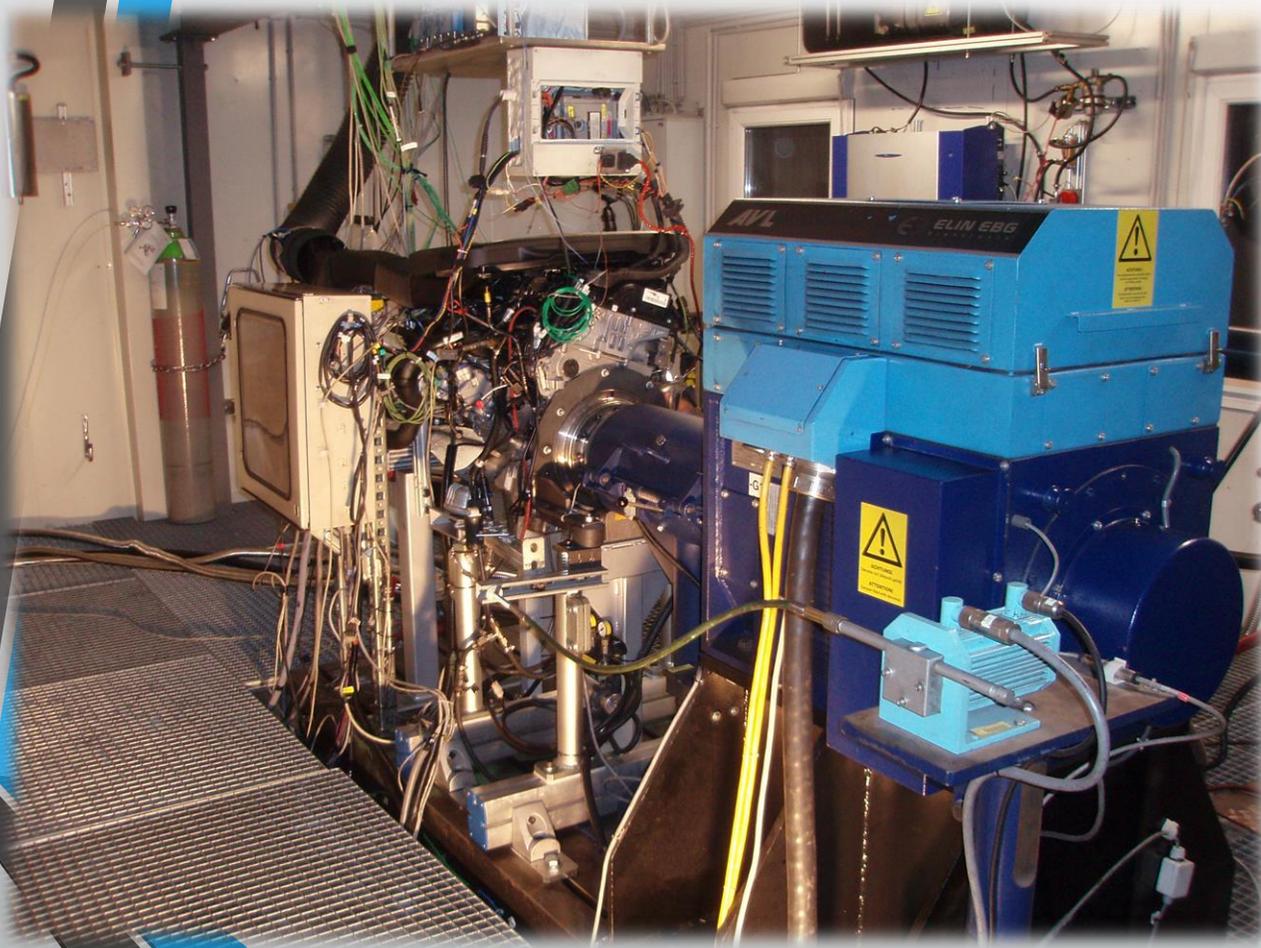
# Optimierung des Startvorgangs für einen Range Extender

**Betreuung**

Dr. Harald Waschl

Dipl.-Ing. Patrick Schrangl

# Range Extender



- Reichweite von E-Autos durch Batteriekapazität begrenzt
- Batterie aufladen dauert wesentlich länger als das Tanken von Kraftstoff
- Verbrennungsmotor und Generator gekoppelt
- Generator erhöht Batterieladung -> höhere Reichweite
- Startvorgang wird optimiert

# Dieselmotor

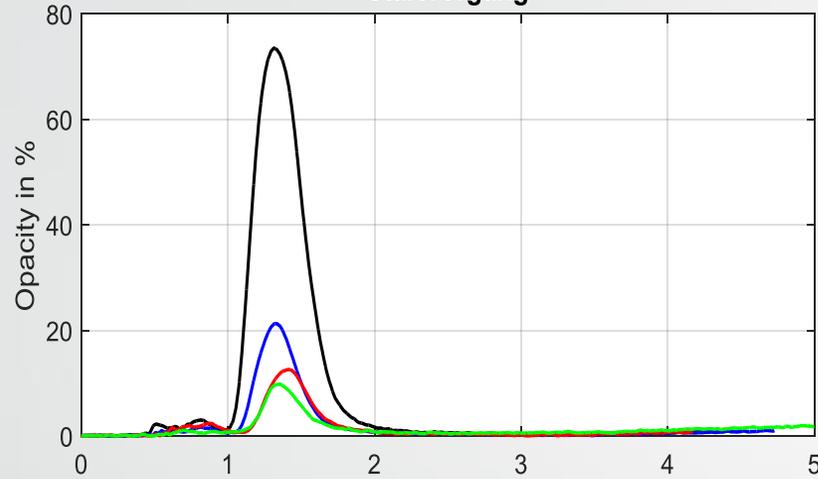


BMW N47 2.0 Liter Common-Rail Turbodiesel mit 120kW

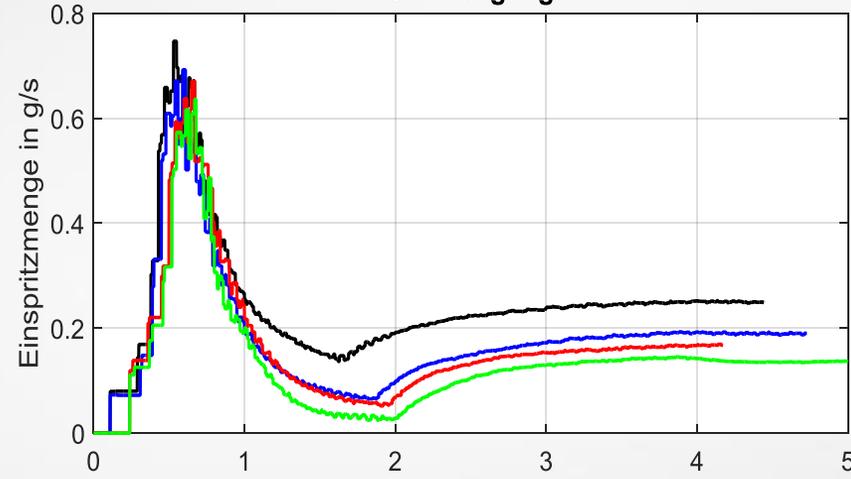
- Arbeitet mit dem Prinzip der Selbstzündung durch Verdichten des Kraftstoff-Luft Gemisches
- Wirkungsgrad durch Turbolader erhöht (besser als bei Ottomotor)
- Motorleistung wird mit der Einspritzmenge geregelt
- Höherer Ausstoß von Stickoxiden und Rußpartikel als beim Ottomotor

# Analyse des Motorstarts

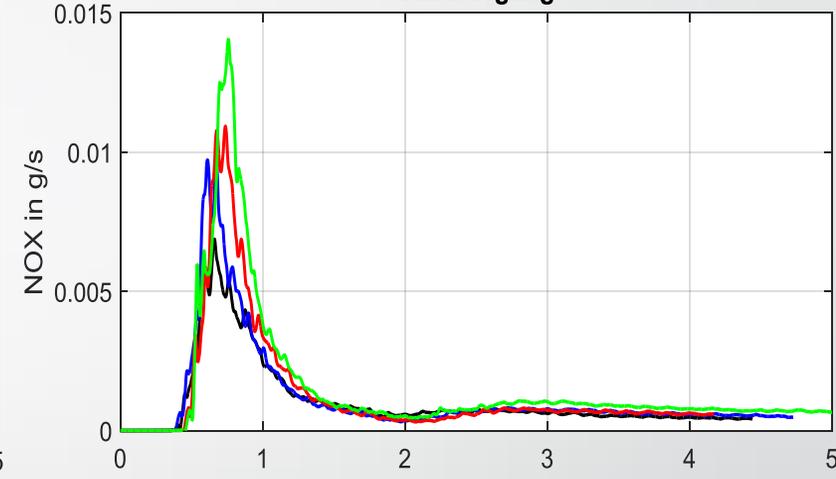
Startvorgang



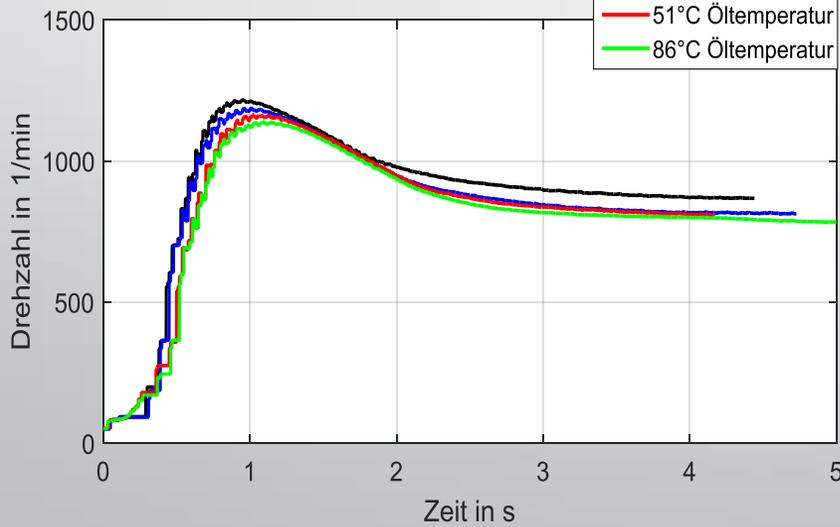
Startvorgang



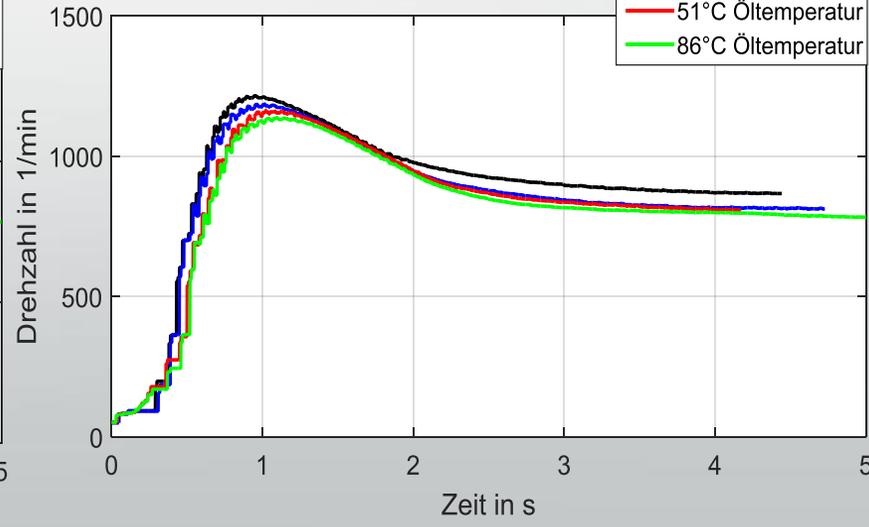
Startvorgang



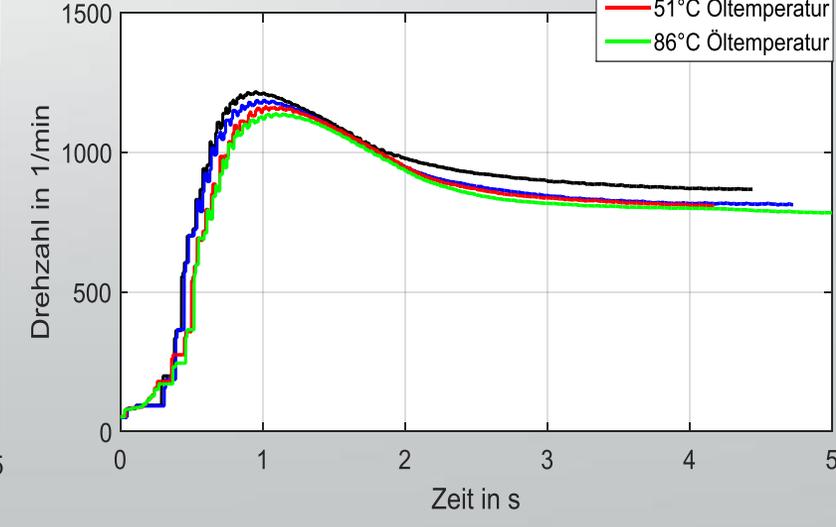
— 27°C Öltemperatur  
— 43°C Öltemperatur  
— 51°C Öltemperatur  
— 86°C Öltemperatur



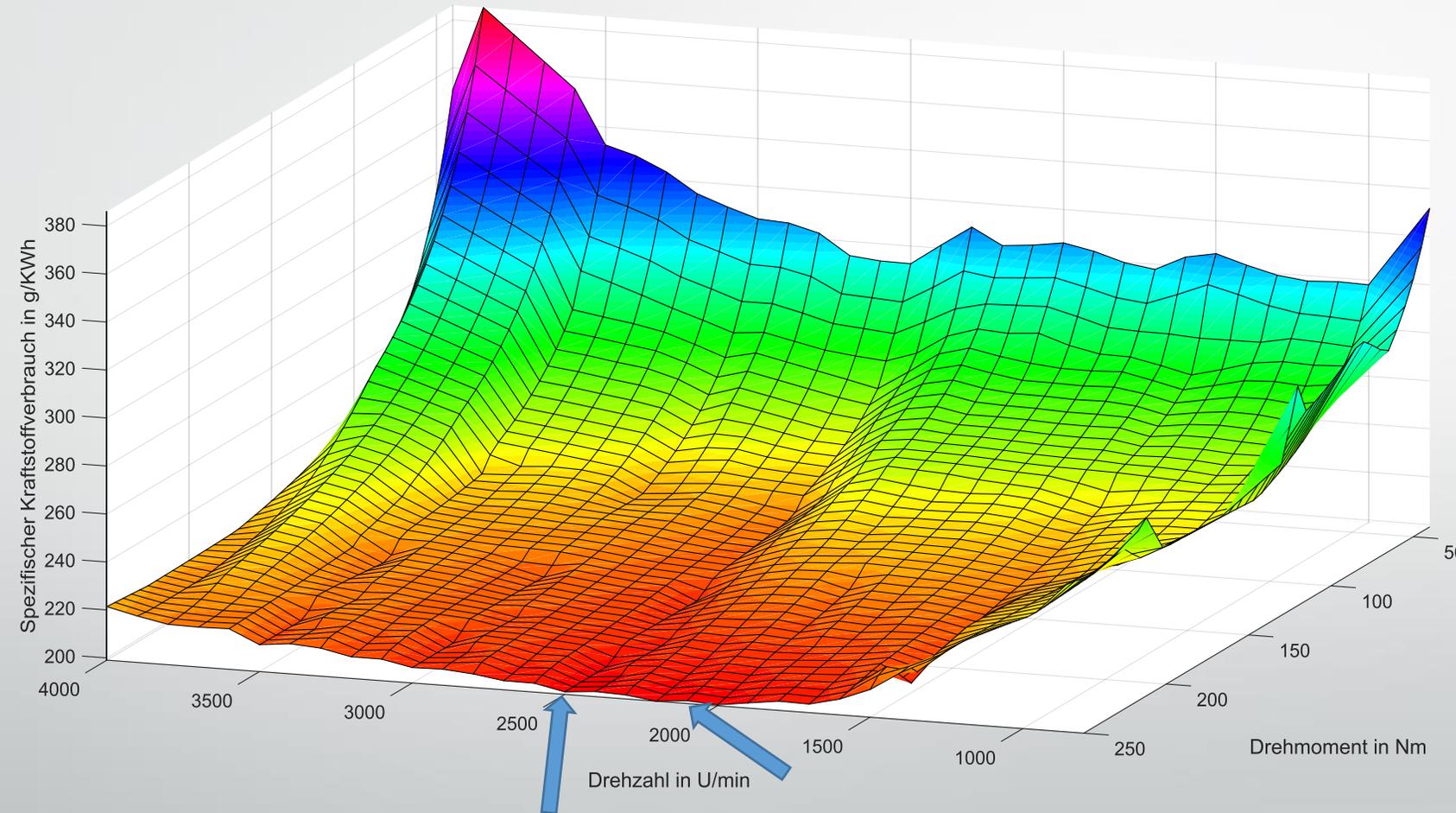
— 27°C Öltemperatur  
— 43°C Öltemperatur  
— 51°C Öltemperatur  
— 86°C Öltemperatur



— 27°C Öltemperatur  
— 43°C Öltemperatur  
— 51°C Öltemperatur  
— 86°C Öltemperatur

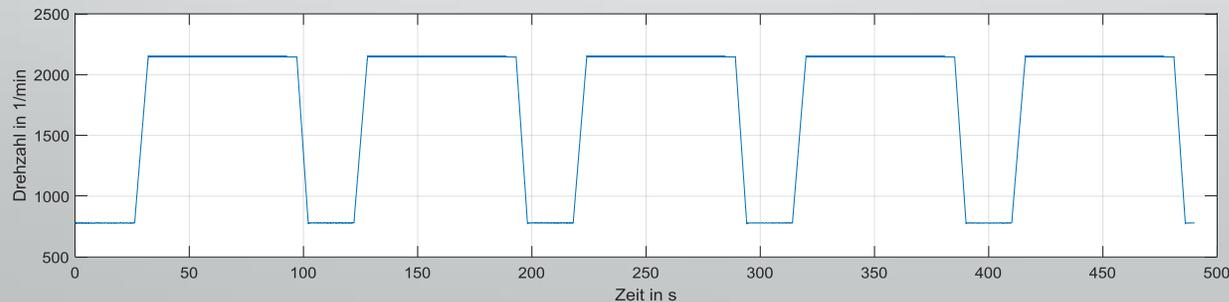
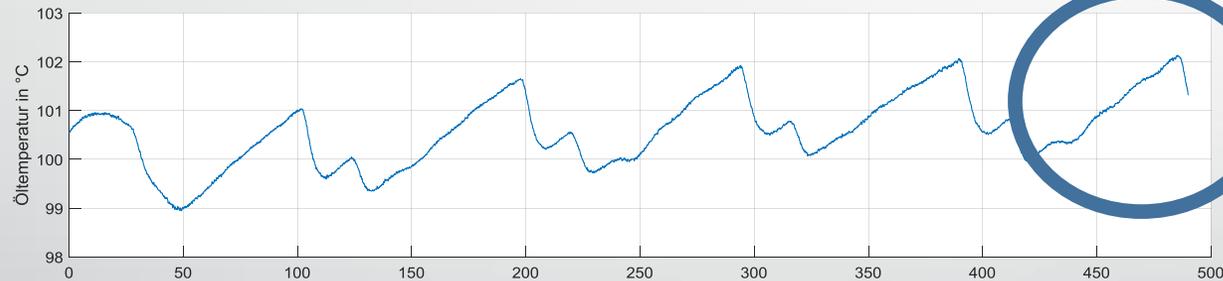
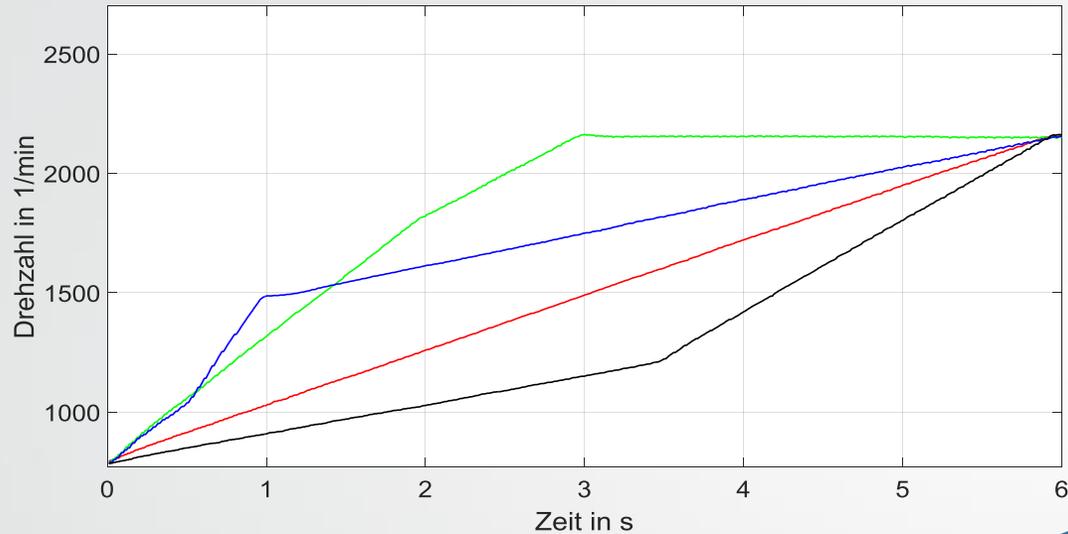


# Optimaler Betriebspunkt



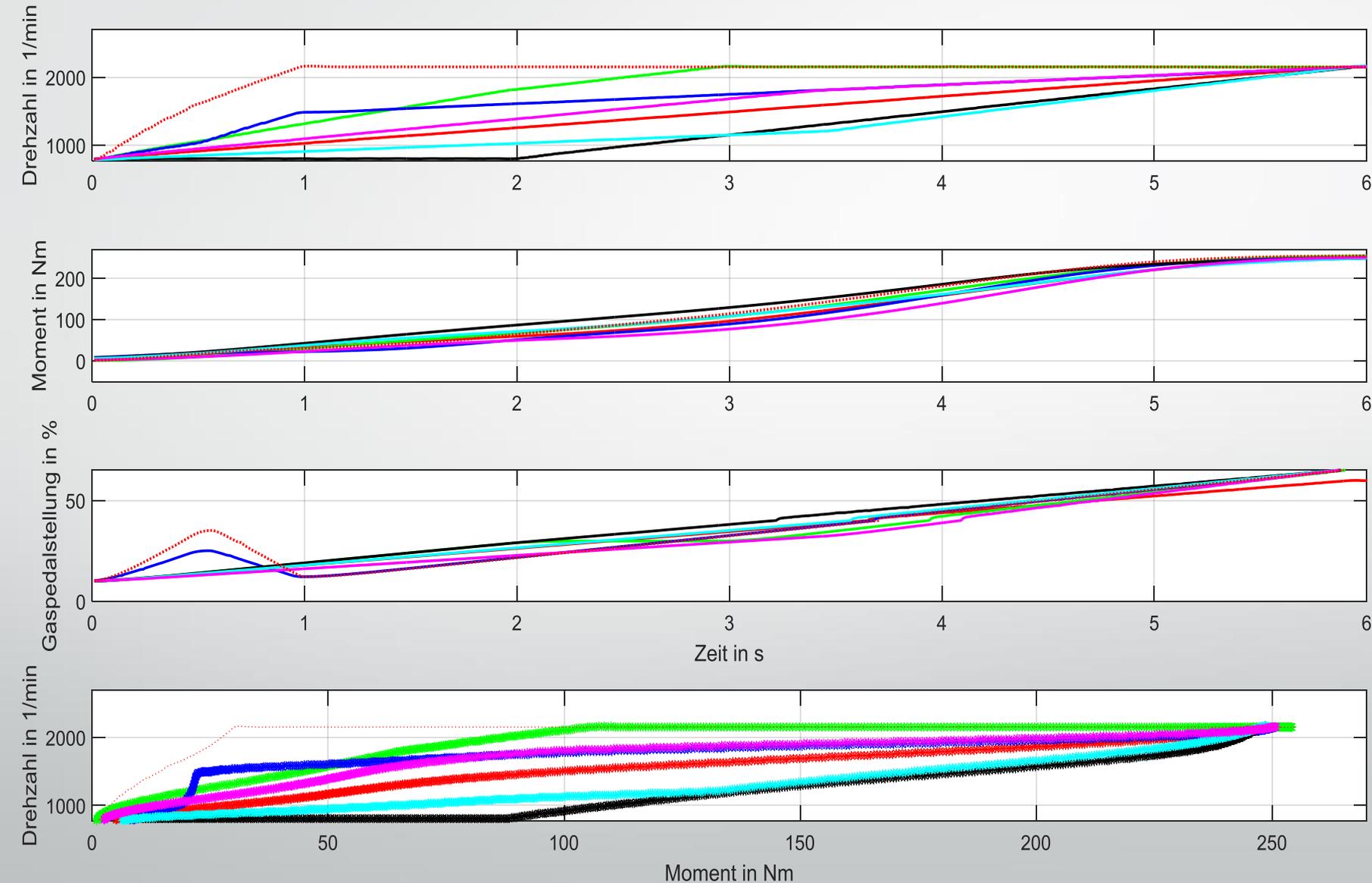
- Ziel für Range Extender Betrieb
- Spezifischer Kraftstoffverbrauch
  - $BSFC = \frac{\text{Kraftstoffverbrauch}}{\text{Leistung}}$
- Einzelne Betriebspunkte stationär 50s lang gemessen und gemittelt
- Optimaler Betriebspunkt mit geringstem BSFC Wert bei 2150 U/min und 250NM
- **BSFC = 193.3 g/kWh**
- **Wirkungsgrad = 43.84%**

# Trajektorien zu opt. Betriebspunkt



- Drehzahlrampe variiert
- Rampe zum Setzen des Moments konstant
- Um eingeschwungenes System zu erhalten:
  1. 20s Leerlauf
  2. Hochlauf in opt. Betriebspunkt
  3. 60s in opt. Betriebspunkt bleiben
  4. Leerlauf
- Prozedere 5x wiederholt und Messwerte des letzten Prüflaufs verwendet

# N/Alpha-Betrieb

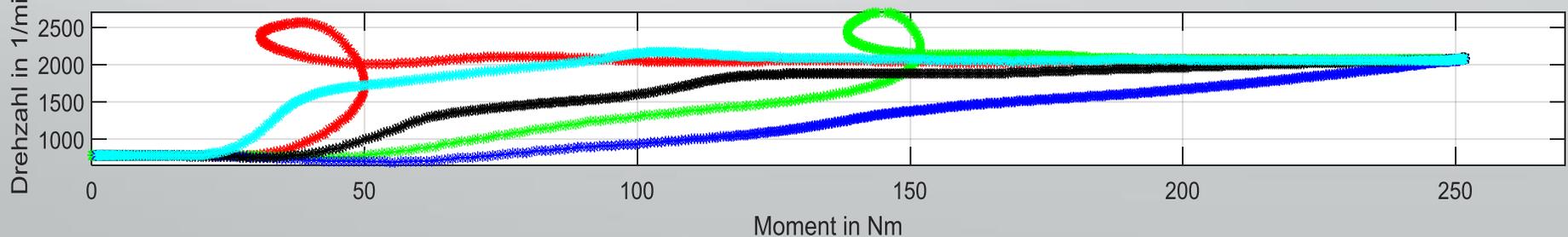
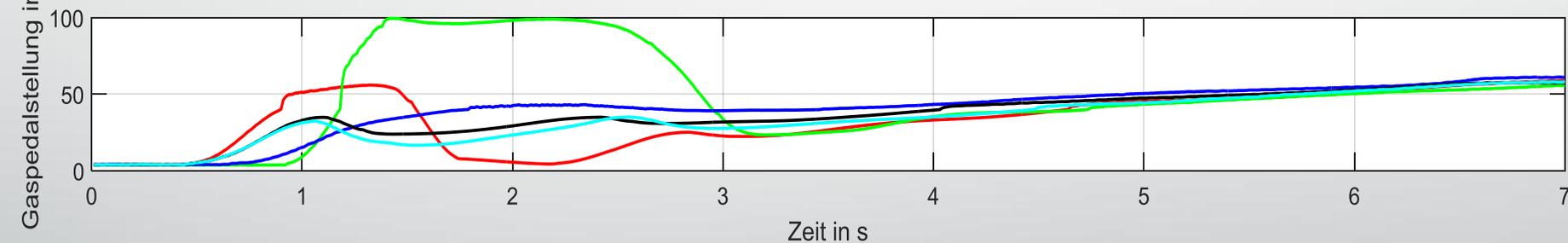
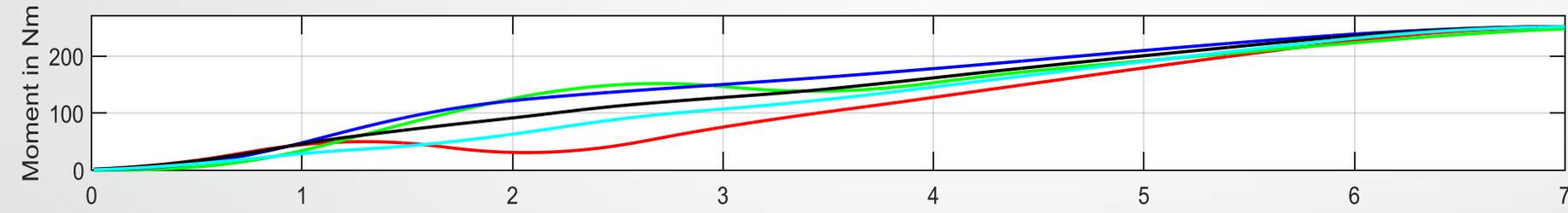
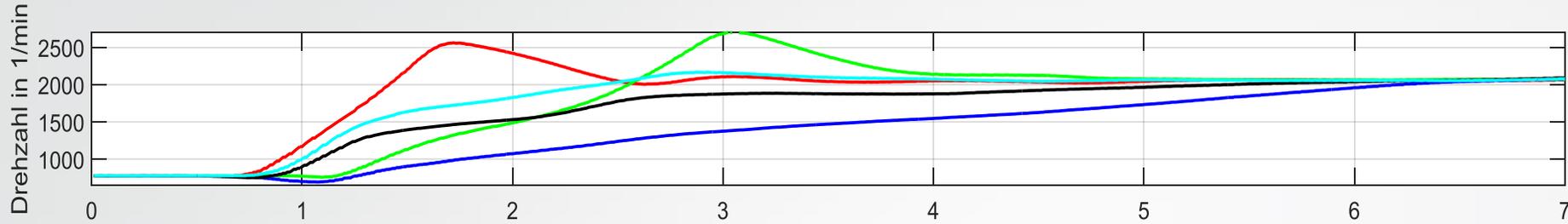


#	NOx	qSet	CO2	CO
1	0.07	8.35	27.6	0.15
2	0.09	10.2	34.8	0.16
4	0.09	9.15	30.2	0.25
5	0.15	8.33	28.0	0.18
6	0.10	7.87	25.6	0.24
7	0.07	8.40	27.8	0.21
8	0.11	11.0	36.7	0.33

Emissionen in g

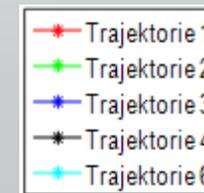


# M/N-Betrieb



#	NOx	qSet	CO2	CO
1	0.10	11.2	37.7	0.36
2	0.18	12.9	45.3	0.49
3	0.18	11.4	37.9	0.34
4	0.13	12.0	40.1	0.19
6	0.10	11.8	39.5	0.19

Emissionen in g



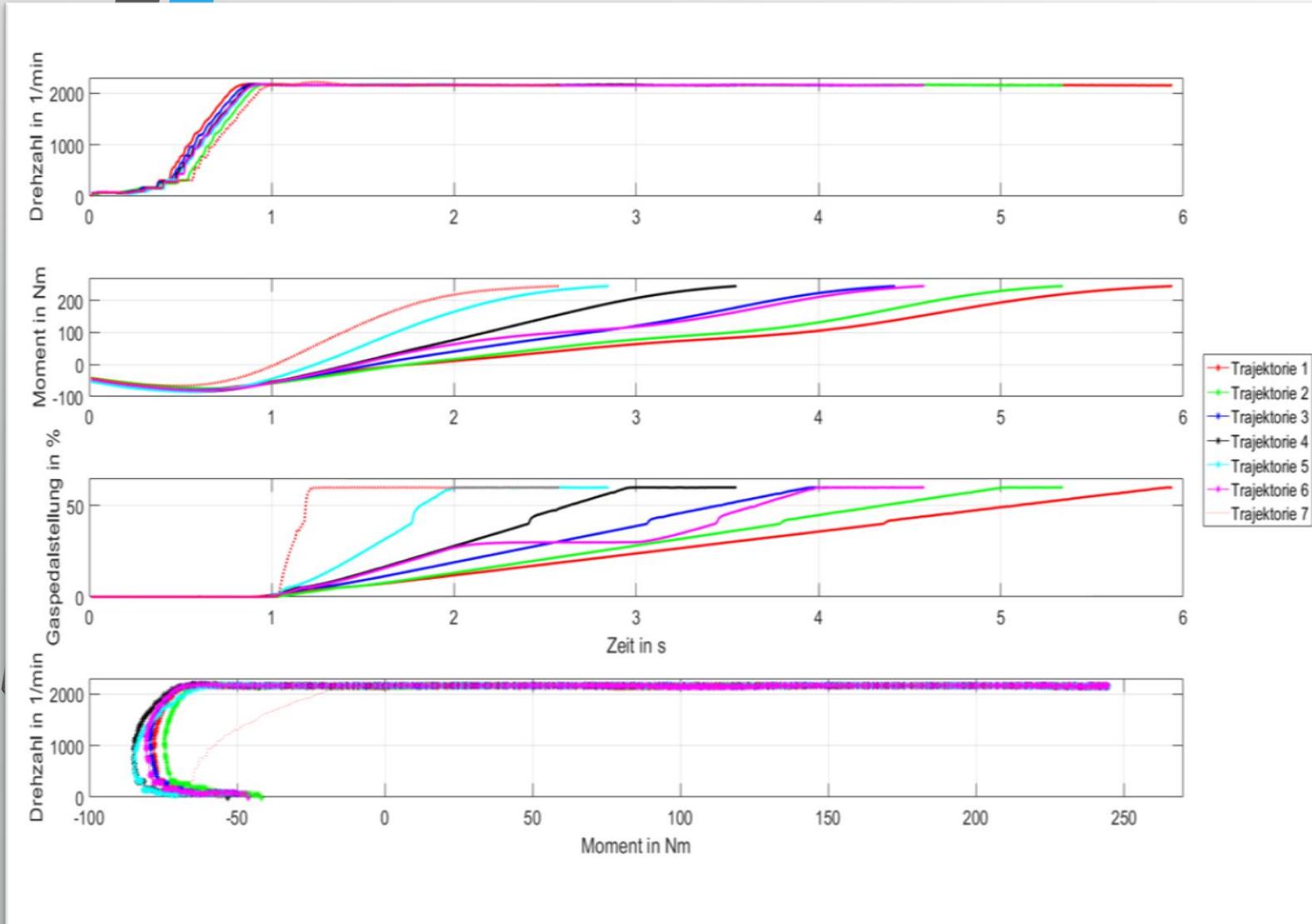
# Optimierung des Startvorgangs

## Sensitivitätsstudie

- E-Maschine kann Motor sehr schnell (0.5s) auf opt. Drehzahl beschleunigen
- E-Maschine kann Drehzahl besser regeln als Motor
- Wirkungsgrad E-Maschine (bis zu 94%) viel größer als bei Dieselmotor (44%)
- Vorgehensweise
  - N/Alpha – Betrieb
  - Startpunkt bei Motor-Stillstand
  - Motor von E-Maschine hochgeschleppt und erst dann Drehmoment gesetzt
  - Rampe zum Setzen des Drehmoments wurde zeitlich variiert
  - Keinerlei Emissionen beim Hochschleppen des Motors auf opt. Drehzahl, erst beim Setzen des Drehmoments
- Beim Hochschleppen auf opt. Drehzahl 0.8Wh elektrische Energie notwendig.

# Optimierung des Startvorgangs

## Sensitivitätsstudie



#	Rampe	TTO	Nox	qSet	Bewertung
5	0.96s	2.84s	0.05g	3.9g	5.2
7	0.16s	2.57s	0.06g	4.2g	5.65
4	1.91s	3.54s	0.04g	4.6g	5.86
6	2.9s	4.57s	0.05g	6.3g	7.28
3	2.86s	4.41s	0.04g	5.6g	7.3
2	3.83s	5.22s	0.05g	6.5g	8.7
1	4.79s	5.93s	0.05g	7.4g	10.4

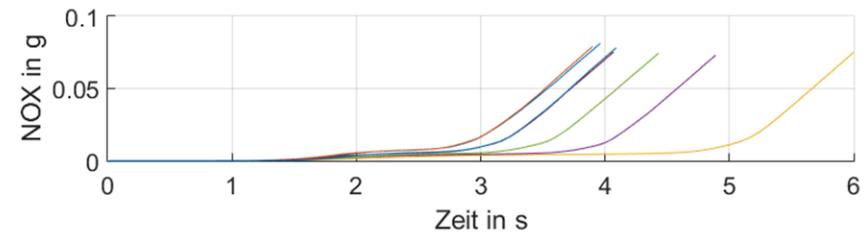
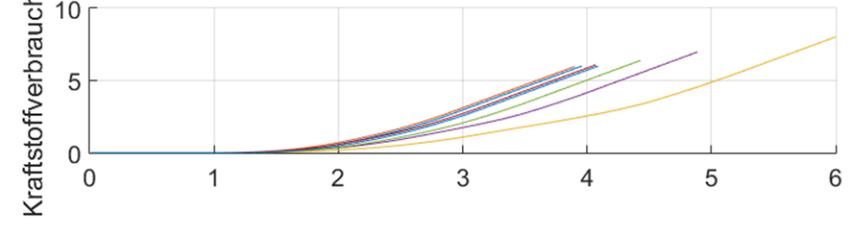
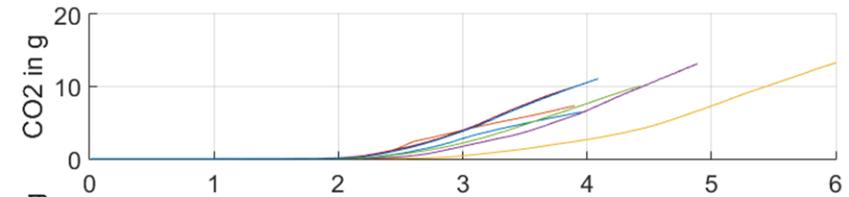
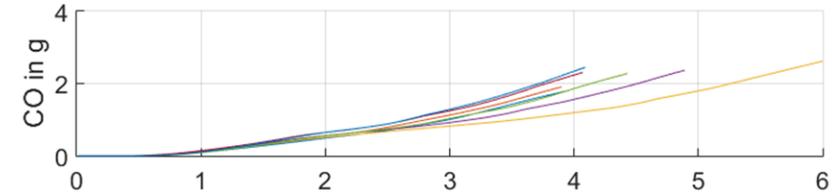
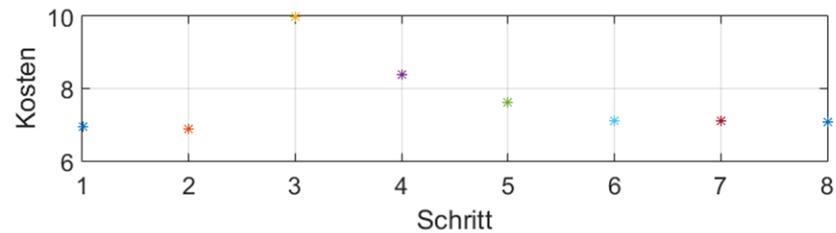
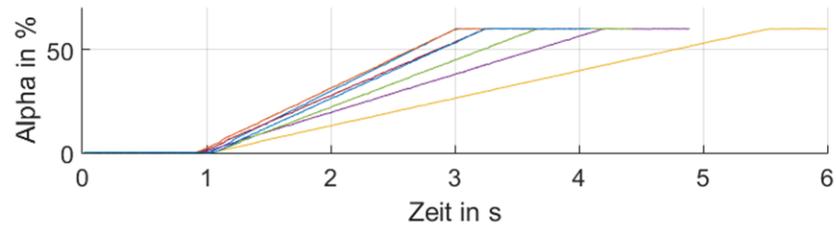
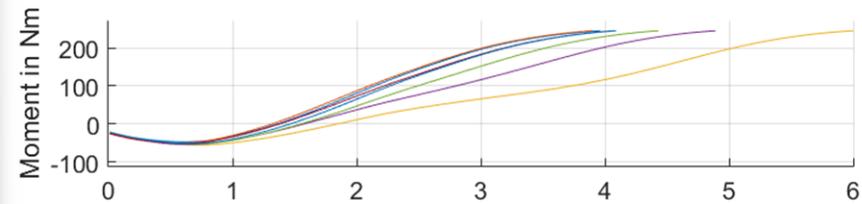
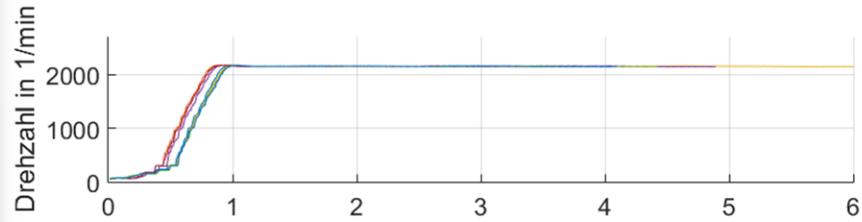
# Optimierung des Startvorgangs

## automatisierte Optimierung

- Startvorgang computerunterstützt mithilfe der folg. Kostenfunktion optimiert
  - $\min_{gasrampe} f(gasrampe)$
  - *s.t.*  $gasrampe > 0$
  - $J(gasrampe) = \frac{NOx_{sum}}{10} + TTO$
  - $TTO = t_{optBetriebspunkt} - t_{startPunkt}$
- Motor wieder aus Stillstand auf 2150 U/min geschleppt danach Gaspedal setzen
- Zeit zum Erreichen von 60% Gaspedalstellung wird variiert
- Range Extender nach NOx-Emissionen und benötigte Zeit zum Erreichen des optimalen Betriebspunkts optimiert

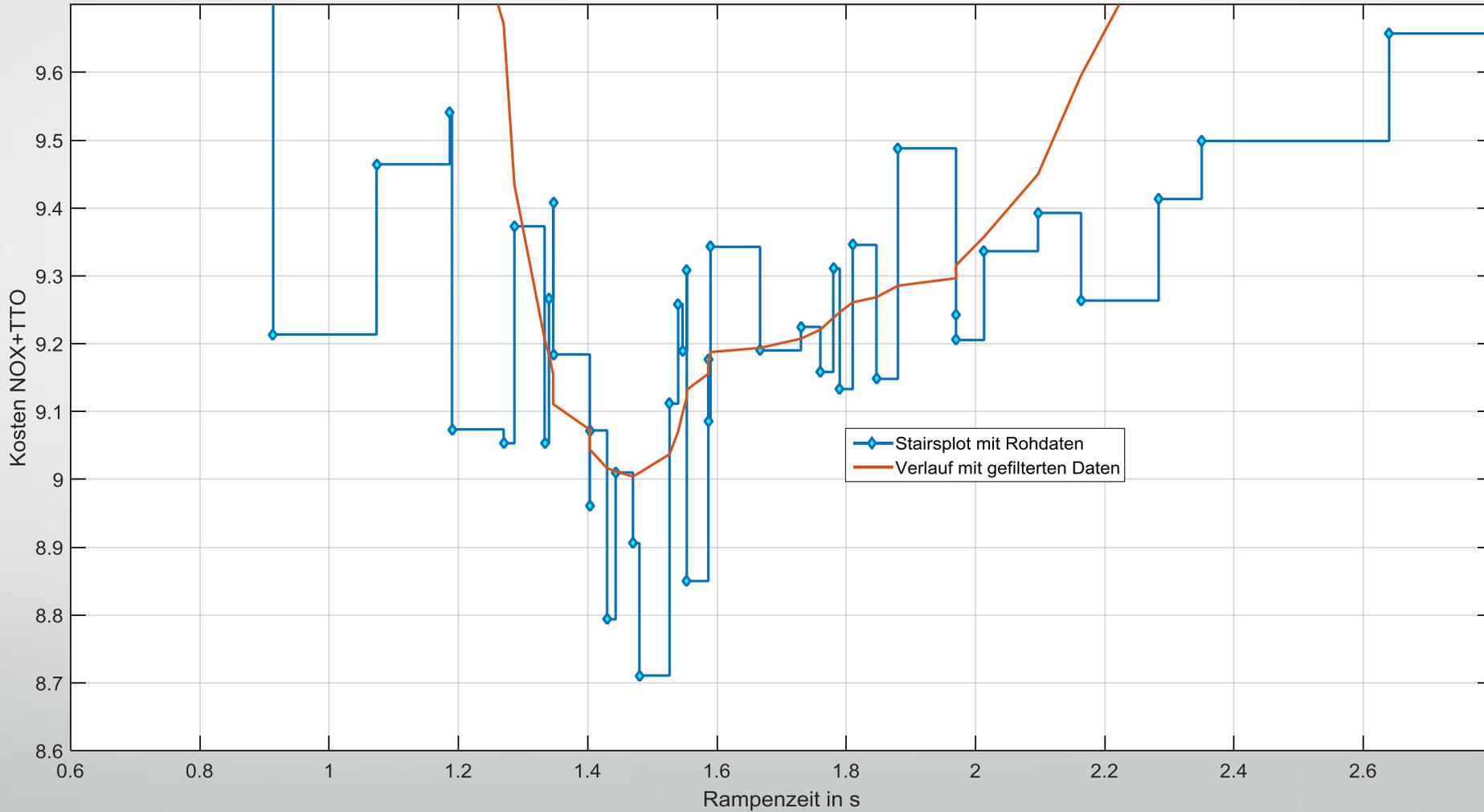
# Optimierung des Startvorgangs

## 1 Freiheitsgrad



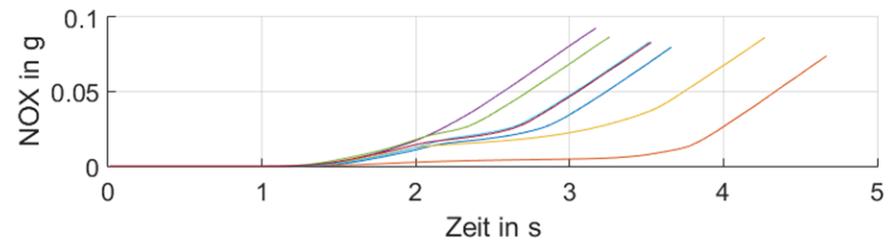
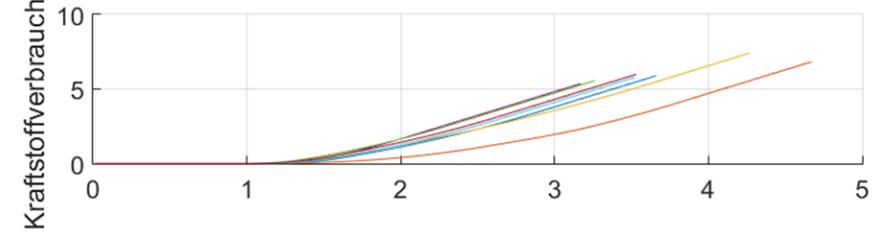
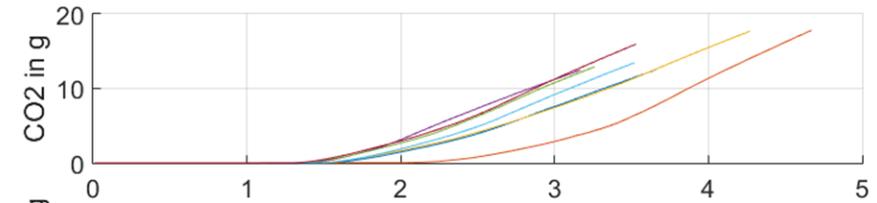
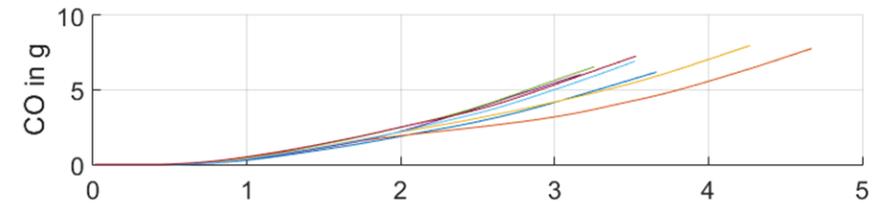
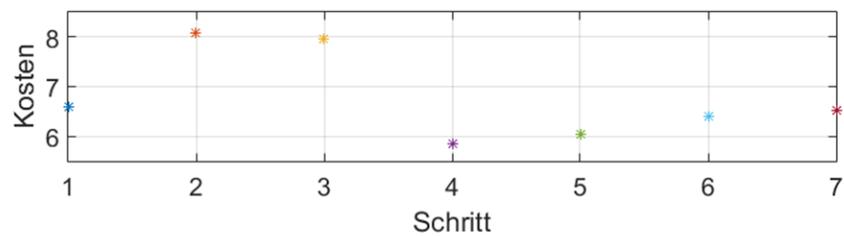
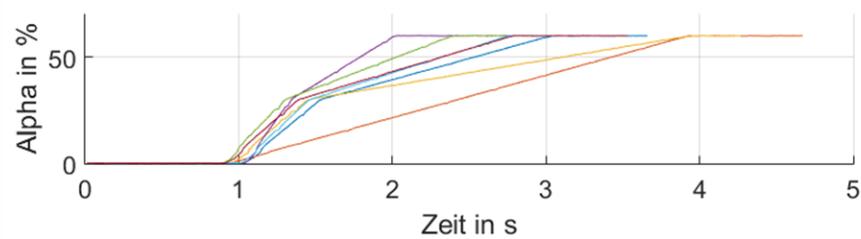
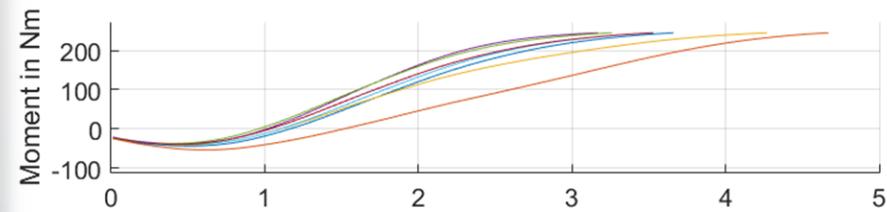
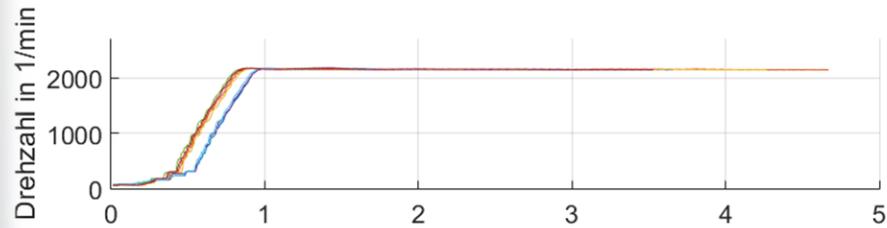
# Optimierung des Startvorgangs

## 1 Freiheitsgrad



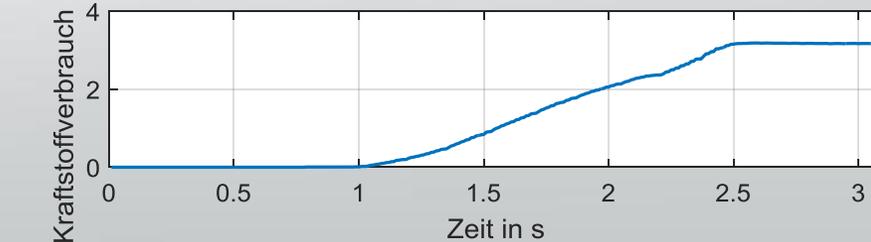
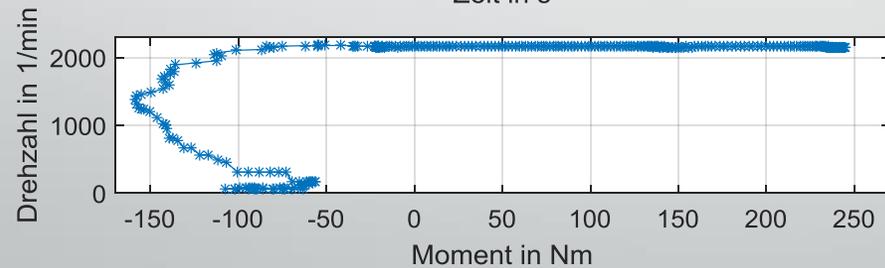
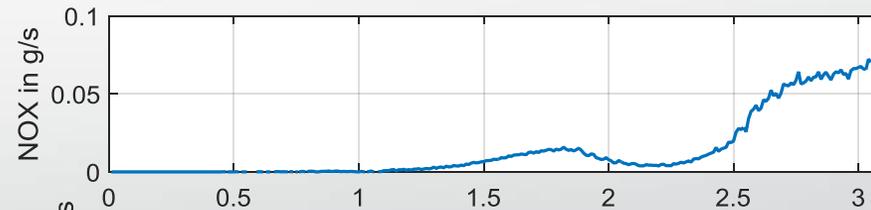
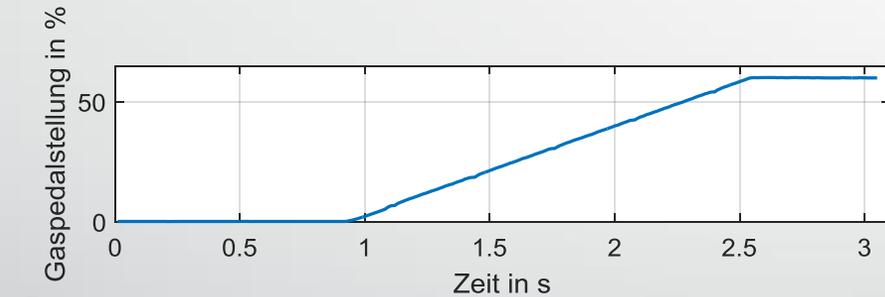
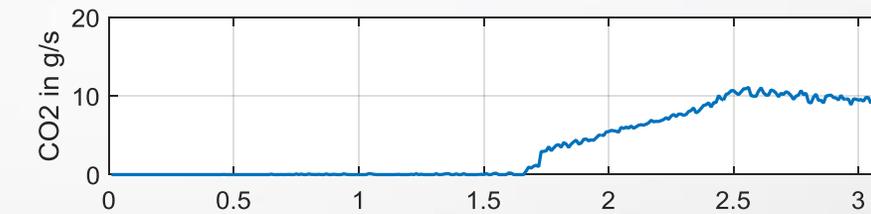
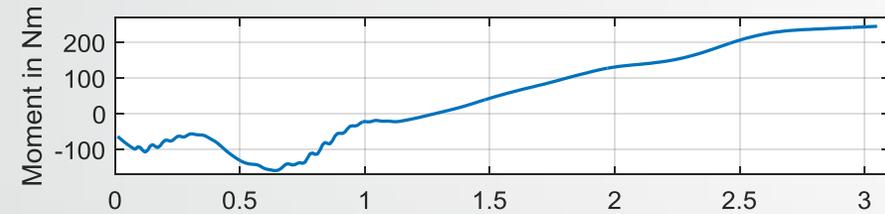
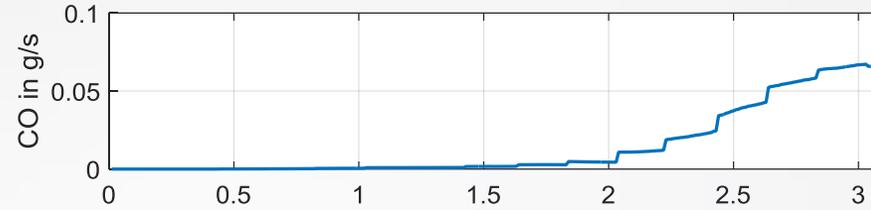
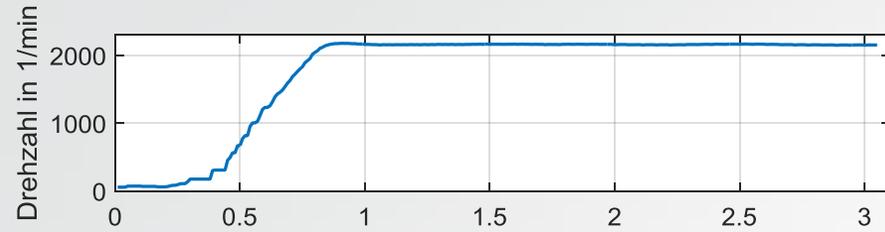
# Optimierung des Startvorgangs

## 2 Freiheitsgrade



# Optimierte Trajektorie

bei 1.5s Gasrampenzeit



TTO	3.04s
NOx	0.041g
qSet	3.96g
CO2 in g	10.5g
CO in g	0.042g

# Zusammenfassung

- Startvorgang in den Leerlauf untersucht
- Optimaler Betriebspunkt für den Range Extender Betrieb ermittelt
- Verschiedene Trajektorien zum Hochlaufen in den opt. Betriebspunkt gemessen
- Kostenfunktion definiert
- Trajektorie mit einem und 2 Freiheitsgrade optimiert
- Optimale Trajektorie bei 1.5s Gasrampenzeit

# Ausblick

- Bei Optimierung „spitze“ Übergänge bei der Gaspedalstellung
  - Diese zB durch eine Tangens Hyperbolicus Funktion abrunden kann NOx vermindern
- Stellgrößen des Einspritzsystems verändern um NOx weiter zu minimieren
  - AGR-Rate erhöhen (niedrigere Brennraumtemperaturen)
  - Einspritzbeginn nach spät hin verschieben
- Ladedruck/Luftverhältnis Lambda erhöhen
  - Führt zu magerem Gemisch und weniger Nox
- Trajektorie bei unterschiedlicher Luftfeuchte/Lufttemperatur optimieren