



Institute for Design and Control of Mechatronical Systems

Optimale Start/Stop Strategie für einen Hybridmotor

Adnan Husaković

Johannes Kepler University Linz

Institute for Design and Control of Mechatronical Systems

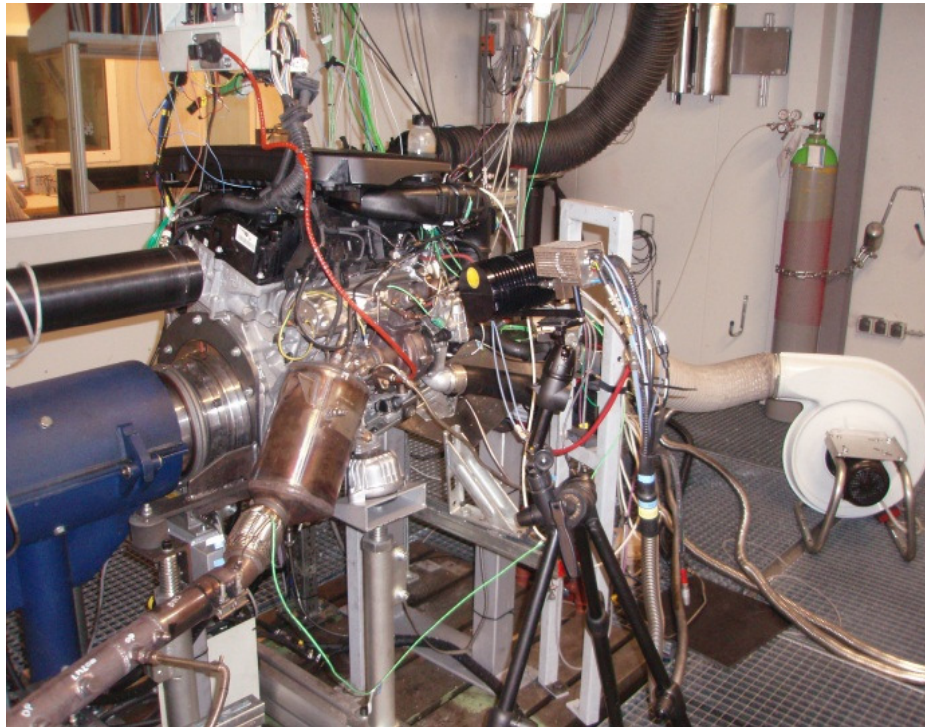
Linz, 7.10.2014



- Aufgabenstellung und Einleitung
- Vorstellung der Start- Mechanismen
 - Normalstart
 - Hybridstart
- Vergleich der Startvorgänge am Prüfstand
 - Energetischer Vergleich
 - Abgasanalyse
- Analyse der Startvorgänge anhand einer Simulation
- Ergebnisse
- Ausblick

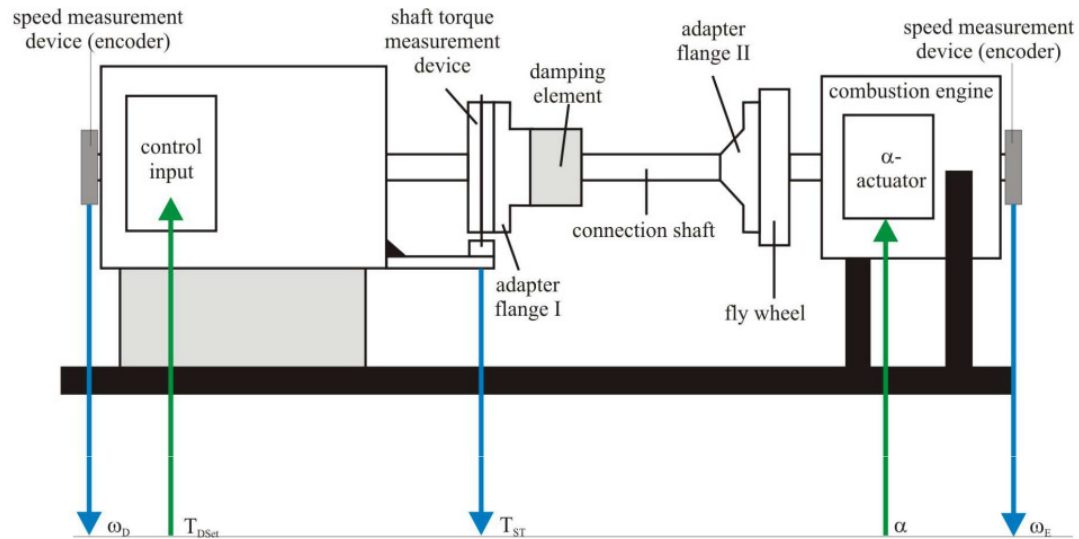


- Ziel Start/Stopp: Minimierung des Kraftstoffverbrauchs in Leerlaufphasen unter Berücksichtigung der höheren Emissionen während des Startvorgangs
- Aufgabenstellung
 - Analyse des Normalstartes
 - Analyse des Hybridstarts
 - Vergleich der Emissionen und des Spritverbrauchs bei Normalstart und Hybridstart
 - Simulationsstudie in Carmaker um die verschiedenen Strategien hinsichtlich Spritverbrauch zu vergleichen



- 4 Zylinder 2 Liter
Dieselverbrennungsmotor
- Common Rail Einspritzsystem,
Turbolader
- ECU bygepasst
- ECU Daten Acquisition mit dSpace
- Keine Glühstifte sondern
Zylinderdruckmesssonden

Prüfstand wichtige Messgrößen



Notwendige Messgrößen:

- Dynodrehzahl
- Motordrehzahl
- Wellenmoment
- Gaspedalstellung

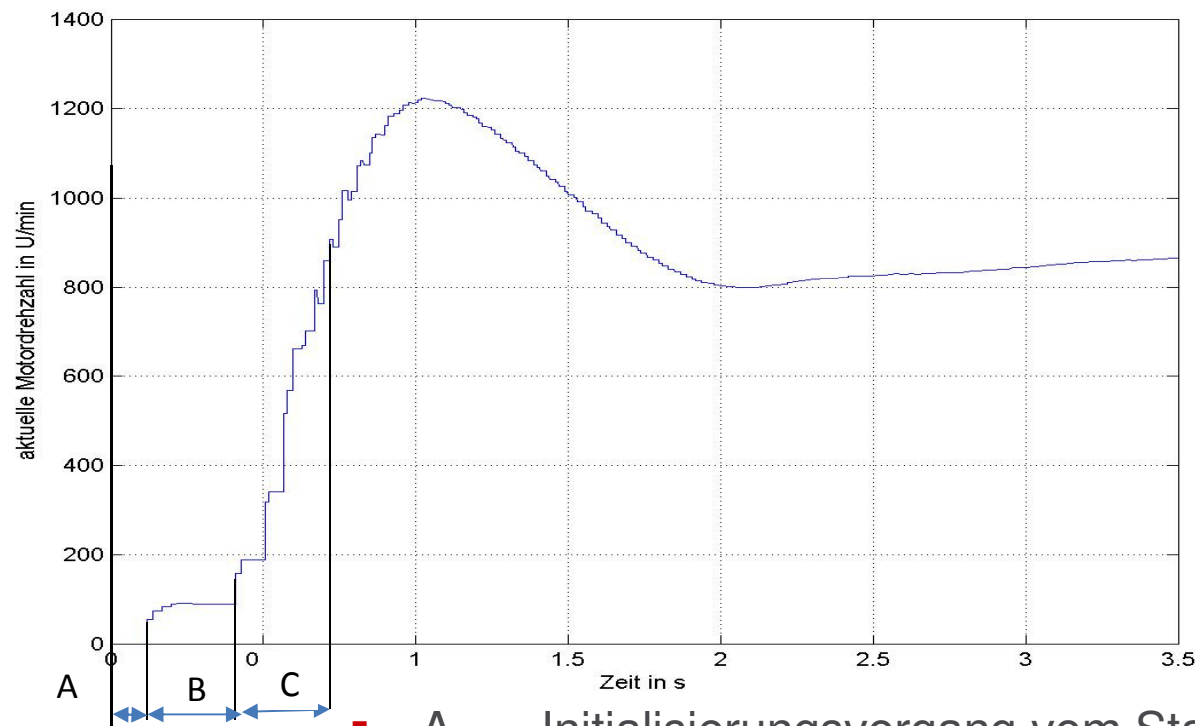


- Kraftstoffverbrauchsmessung über die Kraftstoffwaage von AVL
- Analysierte Abgase und deren Messgeräte
 - Kohlenmonoxid CO & CO₂ (Cambustion NDIR500)
 - Stickstoffoxide NO_x (Cambustion fNOx 400)
 - Kohlenwasserstoff HC (TESTA 123 I_SS)
 - Abgastrübung (Ruß) (AVL Opacimeter)

Normalstart



- Elektrischer Start am Verbrennungsmotorprüfstand über die elektrische Bremse



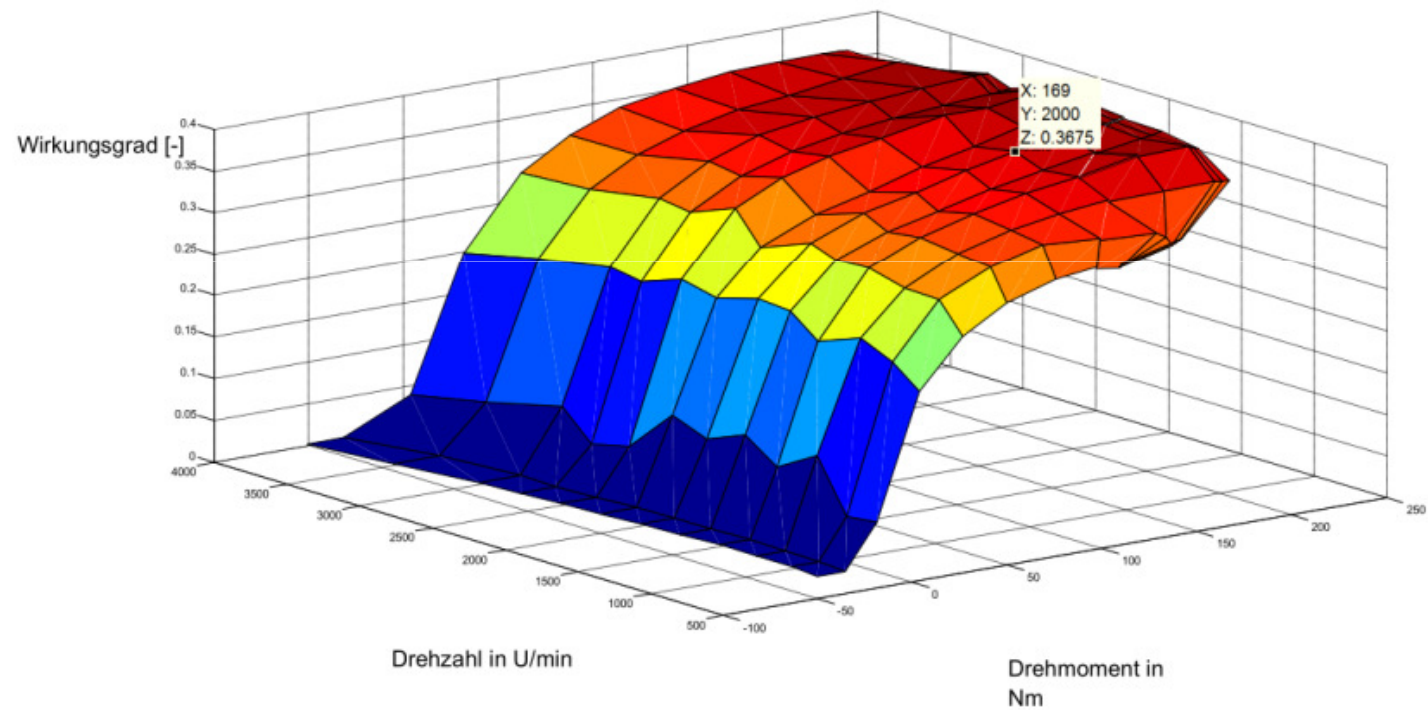
- Start des Verbrennungsmotors nach 100 ms
- Enddrehzahl ca. 870 U/min

- A... Initialisierungsvorgang vom Starter (80 bis 100 ms)
- B... 1.Einspritzung (600 ms)
- C... Übergangsbereich (150 ms)



- Vorteil: nicht nur Verbrennungsmotor steht zu Verfügung sondern auch elektrischen Energie
- Rein elektrisches Hochschleppen auf besseren Wirkungsgradpunkt möglich
 - Schlagartige Zündung des Verbrennungsmotors in diesem Punkt (36.75 % @ 2000 U/min @ 169 Nm, Wirkungsgrad bestimmt über Kennfeldmessung)
 - Enddrehzahl und Drehmoment im Teillastbereich anstelle Leerlauf

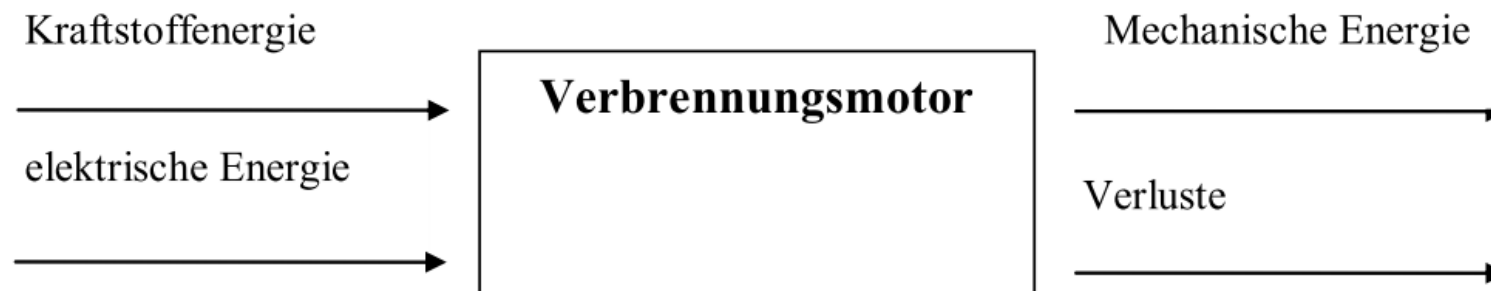
Wirkungsgradkennfeld





Energetische Bilanz der Startvorgänge (1/4)

- Energiebilanz des Verbrennungsmotors und el. Komponenten
- Ziel: energetische Analyse des Hybrid und des Verbrennungsmotorstartes, wobei jeweils das gleiche Szenario verwendet wird: 36.75 % @ 2000 U/min @ 169 Nm +0.5 Sekunden



$$\eta_{2000} = \frac{E_{\text{mech}}}{E_{\text{el}} + E_{\text{fuel}}}$$

...Char. Maß zur Beurteilung der Energieeffizienz



- Zugeführte Energiequellen:

- Kraftstoffenergie:

$$m_D = \frac{4 \cdot n_{\text{Motor}} \cdot m_{\text{Ds}}}{2 \cdot 60 \cdot 10^6}$$

$$E_{\text{fuel}} = \int_{t_0}^{t_f} c_{\text{Diesel}} \cdot m_D \, dt$$

- Parameter aus Verbrennungsmotor

- El. Energie:

$$p_{\text{el}} = M_{\text{el}} \cdot \frac{n_{\text{el}} \cdot \pi}{30 \cdot \eta_{\text{el}}}$$

$$E_{\text{el}} = \int_{t_0}^{t_f} p_{\text{el}} \, dt$$

- El. Energie von der DASM (Prüfstandsbremse)



- Abgeführte Energiequelle:

- Mech. Energie:

$$p_{\text{mech}} = M_{\text{mech}} \cdot \frac{n_{\text{mech}} \cdot \pi}{30}$$

$$E_{\text{mech}} = \int_{t_0}^{t_f} p_{\text{mech}} dt$$

- Mech. Energie („Wellenenergie“)



■ Ergebnisse:

- Normaldrehzahlstart mit Beschl. auf opt. Betriebspunkt:

$$E_{\text{fuel}} = 935\,000\text{J}$$

$$E_{\text{el}} = 1\,000\text{J}$$

$$E_{\text{mech}} = 142\,000\text{J}$$

$$\rightarrow \eta_{2000} = \frac{E_{\text{mech}}}{E_{\text{el}} + E_{\text{fuel}}} = \frac{1.42 \cdot 10^5}{1000 + 935000} = \mathbf{0.15}$$

- Hybridstart:

$$E_{\text{fuel}} = 5098\text{J}$$

$$E_{\text{el}} = 51\,500\text{J}$$

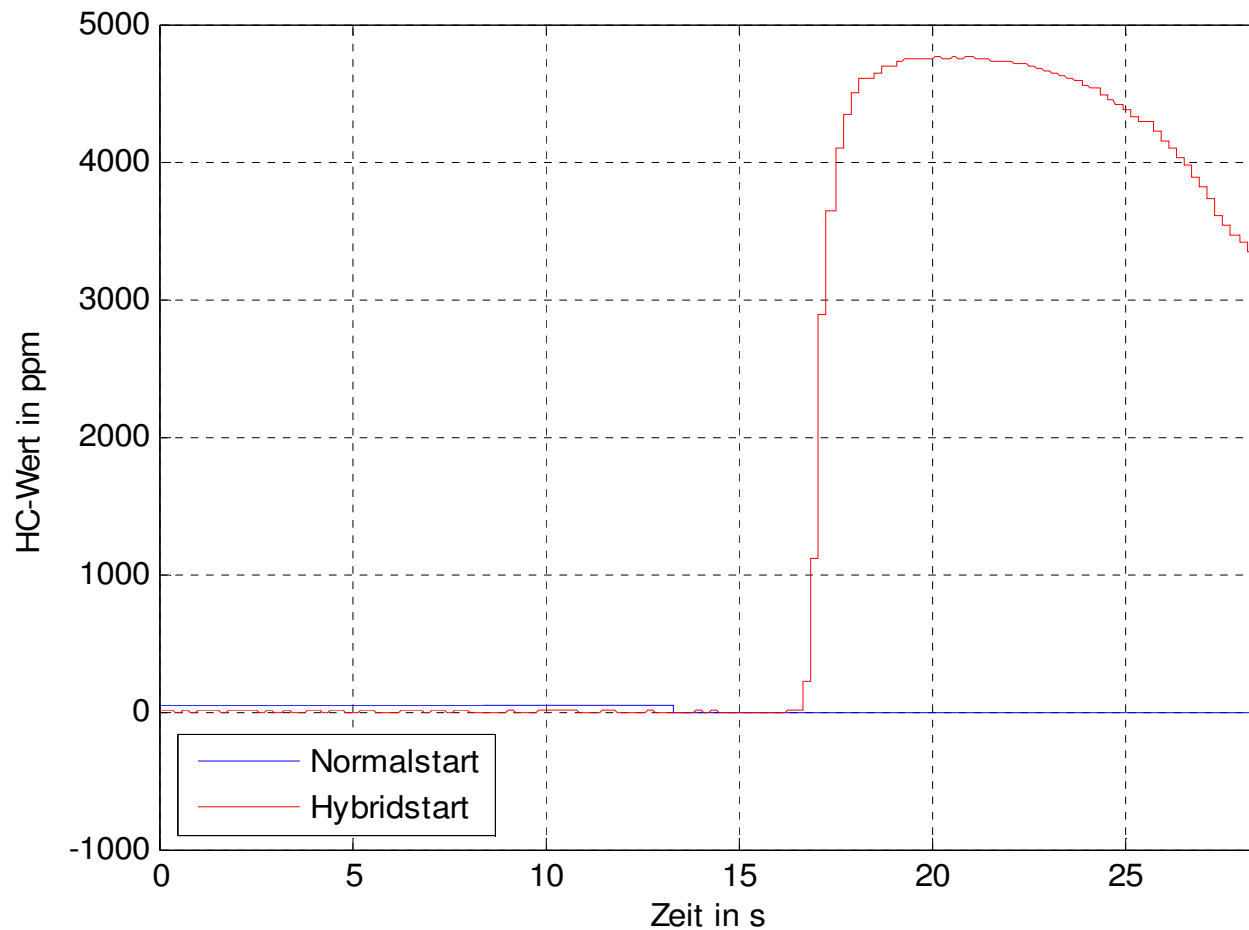
$$E_{\text{mech}} = 3.8 \cdot 10^4\text{J}$$

$$\rightarrow \eta_{2000} = \frac{E_{\text{mech}}}{E_{\text{el}} + E_{\text{fuel}}} = \frac{3.8 \cdot 10^4}{5.15 \cdot 10^4 + 5098} = \mathbf{0.67}$$

Abgasanalyse der Startvorgänge (1/5)



HC Emissionen:

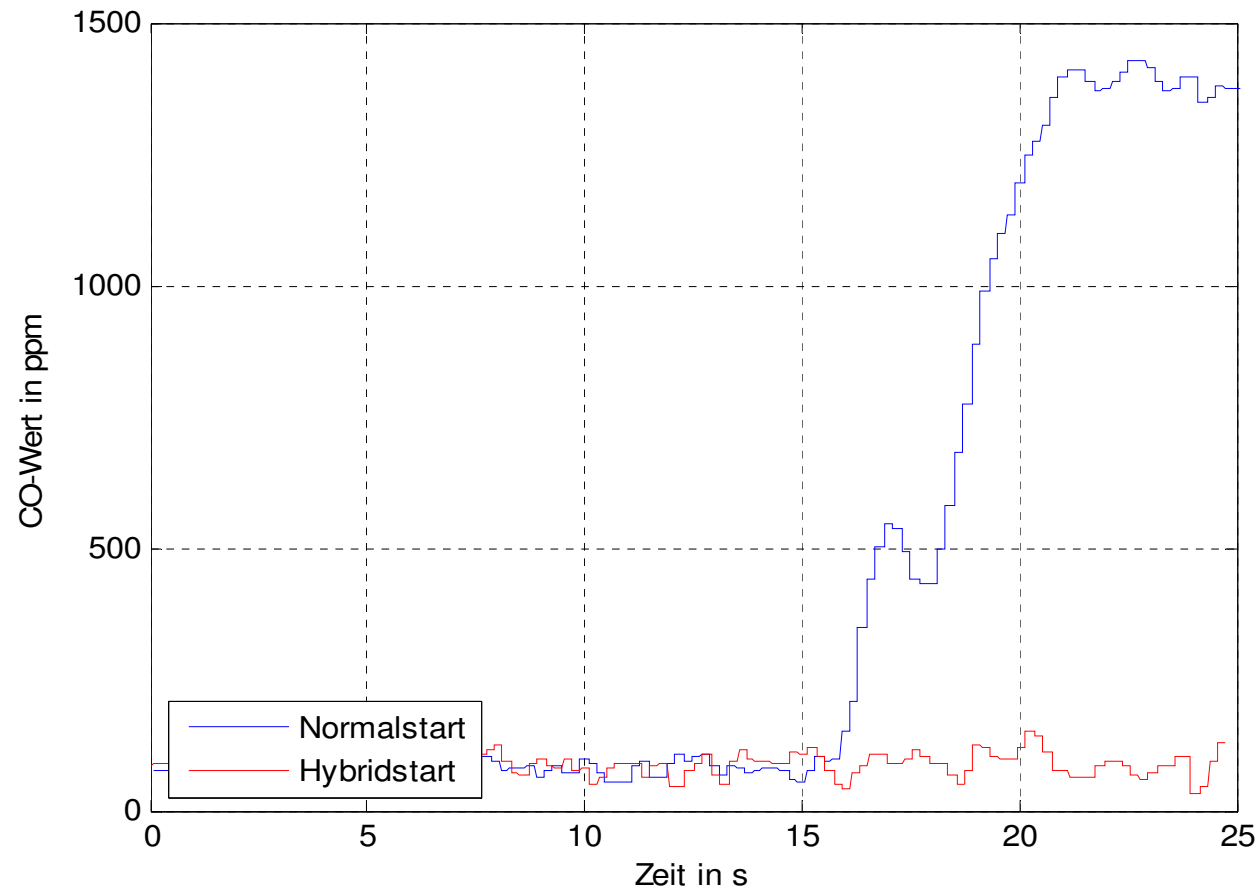


- Erhöhter HC-Wert-beim Hybridstart>schlagartige Zündung
- Ausgleich der Emissionen nach bestimmten Zeit

Abgasanalyse der Startvorgänge (2/5)



CO Emissionen:

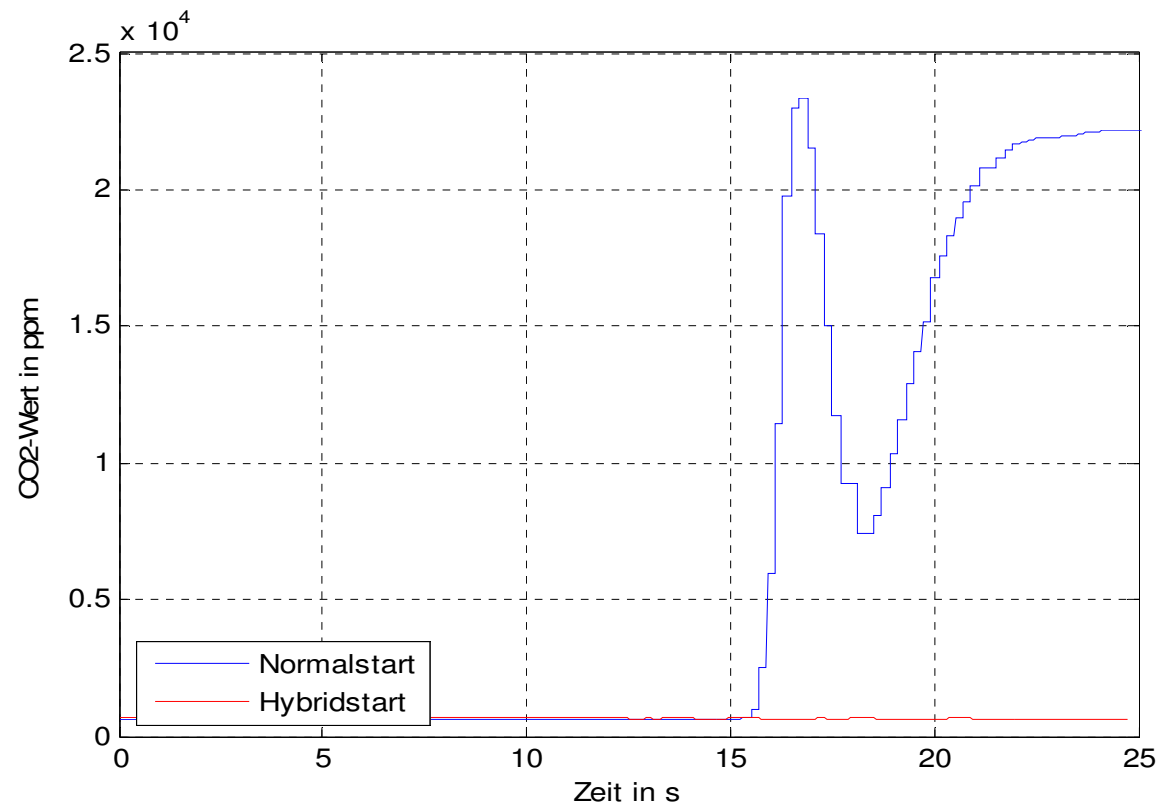


- Erhöhter CO-Wert-beim Normalstart+B.>mehr Kraftstoff

Abgasanalyse der Startvorgänge (3/5)



CO₂ Emissionen:

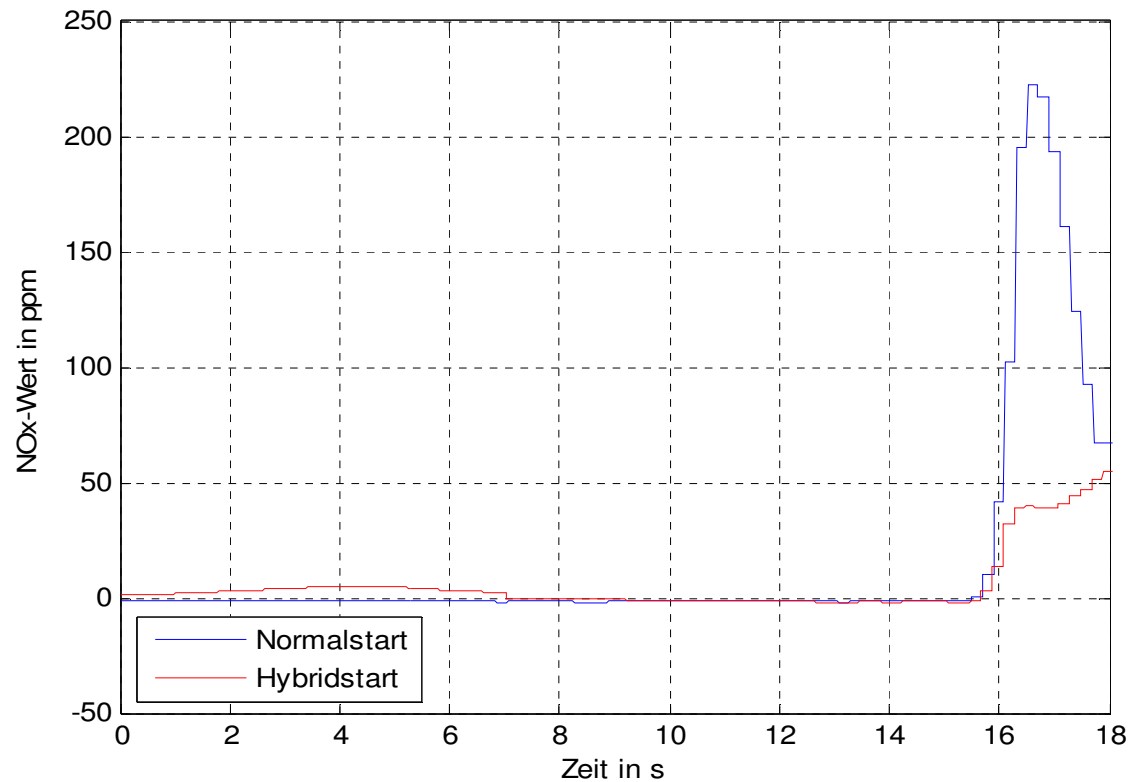


- Erhöhter CO₂-Wert-beim Normalstart+B.>mehr Kraftstoff

Abgasanalyse der Startvorgänge (4/5)



NO_x Emissionen:

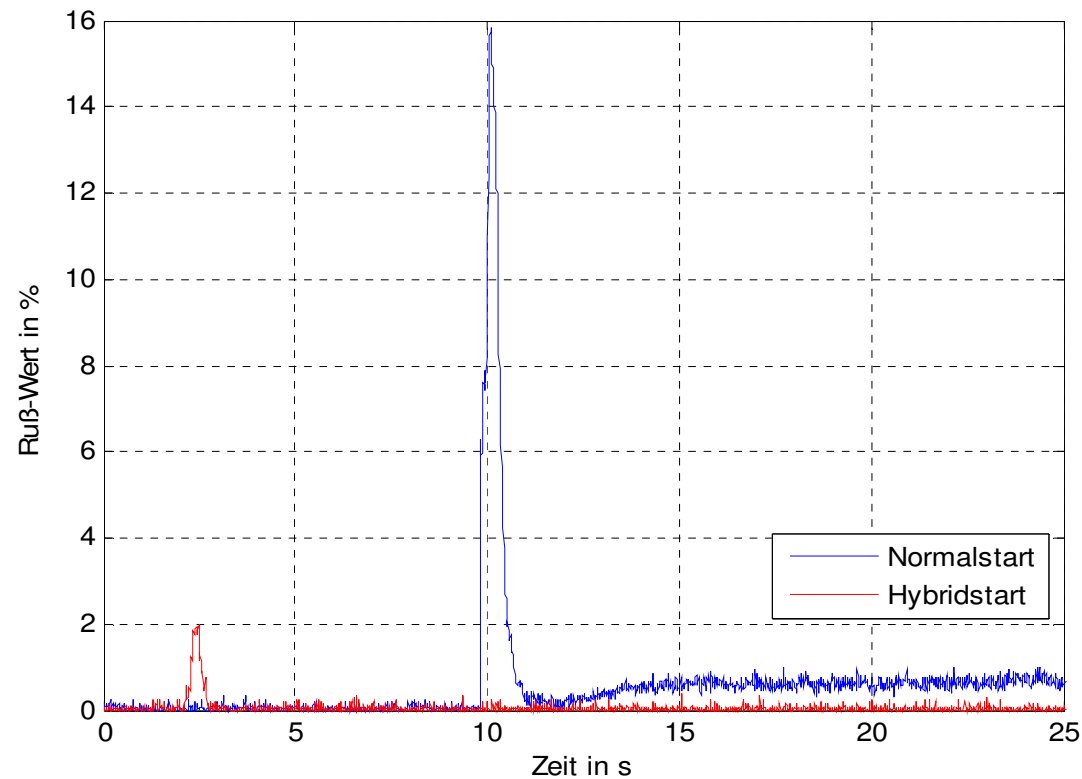


- Erhöhter NO_x -Wert-beim Normalstart+B.>mehr Kraftstoff und höhere Betr.temp. vom Motor
- Ausgleich der Emissionen nach bestimmten Zeit

Abgasanalyse der Startvorgänge (5/5)



Abgastrübung (Ruß):



- Erhöhter Ruß –Werte - beim Normalstart+B.>mehr Kraftstoff verwendet
- Ausgleich der Emissionen nach bestimmten Zeit

Simulationsstudie Carmaker



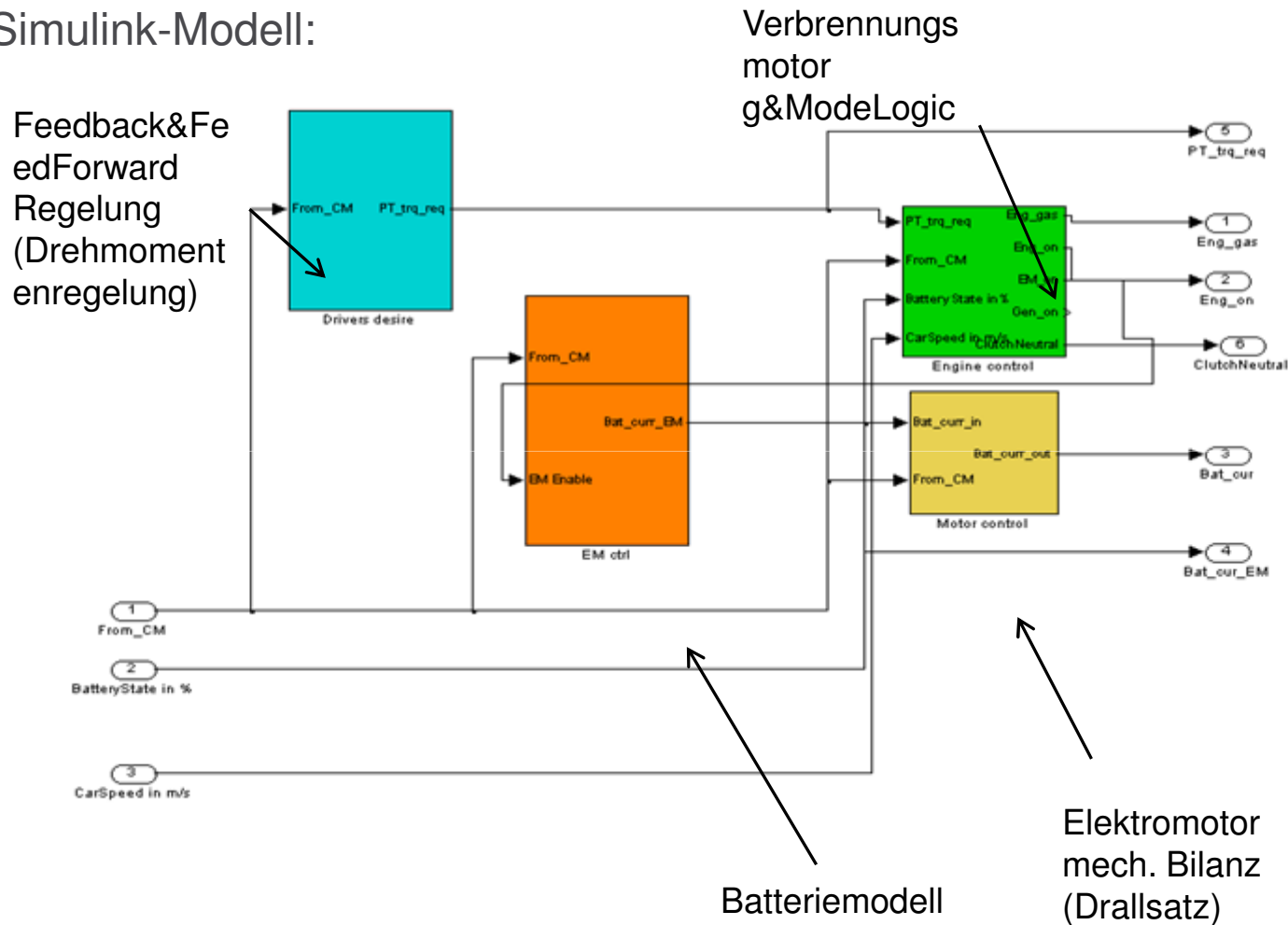
Ziel: Analyse des Einsparungspotential mit einem Hybrid im Ortsgebiet bzw. Stop-and Go Verkehr

- Vorgaben
 - Geschwindigkeitsprofil mit Stopsequenzen
 - Ebene Fahrt (Steigung $\leq 3\%$)
 - Komfortfunktionen wie Radio, Klimakompressor, Heizung haben keinen Einfluss auf Batteriezustand
 - Plug In-Hybrid
 - Elektromotor mit 30 kW; Verbrennungsmotor mit 120 kW Leistung
 - Einschalten des Verbrennungsmotors:
 - Nach Erreichen des besseren wirkungsgradtechn. Betriebspunktes
 - Abschalten des Verbrennungsmotors:
 - $n_{\text{Motor}} \leq 800$ rpm & Fahrerwunsch zum Beschleunigen nicht da

Start/Stop mit Hybrid in Carmaker



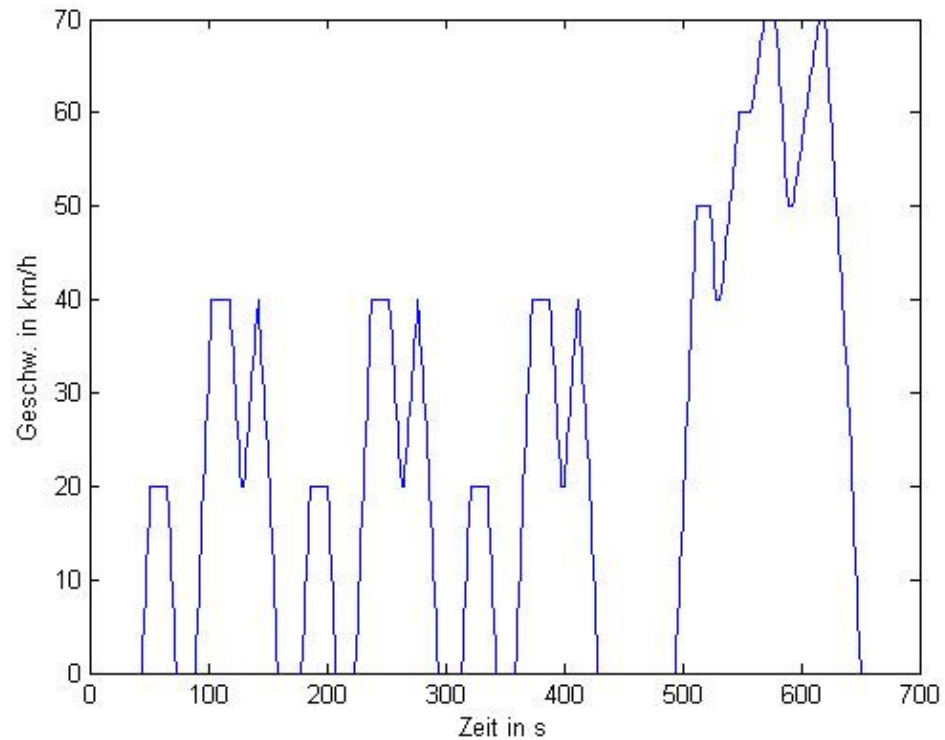
Simulink-Modell:





Annahmen durchfahrener Fahrzyklus

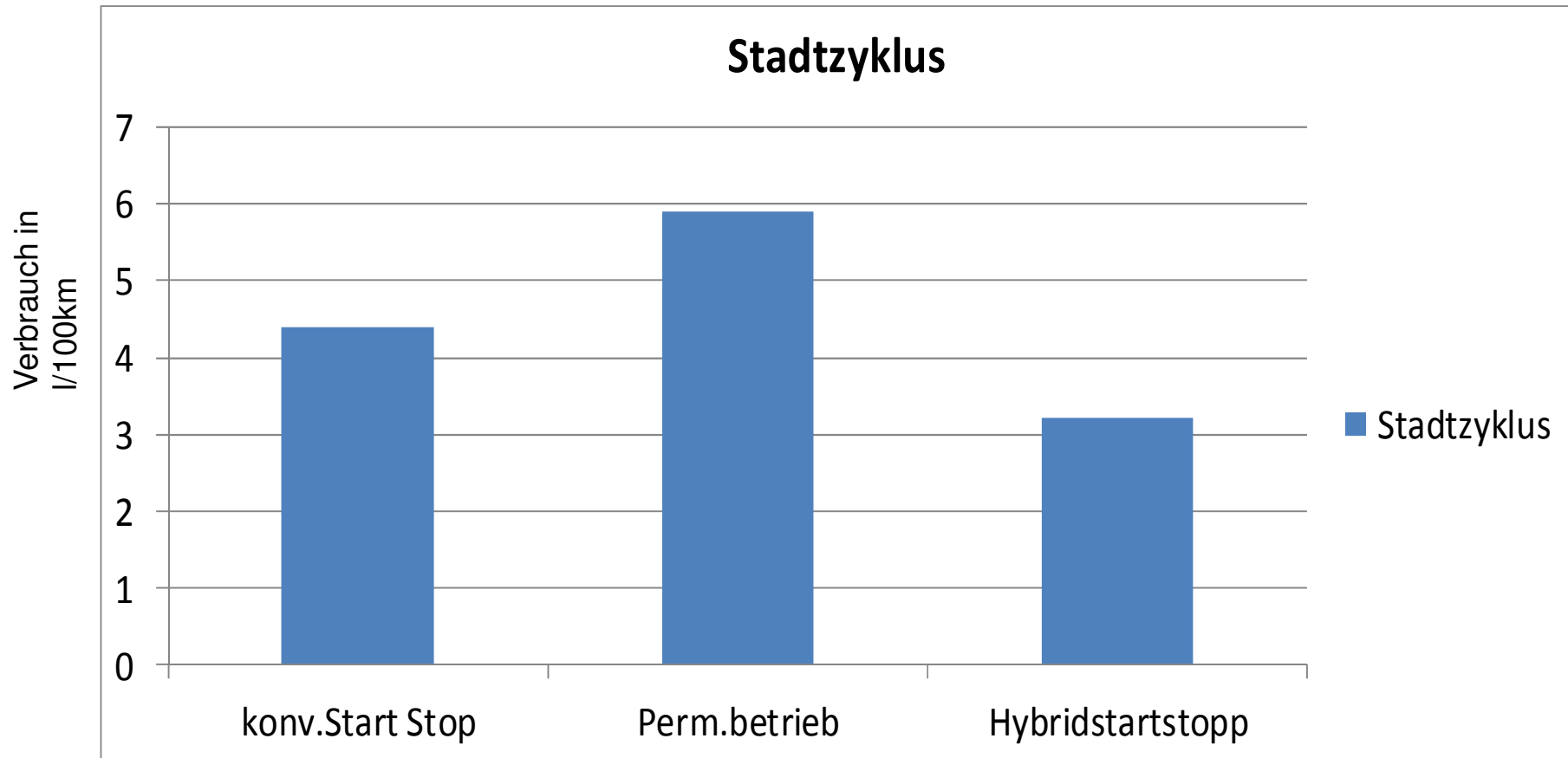
- Durchfahrener Fahrzyklus:



Verbrauchsergebnisse



Ergebnisse Verbrauch (mit AVL inMotion® und ipg Carmaker®):





Vorteile „Hybridstart“:

- Bis 27% Kraftstoffeinsparpotential
- Geringerer Kohlendioxid und – Monoxidausstoß
- NOx- ebenfalls weniger
- Theoretisches Down-sizing des Verbrennungsmotors möglich (3-Zylinder)

Nachteile:

- Gewichtszunahme des Fahrzeugs um bis zu 200 kg
- HC-Emissionen um einiges größer wegen schlagartiger Zündung
- Erhöhte Anforderungen an Batterie

Ausblick:

- Schwingungs-und Eigenwertanalyse der Start/Stop Automatik eines Hybridmotors (+Haltbarkeit der Bauteile)
- MPC-Regelung einer Start-Stoppautomatik



- Danke für Ihre Aufmerksamkeit!

