

Optimale Hybridan- triebsstrangregelung für bekannte Routen

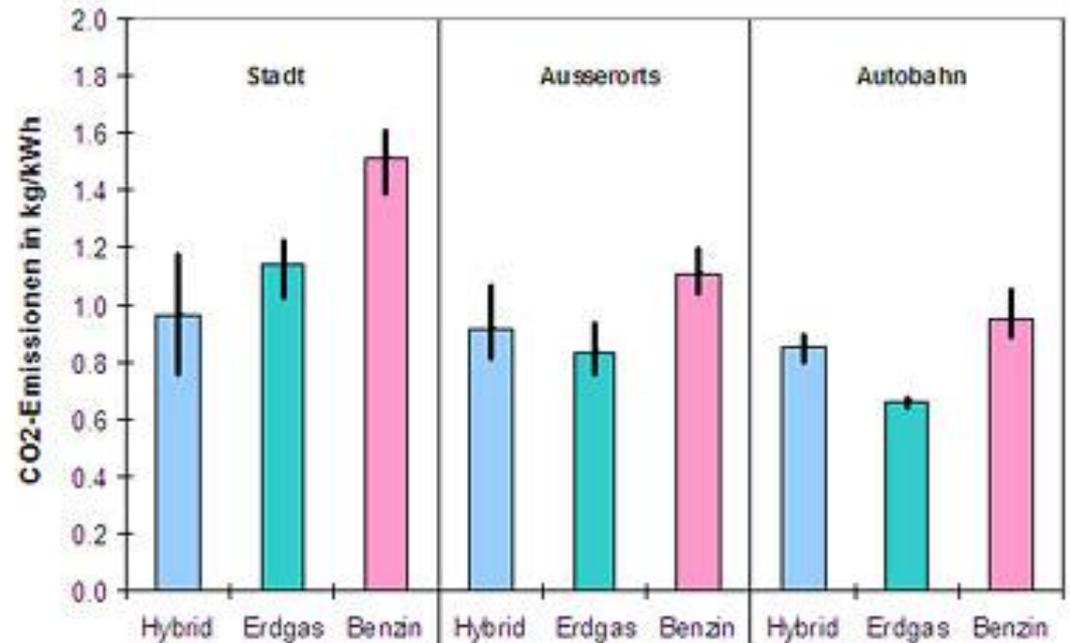
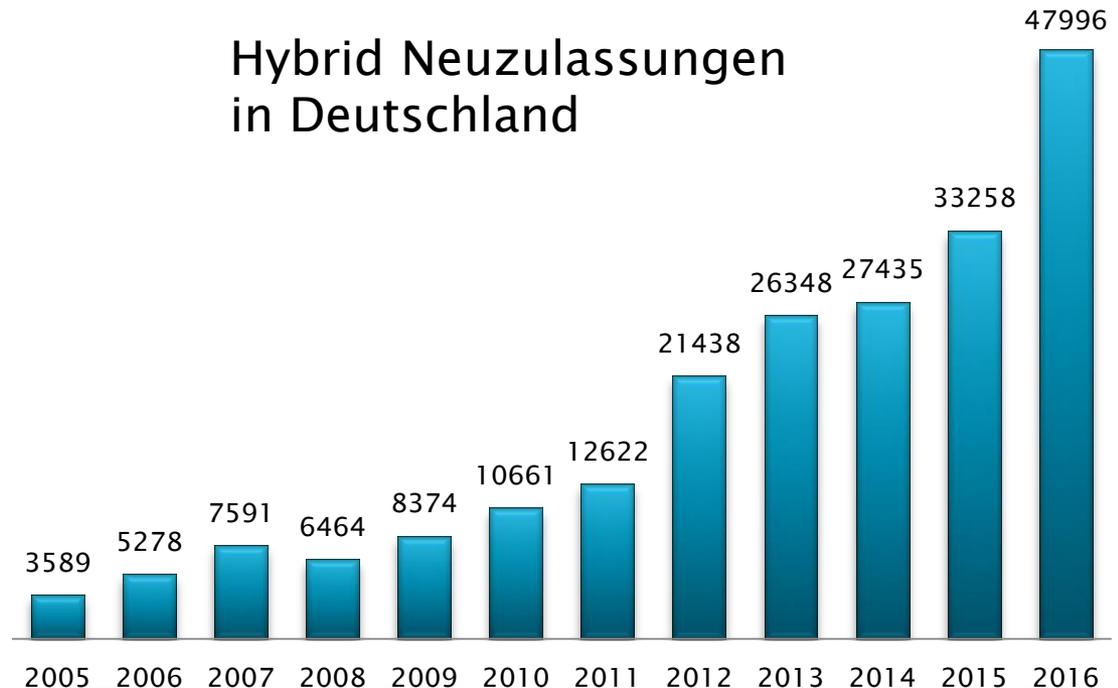
Autor: Pirker Martin

Betreuer: Dipl.-Ing. Polterauer Philipp

Motivation

- ▶ Steigende Nachfrage nach Hybridfahrzeuge
- ▶ Verringerung der ausgestoßenen Emissionen

Hybrid Neuzulassungen in Deutschland

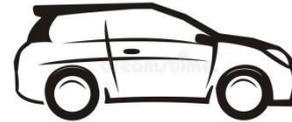


Aufgabenstellung

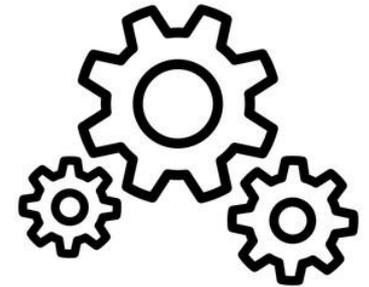
- ▶ Für ein gegebenes Strecken-, Geschwindigkeits- und Beschleunigungsprofil einer Fahrt soll die optimale Lösung berechnet werden, sodass der Treibstoffverbrauch minimal ist (nicht onlinefähig)
- ▶ Informationen durch mehrmaliges Fahren der selben Strecke soll in eine onlinefähige Regelungsstrategie eingebunden werden
- ▶ Vergleich der Regelungsstrategie mit der optimalen Lösung und einer Vergleichsstrategie

Modellierte Komponenten

- ▶ Fahrzeugmodell



- ▶ Mechanischer Aufbau



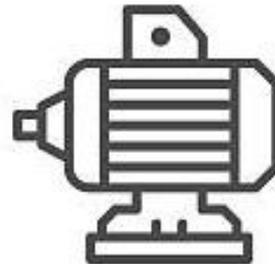
- ▶ Batterie



- ▶ Verbrennungskraftmaschine



- ▶ Elektromotor



- ▶ Generator



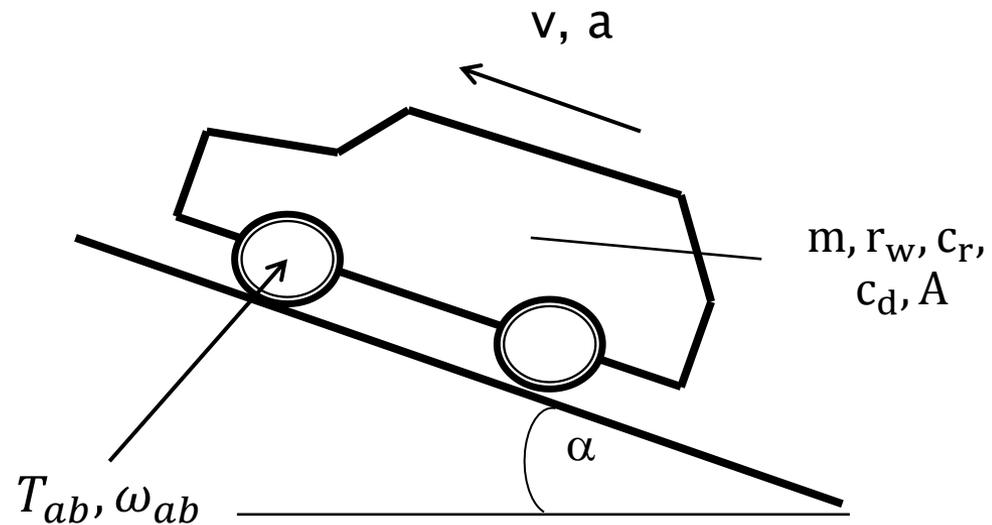
Fahrzeugmodell

▶ $m a = F_p - F_r$

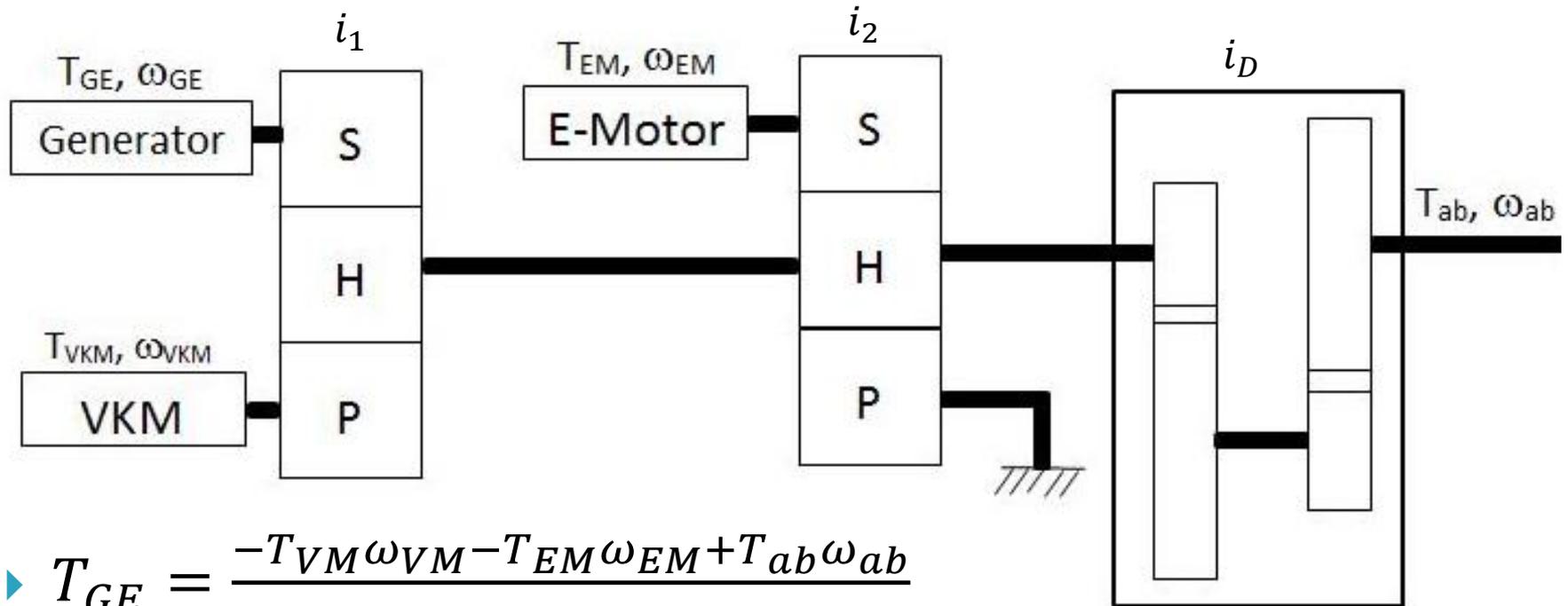
▶ $F_r = mg(c_r + \sin \alpha) + \frac{c_d \rho_{Air} A}{2} v^2$

▶ $T_{ab} = F_p r_w$

▶ $\omega_{ab} = \frac{v}{r_w}$



Mechanischer Aufbau



$$\triangleright T_{GE} = \frac{-T_{VM}\omega_{VM} - T_{EM}\omega_{EM} + T_{ab}\omega_{ab}}{\omega_{GE}}$$

$$\triangleright \omega_{VM} = \frac{\omega_{GE} - \omega_{ab}i_1i_D}{1 - i_1}$$

$$\triangleright \omega_{EM} = \omega_{ab}i_Di_2$$

Batteriemodell

- ▶ Nickel-Metallhydrid NiMH

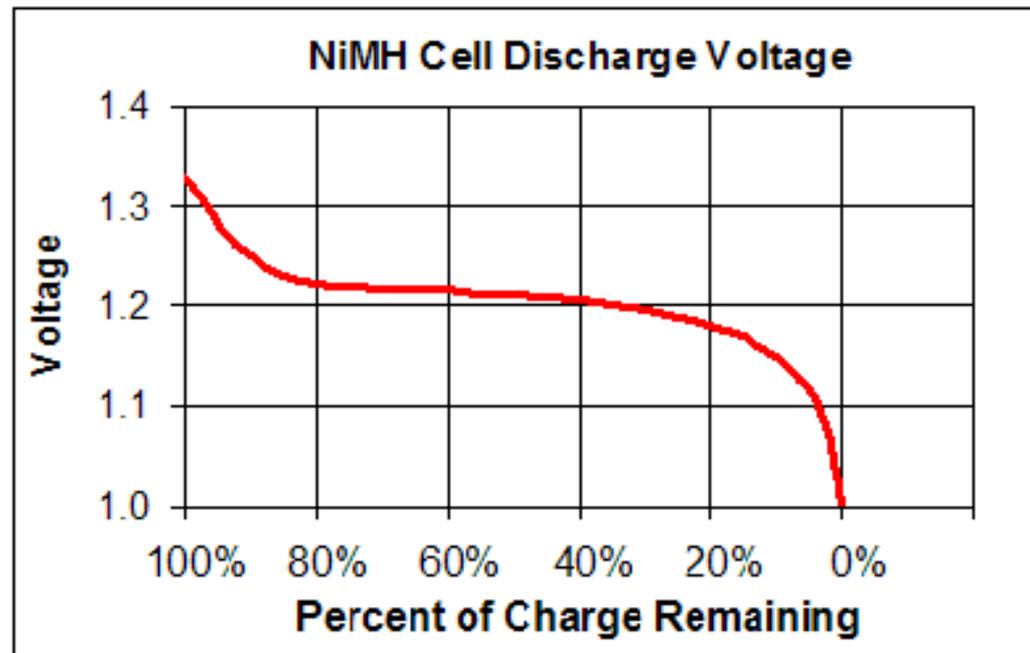
- ▶ $P_B = U I_B - R I_B^2 = P_{EM} + P_{GE}$

$$\rightarrow I_B = \frac{U - \sqrt{U^2 - 4R(P_{EM} + P_{GE})}}{2R}$$

- ▶ $\dot{SoC} = -\frac{I_B}{Q_B}$

- ▶ $30\% \leq SoC \leq 70\%$

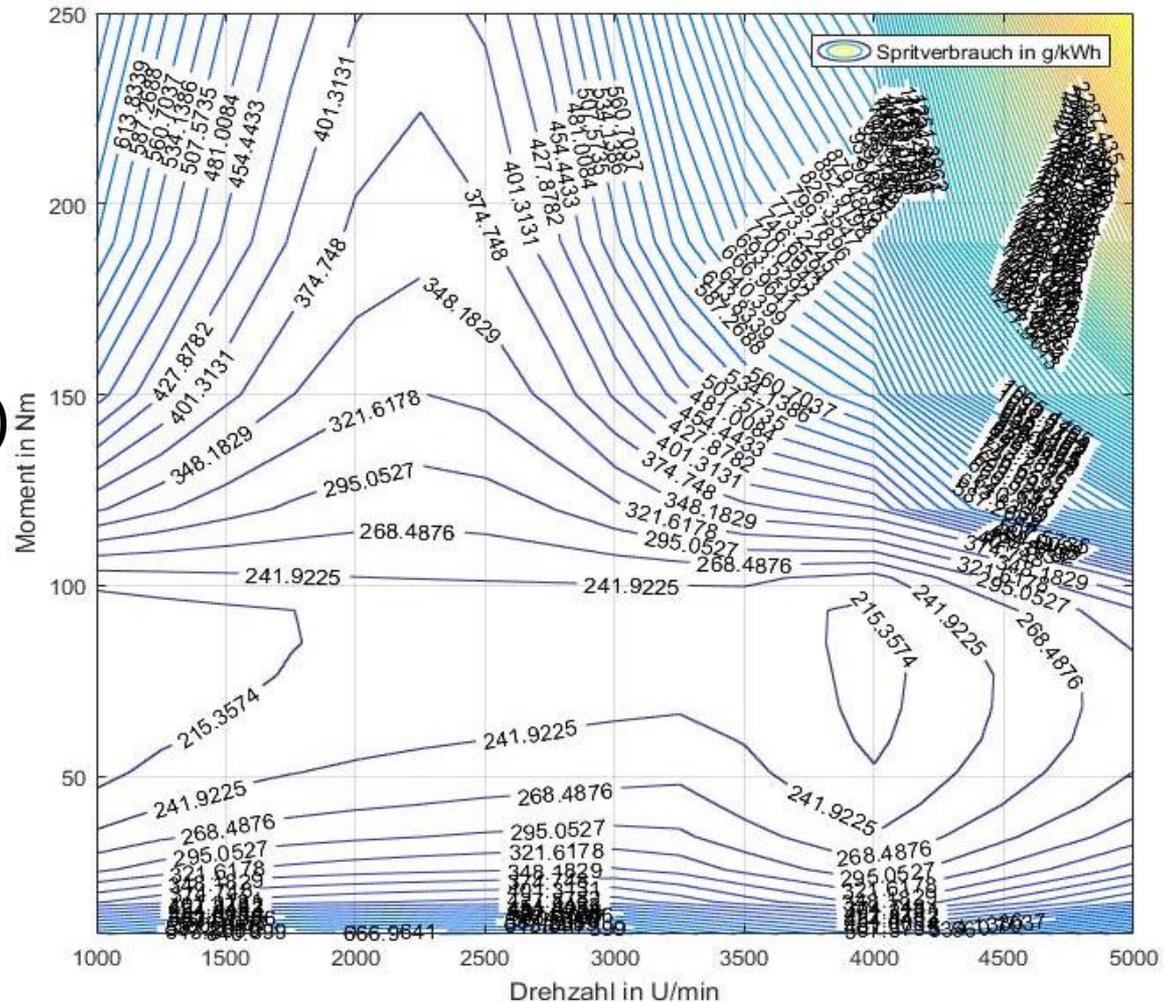
R	20 mΩ
U	650 V
Q	3 Ah



Verbrennungskraftmaschine

► Daten aus ADVISOR*

► $f_{\text{fuel}} = f(T_{VM}, \omega_{VM})$



*(Advanced Vehicle Simulator)
vom National Renewable Energy Laboratory

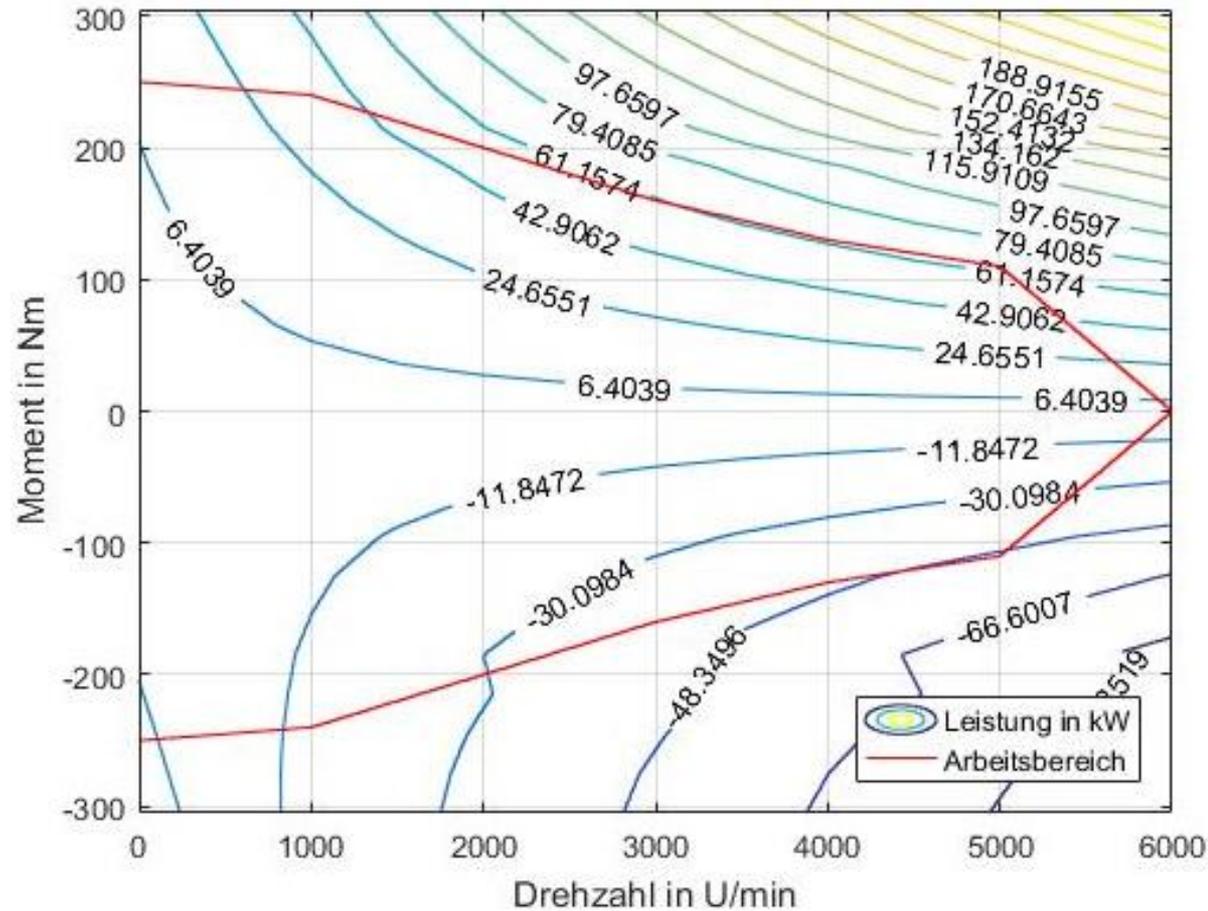
Elektromotor MG2

▶ Daten aus
ADVISOR

▶ $P_{EM} = f(T_{EM}, \omega_{EM})$

▶ Aufgaben

- Antrieb des Fahrzeuges
- Rekuperation



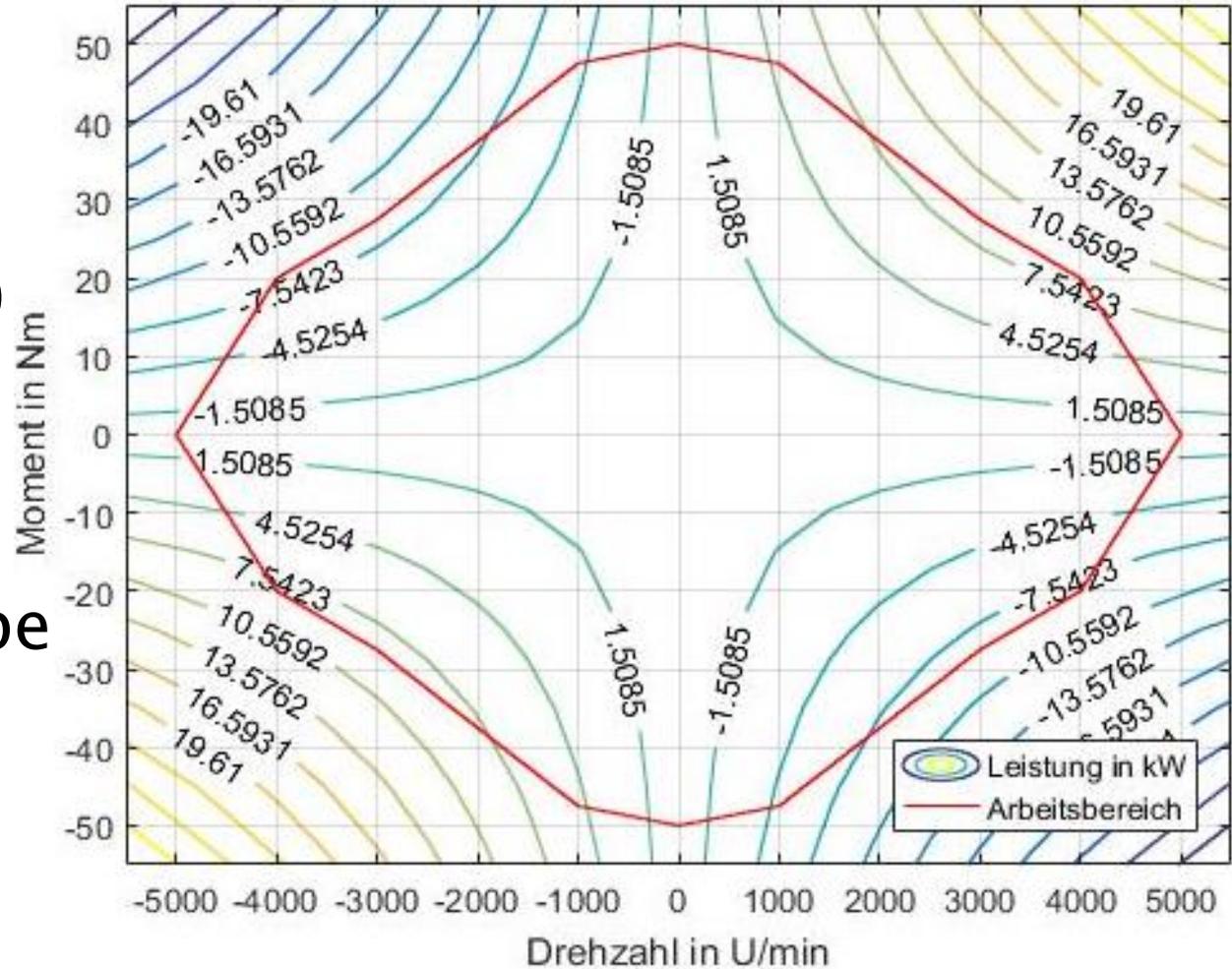
Generator MG1

▶ Daten aus ADVISOR

▶ $P_{GE} = f(T_{GE}, \omega_{GE})$

▶ Aufgabe

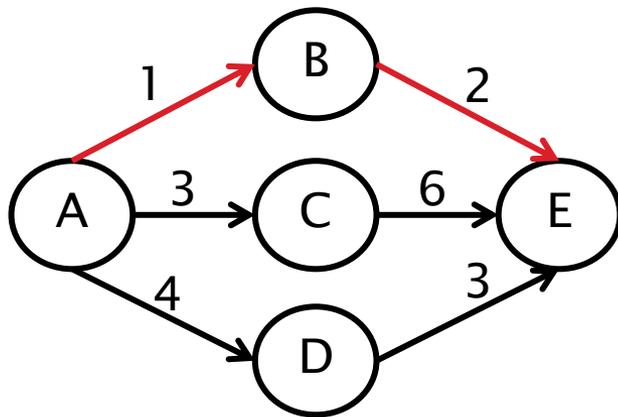
- Drehzahlvorgabe für VKM



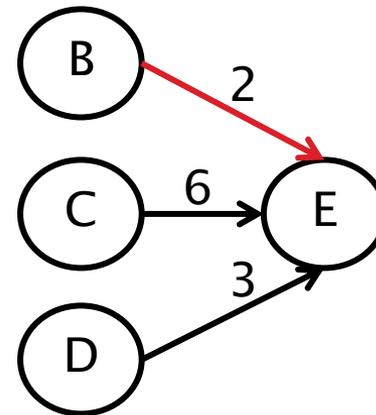
Hybrid Powertrain Control Problem

- ▶ Lösen mittels Dynamic Programming (DP)
- ▶ DP-Algorithmus: Problem aufteilen in Teilprobleme und diese lösen
- ▶ Bsp. Optimale Lösung $A \rightarrow E$

Originalproblem



Teilproblem



DP auf das zu optimierende Problem angewandt (1)

- ▶ Eingang $u_k = [u_{P,split} \quad \omega_{GE}]^T$
$$u_{P,split} = \frac{P_{EM}}{P_{ab}} \in \{-0,5 \dots 1\}$$
$$\omega_{GE} \in \{-5000 \dots 5000 \frac{U}{\text{min}}\}$$

- ▶ Kostenfunktion

$$\min_u \sum_{k=1}^{N-1} W_{fuel,k}(SOC_k, u_k)$$

$u_{P,split} = 1$	$P_{EM} = P_{ab}$	$P_{VM} = 0$	Antrieb nur mittels MG2 ($P_{ab} < 0$ Batterie wird geladen)
$u_{P,split} > 0$	$P_{EM} > 0$	$P_{VM} > 0$	Antrieb mittels MG2 und ICE
$u_{P,split} = 0$	$P_{EM} = 0$	$P_{VM} = P_{ab}$	Antrieb nur mittels ICE
$u_{P,split} < 0$	$P_{EM} < 0$	$P_{VM} > P_{ab}$	Antrieb nur mittels ICE und Laden der Batterie mittels MG2

DP auf das zu optimierende Problem angewandt (2)

- ▶ Implementierung in MATLAB mittels DPM Function von der ETH Zürich
- ▶ Nebenbedingungen

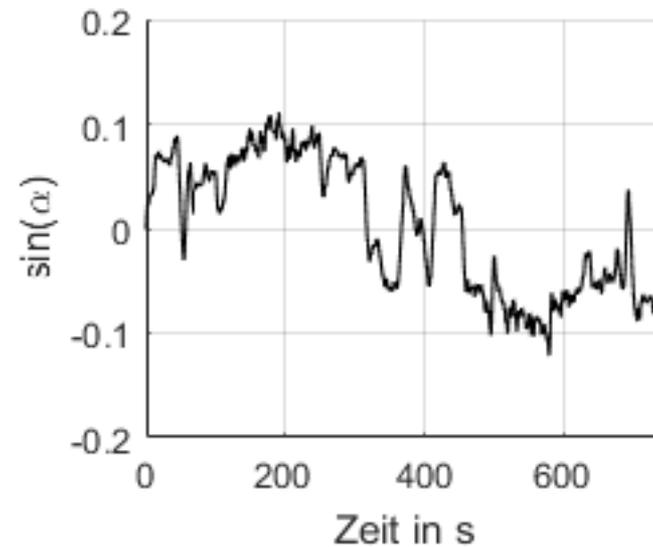
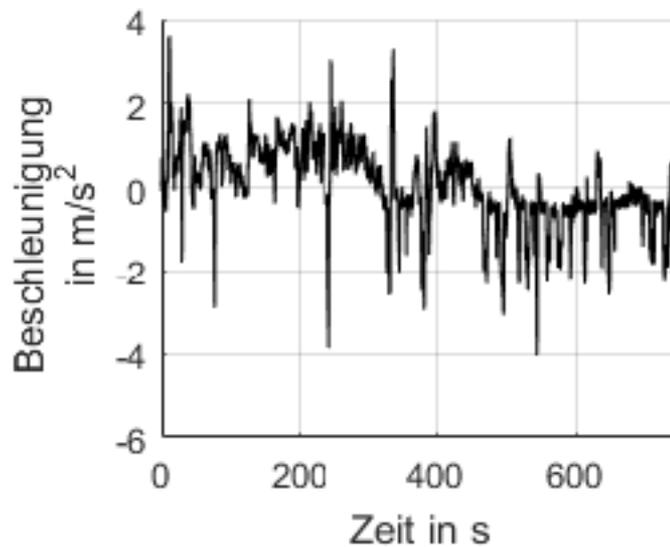
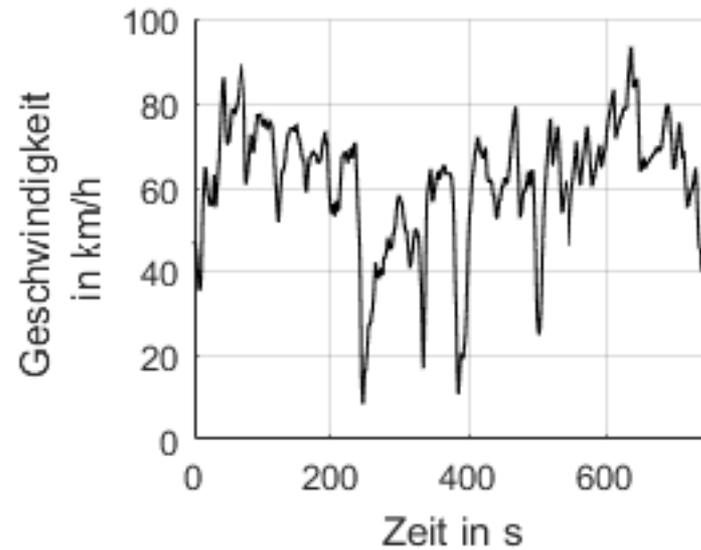
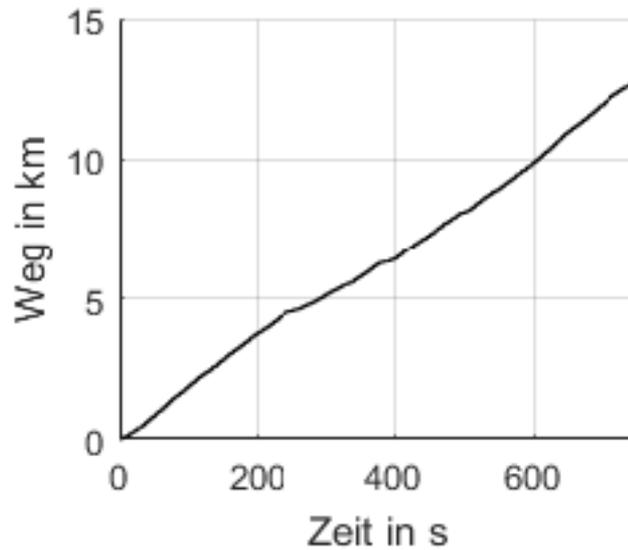
$$\text{s.t } \text{SoC}_{k+1} = - \frac{I_B(P_{EM}, P_{GE})}{Q_B}$$

$$\text{SoC}_{min} \leq \text{SoC}_k \leq \text{SoC}_{max}$$

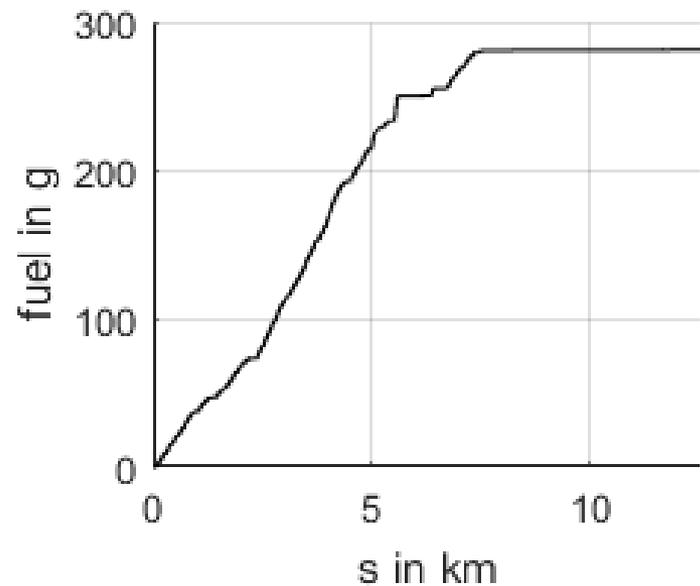
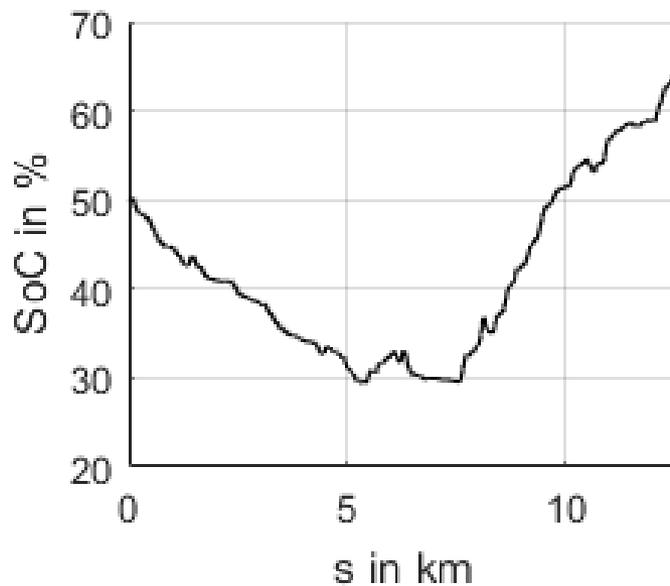
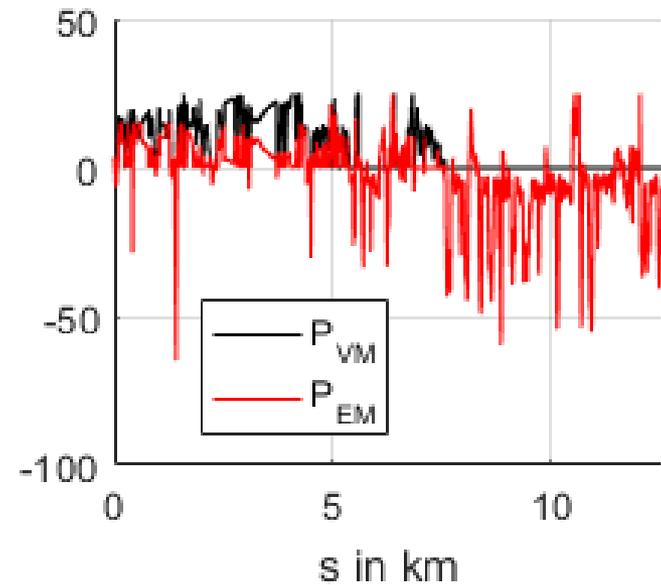
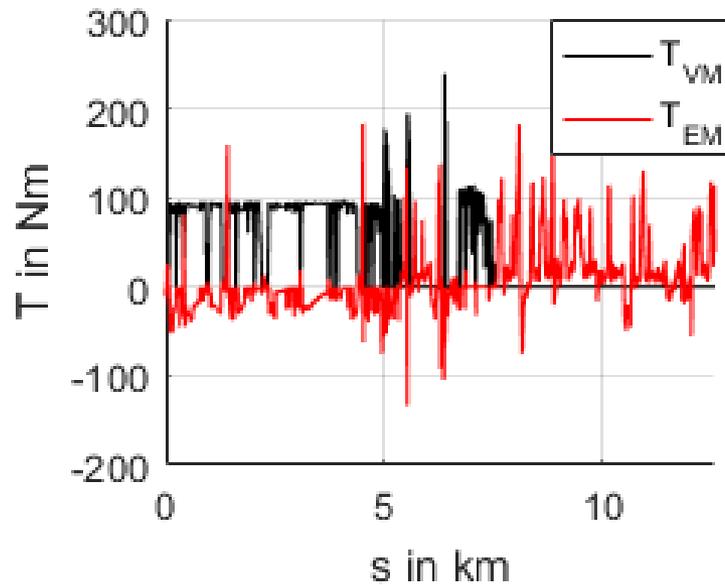
$$T_{(EM,VM,GE),min} \leq T_k \leq T_{(EM,VM,GE),max}$$

$$\omega_{(EM,VM,GE),min} \leq \omega_k \leq \omega_{(EM,VM,GE),max}$$

Strecken- und Fahrprofil



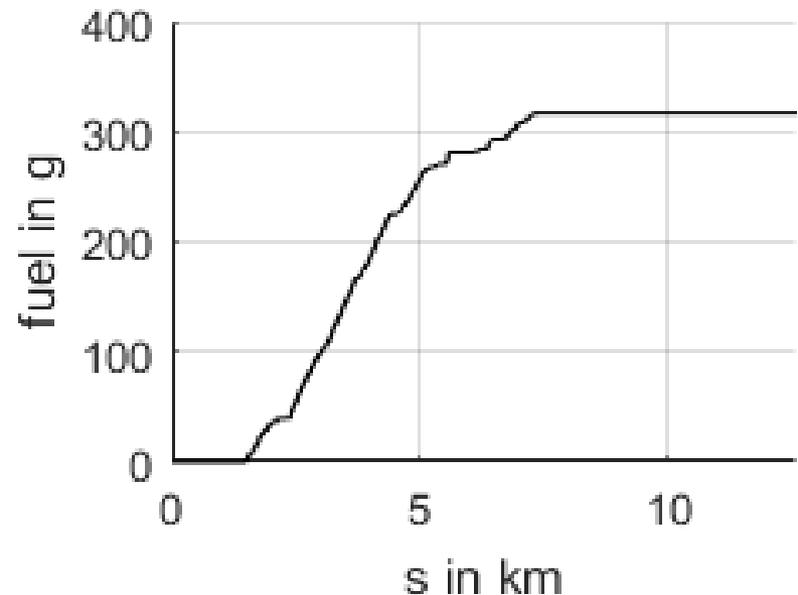
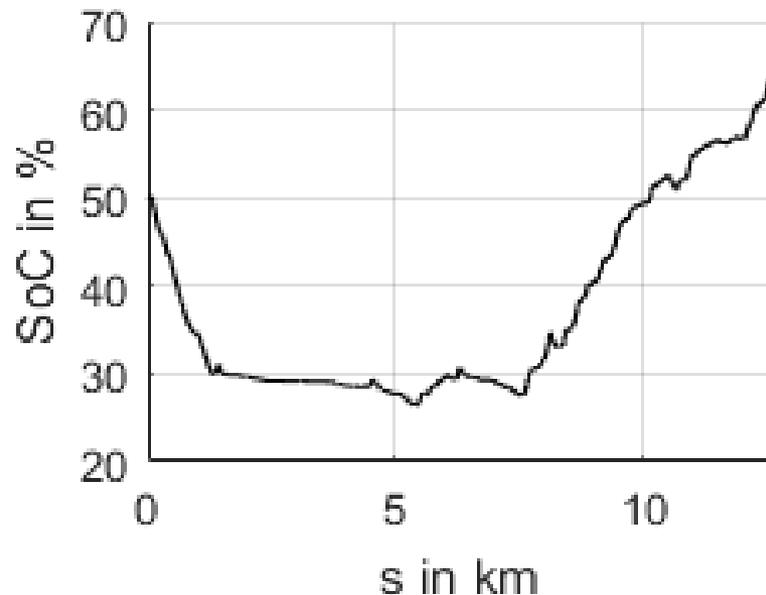
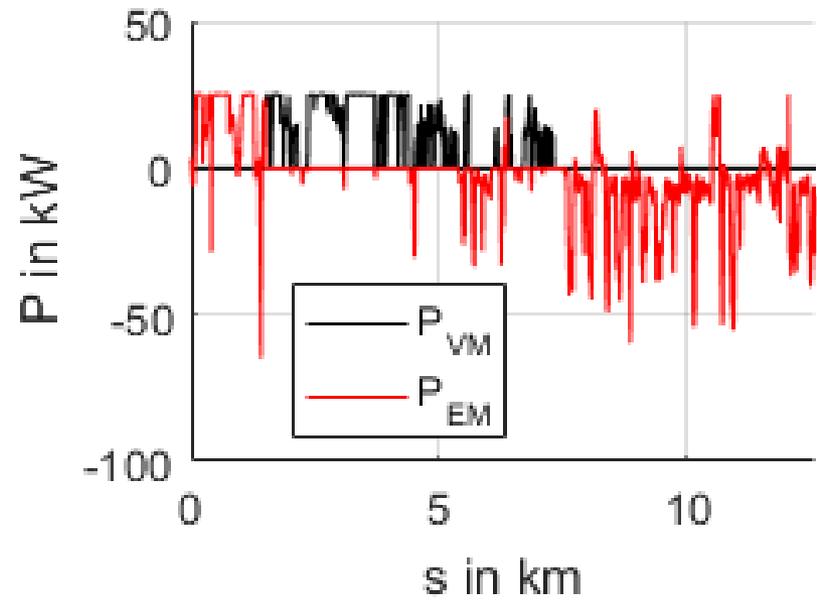
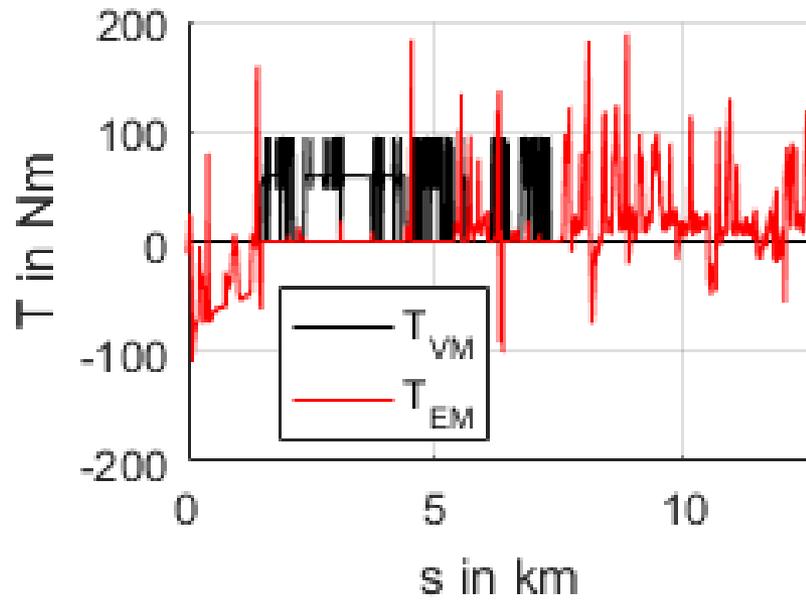
Treibstoffoptimale Lösung



Vergleichsstrategie CDCS

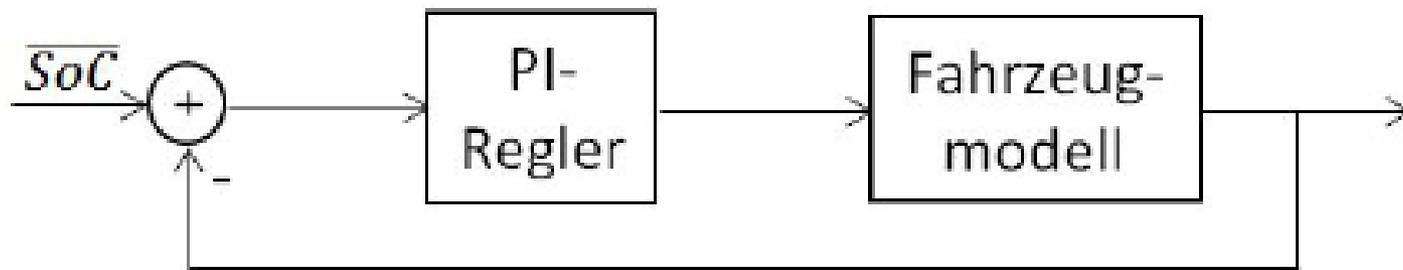
- ▶ CDCS ... Charge Depleting Charge Sustaining
 - ▶ Wenn Energie in der Batterie vorhanden ist wird das Fahrzeug elektrisch Angetrieben
 - ▶ Dient als Referenz um die erzielten Ergebnisse der unterschiedlichen Methoden miteinander zu vergleichen
- 

Vergleichsstrategie CDCS



Entwicklung der Regelungsstrategie

- ▶ SoC-Tracking als Regelungsstrategie
- ▶ Durch mehrmaliges Fahren der Strecke und optimieren der Messdaten mittels DP ergeben sich N optimale SoC-Verläufe
- ▶ Bildung des gemittelten \overline{SoC} -Verlaufs aus den optimalen SoC-Verläufen
- ▶ PI-Regler um den \overline{SoC} -Verlauf zu regeln

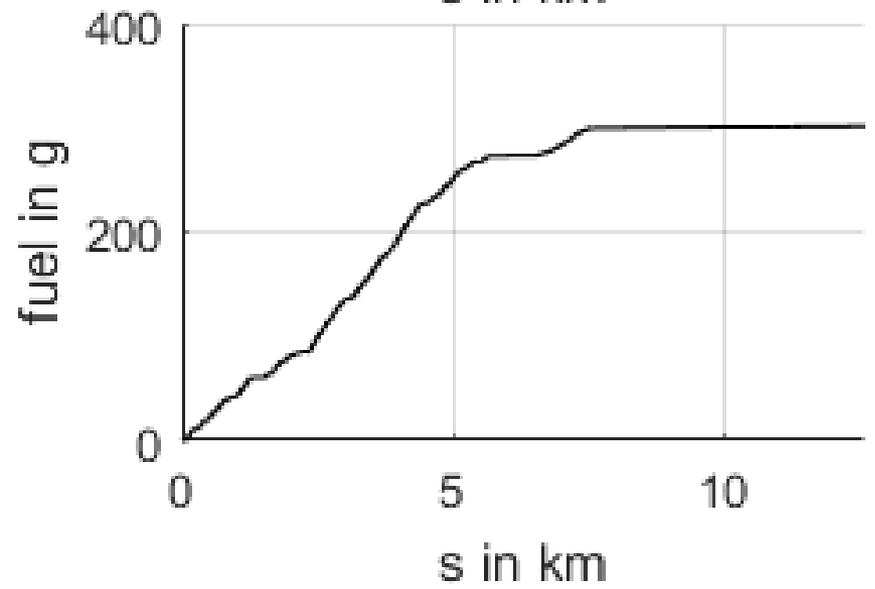
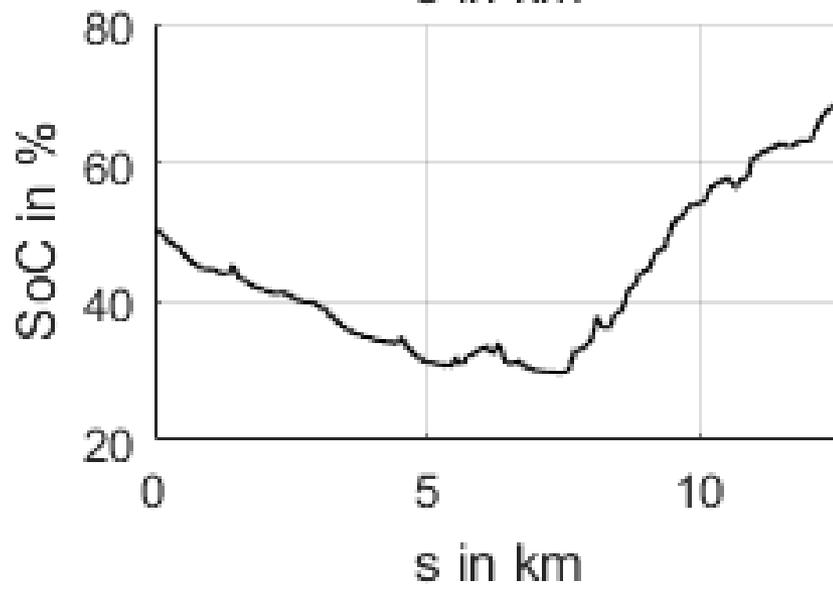
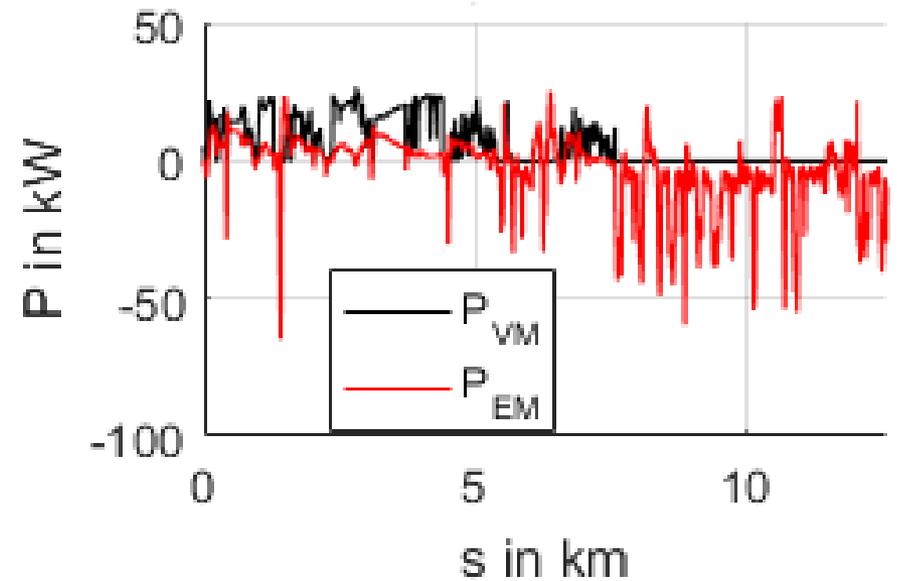
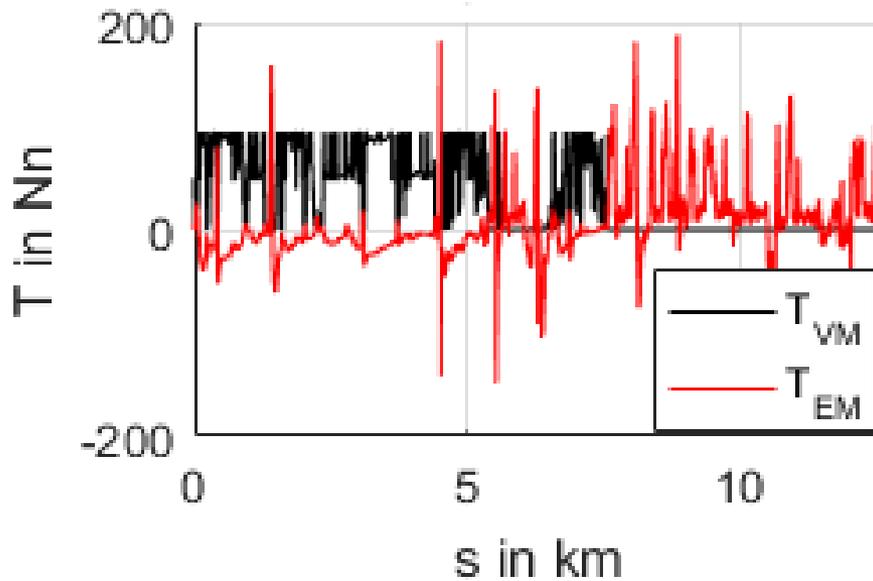


\overline{SoC} -Verlauf

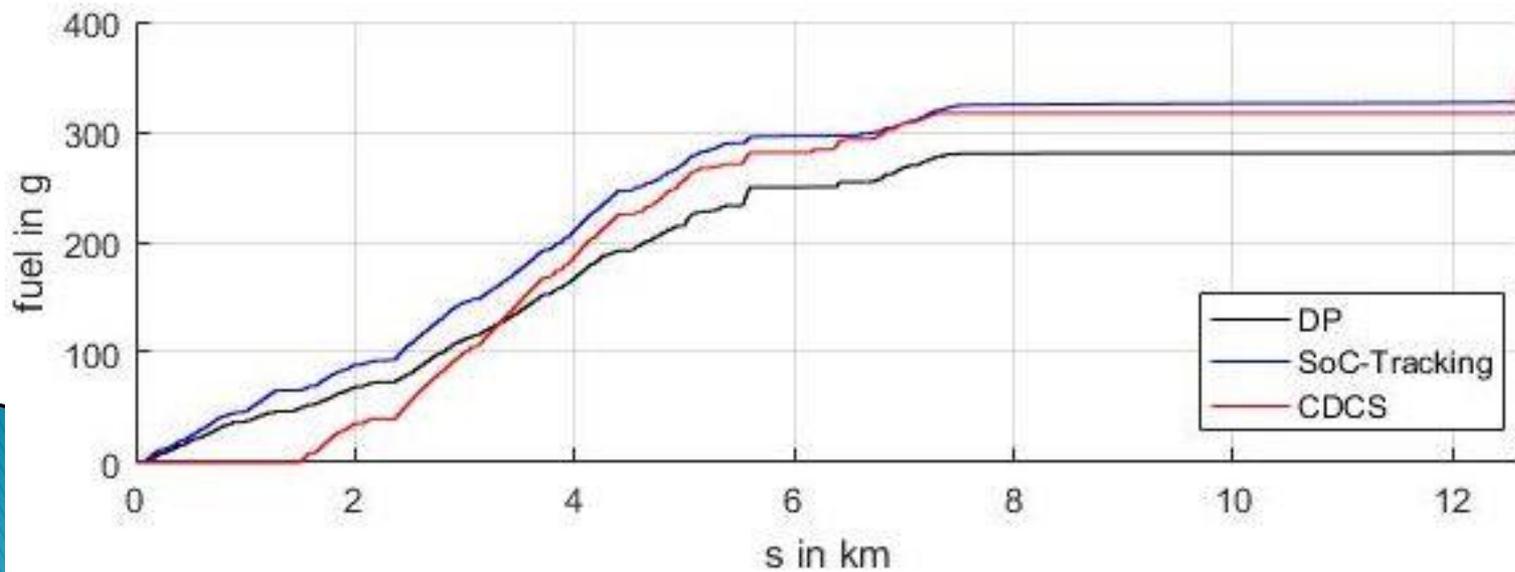


$$\overline{SoC}(s) = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N SoC(s)_i$$

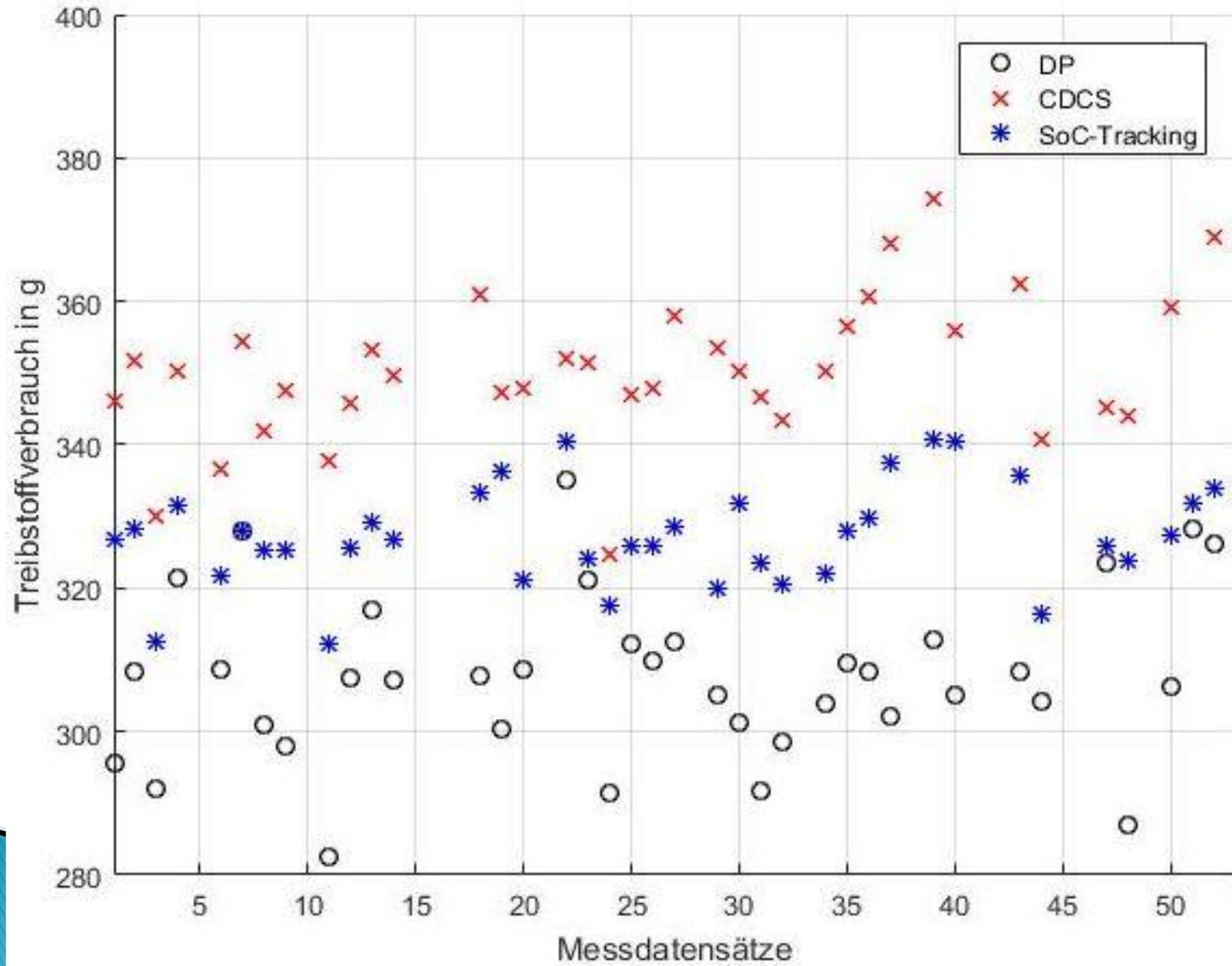
SoC-Tracking Ergebnisse



Auswertung der Ergebnisse



Auswertung der Ergebnisse



Auswertung der Ergebnisse

Datensatz	Treibstoffverbrauch in g			Treibstoffersparnis in %	
	CDCS	SoC Tracking	DP	SoC Tracking	DP
1	345,97	326,77	295,67	5,55	14,54
2	351,64	328,29	308,34	6,64	12,31
3	330,08	312,49	291,93	5,33	11,56
4	350,14	331,41	321,44	5,35	8,20
5	–	–	–	–	–
6	336,55	321,87	308,70	4,36	8,28
7	354,46	327,96	327,84	7,48	7,51
8	342,08	325,27	300,81	4,91	12,06
...
52	368,91	333,88	326,12	9,49	11,60
Durchschnitt	351,19	327,27	307,59	6,77	12,39

Zusammenfassung

- ▶ Modellbildung des Hybridfahrzeuges
- ▶ Ermittlung des minimalen Treibstoffverbrauchs der einzelnen Fahrten mittels DP
- ▶ Aus Informationen von vorherigen Fahrten wurde eine Regelungsstrategie entwickelt
- ▶ Vergleich des SoC-Trackings mit der optimalen Lösung und der Vergleichsstrategie CDCS
- ▶ SoC-Tracking liefert eine durchschnittliche Treibstoffeinsparung von 6,77% bzgl. CDCS

**Danke für Ihre
Aufmerksamkeit!**