

# Masterarbeit

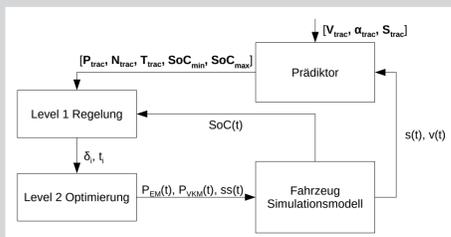
## Strategie zur prädiktiven Regelung eines Hybridfahrzeuges

**Autor:** Michael Kobler  
**Betreuer:** Prof. Luigi del Re  
 DI Dr. Harald Waschl  
**Fertiggestellt:** Dezember 2015

### Kurzfassung

Für einen parallelen Dieselhybridantrieb wurde eine bereits aus Vorgängerarbeiten bekannte MILP basierte Strategie untersucht und erweitert. Dafür wurde ein nichtlineares Fahrzeugmodell mit Carmaker für den kompletten Antriebsstrang und den Fahrwiderstand eingeführt. Als nächster Schritt wurde die erste Stufe der Optimierung durch einen MPC ersetzt um auch auf Geschwindigkeit- und Ortsabweichungen reagieren zu können. Schlussendlich wurde die bestehende RH-Strategie durch eine GPS-Daten basierte Prädiktion des Fahrzyklus ersetzt, um Störungen zu berücksichtigen. Damit ist ein im Voraus bekannter Zyklus nicht mehr notwendig. Diese neue MPC-basierte Strategie wurde mit dem neuen Fahrzeugmodell in Simulation validiert und auch mit einem zu Vergleichszwecken erstellten heuristischen Modell sowie den Vorgängerarbeiten verglichen, wobei nur geringe Verbrauchsunterschiede festgestellt wurden. Die neu eingeführte Leistungsregelung ist jedoch essentiell, um Störungen auszugleichen.

### LP Regelstrategie

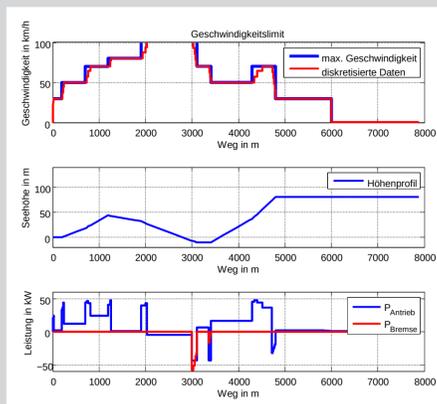


Die Kontrollstrategie teilt sich in drei Teilbereiche. Der Prädiktor ist für die Schätzung des zu erwartenden Streckenprofil zuständig. Aus diesen Daten wird gemeinsam mit dem aktuellen Batterieladestand in der Level 1 Regelung (LP oder MPC) für jeden diskreten Zeitschritt

$t_i$  eine benötigte Batterieladung  $\delta_i$  so berechnet, dass die dafür benötigten Kosten minimal sind. Die Level 2 Optimierung (MILP) unterteilt diese Daten wiederum in kleinere diskrete Zeitschritte und berechnet daraus in einem weiteren Optimierungsschritt die kostenminimalen Steuersignale zur Berechnung des Fahrzeugmodells. Durch die Rückmeldung der aktuellen Position  $s(t)$  und Geschwindigkeit  $v(t)$  an den Prädiktor, schließt sich die Regelschleife. Als alternative Level 1 Regelung wurde statt der LP auch ein MPC implementiert, der in Kombination mit der Leistungsregelung auch auf Regelabweichungen reagiert.

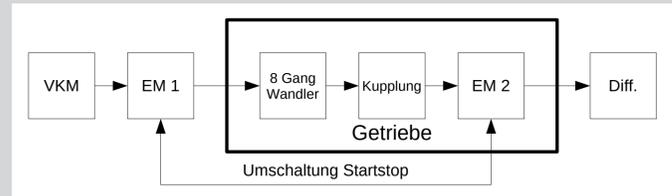
### Prädiktion und Diskretisierung

Für die Prädiktionsstrategie wurde eine einfache kartenbasierte Methode gewählt. Dafür wird angenommen, dass sich das Testfahrzeug auf einer kreuzungsfreien Straße bewegt, wobei für die Prädiktion eine (GPS-basierte) Ortung für die Schätzung des weiteren Verlaufes ausreichend ist. Die Streckendaten verfügen einerseits über ein Höhenprofil (Steigung der Straße) und über ein Geschwindigkeitslimit. Weiters wird angenommen, dass das Fahrzeug versucht die Höchstgeschwindigkeit so gut wie möglich zu erreichen und nicht zu überschreiten. Dafür wird bei Höchstgeschwindigkeitswechseln jeweils eine



### Modellbildung

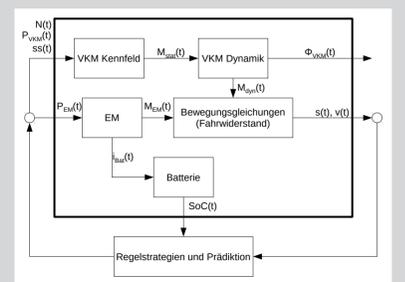
Das verwendete Fahrzeugmodell wurde für diese Arbeit komplett neu in Carmaker und Matlab Simulink implementiert. Als Basis diente das Institutsfahrzeug des Instituts.



Die VKM und die EM1 werden durch Momentenaddition bei einer fixen Drehzahl, vorgegeben durch das Getriebe, betrieben. Da eine Abschaltung der VKM ohne dem Auskuppeln des Getriebes in der Standardimplementierung des Carmaker-Simulationsmodells nicht möglich ist, wird im rein elektrischen Betrieb eine zweite elektrische Maschine EM2 mit den gleichen Leistungsdaten am Getriebeausgang platziert. Diese wird synchron mit dem Startstop-Signal umgeschaltet. Weiters wurden die VKM-Dynamik mittels eines Hammersteinmodells identifiziert und die EM ist als Blackbox mit nichtlinearer Verlustkennlinie berücksichtigt. Auch das Zusatzgewicht der E-Komponenten wirkt auf das Fahrzeugmodell. Das Getriebemodell entspricht einem Zustandsautomaten. Die Fahrwiderstände werden durch Carmaker implementiert.

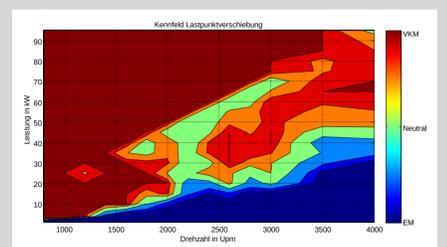
Für Auslegungsberechnungen der Regelstrategien wurde auch ein vereinfachtes Modell mit Simulink implementiert. Dabei wurden alle nichtlinearen Antriebsstrangelemente wie Kupplungs- und Getriebewellenverluste ignoriert und die Dynamik des Fahrzeuges über einfache Bewegungsgleichungen implementiert. Die Fahrwiderstände wurden dafür vorher aus dem Carmakermodell identifiziert.

$$\dot{v} = \frac{-c_w \rho_l A v^2}{2} - k_R m g v + \frac{P_{VKM} + P_{EM}}{m_{red}} - m g \sin \alpha$$



### Heuristisches Modell

Zu Vergleichszwecken und besseren Beurteilung der LP-Strategien, wurde eine einfache heuristische Strategie entwickelt. Diese arbeitet nach dem Prinzip der Lastpunktverschiebung anhand der aktuellen Leistungsanforderung ohne Prädiktion. Um entscheiden zu können ob Lastpunktverschiebung sinnvoll ist, wurde ein passendes Motorkennfeld vermessen.



### Leistungsregelung

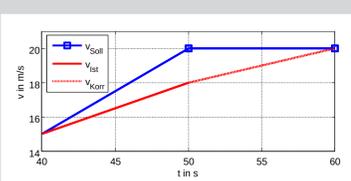
Für alle verglichenen Regelstrategien wurde eine äußere Leistungsregelung implementiert. Dabei wurden zwei verschiedene Algorithmen verwendet, je nach Diskretisierungsstufe.

#### LP-Methoden

Stellgrößenbeschränkter Deadbeat Regler

$$a_k = \frac{\Delta v_k}{\Delta t_k} \quad \text{mit} \quad |a_k| \leq a_{k,max}$$

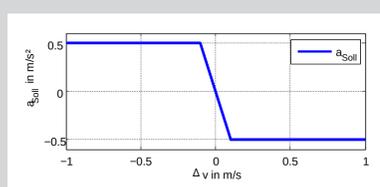
$$P_k = P_{k,soil} + m v_k a_k c_0$$



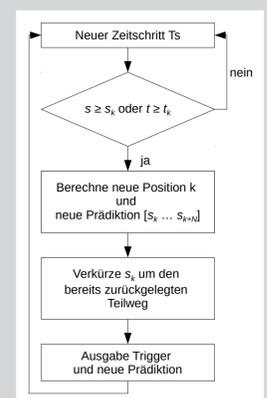
#### heuristische Methoden

Quasi kontinuierlicher Regler mit Sollbeschleunigung  $a(t)$  laut Kennfeld.

$$P(t) = P_{soil}(t) + m v(t) a_{soil}(t)$$



Beschleunigungs- und Bremsphase mit fixen absoluten Beschleunigungswerten vorgesehen. Zur Bewertung wurden verschiedene Teststrecken (Überland wie im Bild, Autobahn, Stadt, NEDC) gewählt und so modifiziert, dass keine Standphasen vorkommen, da die Streckenvorgabe über die Prädiktion nur Ortsbasiert funktioniert. Die Leistungsanforderung wurde durch die Beschränkung des Antriebsstranges auf Antriebs- und Bremsleistung aufgeteilt. Der grobe Ablauf der Prädiktion ist nochmal als Flussdiagramm in der folgenden Abbildung dargestellt.



### Zusammenfassung und Ausblick

- Implementierung eines erweiterten Fahrzeugmodells mit Antriebsstrangverlusten, Entwurf einer Prädiktions- und Diskretisierungsstrategie, Entwurf einer Leistungsregelung und einer MPC basierten Hybridfahrzeugregelung
- Bewertung der Regelstrategien durch Simulationsmodelle mit passenden Teststrecken in verschiedenen Leistungs- und Geschwindigkeitsklassen
  - Verbrauchsvorteile von 5% bis 40% je nach Teststrecke
  - Keine Regelfehler mehr bei  $v_{soil}$  und  $P_{soil}$
- Erweiterungsmöglichkeiten:
  - Verbesserung der Prädiktion (Verkehrsdaten)
  - Selbstlernendes Fahrwiderstandmodells (Beladung, Umweltbedingungen)
  - Berücksichtigung des Fahrkomforts (sanfte Umschaltvorgänge)