

Vorausschauendes ACC zur Steigerung der Energieeffizienz von Hybridfahrzeugen

Dipl.-Ing. **A. Zlocki**, ika – Institut für Kraftfahrzeuge, RWTH Aachen University, Aachen

1. Kurzfassung

Durch die Anreicherung der vorhandenen Streckeninformationen digitaler Karten mit Zusatzattributen steht in zukünftigen Fahrzeugen die kartenbasierte Vorausschau als ein weiterer „Sensor“ zur Verfügung. Diese Kartendaten können als zusätzliche Eingangsdaten für eine ACC-Regelung genutzt werden, um diese energieeffizient zu gestalten. Die ACC-Regelung wird dabei in Form der Modellgestützten Prädiktiven Regelung realisiert. Diese bietet aufgrund der Verwendung der Kostenfunktion die Möglichkeit, die Vorausschaudaten und die Fahrerpräferenz explizit zu berücksichtigen.

Implementiert ist die vorausschauende Regelung in ein Hybridfahrzeug, das mit den notwendigen Komponenten, einem Abstandssensor und dem kartenbasierten Vorausschausystem ausgerüstet ist. Ergebnisse von Realfahrten zeigen einen Vorteil beim Energieverbrauch des Hybridfahrzeuges auf den Teststrecken von 1250 m und 15 km Länge. Die einzelnen Fahrsituationen der Teststrecken müssen dabei nicht vorher in einem Kennfeld für den ACC-Regler abgelegt werden.

2. Abstract

An additional sensor in form of a digital map will be available in future vehicles. This map sensor will contain additional road attributes next to route data of today's digital maps. These map attributes can be used as input data for an ACC system to enable the ACC to be more energy efficient. The ACC system is based on a model based predictive control. This type of controller provides the advantages of utilizing a cost function, which takes driver preferences as well as map data into account.

The model based predictive ACC controller is implemented into a hybrid vehicle, which provides all necessary hardware components for the ACC, a distance sensor and a map data based preview system. Results of real world test drives show advantages in the energy consumption of the test vehicle on different test tracks of 1250 m and 15 km length. The different driving situations on the test tracks do not have to be implemented in a look-up table for the ACC system.

3. Einleitung

Die Kombination von Satellitensystemen und der digitalen Karte erlaubt es, die vorausliegende Strecke zu errechnen und Navigationshilfen zu realisieren. Es erfolgt zunächst eine Lokalisierung mit Hilfe des GNSS. Die Position wird mit der digitalen Karte abgeglichen. Über Map Matching Algorithmen wird die Position des Fahrzeugs auf das Straßensystem der digitalen Karte projiziert, so dass Ungenauigkeiten in der Positionsbestimmung korrigiert werden. Den digitalen Karten können neben Informationen über Streckenlängen und Knotenpunkte durch eine Datenbank weitere Attribute zugeführt werden.

Der sogenannte eHorizon befindet sich zur Zeit im Entwicklungsstadium. Basierend auf dem Teilprojekt MAPS & ADAS aus dem europäischen Forschungsprojekt PREVENT des sechsten Rahmenprogrammes wurden mittels einer standardisierten Schnittstelle Kartendaten für Assistenzsysteme erarbeitet [1].

Vorausschaudaten können in unterschiedlichen Fahrerassistenzsystemen eingesetzt werden. Die einzelnen Systeme sind nach den vier Zielen der Fahrerassistenz klassifiziert. Diese sind die Reduzierung von Umwelteinflüssen, die Steigerung der Sicherheit, die Erhöhung des Fahrkomforts und die Steigerung der Verkehrseffizienz.

Die Reduzierung des Verbrauchs ist durch einen vorausschauenden Fahrstil möglich, [2]. Der Kraftstoffverbrauch lässt sich mittels der Vorausschau auf unterschiedliche Arten vermindern:

- Das Energiemanagement im Antriebsstrang von Hybridfahrzeugen kann mittels der Vorausschaudaten optimiert werden. In Hybridfahrzeugen kann die Betriebsstrategie zwischen dem Einsatz des Verbrennungsmotors und des Elektromotors entscheiden. Kommt es zu Bremsmanövern, kann die Betriebsstrategie zwischen Freilauf oder Rekuperation mittels der E-Maschine wählen. Stehen der Betriebsstrategie Vorausschaudaten zur Verfügung, kann abhängig vom Ladezustand der Batterie eine intelligente Wahl der Beschleunigungs- oder Verzögerungsstrategie getroffen werden. Das Energiemanagement eines Hybridfahrzeugs wurde in [3] behandelt und soll an dieser Stelle nicht weiter vertieft werden.
- Die Wahl der kraftstoffsparsamsten Strecke kann durch intelligente Navigation bestimmt werden. Hierbei fließen die topographischen Daten der Infrastruktur aber auch die aktuelle Verkehrslage mit in den Entscheidungsprozess der Navigationsstrategie ein. Hersteller von Navigationsgeräten entwickeln zur Zeit „Eco“-Funktionen, die den Kunden die kraftstoffsparsamste Route vorgeben. Erste Geräte von Herstellern wie z.B. GARMIN oder TOMTOM sind bereits im Markt eingeführt. Da diese Systeme unabhängig vom Fahrzeug und damit von Fahrzeugregelsystemen sind und nur den Fahrer bei der Navigationsaufgabe unterstützen, soll die Thematik an dieser Stelle ebenfalls nicht weiter vertieft werden.

- Abhängig von der entsprechenden Verkehrssituation kann frühzeitig die Fahrweise angepasst werden. Assistenzsysteme der Führungsebene können durch die Vorausschaudaten auf Änderungen der zulässigen Geschwindigkeit, bedingt durch die Infrastruktur (z.B. Kurvenradien) oder durch die vorgegebenen Geschwindigkeitsvorschriften reagieren.

Der Ansatz, mittels eines längsdynamischen Fahrzeugsystems wie dem ACC auf der Führungsebene verbrauchsoptimierte Geschwindigkeitsvorgaben einzuregeln, bietet ein bisher nicht genutztes Potential. Hierbei ist zu beachten, dass die Geschwindigkeitsvorgaben auf der einen Seite verbrauchsoptimal ausgelegt sein sollen, aber dennoch den Fahrspaß nicht mindern und damit den Zeitpunkt der Geschwindigkeitsverzögerung nicht zu stark von Durchschnittswerten abweichen lassen, damit der Fahrstil durch das System nicht für Störungen des Verkehrsflusses verantwortlich wird.

4. ACC-Regelungskonzept zur Steigerung der Energieeffizienz

Die ACC-Regelung wird mit unterschiedlichen Regelkonzepten umgesetzt. PID-Regler zur Abstandsregelung in ACC-Systemen sind relativ einfach aufgebaut und daher mit Mikrocontrollern umsetzbar, die für den Einsatz im Fahrzeug ausgelegt sind. PID-Regler sind in der Technik weit verbreitet, somit sind unterschiedliche Verfahren zur Auslegung der Regler bekannt. Diese Art der Regelung ist für ACC-Systeme unter Umständen jedoch nicht ausreichend. So treten mit einfachen PID-Reglern bei der gleichzeitigen Einregelung der zunächst unabhängigen Größen Abstand und Geschwindigkeit Probleme bei der Ermittlung der Regelparameter auf, da diese nicht mit Hilfe einfacher empirischer Einstellregeln geschätzt werden können.

Ein weiteres Regelungsverfahren, das von der Zustandsraumdarstellung eines Systems ausgeht, ist die Modellgestützte Prädiktive Regelung (MPR bzw. engl. MPC). Dabei wird unter Verwendung eines Modells des zu regelnden Prozesses der künftige Verlauf der Prozessgrößen prädiziert und die Berechnung des Stellsignals durch die Minimierung einer Kostenfunktion vorgenommen. Als signifikante Vorteile der Modellgestützten Prädiktiven Regelung gegenüber anderen Regelungsverfahren lassen sich eine einfache Behandlung von Mehrgrößensystemen und eine explizite Berücksichtigung von Begrenzungen der Stell-, Zustands- und Ausgangsgrößen nennen. [4].

Die bei der Umsetzung einer MPR mögliche Kostenfunktion wird unter Beachtung von Nebenbedingungen optimiert. Durch die Möglichkeit, die Vorausschaudaten gewichtet neben den Anforderungen an die Fahrsicherheit in die Kostenfunktion einfließen zu lassen, eignet sich dieses Reglerkonzept besonders für ein ACC-System. Insbesondere für Hybridfahrzeu-

ge, die durch die Wahl des Antriebes mit einem zusätzlichen Freiheitsgrad einen weiteren Parameter in die Kostenfunktion einbringen, ist die MPR von Interesse. Abb. 4-1 zeigt das Blockschaltbild des Übertragungssystems für die MPR.

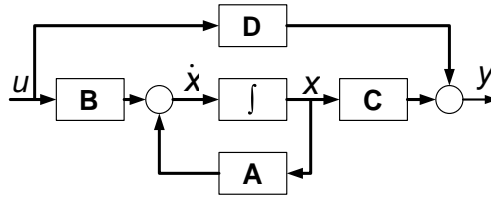


Abb. 4-1: Wirkungsplan eines linearen Übertragungssystems mit Zustandsvariablen [4]

Aus der notwendigen Bedarfskraft für die Fahrzeugbeschleunigung leitet sich ein Differentialgleichungssystem erster Ordnung ab, das über die variablen Größen das Bedarfsmoment am Rad, die Steigung und die Fahrzeuggeschwindigkeit verfügt. Der Ausdruck ist in der Umgebung eines Arbeitspunktes (AP) linearisiert.

$$\dot{\mathbf{x}}(t) = \begin{pmatrix} \dot{a}(t) \\ \dot{v}_{\text{Fzg}}(t) \\ \dot{dx}(t) \end{pmatrix} = \underbrace{\begin{pmatrix} k_3 & 0 & 0 \\ 1 & 0 & 0 \\ 0 & -1 & 0 \end{pmatrix}}_{\mathbf{A}} \cdot \underbrace{\begin{pmatrix} a(t) \\ v_{\text{Fzg}}(t) \\ dx(t) \end{pmatrix}}_{\mathbf{x}(t)} + \underbrace{\begin{pmatrix} k_2 & k_1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{pmatrix}}_{\mathbf{B}} \cdot \underbrace{\begin{pmatrix} \dot{p}(t) \\ \dot{M}_{\text{bed,Rad}}(t) \\ v_{\text{VF}}(t) \end{pmatrix}}_{\mathbf{u}(t)} \quad \text{Gl. 4-1}$$

Der Ausgangsgrößenvektor der Zustandsraumdarstellung entspricht dem Zustandsvektor, so dass die Ausgangsmatrix als Einheitsmatrix und die Durchgangsmatrix als Nullmatrix gewählt werden kann.

$$\mathbf{y}(t) = \begin{pmatrix} a(t) \\ v_{\text{Fzg}}(t) \\ dx(t) \end{pmatrix} = \underbrace{\begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{pmatrix}}_{\mathbf{C}} \cdot \mathbf{x}(t) + \underbrace{\begin{pmatrix} 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 \end{pmatrix}}_{\mathbf{D}} \cdot \mathbf{u}(t) \quad \text{Gl. 4-2}$$

Die MPR basiert auf der Minimierung der Kostenfunktion, welche die künftigen Abweichungen der Ausgangsgröße von einer vorgegebenen Sollwerttrajektorie berücksichtigt.

Die Quantifizierung der Abweichung des Ausgangsgrößenverlaufs $\mathbf{y}(\cdot|k)$ von der Sollwerttrajektorie $\mathbf{w}(\cdot|k)$ erfolgt durch die skalare Kostenfunktion J . In der Kostenfunktion wird die normierten Änderungen des Stellgrößenvektors $\mathbf{m}(\cdot|k)$ erfasst, wodurch große Stellgrößen-schwankungen vermieden werden können.

Eine Gewichtung der beiden aufgeführten Bestandteile der Kostenfunktion erfolgt über die Wichtungsmatrizen \mathbf{Q} und \mathbf{R} , welche zu positiv semidefiniten Diagonalmatrizen gewählt werden. Damit ergibt sich die in Gl. 4-3 dargestellte Kostenfunktion.

$$\begin{aligned}
\mathbf{J}(\mathbf{m}(\cdot | k)) &= \|\mathbf{y}(\cdot | k) - \mathbf{w}(\cdot | k)\|_{\mathbf{Q}}^2 + \|\mathbf{m}(\cdot | k)\|_{\mathbf{R}}^2 \\
&= \left\| \begin{pmatrix} \mathbf{y}(k + N_1 | k) \\ \vdots \\ \mathbf{y}(k + N_2 | k) \end{pmatrix} - \begin{pmatrix} \mathbf{w}(k + N_1 | k) \\ \vdots \\ \mathbf{w}(k + N_2 | k) \end{pmatrix} \right\|_{\mathbf{Q}}^2 + \left\| \begin{pmatrix} \mathbf{m}(k | k) \\ \vdots \\ \mathbf{m}(k + N_U - 1 | k) \end{pmatrix} \right\|_{\mathbf{R}}^2
\end{aligned}
\tag{Gl. 4-3}$$

Die Minimierung der Kostenfunktion unter Berücksichtigung von Nebenbedingungen zieht Beschränkungen von Stell-, Zustands- oder Regelgrößen mit ein. Durch die beschränkte Rechenleistung im Fahrzeug muss allerdings auf analytische Verfahren zur Berechnung der Kostenfunktion ohne explizite Betrachtung der Nebenbedingungen zurückgegriffen werden.

5. Das Hybridfahrzeug

Das vorausschauende kartenbasierte ACC-System wurde in ein Hybridfahrzeug des ika integriert. Dieses Fahrzeug ist im Rahmen des vom BMBF geförderten Projektes „Energie-management II“ aufgebaut worden und basiert auf einem Opel Corsa C. Das Fahrzeug verfügt serienmäßig über einen 3-Zylinder Ottomotor mit einer Leistung von 44 kW und ist mit einem automatisierten 5-Gang-Getriebe ausgerüstet. Der als Parallel-Hybrid ausgelegte Versuchsträger verfügt über einen Elektromotor mit einer Leistung von 37 kW, welcher über einen Kettentrieb starr mit der Getriebeausgangswelle verbunden ist. Der konventionelle Antriebsstrang wurde des Weiteren um einen Umrichter, einen DC/DC Wandler und eine in der Reserveradmulde untergebrachte Lithium Ionen Batterie mit einer Nennspannung von 288 V und einer Kapazität von 7,5 Ah erweitert. Zur Realisierung des erweiterten ACC-Betriebes ist das Fahrzeug mit einem Lidar-Sensor der Fa. Hella sowie einem Car-PC der Fa. Kontron mit angeschlossenem GPS-Modul zur Bereitstellung der Navigationsdaten ausgestattet. Die Betriebsstrategie wird von einem am ika entwickelten 32-bit Hauptsteuerungsgerät auf Basis eines MPC 565, der sogenannten Hybrid Control Unit (HCU), ausgeführt. Die Modellgestützte Prädiktive Regelung wird als eigener Funktionsblock in die Betriebsstrategie implementiert und kann auf Fahrerwunsch über einen Lenkradknopf aktiviert werden. Alle Komponenten kommunizieren miteinander über den CAN-Bus. Die Systemarchitektur des Fahrzeugs ist in Abb. 5-1 gegeben. Details zum Aufbau und den einzelnen Komponenten sind [3] zu entnehmen.

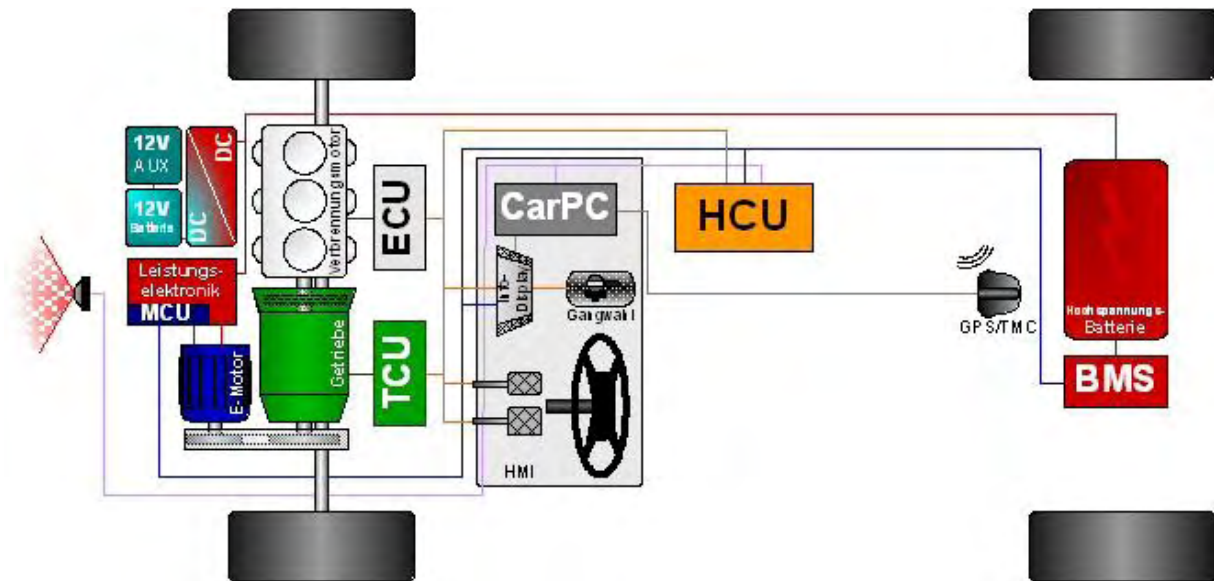


Abb. 5-1: Systemarchitektur des Versuchsträgers [3]

Im ACC-Betrieb wird die Verzögerung des Fahrzeugs hauptsächlich durch den E-Motor realisiert, um einen möglichst hohen Anteil der kinetischen Energie des Fahrzeugs bei Bremsvorgängen zu rekuperieren. Durch Begrenzungen des maximalen Ladestroms der Batterie und des Umrichters und der daraus resultierenden Momentenbegrenzung der E-Maschine kann bei hohen Batterieladegraden elektrisch nur eine beschränkte Verzögerung erzielt werden. Darüber hinaus muss bei Bedarf eine weitere Verzögerung über einen mechanischen Bremskraftverstärker eingeleitet werden. Dieser steht für die Fahrversuche auf öffentlichen Straßen mit Umgebungsverkehr nicht zur Verfügung.

Die Betriebsstrategie des Fahrzeugs sieht vor, den Ladegrad der Batterie in einem Bereich zwischen 40 und 60 % zu halten. Sinkt der State of Charge (SOC) unter 40 %, so schaltet sich der Verbrennungsmotor ein und bleibt aktiv bis die Fahrt zu Ende ist oder die Batterie über 40 % geladen ist. Bei über 60 % SOC versucht die Betriebsstrategie im niedrigen Geschwindigkeitsbereich möglichst nur den Elektromotor zu nutzen, um Kraftstoff zu sparen. Dies hängt allerdings im unregelmäßigen Fahrbetrieb von den Beschleunigungswünschen des Fahrers ab.

Für die Bestimmung der Regelparameter wurden zunächst Erprobungsfahrten auf der ika-Teststrecke durchgeführt. Diese zeigten eine subjektiv gefühlte positive Fahrerakzeptanz mit einem Prädiktionshorizont von 4 s. Eine Parametrisierung der Reglereinstellungen der harten und weichen Abstands- und Geschwindigkeitsregelung erfolgte ebenfalls auf Basis des subjektiven Empfindens dreier Fahrer.

6. Ergebnisse aus Fahrversuchen

Der Einfluss des entwickelten ACC-Vorausschau-systems mit der Modellgestützten Prädiktiven Regelung kann auf der vermessenen Aachener Testroute untersucht werden, da für diese Strecke die notwendigen Zusatzinformationen wie Steigungen, Kurvenradien und Geschwindigkeitsbeschränkungen vorliegen. Es werden die ersten 1250 m der Aachen Runde ausgewählt, da diese sowohl mehrere Kurven als auch Steigungsdifferenzen enthält und der Einfluss von Umgebungsverkehr gering ist.

Beginnend auf dem Parkplatz des ika verläuft die Strecke in eine Rechtskurve auf die Steinbachstraße und nach etwa 90 m in eine zweite Rechtskurve auf den Seffenter Weg. Im weiteren Streckenverlauf erfolgt eine Auffahrt auf die Bundesstraße Pariser Ring, welche bis zum Erreichen der geforderten Strecke von 1250 m befahren wird. Der Streckenverlauf für den Routenabschnitt ist in Abb. 6-1 dargestellt. Auf diesem Abschnitt befinden sich sowohl Kurvensituationen als auch Steigungsänderungen, die mit in die Regelung einbezogen werden. Außerdem kann auf diesem Abschnitt in den Abendstunden ohne Umgebungsverkehr gemessen werden, so dass die Vergleichbarkeit der Messungen gegeben ist.



Abb. 6-1: Die ersten 1250 m der Aachener Testroute

Im Folgenden soll der Unterschied zwischen dem entwickelten System mit einer Modellgestützten Prädiktiven Regelung zu einem Kennfeldregler aufgezeigt werden. Bei dem Kennfeldregler handelt es sich um einen Geschwindigkeitsverlauf, der für die gewählte Versuchsstrecke nach den Vorgaben für die Beschleunigung, Verzögerung und Konstantfahrt aus [5] berechnet wurde und in einem Kennfeld hinterlegt ist. Dieses Kennfeld ist nur für die vorgestellte Route gegeben. Weicht der Fahrer davon ab, wird die Regelung deaktiviert. Detektiert der Abstandssensor ein langsames Vorderfahrzeug, kann dem Kennfeld ebenfalls nicht mehr gefolgt werden.

Im Rahmen von 15 Messfahrten wurde dieselbe Strecke mit dem Kennfeldregler abgefahren. Die im Folgenden vorgestellten Messergebnisse basieren auf einem errechneten Mittelwert dieser 15 Fahrten. Dem wird eine Fahrt mit dem entwickelten ACC-Regler gegenüber gestellt.

In Abb. 6-2 ist der gemittelte Geschwindigkeitsverlauf des Kennfeldreglers dargestellt. Es ist zu erkennen, dass dieser Regler die Geschwindigkeitsvorgaben der Vorausschau sehr genau einregelt. Zusätzlich zum Kennfeldregler ist der Beschleunigungsverlauf der Modellgestützten Prädiktiven Regelung mit einem Prädiktionshorizont von 4 s abgebildet. Zu Beginn der Messung muss 15,68 s im Stillstand auf ein Fahrzeug an der Abfahrt vom Institutsgelände gewartet werden. Der Vergleich beider Geschwindigkeitsverläufe zeigt Unterschiede in der Beschleunigungsstrategie. Die ACC-Reglerauslegung ist deutlich konservativer als die des abgebildeten Kennfeldreglers. Der Fahrer empfindet beide Systeme als komfortabel. Es ergibt sich eine Zeitdifferenz von 8,62 s zwischen beiden Fahrten.

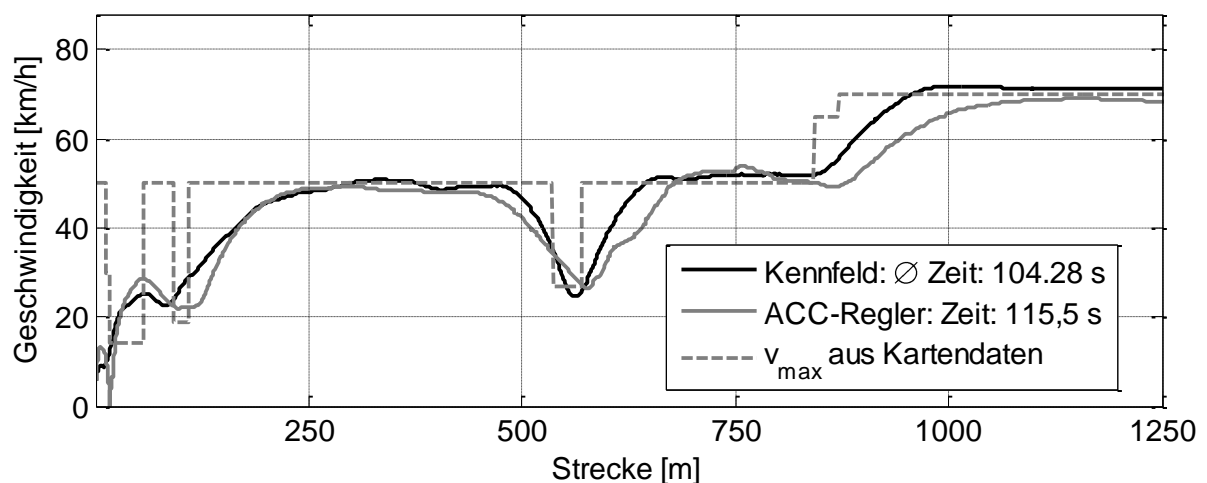


Abb. 6-2: Geschwindigkeitsverlauf über die zurückgelegte Strecke

In Abb. 6-3 ist der kumulierte Kraftstoffverbrauch über der Strecke für beide Systeme dargestellt. Durch die konservative Auslegung der Modellgestützten Prädiktiven Regelung ist der Verbrennungsmotor zunächst ausgeschaltet und muss erst nach ca. 640 m Wegstrecke zugeschaltet werden. In den Messfahrten der Kennfeldregelung wurde darauf geachtet, dass der Batterieladegrad zwischen 40 und 60 % lag. Der Verbrennungsmotor schaltete sich bereits zu Beginn der Messfahrt zu.

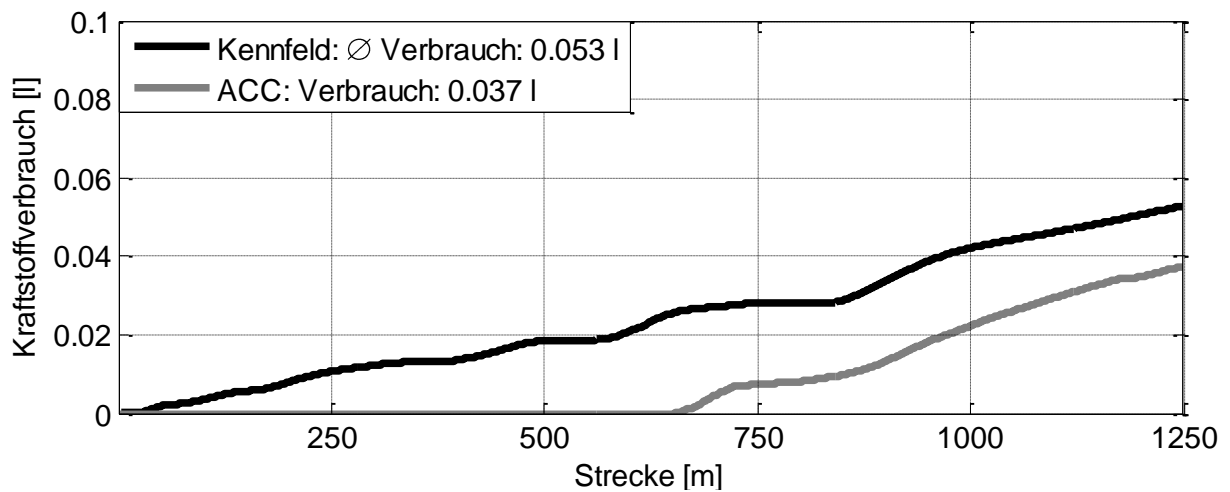


Abb. 6-3: Kraftstoffverbrauch

In Abb. 6-4 ist der Verlauf der Änderung des Batterieladegrades abgebildet. Die Ladestrategie des Hybridfahrzeugs hält den Ladegrad für beide Systeme annähernd konstant.

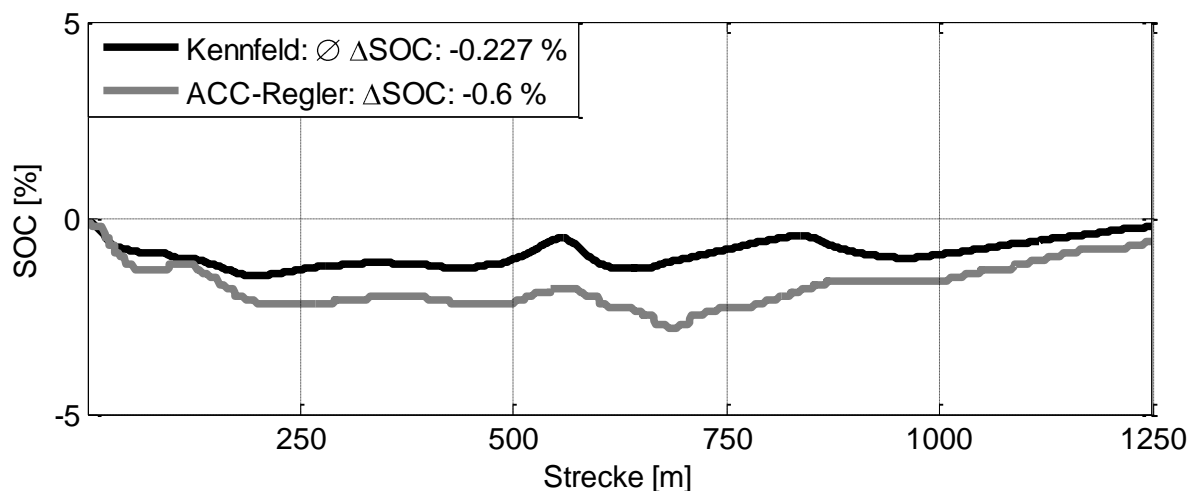


Abb. 6-4: Verlauf der Änderung des SOC

Für das modellgestützte prädiktive ACC-System beträgt der Ladezustand zu Anfang der Messungen 45,1 %. Die Kurve des Kennfeldreglers ergibt sich als Mittelwert mehrerer Messungen, so dass kein expliziter Anfangsladezustand angegeben werden kann.

	Kraftstoffverbrauch	Δ SOC	Dauer der Fahrt
Kennfeld	0,053 l	-0,227 %	106,8 s
ACC-Regler	0,037 l	-0,6 %	115,5 s

Abb. 6-5: Übersicht des Kennfeld- und des ACC-Reglers

Die bisherigen Ergebnisse betrachteten eine Strecke von 1250 m. Auf dieser ist es möglich, das System ohne Umgebungsverkehr mit den unterschiedlichen Variationen zu betrachten. Um jedoch den Regler zu bewerten, muss eine längere Strecke im realen Verkehr abgefahren werden. Dazu wurde eine 15 km lange Versuchsstrecke vom ika über die A4 und das Aachener Autobahnkreuz bis zur A544 ausgewählt. Zunächst wurde die Strecke durch einen Fahrer abgefahren und im zweiten Schritt erfolgte die Längsdynamikregelung durch das entwickelte System.

In Abb. 6-6 ist der Geschwindigkeitsverlauf für beide Versuchsfahrten gegeben. Eindeutig ist der ruhigere Geschwindigkeitsverlauf des ACC-Systems zu erkennen. Der Beschleunigungsverlauf bei der Auffahrt auf die A4 nach ca. 3700 m wird durch den ACC-Regler und den Fahrer sehr ähnlich gestaltet. Auffällig ist das Nichtbeachten der Geschwindigkeitsvorgabe nach 8500 m Wegstrecke. Nach dieser Situation wird die A544 und die A4 vor dem Aachener Kreuz zusammengeführt. Hier kann es zu Stausituationen kommen, da eine Kurve befahren werden muss. Somit wird die Höchstgeschwindigkeit gesetzlich auf 80 km/h reduziert. Das ACC-System hält sich an die Höchstgeschwindigkeit, der Fahrer überschreitet diese temporär. Der Verzögerungsverlauf vor der Abfahrt der A4 und der kurzzeitigen Auffahrt auf die A44 zeigt wieder Ähnlichkeiten. Insgesamt wird das ACC-System vom Fahrer als sehr komfortabel bewertet.

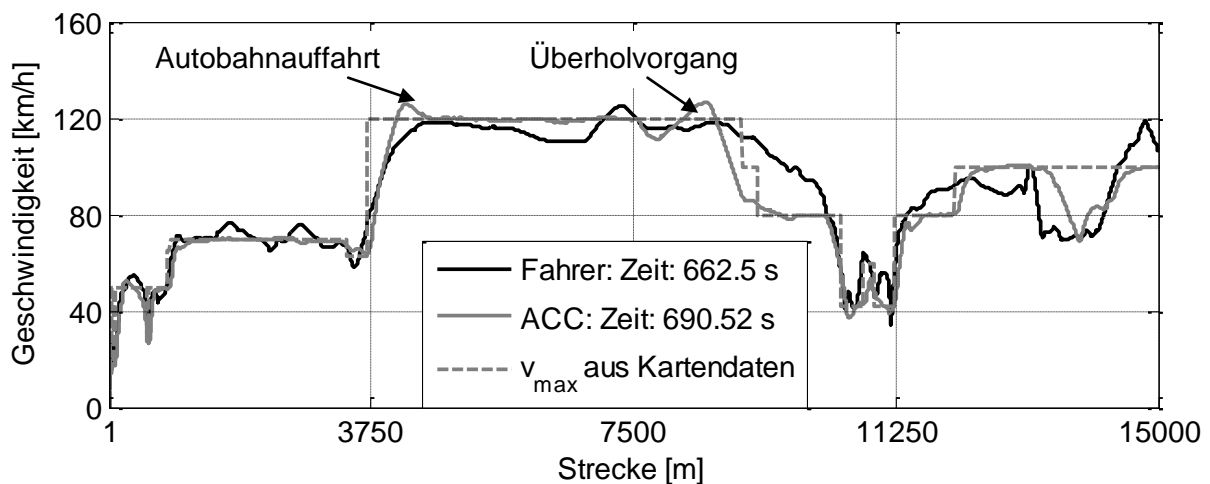


Abb. 6-6: Vergleich des Geschwindigkeitsverlaufes auf einer Strecke von 15 km

Der Kraftstoffverbrauch beider Messfahrten ist in Abb. 6-7 dargestellt. Zunächst ist ein starker Anstieg des Verbrauchs im ACC-Betrieb zu beobachten. Der Anstieg resultiert aus der Tatsache, dass der Verbrennungsmotor zugeschaltet ist und die Hybridbatterie lädt, siehe Abb. 6-8. Dies ist durch die hohe Geschwindigkeit (>30 km/h) bei der ACC-Aktivierung be-

dingt. Insgesamt ergibt sich durch das ACC-System ein um 0,056 l geringerer Verbrauch (6,32 %).

Der Batterieladegrad zu Beginn betrug 74,69 % für die ACC-Fahrt und 70,5 % für den manuellen Betrieb. In beiden Fällen ist die Batterie ähnlich geladen. Der Verlauf der Änderung des Batterieladegrades ist in Abb. 6-8 gezeigt. Eine Differenz von 0,687 % zwischen beiden Fahrten stellt sich zum Ende der Teststrecke ein.

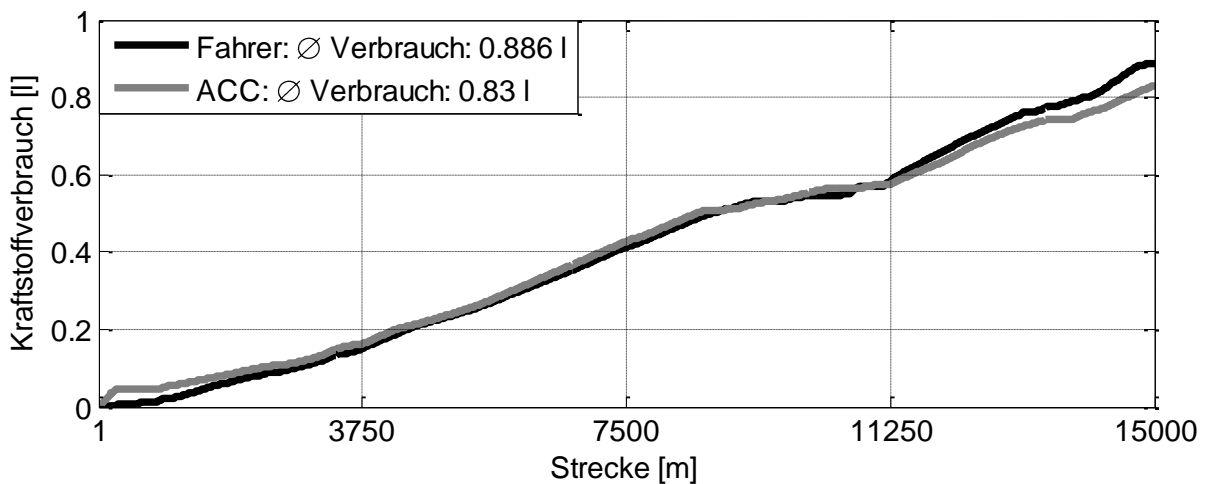


Abb. 6-7: Vergleich des Kraftstoffverbrauchs auf einer Strecke von 15 km

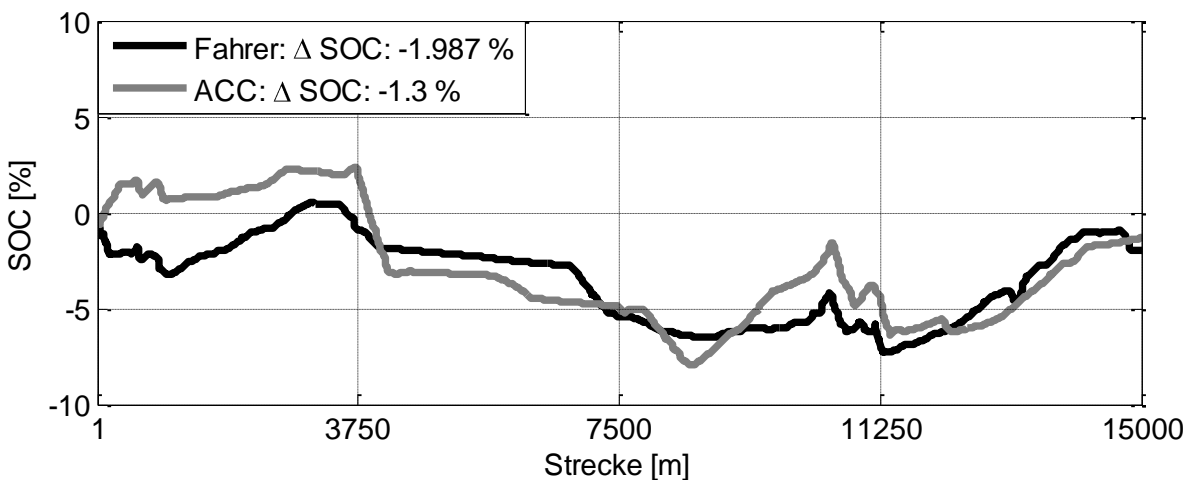


Abb. 6-8: Vergleich der Batterieladegrade auf einer Strecke von 15 km

Die Untersuchung einer Strecke von 15 km bestätigt die Ergebnisse der vorherigen Messungen mit einer Strecke von nur 1,25 km. Der Fahrkomfort wird durch den Fahrer positiv bewertet und die eingeregelt Geschwindigkeit passt sich der vorgegebenen Geschwindigkeit der Kartenvorausschau an. Im direkten Vergleich zeigt sich eine Kraftstoffersparnis von 0,056 l bei einer positiven Ladegraddifferenz von 0,687 % der Hybridbatterie. Durch die Geschwindigkeitsvorgaben wird über das ACC-System früher eine geringere Geschwindig-

keit eingeregelt. Der Umgebungsverkehr hat einen Einfluss auf diese Ergebnisse. Die Auswertung der Detektion von Vorderfahrzeugen mit entsprechenden Relativgeschwindigkeiten wurde an dieser Stelle nicht im Detail durchgeführt. Die Verkehrssituation war allerdings vergleichbar, da beide Fahrten innerhalb einer Stunde am selben Tag durchgeführt wurden.

7. Zusammenfassung

Durch die Anreicherung der vorhandenen Streckeninformationen digitaler Karten mit Zusatzattributen steht in zukünftigen Fahrzeugen die kartenbasierte Vorausschau als ein weiterer „Sensor“ zur Verfügung. Basierend auf erweiterten Kartendaten wurde ein kartenbasiertes Vorausschausystem entwickelt. Dieses wurde als zusätzliche Eingangsgröße für das ACC-Regelungskonzept berücksichtigt. Die Modellgestützte Prädiktive Regelung ist durch die Berücksichtigung von Nebenbedingungen und der Minimierung der Kostenfunktion für den Einsatz als ACC-Regler energieeffizient ausgelegt.

Implementiert wurde das Gesamtsystem in einem Hybridfahrzeug, um die Rekuperation der Bremsenergie zur Batterieladung nutzen zu können. Das Hybridfahrzeug ist mit den notwendigen Komponenten, einem Abstandssensor und dem kartenbasierten Vorausschausystem ausgerüstet.

Die Auslegung des Reglers erfolgte auf einem Streckenabschnitt von 1250 m. Auf der Strecke konnte sichergestellt werden, dass kein Umgebungsverkehr Einfluss auf die Messergebnisse ausübt. Im Vergleich zu Realfahrern wird die vorgegebene Höchstgeschwindigkeit eingehalten und es kommt zu keinem Verstoß der Straßenverkehrsordnung. Durch die angepasste Fahrweise wird Kraftstoff gespart.

Der Vorteil der Regelung gegenüber einer abgespeicherten Berechnung der optimalen Beschleunigungen ist der unbeschränkte Einsatz auf allen Straßen, die in entsprechenden Kartendaten abgelegt sind. Die einzelnen Fahrsituationen müssen nicht vorher in einem Kennfeld abgelegt werden. Ein abschließender Vergleich zwischen einem Fahrer und dem ACC-System auf einer Strecke von 15 km bestätigte die bereits gewonnenen Ergebnisse.

8. Literatur

- [1] BLERVAQUE, V.: D12.1 Final Report , PReVENT Subprojekt „MAPS & ADAS “, PReVENT Consortium 2005
- [2] RIEKER, H.: Informationen über die vorausliegende Strecke als Basis für verbrauchsoptimierte Fahrstrategien, 3. Stuttgarter Symposium, Stuttgart, 1999

- [3] TÖPLER, F.; CRAMPEN, M.; BIERMANN, J.-W.: Entwicklung, Optimierung und Bewertung verbrauchsoptimierter, vorausschauender Hybridsysteme neuester Generation, ika Bericht 33530, Institut für Kraftfahrzeuge (ika), Aachen, Mai 2009
- [4] ABEL, D.: Mess- und Regelungstechnik, Umdruck zur Vorlesung, 30. Auflage, Selbstverlag, Aachen, 2006
- [5] MEINHEIT, H.: Hybridantrieb -Vom Konzept zum vorausschauenden System, Dissertation an der RWTH Aachen, Aachen, 2009