

---

# 1 Erhöhen der Akkuleistung zum Optimieren der Rundenzeiten

---

## 1.1 Motivation der Leistungssteigerung

Durch den in **Abschnitt XX** präsentierten Ansatz konnten Rundenzeiten im Bereich von 21 Sekunden ermöglicht werden. Der eingesetzte PD-Regler ermöglicht eine robuste Geradenfahrt parallel zur Wand und die Kurvenerkennung verbesserte sowohl Einlenkzeitpunkt sowie -verhalten. Durch die Entkopplung von Geraden- und Kurvenfahrt, die ebenfalls eine wichtige Funktionalität unseres Steuerungskonzepts ist, konnten beide Bereiche unabhängig voneinander optimiert werden. Das resultierte in einem Steuerungskonzept, deren Trajektorien nur noch unwesentlich verbessert werden konnte. Die limitierende Größe war nun die Leistung des Motors. Diese ist bei maximaler PWM vom anliegenden Strom abhängig.

## 1.2 Technische Umsetzung der Leistungssteigerung

Elektromotoren, wie der im Fahrzeug eingebaute Gleichstrommotor Tamiya Typ 540 können prinzipbedingt für eine kurze Zeit mehr Leistung abgeben, als das im Nennbetrieb möglich wäre.<sup>1</sup> Beim sogenannten Kurzzeitbetrieb wird durch einen Strom, der größer ist als der Nennstrom des Motors eine größere Leistungsabgabe ermöglicht. Die erhöhte Leistungsabgabe führt aufgrund der Verluste im Motor zu dessen Erwärmung, weshalb bei stationären Maschinen der Motor nur eine kurze Zeit überlastet werden darf. Man spricht dabei der Überlastbarkeit eines Elektromotors. In unserem speziellen Anwendungsfall geht jedoch mit einer höheren Motorleistung eine höhere Kühlwirkung durch den Fahrtwind einher, weshalb eine moderate Überlastung des Motors vertretbar ist. Bei gegebener Impedanz des Motors hängt die Leistungsaufnahme des Motors nach der Drehmomentformel für Gleichstromantriebe (1) vom zur Verfügung gestellten Strom  $I_a$  ab.

$$M_e = k_2 \cdot I_a \cdot \phi \quad (1)$$

Der Strom wiederum ist bei gegebenem Widerstand  $R_m$  des Motors durch die anliegende Spannung gegeben. Um die Motorleistung zu erhöhen muss somit die Motorspannung erhöht werden. Der Motor ist somit nicht das limitierende Bauteil. Der Speedcontroller, der die PWM für den Motor erzeugt besitzt jedoch eine maximale Betriebsspannung. Der im Fahrzeug verbaute TEU-101BK ist dabei auf  $U_{max} = 7,2 \text{ V}$  limitiert, welche auch der Akkuspannung entspricht. Um die Rundenzeiten wiedergehend zu optimieren ist also eine höhere Akkuspannung nötig.

Zu diesem Zweck ist der ursprüngliche Speedcontroller durch ein Modell mit einer Maximalspannung von  $U_{max} = 12 \text{ V}$  ersetzt worden und der ursprüngliche Akku durch Lithium-Polymer-Akkus mit einer Nennspannung von ebenfalls 12 V. Dabei war die besondere Handhabung von LiPo-

---

<sup>1</sup> Vgl. Praktikum Aktoren für mechatronische Systeme, Versuch 4: Geschaltete Reluktanzmaschine, Seite 22

---

Akkus zu beachten, deren zulässiges Spannungsfenster nicht verlassen werden darf, da sonst eine Gefährdung der Seminarteilnehmer entstehen kann. Zu diesem Zweck wurde der Akku ausschließlich mit einem Ladungs-Überwacher betrieben, der bei zu niedriger Spannung ein Warnsignal ausgibt, um eine Tiefenentladung der Akkus zu verhindern. Im Rahmen dieses Seminars wurde der LiPo Alarm (LED&Buzzer) von Tarot verwendet.

### 1.3 Potential und Herausforderungen

Im Folgenden soll das Potential des leistungsgesteigerten Fahrzeugs abgeschätzt werden. Dabei wird die Annahme getroffen, dass die Fahrwiderstände des Fahrzeugs werden durch einen geschwindigkeitsproportionalen Reibwiderstand hinreichend genau abgebildet. Diese Annahme kann getroffen werden, da der Luftwiderstand quadratisch mit der Geschwindigkeit eingeht, wodurch er bei niedrigen Geschwindigkeiten vernachlässigt werden kann. Nach Formel (1) besteht eine direkte Proportionalität  $M_e \sim I_a$ . Bei gegebenem Widerstand des Motors  $R_m$  ist das Motormoment somit proportional zur anliegenden Spannung  $U$ . Aus dieser Proportionalität lässt sich folgende Gleichung (2) ableiten:

$$\frac{M_{neu}}{M_{alt}} = \frac{U_{neu}}{U_{alt}} \quad (2)$$

Somit konnte das Antriebsmoment des Fahrzeugs um 67% gesteigert werden. Durch die getroffene Annahme ist es nun möglich die neue Höchstgeschwindigkeit abzuschätzen:

$$\frac{v_{max,neu}}{v_{max,alt}} = \frac{M_{neu}}{M_{alt}} \quad (3)$$

Somit ist eine neue Höchstgeschwindigkeit von  $v_{max,neu} = 3,3 \frac{m}{s}$  möglich. Diesem Potential stehen eine Reihe technischer Herausforderungen entgegen, die das Ausschöpfen des Potentials erschweren.

Regelungstechnisch führt eine höhere Geschwindigkeit zu einem tendenziell schwerer regelbarem Systemverhalten. Für die Analyse des Systemverhaltens ist im Rahmen dieses Seminars das Ackermann-Modell verwendet worden. Daraus konnte eine Führungsübertragungsfunktion für das Querverhalten abgeleitet werden:

$$G(s) = \frac{y}{\varphi_L} = \frac{v \cdot l_H}{l} \cdot \frac{\frac{v}{l_H} + s}{s^2} \quad (3)$$

Wie in der Gleichung zu sehen ist, hat die Geschwindigkeit wesentlichen Einfluss auf die Lage der Nullstelle des Systems. Durch eine höhere Geschwindigkeit entfernt sich diese Nullstelle immer weiter vom Nullpunkt. Der zur Regelung des Systems mit einem PD-Regler notwendige Einfluss

---

der Nullstelle wird somit schwächer, was somit zu einer höheren Instabilität des Gesamtsystems führt.

Die zweite Herausforderung bei „Hochgeschwindigkeitsfahrten“ ist die wachsende Fehleranfälligkeit der visuellen Sensorik. Zum einen existiert eine nicht vernachlässigbare Latenz zwischen der Kinect und dem Empfangen der Information nach Transformation in Laserscan-Daten. Diese Latenz wurde in der Praxis zu durchschnittlich  $t_L = XXX \text{ ms}$  ermittelt. Zum anderen sinkt die Qualität der visuellen Informationen. Die Anzahl der Fehldetektionen, sowohl falsch-positiver als auch falsch-negativer Natur nehmen zu, wodurch eine akzeptable Steuerung auf Basis der Kinect-Tiefeninformationen nicht mehr realisierbar ist. Bei praktischen Fahrversuchen konnten mit leicht gesteigerter Höchstgeschwindigkeit Rundenzeiten bis zu 19 s realisiert werden, was das Potential des Motors verdeutlicht.

## 1.4 Ausblick

Um die höhere Maximalgeschwindigkeit beherrschbar zu machen existieren einige Ansätze, die es nicht in die finale Implementierung geschafft haben, allerdings an dieser Stelle kurz erläutert werden sollen.

Das von uns gewählte Konzept beruht auf einem Zustandsautomaten, der die Kurvenfahrt von der Geradenfahrt trennt. Durch Einführen eines weiteren Zustands für Hochgeschwindigkeiten auf Geraden kann mit einfachen Mitteln eine signifikante Verbesserung erzeugt werden. Um die Stabilität zu gewährleisten, könnte als Eingangsbedingung in die Transition eine minimale Zeitdauer festgelegt werden, in der das Fahrzeug eine maximale Gierrate nicht mehr überschritten hat. Dadurch könnte eine Gradeausfahrt erkannt werden, bei der ein Geschwindigkeitsschub beherrschbar bliebe. Des Weiteren führt das hohe Moment des Motors dazu, dass die Ableitung der Beschleunigung, der Ruck, bei Zustandsübergängen besonders hohe Werte annimmt. Das führt zu einer plötzlichen Zustandsänderung, die nur schwer auszuregeln ist. Um dieses Phänomen zu kontrollieren könnte eine kontinuierliche Erhöhung der Beschleunigung, eine sogenannte Ruckbegrenzung, implementiert werden. Nicht zuletzt könnte ein robusteres und effektiveres Regelkonzept die Schwingungen unterbinden, die bei höheren Geschwindigkeiten auftreten.

Die Anfälligkeit der visuellen Sensorik bei hohen Geschwindigkeiten kann umgangen werden, wenn die Robustheit durch eine Sensordatenfusion erhöht wird. Dadurch können plausible Werte der Kinect herausgefiltert werden. Die dadurch gewonnene Positionierung macht zudem eine Trajektorienfolgeregelung möglich, die, nach Auslegen einer zeitoptimalen Trajektorie, sogar das optimale Rundenzeit erreichen könnte.