

Laborversuchsstand – Mehrmotorenantrieb für Kfz

Thomas Krüger
Lehrstuhl Elektrische Maschinen und Antriebstechnik

Kurzfassung

Kraftfahrzeuge werden heute fast ausschließlich durch Verbrennungsmotoren angetrieben, insbesondere die Energie- und Umweltproblematik erfordert hier ein völliges Umdenken. Die rasante Entwicklung auf dem Gebiet der Energiespeichertechnik und -erzeugung bietet die Möglichkeit, durch den Einsatz von Elektromotoren als Kraftfahrzeugantrieb ein emissionsfreies Antriebskonzept zu entwickeln. Ein innovatives Konzept auf diesem Gebiet ist die Realisierung durch ein elektrisches Mehrmotorenantriebssystem, zum Einsatz kommen Axialflussmaschinen, die einen Einbau in die Radnabe ermöglichen. Zur Untersuchung eines solchen Mehrmotorenantriebssystems wurde am Lehrstuhl Elektrische Maschinen und Antriebstechnik ein Laborversuchsstand entwickelt. Durch diesen wird die Möglichkeit geschaffen, die Anforderungen an Hard- und Softwarekomponenten in einer Testumgebung experimentell zu untersuchen. Ein weiterer Punkt sind die umzusetzenden Fahrsicherheitssysteme und deren Optimierung innerhalb dieser Umgebung.

Abstract

Today, vehicle drive almost exclusive with combustion machines, in particular energy and environmental aspects makes to rethinks necessary. In opposite to combustion engines electrical motors for vehicles offer new drive strategies. Different parts like clutch, gearbox and differential gear are no longer necessary. Electrical in-wheel motors allow a free scalable allocation of torque. An innovative concept is the implementation in use with multi-engined drive and in-wheel motors. With an existing test station research and further development of different drive components are now possible. Vehicle safety system functions also can be implemented and tested. Furthermore anti-lock braking system and traction control were realized.

Einleitung

Um das Jahr 1900 wurde der Großteil aller Kraftfahrzeuge mit Elektromotoren angetrieben. Die rasante Entwicklung des Verbrennungsmotors, getrieben durch die unkomplizierte Art der Treibstoffbereitstellung, und nicht zuletzt die von Henry Ford eingeführten Produktionsmethoden, ebneten den Weg des Pkws für eine breite Käuferschicht.

Bis heute steigt der Motorisierungsgrad, anfangs ging es um eine schnelle und unabhängige Art der Fortbewegung. Heute spielen der Komfort, der Kraftstoffverbrauch und die Sicherheit eine große Rolle. Insbesondere die Energie- und Umweltproblematik ist ein Schwerpunkt der Fahrzeugentwicklung geworden. Kraftstoffverbrauch und Emission sollen minimiert werden. Aus diesem Grund gewinnt der Einsatz von Elektromotoren, bedingt durch ihr Betriebsverhalten und innovative Entwicklungen auf dem Gebiet der Elektronik und Energiespeichertechnik, zunehmend an Bedeutung.

Hier erlaubt speziell der Einsatz eines Mehrmotorenantriebs völlig neue Konzepte für das Design des Fahrzeuginnenraums und die Realisierung der Fahrsicherheits-/Fahrerassistenzsysteme. Mechanische Verbindungen wie Kupplung, Getriebe und Differential können durch ein übergeordnetes Steuerungssystem ersetzt werden. Dabei ist es wichtig, dass die eingesetzten elektrischen und elektronischen Komponenten auch in extremsten Situationen die Manövrierbarkeit und Fahrsicherheit des Fahrzeugs gewährleisten.

Grundlagen

Ein Mehrmotorenantrieb ist gekennzeichnet durch:

- den Einsatz von zwei und mehr Motoren,
- die Möglichkeit durch eine übergeordnete Steuerung mechanische Antriebs Elemente zu ersetzen
- und durch sogenannte Zwanglaufbedingungen.

Auf einen Kfz-Antrieb bezogen, wird der Verbrennungsmotor hier durch zwei in der Radnabe bzw. Radnähe angeordnete Elektromotoren ersetzt. Bisher vorhandene mechanische Antriebs Elemente, wie Differential und Getriebe, können somit entfallen.

Die Grundstruktur eines Fahrzeugantriebssystems ist unabhängig von der Antriebsquelle immer gleich (Abb. 1). Durch einen Speicher wird Energie bereitgestellt, diese wird an die Antriebsquelle übertragen und durch die Abtriebsquelle, in der Regel die Räder, an die Straße abgegeben [4].



Abbildung 1:
 Grundstruktur eines Fahrzeugantriebs

Stand der Technik, in Bezug auf die Antriebsquelle, ist der Verbrennungsmotor, zugehörige Energiespeicher sind Benzin oder Diesel. Bedingt durch seinen relativ geringen Drehzahlbereich und einen nur bei hohem Drehmoment akzeptablen Wirkungsgrad ist dies kein idealer Fahrzeugantrieb. Der Wartungsaufwand ist hoch und der Emissionsausstoß lässt sich nicht auf Null verringern. Demgegenüber betrachtet, schneidet der elektrische Antrieb auf Grund der Drehmomentenverfügbarkeit, über den gesamten Drehzahlbereich, einem geringeren Wartungsaufwand, durch seine Emissionsfreiheit und einen hohen Wirkungsgrad erheblich besser ab [1, 3].

Für die Realisierung eines elektrischen Antriebsstranges gibt es verschiedene Möglichkeiten der Umsetzung. Zum einen der rein elektrische Antrieb, hier ist insbesondere die Reichweite und die Energiebereitstellung problematisch. Eine vielversprechende Umsetzung ist der Einsatz von Hybridantrieben, eine Kombination von Verbrennungs- und Elektromotor. Erste Serienmodelle zeigen hier die große Akzeptanz auch für eine breite Anwenderschicht. Für einen elektrischen Mehrmotorenantrieb ist das rein elektrische Fahren am effektivsten. Hier können alle Vorteile und Möglichkeiten optimal eingesetzt werden. Somit bietet sich der serielle Hybrid an, der Verbrennungsmotor treibt einen Generator an und lädt den Energiespeicher oder stellt direkt die Energie für den elektrischen Antrieb bereit. Vorteil ist die vollständige Entkopplung von Verbrennungsmaschine und Fahrzeugantrieb. Die Energieerzeugung kann durch ein Minimum an Emission bei einem optimalen Wirkungsgrad des Verbrennungsmotors erfolgen.

Bei der Beschreibung der Dynamik eines Kraftfahrzeuges spielt weniger die Radgeschwindigkeit v_U , als vielmehr deren Verhältnis zur Absolutgeschwindigkeit eine Rolle, dieses wird auch als Schlupf λ bezeichnet. Ein Reifen kann nur Kraft übertragen, wenn er sich verformt oder gleitet, daraus folgt zwingend ein Schlupf gegenüber der Fahrzeuggeschwindigkeit v_F .

Zur Beschreibung des Radschlupfes wird hier ein Antriebsschlupf bzw. ein Bremsschlupf definiert. Für ein angetriebenes Rad bedeutet das im Falle des Durchdrehens einen Maximalwert für den Antriebsschlupf λ_A von 1, demgegenüber hat ein freierrollendes nicht getriebenes Rad einen Schlupf von Null.

$$\lambda_A = \frac{v_U - v_F}{v_U}$$

Ein gebremstes Rad ist gegenüber einem ungebremsten immer langsamer, der hierfür definierte Bremsschlupf λ_{Br} nimmt im Falle des blockierens den Wert -1 an, dabei ist das Fahrzeug noch in Bewegung.

$$\lambda_{Br} = \frac{v_U - v_F}{v_F}$$

Stand der Technik

Bei der Auslegung von Steuerung und Bussystem, der Auswahl und dem Entwurf der einzelnen Komponenten, ist ein Vergleich mit dem aktuellen Stand der Technik auf dem Gebiet des Automobilbaus unumgänglich.

Steuergeräte in Kraftfahrzeugen werden oft als „embedded systems“, eingebettete Systeme, bezeichnet. Es gibt keinen zentralen Rechner, sondern die Mikroprozessoren sind dezentral in die Steuergeräte implementiert. Moderne Automobile besitzen bis zu 100 Mikroprozessoren. Forderungen an Echtzeitfähigkeit und Fehlertoleranz ergeben sich je nach Einsatzgebiet. Eine mögliche Klassifizierung ist eine Einteilung in Antriebsstrang, Kommunikation, Komfortbereich und den Bereich der Sicherheit. Auf den Laborversuchsstand bezogen sind die Bereiche Antriebsstrang und Sicherheit relevant.

In den Steuergeräten werden oft einfache 8 Bitrechner, wie der 8015 von Intel, die Zuverlässigkeit ist gegenüber High-End-Prozessoren erheblich höher, eingesetzt. Für komplexe Aufgaben kommen 16 und 32 Bitrechner zum Einsatz, rechenaufwendige Operationen werden oftmals durch die Unterstützung zugeschnittener Hardware gelöst. Ausschlaggebend ist die Abarbeitung der Algorithmen in fest vorgegebenen Intervallen, man spricht von Echtzeitverarbeitung. Nach DIN 44330 ist Echtzeit der Betrieb eines Rechensystems, bei dem die Software zur Datenverarbeitung ständig betriebsbereit ist. Das bedeutet, dass die Ergebnisse eines Programmdurchlaufs nach einer fest definierten Zeitspanne verfügbar sein müssen. Ein Echtzeitsystem verarbeitet somit die Daten simultan mit ihrer Entstehung, es sind keine wahrnehmbaren Latenzen erkennbar [2].

In Kraftfahrzeugen werden verschiedene Bussysteme parallel zueinander eingesetzt, Auswahlkriterien sind unterschiedliche Anforderungen an Datenmenge, Fehlertoleranz und Übertragungsgeschwindigkeit (Abb. 2) [6].

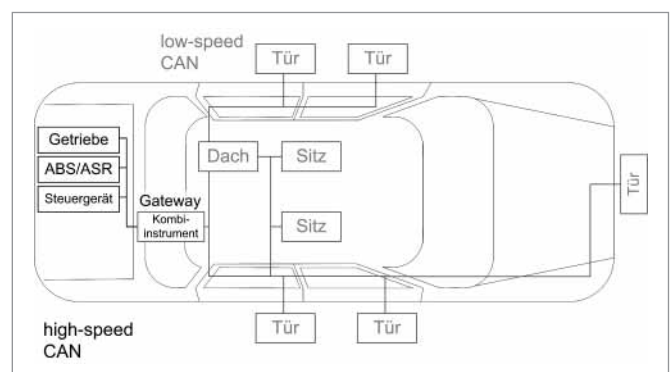


Abbildung 2:
 Vernetzung im Kfz

Die notwendige Verbindung der Teilnetze erfolgt über Gateways.

Eine mögliche Einteilung der Kommunikation zwischen Busknoten unterteilt die Society of Automotive Engineers (SAE) in drei Kategorien (Abb. 3). Eine Vernetzung der Steuergeräte für Motorregelung, Getriebe, Fahrwerk und Bremse ist in die Kategorie Class C einzuordnen.

Class A	- Low Speed (< 10 kbit/s) - Komfortbereich (Unterhaltung, Klimasteuerung, Navigationssysteme, ...)
Class B	- Medium Speed (10 kbit/s bis 125 kbit/s) - Allgemeiner Informations-Transfer (Instrumentenanzeigen, ...)
Class C	- High Speed (125 kbit/s bis 1 Mbit/s) - Echtzeitbereich (Motorregelung, Antriebsstrang, brake-by-wire, ...)

Abbildung 3:

Klassifizierung nach SAE

Die Übertragungsgeschwindigkeiten bewegen sich mit bis zu 1 Mbit/s in echtzeittypischen Größenbereichen.

Repräsentative Bussysteme im Bereich der Automobilindustrie sind CAN (Conroller Area Network) und LIN (Local Interconnect Network), dabei handelt es sich um Bustechnologien. Diese zeichnen sich durch die Möglichkeit des Anschlusses mehrerer Teilnehmer, ihre Modularisierungsfähigkeit, implementierte Fehlerdiagnosealgorithmen und das Schaffen notwendiger Redundanzen zur Erhöhung der Zuverlässigkeit aus.

Insbesondere der CAN-Bus wird zur Vernetzung von Steuergeräten im Bereich Antrieb, Fahrwerk und Karosserie verwendet, er hat sich weltweit im Automobilbereich durchgesetzt. Datenraten von bis zu 1 Mbit/s erlauben echtzeitfähige Datenverarbeitung. Nachteil ist die ereignisgesteuerte Datenübertragung, speziell die im Bereich Antrieb- und Fahrwerk geforderten Übertragungsgeschwindigkeiten stoßen in immer stärkerem Maße an die Grenze des CAN-Bus, durch ein parallel schalten mehrerer CAN-Busse wird dieses Problem momentan gelöst.

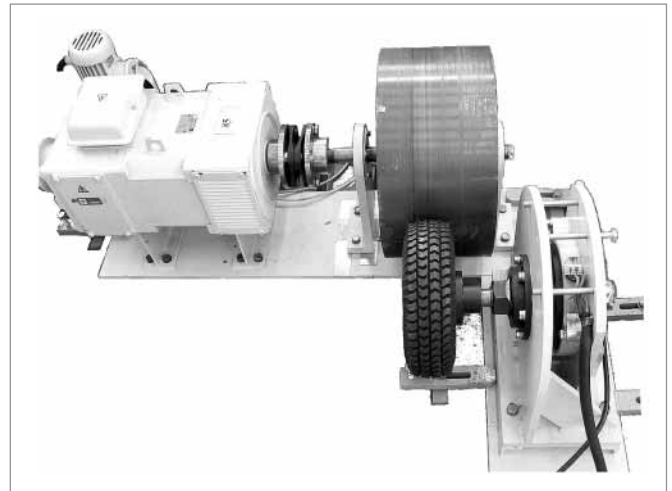
Ein innovativer Ansatz ist die Umsetzung unter Verwendung zeitgesteuerter Protokolle, ein Beispiel hierfür ist TTP/C (Time Triggered Protocol/Class C). Der Buszugriff erfolgt für jeden Teilnehmer in einem festen Zeitschlitz, Buskonflikte werden somit ausgeschlossen, da jeder Teilnehmer eine fest definierte Zeit zur Verfügung hat. Sehr wichtig ist die dadurch bedingte nahezu konstante Latenzzeit.

Die Zuordnung der verwendeten Zeitschlitze erfolgt zu Beginn der Laufzeit statisch und wird in jedem Steuergerät hinterlegt. Somit ist die Datenübertragung synchron. Eine Synchronisation der lokalen Uhren stellt eine globale Zeitbasis zur Verfügung. Einfachfehler können durch die implementierte Fehlererkennung behoben werden.

Der Laborversuchsstand

Zur Untersuchung des Verhaltens und der Definition der Anforderungen an die einzelnen Komponenten eines solchen Fahrzeugantriebs wurde in den vergangenen Jahren am Lehrstuhl Elektrische Maschinen und Antriebstechnik ein Laborversuchsstand entwickelt.

Der Versuchsstand bildet zum einen die getriebene Achse eines Kfz nach, hierüber werden Antriebsmomente vorgegeben. Um eine möglichst detaillierte Untersuchung durchführen zu können, werden durch sogenannte Belastungsmaschinen, Fahr- und Radwiderstände mit zwei Belastungswalzen nachgeahmt. Zur Verdeutlichung wird in Abb. 4 beispielhaft eine Antriebs- und eine Belastungsmaschine gezeigt, die andere Seite ist spiegelbildlich.

**Abbildung 4:**

Antriebs- und Belastungsmaschine

Die Belastungswalzen simulieren die Fahrbahn und Trägheiten eines realen Kfz. Hierzu erfolgt die Vorgabe der Belastungsmomente M_B in Abhängigkeit verschiedener fahrbahn- und fahrzeugetypischer Parameter nach den folgenden Gleichungen [5].

$$M_{B,r} = f_G \cdot \mu_r \cdot r_B \cdot \left[(f_{R,r} + q + f_m \cdot \frac{a}{g} + f_k) \cdot m_{ref,r} \cdot \frac{g}{2} + m_{ref}^* \cdot f_L \cdot \frac{v_{res}^2}{2} \right]$$

$$M_{B,l} = f_G \cdot \mu_l \cdot r_B \cdot \left[(f_{R,l} + q + f_m \cdot \frac{a}{g} + f_k) \cdot m_{ref,l} \cdot \frac{g}{2} + m_{ref}^* \cdot f_L \cdot \frac{v_{res}^2}{2} \right]$$

Durch Berücksichtigung eines Getriebefaktors f_G und des Radius der Belastungswalzen r_B erfolgt eine Anpassung der Antriebe an reale Verhältnisse. Fahrbahnverhältnisse werden durch den Kraftschlussbeiwert μ , den Rollwiderstand f_R , die Steigung q und den Kurvenwiderstandsbeiwert f_k berücksichtigt. Fahrzeugbedingte Größen sind der Drehmassenzuschlagsfaktor f_m , die Referenzmasse m_{ref} , die bezogene Referenzmasse m_{ref}^* , der Luftwiderstand f_L und die resultierende Anströmgeschwindigkeit v_{res} . Weitere zu berücksichtigende Faktoren sind die Beschleunigung a und die Erdbeschleunigung g .

Abb. 5 zeigt ein Übersichtsschema des Laborversuchsstandes bestehend aus dem Kfz-Antrieb, den Belastungsmaschinen und den übergeordneten Steuerungen für Antriebs- und Belastungsmaschinen.

Die Belastungswalzen werden durch jeweils eine Gleichstrommaschine (GM) getrieben, diese ist an einen Gleichrichter (Mentor II) angebunden. Die Vorgabe der Steueralgorithmen wird durch einen PC mit der Software LabVIEW realisiert, dabei handelt es sich um eine grafische Programmiersprache. Von Vorteil ist das quasi simultane Erstel-

len der Bedienoberfläche und das Implementieren der Steueralgorithmen. Eine wesentliche Forderung, die einfache Editierbarkeit der Steueralgorithmen, wird dadurch erfüllt.

Bei den eingesetzten Antriebsmotoren handelt es sich um permanent erregte Axialflussmaschinen (AFM), auf deren Achse sich die Räder befinden, dabei handelt es sich um einen nach dem Wirkprinzip eines Synchronmotors arbeitenden Elektronikmotor. Die Bestromung erfolgt in Abhängigkeit der Rotorlage durch einen industriellen Stromrichter (Unidrive), die Lage wird durch inkrementelle Drehzahlgeber direkt an der Maschine erfasst. Die verwendeten Axialflussmaschinen zeichnen sich durch ihre besonders schmale Bauform und die Möglichkeit einer Montage direkt auf eine Welle aus, sie benötigen keine eigene Lagerung.

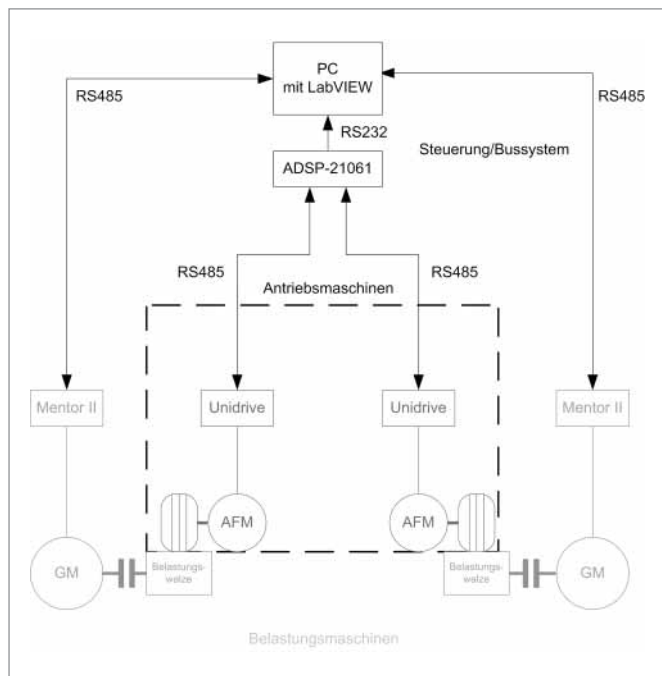


Abbildung 5:
Aufbau des Laborversuchsstandes

Ein Stator trägt die Drehstromwicklungen und der Rotor ist mit den entsprechenden Permanentmagneten bestückt (Abb. 6).

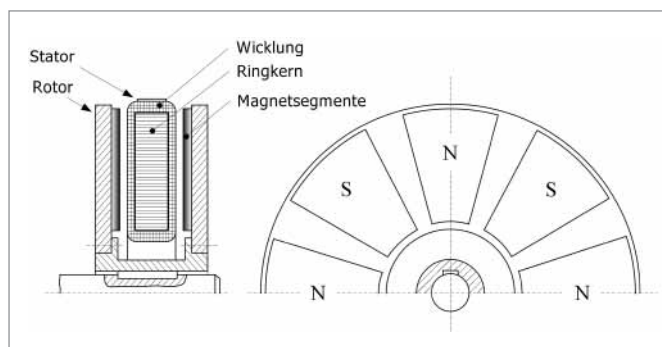


Abbildung 6:
Aufbau einer permanenterragten Axialflussmaschine

Von Vorteil ist das günstige Masse-Leistungsverhältnis, es liegt unterhalb dem vergleichbarer Elektromotoren, ein weiterer Vorzug: die Maschinen erreichen in weiten Bereichen einen Wirkungsgrad oberhalb von 95 %. Für einen Einsatz im Kfz-Bereich spricht die hohe Überlastbarkeit und die dadurch erzielten sehr guten dynamischen Eigenschaften.

Die übergeordnete Steuerung des Kfz-Antriebs wird durch einen digitalen Signalprozessor realisiert, Forderung ist hier der Einsatz einer möglichst „Kfz-typischen“ Steuerung. Neben einem Vergleich mit dem Stand der Technik auf dem Gebiet der Steuerungen in Kraftfahrzeugen spielen die umzusetzenden Algorithmen, sicherheitsrelevante Forderungen, Verarbeitungsgeschwindigkeit und Kosten bei der Auswahl eine entscheidende Rolle (Abb. 7).

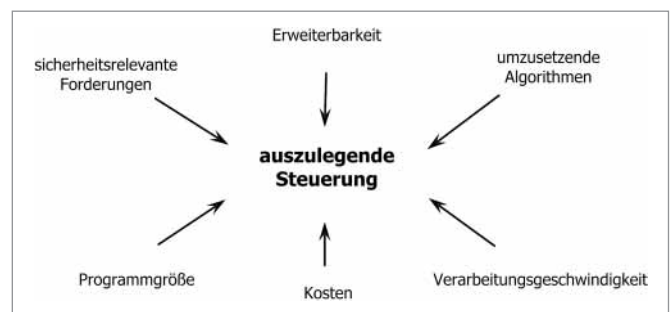


Abbildung 7:
Kriterien bei der Auswahl der Steuerung

Ein wichtiger Punkt bei der Auslegung des steuerungstechnischen Systems eines Mehrmotorenantriebs ist die Vernetzung, Steuerung sowie das dazugehörige Bussystem sind eng miteinander verbunden und können nicht getrennt betrachtet werden.

Wichtige Forderungen an ein solches Bussystem für den Einsatz im Antriebsbereich von Kraftfahrzeugen zeigt Abb. 8.

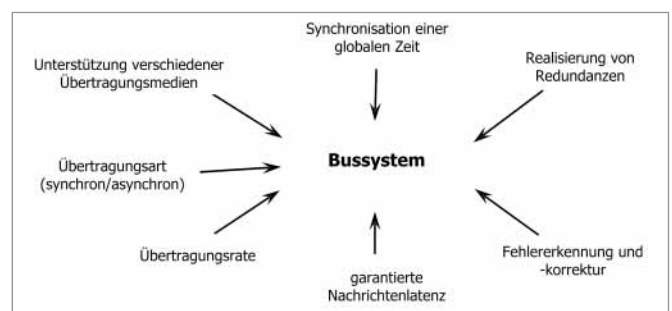


Abbildung 8:
Anforderungen an ein Bussystem im Kfz

Insbesondere bei einem Versuchsstand ist eine möglichst flexibel gestaltete Umsetzung ein sehr wichtiges Auswahlkriterium, hierzu gehört ein anpassungsfähiges Busprotokoll. Aus diesem Grund wird hier eine RS485-Schnittstelle verwendet, diese besitzt gegenüber dem CAN-Bus, hardwaremäßig, kaum Unterschiede. Beides sind differentielle Busse mit identischen Übertragungsgeschwindigkeiten und zulässigen Teilnehmerzahlen. Von Vorteil ist die Möglichkeit das Übertragungsprotokoll anwenderspezifisch definieren zu können.

Experimentelle Ergebnisse

Eine wichtige Rolle spielen, neben den durchgeführten Untersuchungen des dynamischen Verhaltens des Laborversuchsstandes, die umgesetzten fahrzeugspezifischen Algorithmen und die Funktion der implementierten Fahrsicherheitsysteme.

In Abb. 9 ist der Hochlauf der Belastungswalzen und der Antriebsräder bei konstantem Antriebs- und Belastungsmoment dargestellt. Erkennbar, durch die dargestellten Schlupfspitzen, ist das Durchdrehen der rechten Seite am Anfang. Dies ist durch die geringe Reibung zwischen Rad und Belastungswalze zu erklären. Der Hochlauf erfolgt gegen eine vorgegebene Drehzahlgrenze.

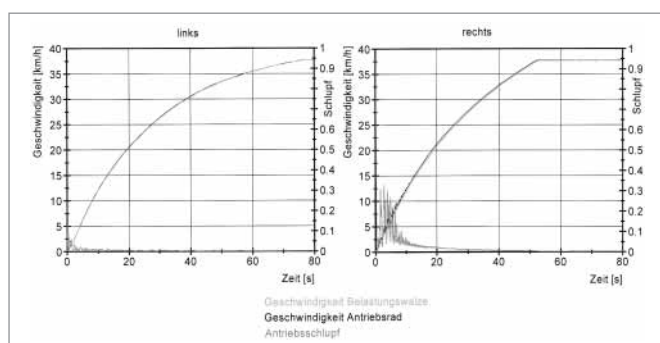


Abbildung 9:
Antriebsschlupf beim Hochlauf

In Abb. 10 wird der Hochlauf bei verschiedenen Antriebsmomenten des Kfz-Antriebs dargestellt, die Belastungsmomente bleiben konstant. Die Neigung zum Durchdrehen ist auf der rechten Seite wiederum erkennbar, der Hochlauf erfolgt gegen eine vorgegebene Drehzahlgrenze.

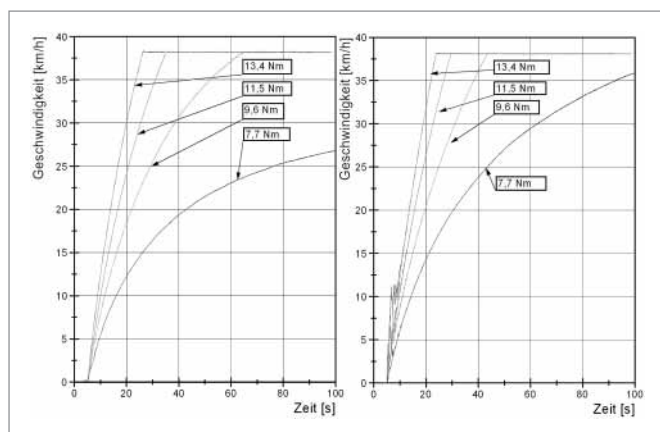


Abbildung 10:
Hochlauf bei verschiedenen Antriebsmomenten

Antiblockiersystem

Von größerem Interesse ist der Funktionsnachweis von Fahrsicherheitsystemen, in Abb. 11 wird ein Bremsvorgang mit maximalen Bremsmoment durchgeführt.

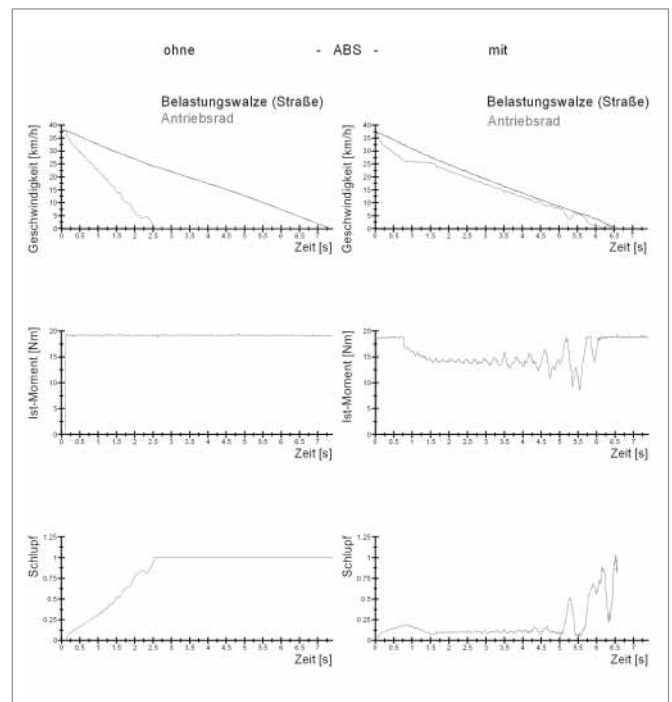


Abbildung 11:
Bremsvorgang ohne und mit ABS

Die linke Seite zeigt den Vorgang ohne und die rechte Seite mit Antiblockiersystem (ABS). Dabei werden jeweils die Geschwindigkeit des Antriebsrades und der Belastungswalze, das wirkende Bremsmoment und der auftretende Bremschlupf in einem Diagramm dargestellt.

Ein wichtiger Aspekt ist hier das Einhalten einer vorgegebenen Bremschlupfgrenze, bei Überschreiten greift das ABS ein und verringert das Bremsmoment bis die Schlupfschwelle wieder unterschritten ist. Im unteren Geschwindigkeitsbereich, ab ca. 2 km/h, kann das ABS deaktiviert werden. Ein Vergleich des Bremsvorganges ohne und mit ABS zeigt hier eine Verringerung des Bremsweges um ca. 5 m.

Antriebsschlupfregelung

Auch für den Funktionsnachweis der Antriebsschlupfregelung (ASR) wird auf eine Gegenüberstellung des Hochlaufs mit (links) und ohne (rechts) ASR zurückgegriffen (Abb. 12). Das oberste Diagramm zeigt die Geschwindigkeiten von Antriebsrad und Belastungswalze, in der Mitte ist das wirkende Antriebsmoment dargestellt und unten der sich ergebende Antriebsschlupf.

Ohne ASR wird aus der Darstellung des Schlupfes das Durchdrehen des Antriebsrades erkennbar, mit ASR verringern sich die Schlupfwerte und bleiben auch hier unterhalb einer vorgegebenen Schlupfschwelle. Erreicht wird das durch eine Verringerung des Antriebsmomentes in Bereichen, in denen eine Neigung zum Durchdrehen erkennbar ist. Die Antriebsschlupfregelung dient in erster Linie der Verbesserung der Fahrstabilität, ein kürzerer Anfahrweg ist hier nicht vorrangig.

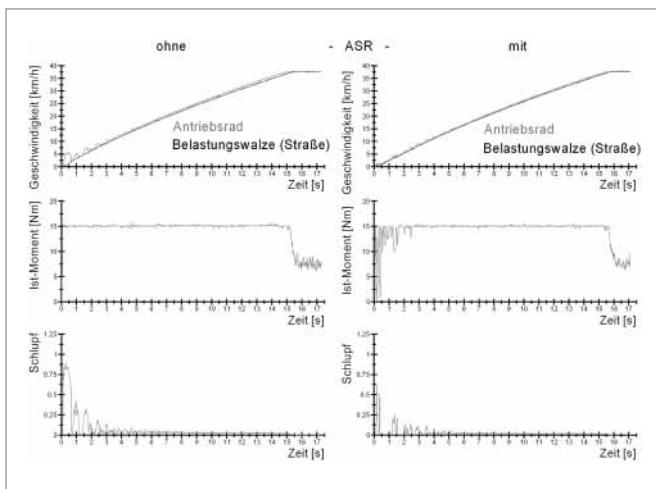


Abbildung 12:
Anfahren ohne und mit ASR

Zusammenfassung

Der Laborversuchsstand ist Grundlage für weitere Untersuchungen der Steueralgorithmen für Antriebs- und Belastungsmaschinen in Verbindung mit einem elektrischem Kfz-Mehrmotorenantrieb. Durch die Belastungsmaschinen können realitätsnahe Lastprofile vorgegeben werden. Die starre Realisierung gestattet hier allerdings nur die Umsetzung der Geradeausfahrt, entsprechendes gilt für die zu untersuchenden Fahrsicherheitssysteme. Antriebsseitig werden weitere Untersuchungen hinsichtlich möglicher Steueralgorithmen für eine variable Drehmomentaufteilung der getriebenen Achse notwendig. Ziel ist eine weitere Verbesserung der Fahrstabilität unter Verwendung eines elektrischen Mehrmotorenantriebs.

Bedeutender Entwicklungsbedarf besteht hinsichtlich der für einen Einbau im Kfz zu entwickelnden Leistungselektronik und der Weiterentwicklung der Axialflussmaschinen. Eine Anpassung in Bezug auf Baugröße, Gewicht und gefordertes Drehmoment ist unabdingbar, insbesondere da der Einbau in die ungedämpfte Radnabe erfolgen soll.

Literatur

- [1] **JACOBSEN, B.:** Potential of electric wheel motors as new chassis actuators for vehicle manoeuvring. In: Journal of Automobile Engineering, vol. 216, no. 8, pp. 631-640, 2002.
- [2] **KRÜGER, TH.:** Beitrag zum systematischen Steuerungsentwurf von Mehrmotorenantriebssystemen am Beispiel eines Laborversuchsstandes mit fahrzeugspezifischen Eigenschaften. Diss. Brandenburgische Technische Universität Cottbus, 2006.
- [3] **SCHWABEN, M.:** Mehrphasige elektronisch kommutierte Synchronmaschine als Komponente zur Realisierung eines Kfz-Hybridantriebs. Diss. Technische Universität Kaiserslautern, 2003.
- [4] **VOLLMER, TH.:** Methodik zur Entwicklung einer Fahrstrategie für Fahrzeuge, ausgeführt am Beispiel eines Autarken Hybrids. Diss. Technische Universität München, 1998.
- [5] **UHLIG, R.:** Beitrag zur Erarbeitung von Steueralgorithmen eines elektrischen Mehrmotorenantriebes für Fahrzeuge an einem Laborversuchsstand. Diss. Brandenburgische Technische Universität Cottbus, 2001.
- [6] **WALLISER, G.:** Elektronik im Kraftfahrzeugwesen. Expert Verlag, Renningen, 2002.



Dr.-Ing. Thomas Krüger wurde 1972 in Görlitz geboren. Von 1996 bis 2001 studierte er an der BTU Cottbus Elektrotechnik in der Fachrichtung Automatisierungs- und Kommunikationstechnik. Seit 2002 ist er als wissenschaftlicher Mitarbeiter am Lehrstuhl Elektrische Maschinen und Antriebstechnik tätig. Im Jahr 2006 promovierte er mit dem Thema „Beitrag zum systematischen Steuerungsentwurf von Mehrmotorenantriebssystemen am Beispiel eines Laborversuchsstandes mit fahrzeugspezifischen Eigenschaften“.