

HERAUSFORDERUNGEN UND CHANCEN SEMIAKTIVER DÄMPFUNGS-SYSTEME IM KRAFTRAD

Um die Fahrsicherheit für Krafttradfahrer zu erhöhen, sind aktive und passive Sicherheitssysteme erforderlich. Die Unterschiede zwischen Krafttrad und Pkw lassen allerdings nicht für alle Systeme eine direkte Übertragung der Erkenntnisse aus dem Pkw-Bereich auf das Krafttrad zu. Es ergibt sich die Notwendigkeit, bestehende Systeme an die Anforderungen von Kraftträdern anzupassen sowie neue Systeme zu entwickeln. Das Institut für Kraftfahrzeuge (ika) der RWTH Aachen University und die Fludicon GmbH untersuchten unabhängig voneinander das Potenzial semiaktiver Dämpferelemente auf die Fahrsicherheit von Kraftträdern.

KRITISCHE INSTABILITÄTEN

Der aktuellen Statistik entsprechend ist die Zahl der getöteten Krafttradfahrer rückläufig [1], allerdings ist die Wahrscheinlichkeit als Krafttradfahrer im Straßenverkehr tödlich zu verunglücken im Verhältnis zu anderen Verkehrsteilnehmern sehr hoch, ❶.

Im Unterschied zum Pkw befindet sich das Krafttrad wegen des Rollfreiheitsgrads in steter Kippgefahr. Im Stand und bei niedrigen Geschwindigkeiten ist das Krafttrad nicht eigenstabil; ab einer Geschwindigkeit von 30 bis 40 km/h

stabilisiert es sich durch die Kreiselmomente der Laufräder.

Bei der Auslegung der Fahrwerkskomponenten stellen die im Verhältnis zum Radstand ungünstige Höhe des Schwerpunkts und der hohe Anteil der Fahrer-masse bezogen auf die Krafttradmasse eine Herausforderung dar. Gegenüber dem Auslegungsfall (Krafttrad mit Fahrer) kann die Radlast eines Krafttrads mehr als 400 % der statischen Radlast betragen. Dies resultiert aus der Beladung in Kombination mit einer Kurvenfahrt und starken Beschleunigungs- oder Bremsvorgängen. Alle Fahrzeugkomponenten, insbesondere

Federn und Dämpfer, müssen hierbei den Spagat zwischen diesen Extremwerten beherrschen und in allen Fällen ein sicheres Fahren ermöglichen.

Zu den kritischen Instabilitäten zählen Highsider, Pendeln und Lenkerschlagen. Diese Fahrsituationen führen häufig zum Sturz und als Resultat zu schweren Verletzungen.

Der sogenannte Highsider beschreibt das Kippen des Krafttrads aus der Schräglage über die Spurlinie. Beim Befahren einer Kurve kann das Seitenkraftpotenzial des Reifens kleiner werden, als es für die Querkraftanforderung nötig ist. Wenn nun

das Hinterrad ausbricht, das Fahrzeug somit an Schräglage gewinnt und dann plötzlich der Reibwert zwischen Straße und Reifen zunimmt oder die Längskraft des Reifens zurückgenommen wird, kann es zu einem schlagartigen Aufbau der Seitenkraft am Hinterrad kommen.

Das Pendeln beschreibt eine kombinierte Eigenschwingung des Gesamtfahrzeugs um seine Lenkachse und alle Fahrzeughauptachsen und tritt nur bei hohen Geschwindigkeiten auf. Die resultierende Dämpfung der Pendelbewegung des Gesamtsystems ist im Wesentlichen abhängig von der Fahreranbindung, der Fahrgeschwindigkeit, den Trägheitsparametern, den Steifigkeiten der kraftführenden Teile und geometrischen Größen [2]. Eine Erhöhung der Fahrgeschwindigkeit verringert die Systemdämpfung und erklärt somit das oben beschriebene Verhalten. Die Pendeleigenfrequenz liegt typischerweise im Bereich zwischen 2,5 Hz und 4 Hz, wodurch der Mensch als Regler für eine phasenrichtige Kompensation durch Lenkeingriffe nicht geeignet ist.

Lenkerschlagen ist eine parametrisch erregte Schwingung des Lenksystems um die Lenkachse, die – ausgehend von einer Radlastschwankung unter Lenkerdrehmoment – zu sehr großen, schnell wechselnden Lenkbewegungen führt; Lenkerschlagen kann bei Frequenzen bis zu 18 Hz und ± 120 Nm [3] sogar zum Abreißen der Lenkanschläge führen. Es ist vom Fahrer in dieser extremen Form nicht beherrschbar und führt unweigerlich zum Sturz.

ÜBERTRAGBARKEIT VON PKW-FAHRWERKREGELSYSTEMEN AUF DAS KRAFTRAD

Automatische Blockierverhinderer (ABS), in einigen Fällen in Kombination mit Verbundbremssystemen, werden mittlerweile auch bei der breiten Masse der Krafträder angewendet. Hierbei stellen starke Radlastverschiebungen in der Anfangsphase eines Bremsmanövers und das Bremsen in Schräglage die Herausforderungen an die Regelung und Sensorik im Kraftrad dar, der zudem nur zwei Räder zur Sensierung des Fahrzustands zur Verfügung stehen.

Die Umsetzung von einem elektronischen Stabilitätsprogramm (ESC) im Kraftrad ist wegen der dynamischen Eigenschaften des Systems, insbesondere wegen des Rollfreiheitsgrads, nicht direkt möglich. Aus der Theorie ist bekannt [4], dass eine Abbremsung eines Rads (ähnlich ESC) wegen des fehlenden Rollwinkelkorrektivs keine Lösung zur Aufrechterhaltung eines stabilen Fahrzustands darstellt.

ADAPTIVE UND SEMIAKTIVE DÄMPFER IM PKW

Die Nutzung adaptiver und semiaktiver Dämpferelemente im Automobil ist Stand der Technik. Hierbei können die Dämpfungseigenschaften der Aufbaudämpfer durch den Fahrer (adaptiv) vorgegeben oder auch durch ein Steuergerät dem jeweiligen Fahrzustand (semiaktiv) angepasst werden. Ausreichend kurze Verstellzeiten der Dämpfer ermöglichen auch

AUTOREN



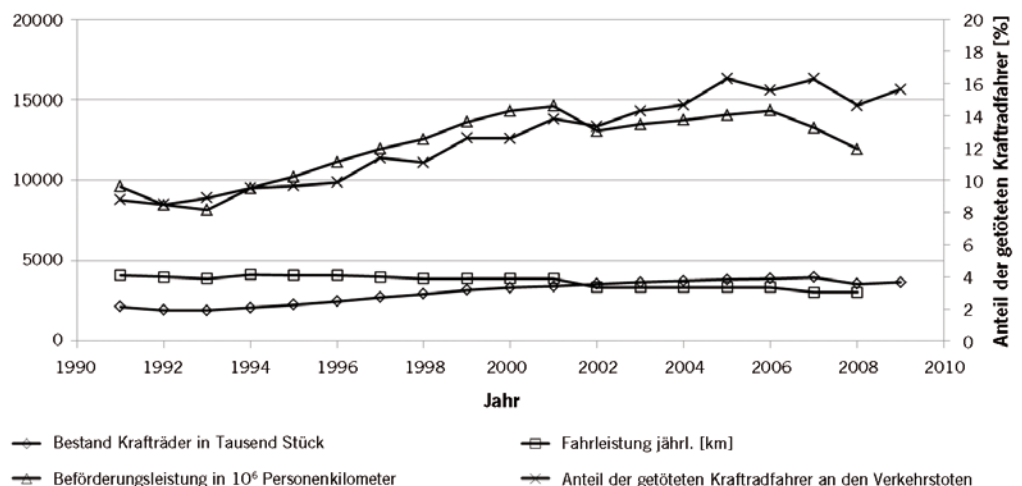
DIPL.-ING. KARSTEN WUNRAM
arbeitet am Institut für Kraftfahrzeuge (ika) der RWTH Aachen University in Aachen.



DR.-ING. JOACHIM FUNKE
ist General Manager BU Automotive bei der Fludicon GmbH in Darmstadt.



UNIV.-PROF. DR.-ING. LUTZ ECKSTEIN
ist Leiter des Instituts für Kraftfahrzeuge (ika) der RWTH Aachen University in Aachen.



① Statistik: Bestand und Beförderungsleistung von Krafträdern und Anteil der Kraftradfahrer an den getöteten Verkehrsteilnehmern (Bild © Verkehr in Zahlen 2009/2010)



2 Bauraumvergleich zwischen elektro-rheologischem (links) und manuell verstellbarem, passiven Motorradämpfer (rechts)

eine Reduzierung von Radlastschwankungen. Darüber hinaus erlauben Verstell-dämpfer eine dynamische Beeinflussung des Eigenlenkverhaltens von Pkw.

DÄMPFERELEMENTE IM KRAFTRAD

Im Vergleich zu ihren Pendanten im Pkw müssen Dämpferelemente im Kraftrad erhöhten Anforderungen genügen. Die Einbausituation von Hinterraddämpfern führt zu sehr großen Übersetzungen von Raderhebungs- zu Dämpfergeschwindigkeit und erfordert somit höchste Dämpferkräfte bei geringer Bauraumverfügbarkeit, 2. Da der Fahrer eines Kraftrads die vorderen Dämpfer sprichwörtlich in der Hand hält und er fast unmittelbar auf dem hinteren Dämpfer sitzt, ist auch die Fahrerrückmeldung von hoher Bedeutung. Dies ist nur mit sehr hochwertigen Dämpfern, 3, realisierbar,

- : deren Gasspeicher durch Rückschlagventile vom Arbeitsdruck getrennt ist (ermöglicht einen geringen Gasvordruck und somit geringe Reibung in den Dichtungen)
- : deren Ausgleichsbehälter möglichst großvolumig und physikalisch getrennt ist (reduziert Gasgehalt im Fluid, erhöht Steifigkeit)
- : die mit möglichst leichten Dämpfungsmedien arbeiten (Minimierung der Dämpfungskraftüberhöhung aus Kolbenstangenbeschleunigung)
- : deren Dämpfung möglichst temperaturunabhängig erfolgt.

3 Eigenschaften von semiaktiven Dämpfern im Vergleich

EIGENSCHAFT	MANUELL EINSTELLBARER DÄMPFER	CES-DÄMPFER	ER-DÄMPFER	MR-DÄMPFER	
Grundreibung	++	++	++	-	
Ausschubkraft	+	+	+	--	
Hydraulische Steifigkeit	++	++	++	0	
Dynamische Kraftüberhöhung	++	++	++	-	
Temperaturabhängigkeit	++	+	-*	-*	
Verstellbreite bei niedrigen Geschwindigkeiten	0	0	++	++	
Asymmetrie	++	-	++	0*	
Kontinuierliche Verstellung	--	0	++	++	
Verstellgeschwindigkeit	--	0	++	++	
	++ hervorragend	+ gut	0 mittelmäßig	- schlecht	-- nicht zutreffend

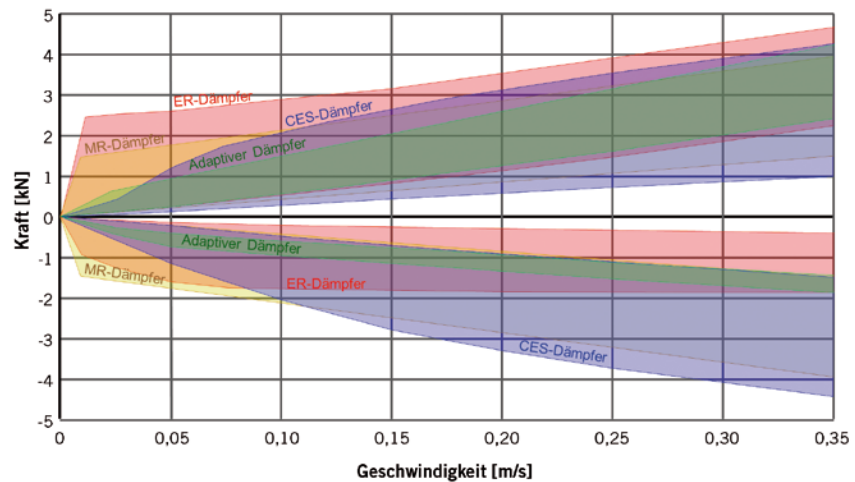
*kann mit Software teilweise ausgeglichen werden

ANSÄTZE FÜR SEMIAKTIV VERSTELLBARE DÄMPFER IM KRAFTRAD

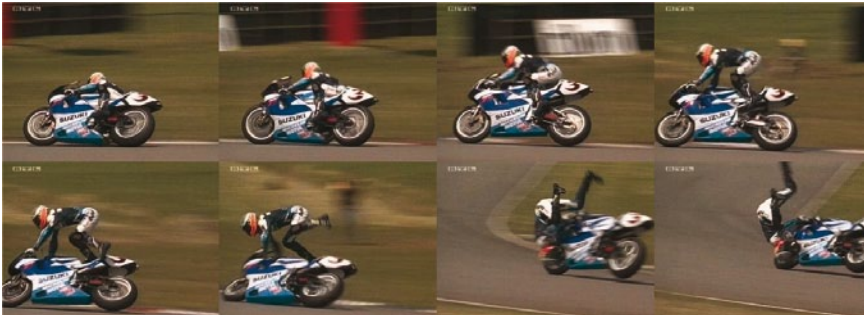
Wie im Pkw kann auch beim Kraftrad der Zielkonflikt in der Auslegung zwischen Fahrsicherheit und Fahrkomfort durch den Einsatz semiaktiver Dämpfer beeinflusst werden. Gerade der hohe Einfluss der Beladung auf das Fahrzeugverhalten kann durch Spreizung der Dämpferkennlinien, 4, minimiert werden. Die Anpassung der Dämpferkräfte an die jeweilige Fahrsituation kann hierbei zum einen die Sicherheit und zum anderen den Fahrkomfort beeinflussen. Eine kontinuierliche Regelung der Dämpfer, schnelle Dämpferverstellzeiten vorausgesetzt, kann deutliche

Vorteile schaffen. Mögliche Regelalgorithmen sind die sogenannten Skyhook- und Groundhook-Regler oder auch hybride Regler, eine Kombination der beiden ersten [5]. Heute existieren im Kraftradbereich lediglich adaptive Einstellmöglichkeiten der Dämpfercharakteristik, die einzeln elektronisch verstellbar sind (zum Beispiel BMW, als Zubehör WP).

In einer zu diesem Zeitpunkt noch nicht veröffentlichten Untersuchung des ika im Auftrag der Bundesanstalt für Straßenwesen (BASt) wurde das Potenzial semiaktiver Dämpferelemente auf die Fahrsicherheit von Krafträdern untersucht. Hierbei wurden zum einen die Übertragbarkeit der aus dem Pkw-Bereich bekannten Effekte, zum anderen kraftradspezifische Situatio-



4 Kraft/Geschwindigkeitskurven von semiaktiven Dämpfern im Vergleich mit einem adaptiven Dämpfer



5 Ablauf eines Highsiders, Gesamtdauer der Sequenz etwa 0,3 s (Bild © RTL-Fernsehen)

nen betrachtet. Neben verschiedenen Regelalgorithmen wurden auch unterschiedliche Verstelldämpfer-konzepte (ähnlich Öhlins CES – Continuously Controlled Electronic Suspension, Sachs CDC – Continuous Damping Control, BWI Magnetic Ride oder Fludicon eRRide) in der Simulation abgebildet. Es konnte gezeigt werden, dass die aus dem Pkw Bereich bekannten Erkenntnisse weitgehend auf das Kraftrad übertragen werden können.

In der Simulation konnte die Verwendung geregelter Dämpfer den Bremsweg im ABS-Regelbereich je nach Ausgangsgeschwindigkeit und Fahrbahneigenschaften um bis zu 4 % reduzieren.

Diese Simulationen belegten, dass auch unter Schräglage auf Fahrbahnunebenheiten und unterschiedlichen Schlechtwegstrecken je nach Regelansatz und Dämpfertyp eine Verringerung der Radlastschwankungen und/oder eine Verbesserung des Komforts erzielt werden können. Dämpfertypen ähnlich magnetrheologischen (MR)-Dämpfern oder elektrorheologischen (ER)-Dämpfern konnten hierbei Vorteile aufweisen. Eine Komfortverbesserung bei zumindest gleichbleibender Fahrsicherheit wirkt sich positiv auf das Wohlbefinden und die Leistungsfähigkeit des Fahrers aus, was vor allem bei der Bewältigung kritischer Situationen Vorteile bringt [6].

EINFLUSS DER AUFBAUDÄMPFER AUF KRAFTRADSPEZIFISCHE FAHRSITUATIONEN

Der Einfluss des Dämpferverhaltens auf verschiedene Fahrsituationen ist nur gegeben, wenn entsprechende Dämpfungsarbeit verrichtet wird. Auf kraftradspezifische Fahrsituationen bezogen ergibt sich somit unter anderem für Highsider, Pendeln und Lenkerschlagen ein Beeinflussungspotenzial.

HIGHSIDER

Im Fall des schlagartigen Seitenkraftaufbaus nach dem Wegrutschen des Hinterrads werden die Aufbaufedern stark komprimiert. Das Fahrzeug richtet sich auf, die Aufbaufeder entspannt sich schlagartig und der Fahrer wird vom Fahrzeug katapultiert und fliegt meist hoch und vor dem Fahrzeug in kurvenäußere Richtung, 5.

Es ist zu erwarten, dass man Highsider mit semiaktiven Systemen positiv beeinflussen kann, solange diese bei den vorherrschenden, relativ langsamen Dämpfergeschwindigkeiten entsprechend hohe Dämpfungskräfte bereitstellen können und dabei sowohl das Aufspannen der Aufbaufeder beim Einfedern, als auch das Entspannen abgebremst werden. Es ist denkbar, dass bereits ein Skyhook-Regelalgorithmus ohne spezielle Highsider-Sensierung die gewünschten Effekte erzielen kann.

PENDELN

Da es sich beim Hochgeschwindigkeitspendeln um eine kombinierte Schwingung des gesamten Systems Kraftrad um alle Fahrzeugachsen handelt, resultieren aus diesem Fahrzustand vor allem bei Kurvenfahrt Nickschwingungen und somit Einfederbewegungen, die direkt über die Fahrzeugdämpfer beeinflusst werden können.

Die Beeinflussbarkeit der Pendelschwingung durch verstellbare Dämpfersysteme wird auch in einer Offenlegungsschrift [7] als mögliche Verbesserungsmaßnahme betrachtet.

LENKERSCHLAGEN

Lenkerschlagen wird von einer Radlastschwankung initialisiert. Semiaktive Systeme können diese Radlastschwankungen

minimieren und somit das Lenkerschlagen im Entstehen verhindern oder zumindest in seiner Ausprägung abmildern. Dies setzt allerdings voraus, dass das semiaktive System über ausreichend kurze Systemzeiten verfügt, die deutlich unterhalb von 15 ms liegen, [8].

ZUSAMMENFASSUNG

Semiaktive Fahrwerksysteme im Kraftrad können dem Fahrer hinsichtlich Fahrsicherheit und Fahrkomfort die Vorteile bieten, von denen Pkw-Fahrer bereits heute profitieren. Darüber hinaus können semiaktive Systeme bei Krafträdern Stabilitätsstörungen abmildern. Erforderlich dazu sind semiaktive Dämpfungssysteme mit sehr guten konventionellen Dämpfer-Grundeigenschaften, die ausreichend kurze Verstellzeiten aufweisen und große Schaltziffern vor allem auch bei niedrigen Dämpfergeschwindigkeiten bereitstellen. Darüber hinaus müssen die Dämpfer erhöhten Bauraumanforderungen genügen und die hohen Erwartungen der Kunden an Rückmeldung und Optik erfüllen.

LITERATURHINWEISE

- [1] DIW, Verkehr in Zahlen 2009/2010, Berlin 2010
- [2] Bayer, B.: Das Pendeln und Flattern von Krafträdern. Institut für Zweiradsicherheit, Bochum, 1986
- [3] Breuer, B.: Skriptum zur Vorlesung Motorräder. TU Darmstadt, Fachgebiet Fahrzeugtechnik, Darmstadt 2001, unveröffentlicht
- [4] Seiniger, P.: Erkennbarkeit und Vermeidbarkeit von ungebremsten Motorrad-Kurvenunfällen. Fortschrittberichte VDI: Reihe 12, Fahrzeugtechnik, 707, VDI-Verl., Düsseldorf 2010
- [5] D. C. Karnopp et al.: Vibration control using semi-active force generators. In: Engineering for Industry J., Vol. 96, No. 2, S. 619 – 626, 1974
- [6] Funke, J.: Belastung und Beanspruchung von Motorradfahrern bei der Bremsung mit verschiedenen Bremssystemen. Fortschrittberichte VDI: Reihe 12, Fahrzeugtechnik, 633, VDI-Verlag, Düsseldorf 2007
- [7] BMW AG: System zur Beseitigung von Hochgeschwindigkeitspendeln bei einem einspurigen Kraftfahrzeug und Motorrad mit einem derartigen System. DE 10 2005 047 145 A1, Offenlegungsschrift, DPMA, 2007
- [8] S. M. Savaresi et al.: Semi-Active Suspension Control Design for Vehicles. Butterworth-Heinemann, 2010



DOWNLOAD DES BEITRAGS
www.ATZonline.de



READ THE ENGLISH E-MAGAZINE
order your test issue now:
SAM-service@springer.com