

Entwicklung innovativer Komponenten für die Luftfederung

Drosselklappen-Schaltventil

von

**Dipl.-Ing. Martin Saeger, Forschungsgesellschaft Kraftfahrwesen Aachen mbH,
Aachen**

**Dipl.-Ing. Olav Borgmeier, VOSS Automotive GmbH,
Wipperfürth**

Inhalt

1	Untersuchung des Drosselklappen-Schaltventils	3
1.1	Vorgehen bei der Untersuchung	3
1.2	Simulation eines Corner-Moduls in DSH ^{plus}	3
1.3	Vollfahrzeugsimulation in MATLAB/Simulink.....	4
1.4	Prüfstandsversuch.....	5
1.5	Fazit der Untersuchungen in Simulation und Versuch.....	5

1 Untersuchung des Drosselklappen-Schaltventils

1.1 Vorgehen bei der Untersuchung

Im Auftrag der VOSS Automotive GmbH werden von der Forschungsgesellschaft Kraftfahrwesen Aachen mbH (fka) Untersuchungen zu einem Drosselklappen-Schaltventil für die Umsetzung eines schaltbaren Zusatzvolumens in einer Luftfederung durchgeführt. Ziel des Projektes ist es, die Auswirkungen der charakteristischen Eigenschaften des Drosselklappen-Schaltventils (verbleibender pneumatischer Widerstand in der Verbindungsleitung auch bei geöffnetem Ventil, keine vollständige Abdichtung bei geschlossenem Ventil) auf das Systemverhalten einer Luftfederung mit schaltbarem Zusatzvolumen zu analysieren. Das Projekt gliedert sich in drei Schritte:

- Simulation eines Corner-Moduls einer Luftfederung bestehend aus einer Luftfeder, einem Zusatzvolumen und einer Verbindungsleitung mit integriertem Schaltventil in DSH^{plus}
- Simulation eines MATLAB/Simulink Vollfahrzeugmodells mit integrierten Luftfedern als Cosimulation zwischen MATLAB/Simulink und DSH^{plus}
- Verifikation der Simulationsergebnisse in einem Prüfstandsversuch

Zunächst wird in dem Fluidodynamik-Simulationsprogramm DSH^{plus} das Modell einer Luftfeder mit Zusatzvolumen, Verbindungsleitungen und einer parametrierbaren Drossel aufgebaut. Die Drossel repräsentiert das Drosselklappen-Schaltventil, die den pneumatischen Widerstand charakterisierenden Parameter b und C (nach ISO 6358) werden variiert, um das System mit unterschiedlichen Drosselklappen-Stellungen zu simulieren. Zu diesem Zweck werden die Ventilkennwerte b und C am Durchfluss-Prüfstand des Instituts für fluidtechnische Antriebe und Steuerungen (IFAS) der RWTH Aachen bestimmt.

1.2 Simulation eines Corner-Moduls in DSH^{plus}

Das Luftfedermodul wird mit unterschiedlichen Parametersätzen ausgestattet, welche die Simulation von vier unterschiedlichen Konfigurationen ermöglichen:

- Luftfedermodul mit geöffnetem Drosselklappen-Schaltventil (Parametersatz „DK offen“)
- Luftfedermodul mit Zusatzvolumen ohne pneumatischen Widerstand in der Verbindungsleitung (Parametersatz „mit ZV“)
- Luftfedermodul mit geschlossener Drosselklappe (Parametersatz „DK geschlossen“)
- Luftfedermodul mit vollständig dichtendem Ventil in der Verbindungsleitung (Parametersatz „ohne ZV“)

In den Federkennlinien der verschiedenen Konfigurationen zeigt sich einerseits die für Luftfedern typische Abhängigkeit der Kennlinie von der Anregungsfrequenz (steilere Kennlinie bei höheren Anregungsfrequenzen). Während die Kennlinie „DK offen“ in allen Frequenzbereichen nahezu identisch zu „mit ZV“ ist, zeigt sich für die geschlossene Drosselklappe („DK geschlossen“) eine deutlicherer Abhängigkeit der Federeigenschaften von der Anregungsfrequenz. Bei einer Anregung mit 10 Hz verhält diese Feder sich wie die Feder ohne Zusatzvolumen und bei 0,1 Hz Anregung ähnlich der Feder mit Zusatzvolumen, allerdings bei einer deutlich größeren Hysterese. Im Frequenzbereich um 1 Hz erfolgt eine Anhebung der Kennlinie fast auf das Niveau der Feder ohne Zusatzvolumen, ebenfalls kombiniert mit einer starken Hysterese. Die Hysterese lässt sich jeweils auf die Dämpfungsarbeit zurückführen, welche beim durchströmen des geschlossenen Ventils abfällt.

Bei Betrachtung des Druckübertragungsverhaltens im Frequenzbereich zeigt sich, dass in niedrigen Frequenzen eine nahezu vollständige Druckübertragung erfolgt, während bei Anregungsfrequenzen oberhalb 10 Hz das Übertragungsverhalten beinahe zu null wird. Eine Untersuchung von Sprunganregungen im Zeitbereich macht deutlich, dass bei geschlossener Drosselklappe im Hauptvolumen der Feder zunächst der gleiche Druck aufgebaut wird wie in der Feder ohne Zusatzvolumen, allerdings findet nach rund einer Sekunde ein vollständiger Druckausgleich zwischen Haupt- und Zusatzvolumen statt. Aus den Ergebnissen der Simulation einzelner Luftfedermodule lässt sich folgern, dass die Drosselklappe zwar keine stationäre Auswirkung hat, für dynamische Anregung aber durchaus wirksam ist und neben einer Anhebung der Federrate auch zu einer Anhebung der Dämpfung im Gesamtsystem führt. So lange die Drosselklappe geöffnet ist, kann ihr pneumatischer Widerstand vernachlässigt werden, es besteht durch diesen keine Auswirkung auf das Federverhalten.

1.3 Vollfahrzeugsimulation in MATLAB/Simulink

Die in DSH^{plus} modellierten Luftfedermodule werden in ein bestehendes modular aufgebautes MATLAB/Simulink Vollfahrzeugmodell integriert, um die Auswirkungen der unterschiedlichen Luftfederkonfigurationen auf das Fahrzeugverhalten, insbesondere den Wank-Freiheitsgrad, zu untersuchen. Hierbei wird ein validierter Fahrzeugparametersatz verwendet, welcher einen BMW X5 repräsentiert. Die Integration der Luftfedermodule erfolgt über eine Cosimulations-Schnittstelle zwischen DSH^{plus} und MATLAB/Simulink. Als Fahrmanöver werden Lenkwinkelsprünge, Sinuslenkmanöver unterschiedlicher Frequenzen und ein doppelter Fahrspurwechsel („Elch-Test“) ausgewählt.

Die Vollfahrzeugsimulation bestätigt weitgehend die Ergebnisse der Simulationen mit einzelnen Luftfedern. Bei allen Simulationen zeigt sich ebenfalls, dass kein sichtbarer Unterschied zwischen der geöffneten Drosselklappe („DK offen“) und der Luftfeder ohne Widerstand in der Verbindungsleitung („mit ZV“) besteht. Anhand der Ergebnisse der Lenkwinkelsprung-Manöver wird deutlich, dass die Stationärwerte der Konfiguration „DK geschlossen“ denen der Konfigurationen „mit ZV“ und „DK offen“ entsprechen, also das

geschlossene Ventil keine stationäre Wirkung hat. Allerdings erfolgt ein deutlich langsamerer Aufbau des Wankwinkels, was auf die erhöhte Dämpfungswirkung der geschlossenen Klappe zurückzuführen ist.

Die Dämpfungswirkung zeigt sich besonders bei der Auswertung der Sinuslenk-Manöver im Frequenzbereich. Hier ist am Amplitudengang klar ersichtlich, dass die Luftfeder ohne Zusatzvolumen (vollständig abdichtendes Ventil) aufgrund der höheren Wankfedersteifigkeit prinzipiell zu geringeren Wankwinkeln führt. Allerdings besteht aufgrund der erhöhten Federsteifigkeit bei konstanter Dämpfung eine starke Resonanz im Bereich der Wankeigenfrequenz (1,4 Hz). Bei der Feder mit geschlossener Drosselklappe zeigt sich ein weitgehend vergleichbarer Verlauf, allerdings führt die an der Drossel geleistete Dämpfungsarbeit dazu, dass die Resonanzerscheinungen fast komplett unterdrückt werden. Darin zeigt sich, dass die Anhebung der Federsteifigkeit auch mit einer Anhebung des Dämpfungsmaßes einhergeht und die Fahreigenschaften gegenüber der Luftfeder mit komplett abschaltbarem Zusatzvolumen in dieser Hinsicht überlegen sind.

In der Simulation eines dynamischen Fahrmanövers, dem doppelten Fahrspurwechsel, lassen sich die Auswirkungen dieser relativ abstrakt beschriebenen Eigenschaften auf ein realitätsnahes Manöver darstellen. Die mit geschlossener Drosselklappe erreichten Wankwinkel sind durchweg deutlich geringer als bei geöffneter Drosselklappe. Insgesamt ergibt sich ein Wankwinkelniveau, welches weitgehend vergleichbar ist zu dem Fahrzeug mit vollständig geschlossener Drosselklappe.

1.4 Prüfstandsversuch

Um die in der Simulation nachgewiesenen Effekte auch im realen Versuch validieren zu können wird auf der fka-Hydropulsanlage ein Luftfederprüfstand aufgebaut. Eine Luftfeder wird mit einem Zusatzvolumen und einem Drosselklappen-Schaltventil ausgestattet, neben Federweg und Federkraft werden die Drücke in Haupt- und Zusatzvolumen aufgezeichnet. Anhand dieses Prüfstands können die in der Simulation beobachteten Effekte, insbesondere Dämpfungsverhalten und Frequenzabhängigkeit der Druckübertragung, in der Realität nachgewiesen werden.

1.5 Fazit der Untersuchungen in Simulation und Versuch

Zum Einsatz des Drosselklappen-Schaltventils der Firma VOSS Automotive wurden Simulationen mit einer Luftfeder als Corner-Modul und Vollfahrzeugsimulationen mit einem mit luftgefederten Fahrzeugmodell durchgeführt. Darüber hinaus wurde ein Ventil-Prototyp auf seine strömungstechnischen Eigenschaften abhängig vom Drosselklappen-Stellwinkel untersucht und eine Luftfeder mit Zusatzvolumen und Drosselklappen-Schaltventil wurde im Prüfstandsversuch analysiert. Zusammenfassend lässt sich nach den durchgeführten Simulationen und Versuchen festhalten, dass das Drosselklappen-Schaltventil interessante Eigenschaften für den Einsatz in einer adaptiven Luftfederung aufweist. Obwohl die geschlossene Drosselklappe keine stationäre Auswirkung auf das Fahrverhalten besitzt,

werden dynamisch einerseits die Federrate und andererseits die Dämpfung angehoben. Daraus resultiert insbesondere bei dynamischen Manövern eine wünschenswerte Reduktion der Wankwinkelamplituden. Die bei schaltbaren Federungen mögliche Resonanz im Bereich der Wank Eigenfrequenz (Aufschaukeln) kann aufgrund der Dämpfungseigenschaften des nicht vollständig schließenden Ventils reduziert oder unterbunden werden.