

Höher, schneller, weiter

Aktive Schwingungsdämpfung für
Feuerwehrdrehleitern





Höher, schneller, weiter und sicherer – das sind die Anforderungen an die Feuerwehdrehleitern von heute. Um ihnen gerecht zu werden, ist Leichtbauweise der Schlüssel. Allerdings neigen diese leichten Leitersätze vermehrt zu Biegeschwingungen. Das Institut für Systemdynamik der Universität Stuttgart hat unter Verwendung von dSPACE-Werkzeugen für den Hersteller IVECO MAGIRUS Brandschutztechnik eine aktive Schwingungsdämpfung entwickelt.

Feuerwehdrehleitern als markanteste Vertreter der Personenrettung und Brandbekämpfung erreichen Rettungshöhen von bis zu 55 m. Die Rettungshöhe muss nach Positionierung der Abstützung innerhalb möglichst kurzer Zeit erreicht werden. Die Normvorgabe von 180 s für die in Deutschland üblichen 30-m-Leitern wird bei modernen Fahrzeugen deutlich unterschritten. Der ausfahrbare Leitersatz ist auf einer hydraulisch drehbaren Plattform aufgebaut und kann mittels zweier Hydraulikzylinder aufgerichtet und geneigt werden. Dabei überbrückt der Leitersatz einer 30-m-Leiter horizontal mehr als 17 m, die sogenannte Ausladung, und im Korb können bis zu 300 kg Nutzlast transportiert werden. Durch die forcierte Leichtbauweise und die beträchtlichen Längen sind die Drehleitern in der Steifigkeit begrenzt. So werden bei Bewegungen der Leiter verstärkt Schwingungen induziert. Auch Angriffe äußerer Kräfte wie Wind oder unterschiedliche Belastungszustände durch die

Personen im Rettungskorb verursachen Schwingungen des Leitersatzes. Normalerweise wird diesem Effekt durch starke Reduzierung der Fahrgeschwindigkeiten begegnet – bei einem Notfallrettungsfahrzeug eine nicht sinnvolle Maßnahme. Zudem beeinträchtigen die langsamen Schwingungsbewegungen Sicherheit und Komfort der Drehleiter.

Forschungsprojekt des Instituts für Systemdynamik mit IVECO MAGIRUS

Die Schwingungen aktiv zu dämpfen, ist deswegen der Schwerpunkt eines Forschungsprojekts, das seit 1998 in enger Kooperation des Instituts für Systemdynamik mit IVECO MAGIRUS stetig fortgeschrieben wird. Seit 2001 gehört die aktive Schwingungsdämpfung zur Serienausstattung der neuen CS-Leiter-Serie (Computer stabilized, CS). Ein wesentlicher Grund für den großen Erfolg der CS-Baureihe ist die erste Generation der aktiven Schwingungsdämpfung zusammen mit der Memory-Funktion.

IVECO MAGIRUS DLK 23-12 CS mit Rettungskorb im Einsatz.



Damit haben die CS-Leitern von IVECO MAGIRUS ein Alleinstellungsmerkmal auf dem Markt. Zwischenzeitlich sind weltweit mehr als 700 Fahrzeuge mit dem CS im Namen im Einsatz. Um die Effektivität der aktiven Schwingungsdämpfung weiter zu verbessern, wird am Institut für Systemdynamik in enger Zusammenarbeit mit IVECO MAGIRUS kontinuierlich geforscht und entwickelt. So ist die dritte Generation kurz vor ihrer Serienreife. Sie dämpft aktiv nicht nur die Grundschiwingung, sondern auch die Oberschwingungen der Biegung.

Bewegungen der Drehleiter

Vom Funktionsstand auf dem Fahrzeug oder im Korb steuert der Bediener die Bewegungen der Leiter. Die Biegeschwingungen werden durch zwei verschiedene Sensorsysteme erfasst. Zum einen wird die Materialdehnung, die aus der Durchbiegung der Leiter resultiert, über Dehnungsmessstreifen in der

„Die Software ControlDesk bietet uns viele Möglichkeiten, verschiedene Experimente, Setups und Messsignale einfach per Drag&Drop zu bearbeiten und zu verwalten.“

Nico Zimmert, Institut für Systemdynamik, Universität Stuttgart

Nähe der Einspannstelle der Leiter erfasst. Sie geben die Dehnung in longitudinaler und lateraler Richtung des Leitersatzes aus. Zum anderen befinden sich an der Leiterspitze Gyroskope. Sie messen die Lageänderung bzw. Drehrate der Leiter um alle drei Raumrichtungen. Aus den beiden Messsystemen wird modellgestützt sowohl die vertikale und horizontale Durchbiegung als auch die Torsion des Leitersatzes ermittelt. Inkrementalgeber in den jeweiligen Drehachsen dienen der Bestimmung des Aufricht- und Drehwinkels. Auch die aktuelle Leiterlänge wird mittels Inkrementalgeber

bestimmt. Über die Sensorik werden alle Zustände der Drehleiter sofort vom Rechner erfasst. Die so erhaltenen Informationen werden verdichtet, ausgewertet und durch modellbasierte Reglermodule in Sekundenbruchteilen in entsprechende Ansteuerungen für die hydraulischen Antriebe umgesetzt. Dabei folgt die Bewegung der Drehleiter im Wesentlichen den Vorgaben des Bedieners. Gleichzeitig wird durch sanftes, für den Bediener kaum wahrnehmbares Gegensteuern der hydraulischen Antriebe die Biegeschwingung des Leitersatzes aktiv unterdrückt.

IVECO MAGIRUS DLK 55 CS mit Fahrstuhl und Rettungskorb im fahrbereiten Zustand.

Vorteile der aktiven Schwingungsdämpfung

Der Einsatz der aktiven Schwingungsdämpfung erhöht über die Software die resultierende Steifigkeit des Gesamtsystems, was ein wesentlich schnelleres und sichereres Anfahren der Rettungsposition ermöglicht. Die Bewegungsgeschwindigkeiten können vergrößert werden, da durch reduzierte Biegung und Gewicht die dynamischen Kräfte abnehmen. Auch wird durch die konsequente Leichtbauweise das Gesamtgewicht des Fahrzeugs gering gehalten. Bei gleicher Abstützung kann so eine größere Ausladung erreicht werden.

Da in einem Rettungskorb nur drei bis vier Personen Platz finden, ist die Memory-Funktion für die Rettung mehrerer Personen vom gleichen Rettungspunkt entwickelt worden. Der Bediener gibt während einer

Teach-in-Fahrt (Lernfahrt) die Bahn zwischen Rettungspunkt und Boden vor. Anschließend kann diese Bahn mit maximal möglicher Geschwindigkeit innerhalb eines fest vorgegebenen Toleranzschlachts abgefahren werden. Der Bediener kann zu jedem Zeitpunkt festlegen, ob er die Bahn mit der maximalen oder einer geringeren Geschwindigkeit nachfahren möchte. Er kann sogar anhalten und die Bahn von jedem Punkt aus in entgegengesetzter Richtung abfahren. So ist ein sehr flexibles Arbeiten am Einsatzort möglich.

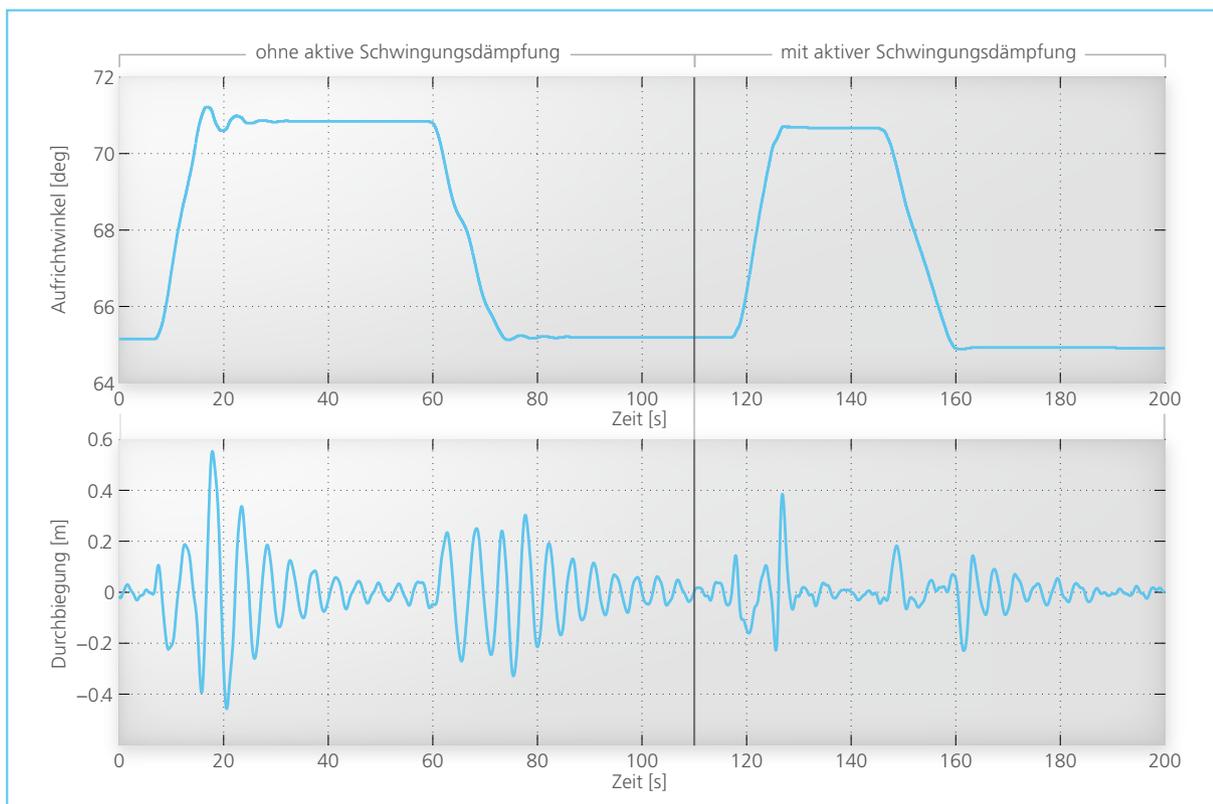
Modellbasierte Entwicklung

Die aktive Schwingungsdämpfung ist modellbasiert entworfen, und sämtliche Steuergesetze liegen in analytischer Form vor. So kann der Algorithmus jederzeit an veränderbare Parameter des Leitersatzes, z. B.

Die Vorteile der aktiven Schwingungsdämpfung im Überblick:

- Höhere Sicherheit für Mensch und Maschine durch geringere Biegeschwingungen und Vibrationen
- Schnellere Bewegung der Feuerwehrleiter möglich (insbesondere mit Memory-Funktion)
- Bessere Positioniergenauigkeit
- Größere Ausladung und höhere Standsicherheit durch zusätzliche Gewichtersparnis
- Höherer Komfort

Leiterlänge, Nutzlast etc., angepasst werden. Es handelt sich um eine 2-Freiheitsgrade-Regelung, d. h., es gibt eine Vorsteuerung und eine Rückführung, die getrennt voneinander entworfen werden können. Die Vorsteuerung ist so ausgelegt, dass so wenig wie möglich Durchbiegung bzw. Schwingung in den



Vergleich der Durchbiegung an der Leiterspitze und des Aufrichtwinkels einer DLK 55 CS bei einer Aufrichtbewegung bei ca. 50 m Ausfahrlänge ohne und mit aktiver Schwingungsdämpfung.

*IVECO MAGIRUS DLK 55 CS mit Fahrstuhl
und Rettungskorb.*

Leitersatz induziert wird. Die Rückführung gleicht basierend auf den Sensordaten die Biegeschwingungen aus, die trotz Vorsteuerung, z. B. durch externe Störeinflüsse, angeregt werden. Dabei werden bei der neuen Generation der aktiven Schwingungsdämpfung auch die höheren Eigenfrequenzen des Leitersatzes aktiv gedämpft.

Aufbau des Testsystems

Während der Entwurfsphase der aktiven Schwingungsdämpfung nutzen wir ein dSPACE-Prototyping-System, basierend auf einem DS1103 PPC Controller Board. Das Board kommuniziert über den CAN-Bus mit dem Steuergerät des Fahrzeugs und liest alle notwendigen Messdaten aus. Mit dem dSPACE RTI CAN Blockset kann dabei die CAN-Kommunikation schnell und einfach aufgesetzt werden.

Die dSPACE-Software ControlDesk bietet während dieser Phase viele Möglichkeiten, verschiedene Experi-



dSPACE-Produkte im Einsatz:

- DS1103 PPC Controller Board als Reglermodul innerhalb der Fahrzeugsteuerung während der Entwicklung
- Real-Time Interface zur Einbindung des Busses und zusätzlicher Messtechnik während der Identifikation
- RTI CAN Blockset zur Kommunikation mit dem Fahrzeug-CAN
- ControlDesk zur Auslegung der aktiven Schwingungsdämpfung
- TargetLink zur automatischen Code-Generierung für Portierung der Regelalgorithmen auf Mikrocontroller-Hardware
- Autoskalierungswerkzeug zur automatischen Skalierung der Festkomma-Berechnungen

„Mit dem dSPACE-Prototyping-System können wir die aktive Schwingungsdämpfung schnell entwickeln und testen.“

Nico Zimmert, Institut für Systemdynamik, Universität Stuttgart

mente, Setups und Messsignale einfach per Drag&Drop zu bearbeiten und zu verwalten. So erfassen wir in Versuchsreihen statische und dynamische Größen, um Parameter für den modellbasierten Reglerentwurf zu identifizieren. Danach entwickeln wir die Regelalgorithmen in der MATLAB®/Simulink®-Umgebung und untersuchen ihre Funktionalität und erste Auslegungen durch Simulationen. Im nächsten Schritt werden die Algorithmen mit Hilfe des DS1103 direkt am Fahrzeug getestet. Die Handhebel-signale vom Bedienstand werden

ausgelesen, entsprechend manipuliert und anschließend wieder über CAN zum Steuergerät übertragen. Durch diese Vorgehensweise können intensive Tests, das Fine-Tuning und die Implementierung eines neuen Reglerkonzepts schnell und mit sehr geringen hardwareseitigen Anpassungen durchgeführt werden. Der Code-Generator TargetLink wird für die Implementierung der Algorithmen auf dem Steuergerät des Fahrzeugs genutzt. Da der Mikrocontroller des Steuergeräts mit Festkomma-Arithmetik arbeitet, gene-

riert TargetLink aus den Algorithmen automatisch Festkomma-Quellcode in ANSI-C. Das Autoskalierungswerkzeug und die Möglichkeit die Algorithmen sowohl in Fließkomma- (mittels Model-in-the-Loop-Simulation) als auch in Festkomma-Arithmetik (mittels Software-in-the-Loop-Simulation) zu simulieren, ermöglichen die Verifikation der Algorithmen schon früh in der Entwurfsphase. Außerdem erleichtern die umfangreichen Simulationsfunktionen das Skalieren der komplexen mathematischen Berechnungen. Die durchgängige Werkzeugkette von dSPACE gewährleistet eine schnelle und konsistente Portierung der Algorithmen aus der MATLAB/Simulink-Umgebung auf das Steuergerät.

Fazit

Dieses Forschungsprojekt ist ein Beispiel für die erfolgreiche Kooperation zwischen Hochschulinstitution und Unternehmen. Dabei leistet das Institut für Systemdynamik nicht nur bei der Entwicklung der Technologie

Über IVECO MAGIRUS Brandschutztechnik

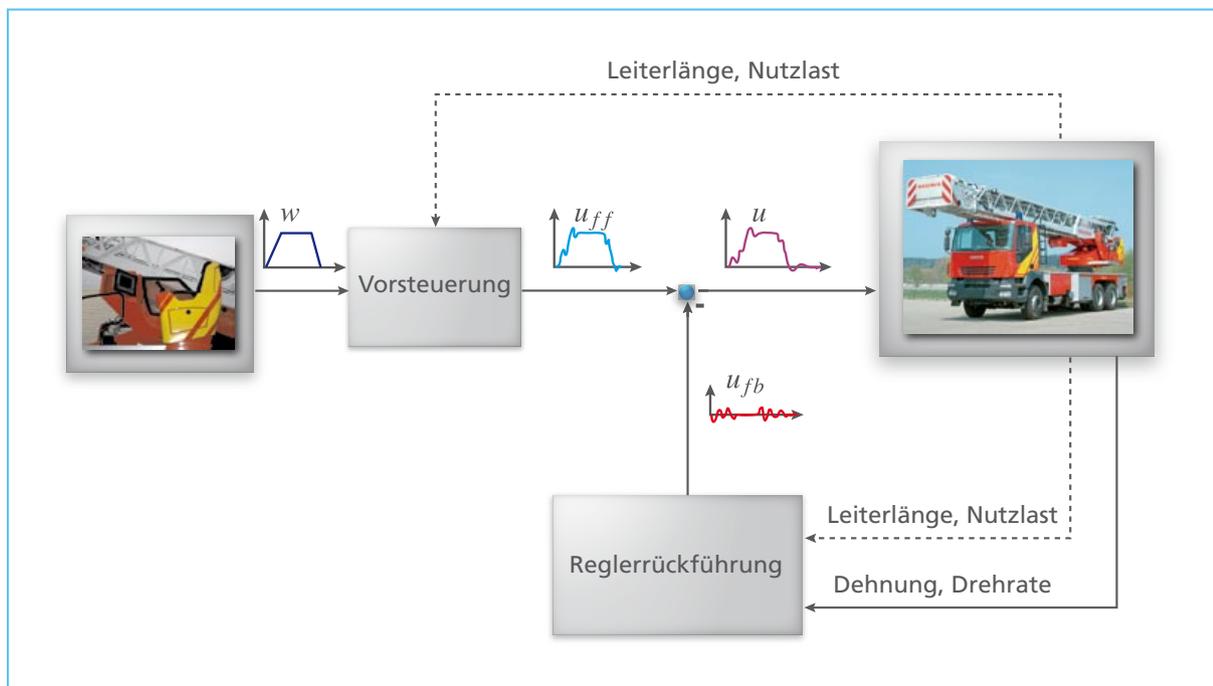
An insgesamt sechs Standorten in ganz Europa produziert IVECO MAGIRUS eine große Bandbreite von Fahrzeugen und Geräten für den Brand- und Katastrophenschutz. Mit über 1.300 verkauften Fahrzeug-Einheiten pro Jahr zählt IVECO MAGIRUS zu den weltweit größten Anbietern der Branche. Bei Drehleitern ist die Marke MAGIRUS globaler Marktführer.

Über das Institut für Systemdynamik

Das Institut der Universität Stuttgart legt seinen Forschungsschwerpunkt auf die Analyse der Dynamik von Systemen. Dabei wenden sie Methoden der Systemtheorie, der Modellbildung, der Simulation, der Regelungstechnik und der Optimierung an und entwickeln diese weiter. Systeme aus unterschiedlichsten Gebieten wie Mechatronik, Prozesstechnik, Verkehr und Biologie werden untersucht. So entsteht ein interdisziplinäres Umfeld, in dem Wissenschaften aller Art integriert werden. Kennzeichnend sind für das Institut nicht nur die grundlagenorientierte Methodenentwicklung, sondern auch die Fragen der automatisierungstechnischen Implementierung.

einen Beitrag, sondern unterstützt das Projekt vom Prototyp über die Vorserie bis zum Serienfahrzeug. So ist es möglich, produktnahe Innovationen effektiv, schnell und für beide Seiten erfolgreich zu gestalten. ■

Nico Zimmert, Prof. Oliver Sawodny, Institut für Systemdynamik, Universität Stuttgart; Reinhard Keck, Christoph Lauterjung, IVECO MAGIRUS Brandschutztechnik GmbH, Ulm, Deutschland



Wirkungsweise der 2-Freiheitsgrade-Regelung – Leiterlänge und Nutzlast sind zeitvariante Parameter, die zur Adaption der Regelung genutzt werden.