

FORSCHUNGSBERICHT

W. A. Günthner · R. Bruns · S. Oh ·
E. Danilov · G. Fischer

Untersuchung und Modellierung der
Schwingungsübertragung von
Flurförderzeugreifen

Forschungsbericht

der Forschungsstellen

1, Lehrstuhl für Fördertechnik Materialfluss Logistik, Technische Universität München

2, Professur für Maschinenelemente und Technische Logistik, Universität der Bundeswehr
Hamburg

zu dem über die



im Rahmen des Programms zur
Förderung der Industriellen Gemeinschaftsforschung und -entwicklung (IGF)

vom Bundesministerium für Wirtschaft und Technologie
aufgrund eines Beschlusses des Deutschen Bundestages

geförderten Vorhaben **17212**

Untersuchung und Modellierung der Schwingungsübertragung von Flurförderzeugreifen

der AiF-Forschungsvereinigung

Intralogistik

Gefördert durch:



Bundesministerium
für Wirtschaft
und Technologie

aufgrund eines Beschlusses
des Deutschen Bundestages

Herausgegeben von:

Prof. Dr.-Ing. Dipl.-Wi.-Ing. W. A. Günthner

fml – Lehrstuhl für Fördertechnik Materialfluss Logistik

Technische Universität München

Dieses Werk ist urheberrechtlich geschützt. Die dadurch begründeten Rechte, insbesondere die der Übersetzung, des Nachdrucks, der Entnahme von Abbildungen, der Wiedergabe auf photomechanischem oder ähnlichem Wege und der Speicherung in Datenverarbeitungsanlagen bleiben – auch bei nur auszugsweiser Verwendung – vorbehalten.

Copyright © **fml** – Lehrstuhl für Fördertechnik Materialfluss Logistik

Printed in Germany 2013

fml – Lehrstuhl für Fördertechnik Materialfluss Logistik

Technische Universität München

Boltzmannstr. 15

85748 Garching

Telefon: + 49 89 289 15921

Telefax: + 49 89 289 15922

www.fml.mw.tum.de

Lehrstuhl für Maschinenelemente und Technische Logistik

Helmut-Schmidt-Universität

Universität der Bundeswehr Hamburg

Holstenhofweg 85

22043 Hamburg

Telefon: (040) 6541 - 2855

Telefax: (040) 6541- 2095

www.hsu-hh.de/mtl

Auch im Entwicklungsprozess von Flurförderzeugen gewinnt die dynamische Simulation anhand von Mehrkörpermodellen zunehmend an Bedeutung. Fahrdynamikuntersuchungen können hierbei in drei Bereiche unterteilt werden. Während in der Längsdynamik z. B. das Antriebs und Bremsverhalten untersucht wird, stehen bei der Querdynamik das Lenken, die Kurvenfahrt oder die Kippsicherheit im Vordergrund. Die Vertikaldynamik nimmt sich hingegen vor allem Komfortuntersuchungen an, hierbei werden im Normalfall Fahrzeugschwingungen untersucht, die durch Bodenunebenheiten induziert werden.

In allen Fällen stellen die Reifen ein Schlüsselement dar, da sie durch die Übertragung von Kräften und Momenten zwischen Fahrzeug und Boden, die durch Beschleunigen, Bremsen, Kurvenfahren, Eigen- und Lastgewicht sowie Bodenunebenheiten entstehen, maßgeblich die Leistungsfähigkeit, die Sicherheit und den Komfort des Fahrzeugs beeinflussen. Im Rahmen der Mehrkörpersimulation greift der Anwender auf sog. Reifenmodelle zurück, in denen auf unterschiedlichen Abstraktionsebenen das Reifenverhalten beschrieben ist. Je nach Anforderung existieren hierfür bekannte Reifenmodelle, welche vor allem für Luftreifen für PKW und LKW entwickelt sind. Speziell für die bei Gegengewichtsgabelstaplern verbreiteten Superelastikreifen existiert bereits ein am Lehrstuhl für Maschinenelemente und Technische Logistik der Helmut-Schmidt-Universität Hamburg entwickeltes Reifenmodell für die Querdynamik bei Flurförderzeugen. Für hochfrequente Anregungen, wie sie z. B. bei Schwellenüberfahrten im Bereich der Vertikaldynamik vorliegen, existiert kein Reifenmodell für Superelastikreifen. Hier setzt das vorliegende Forschungsprojekt an und steckt sich das Ziel, ein entsprechendes Reifenmodell zu entwickeln. Die Entwicklung erfolgt prototypisch für einen Reifen der Dimension 18×7-8 der Firma Continental.

Hierzu werden am Lehrstuhl für Maschinenelemente und Technische Logistik der Helmut-Schmidt-Universität Hamburg (mtl) die vertikaldynamischen Eigenschaften des Reifens der Dimension 18×7-8 experimentell untersucht. Dabei werden die Kraft-Weg-Kennlinie, die dynamische Steifigkeit sowie die Dämpfung eines stehenden Rades an einem Hydropulserprüfstand gemessen. Der Einfluss unterschiedlicher Radlasten, Anregungsfrequenzen und Untergründe auf die Schwingungsparameter des Rades wird experimentell untersucht und beschrieben. Es wird gezeigt, dass insbesondere die Dämpfung des stehenden Rades stark abhängig von der Frequenz und der Belastung ist. Zudem ist die Federkennlinie progressiv. Das

Schwingungssystem Rad hat demzufolge ausgeprägte nichtlineare Eigenschaften (Abbildung 1).

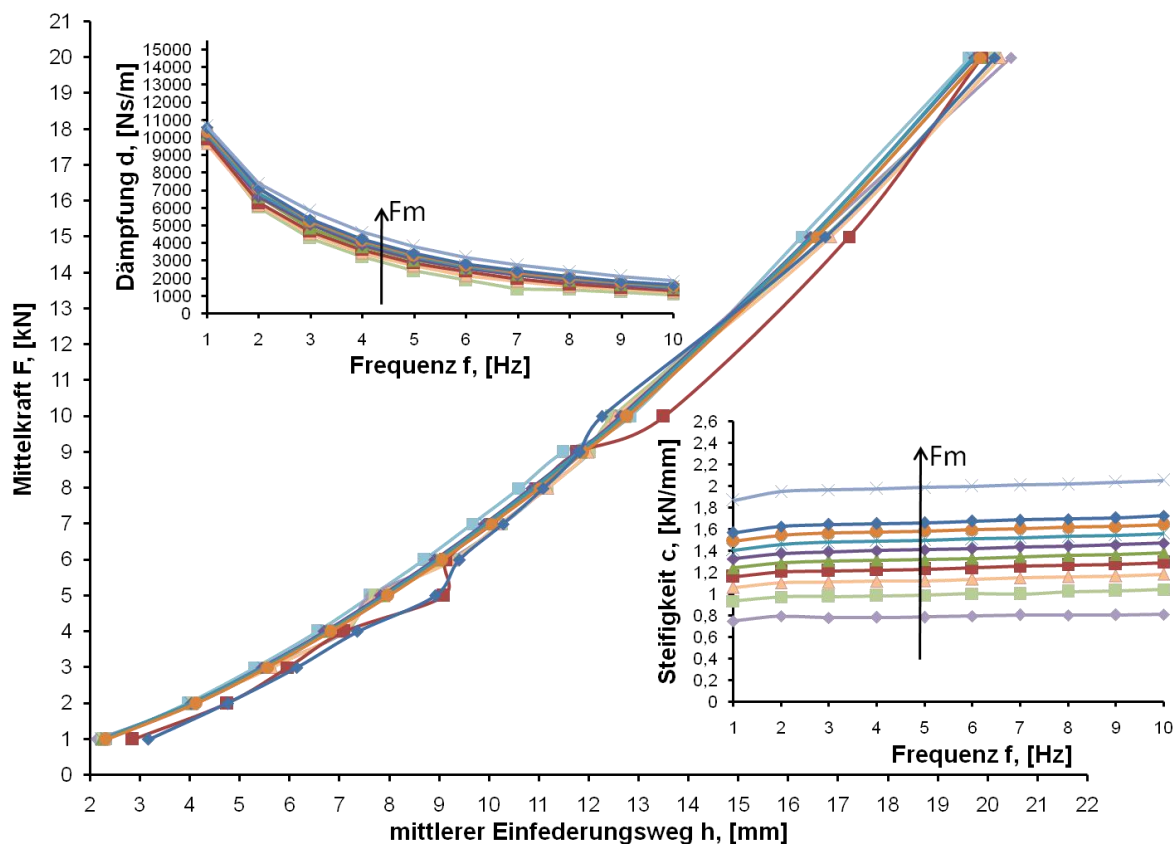


Abbildung 1: Versuchsergebnisse am Hydropulserprüfstand

Zur Vermessung der vertikaldynamischen Eigenschaften des rollenden Rades wird ein am mtl entwickelter Trommelprüfstand durch eine Schwinde ergänzt, die eine geführte vertikale Bewegung des Rades unter Last ermöglicht. Das Rad wird über eine definierte Schwelle auf der Trommel geführt und somit zu einer vertikalen Eigenschwingung angeregt (Abbildung 2, unten). Das Abkling- sowie das Eigenschwingverhalten werden analysiert und Steifigkeits- und Dämpferparameter abgeleitet. Auch durch diese Versuche kann die Frequenzabhängigkeit der Dämpfung bestätigt werden, die sich durch einen ausgeprägten Geschwindigkeitseinfluss manifestiert. Die Federsteifigkeit ist hingegen kaum durch die Anregungsfrequenz bzw. durch die Rollgeschwindigkeit beeinflusst. Die experimentellen Untersuchungen werden durch Fahrversuche abgeschlossen, bei denen der Schwingungsverlauf eines Gabelstaplers, der mit definierter Last und Geschwindigkeit über Schwellen fährt, aufgezeichnet und ausgewertet wird. Die Ergebnisse dienen der Validierung des Reifenmodells in einer MKS-Gesamtfahrzeugsimulation.

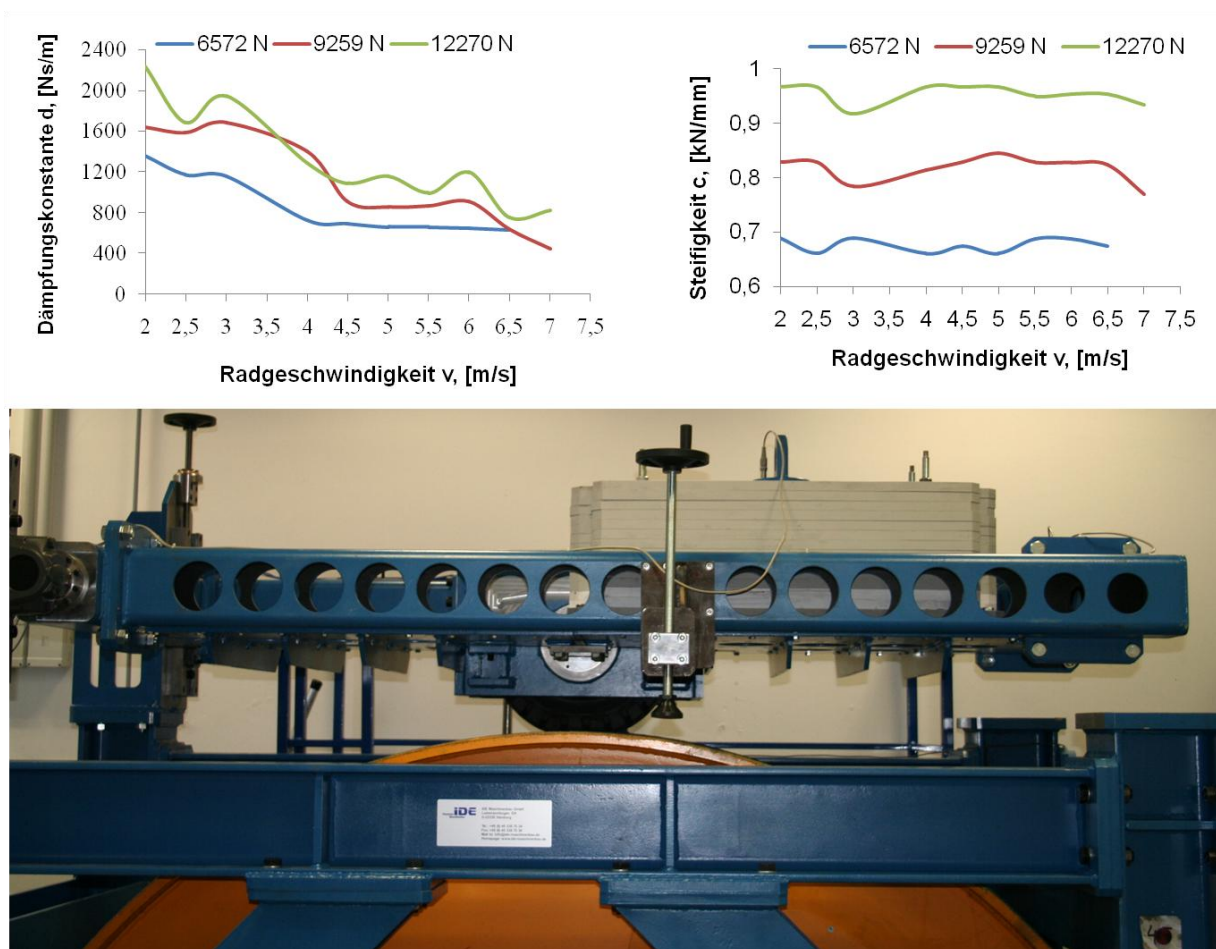


Abbildung 2: Versuche am Trommelprüfstand

Aufbauend auf den Messergebnissen widmet sich der Lehrstuhl für Fördertechnik Materialfluss Logistik der Technischen Universität München (fml) der Entwicklung des Reifenmodells. Dieses besitzt insbesondere für hochfrequente Anregungen, wie sie z. B. bei der Überfahrt von Schwellen auftreten, Gültigkeit. Dies liegt im internen Modellaufbau begründet, der selbst ein Mehrkörpersystem auf Basis des physikalischen Aufbaus des Reifens darstellt. Konkret wird die Lauffläche durch eine bestimmte Anzahl an Kontaktelementen diskretisiert, die in Kontakt mit der Straße treten. Die hochelastische Zwischenschicht des Superelastikreifens in radialer Richtung wird durch lineare Voigt-Kelvin Feder-Dämpfer-Elemente berücksichtigt. Zusätzliche Kräftelemente in Umfangsrichtung sowie um die Drehachse zur Übertragung von Antriebskräften ergänzen den Modellaufbau. (Abbildung 3, links). Für den Kontakt mit der Straße wird ein Impact-Kontaktmodell programmiert, welches in Kombination mit einem in einer sog. Straßendatei hinterlegten Höhenprofil die resultierenden

Kontaktkräfte berechnet. Nach erfolgter Modellbeschreibung des Reifenmodells als mathematisches Modell in Form von Bewegungsgleichungen wird in der Mehrkörpersimulationssoftware ADAMS/View ein Simulationsmodell des Reifens aus Einzel-elementen aufgebaut, die durch Kraft- und Bindungselemente in Bezug gesetzt werden (Abbildung 3, rechts).

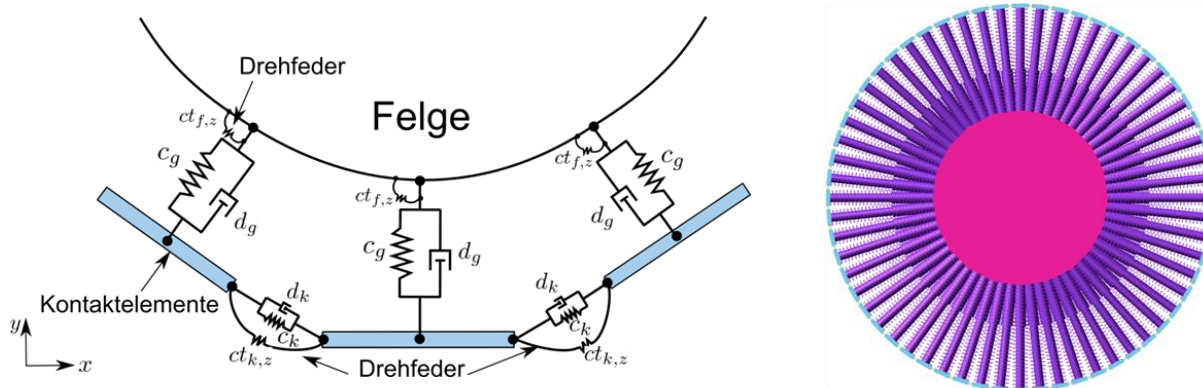


Abbildung 3: physikalischer Modellaufbau (links) und Abbildung in der Mehrkörpersimulationsumgebung ADAMS/View als Simulationsmodell (rechts)

Dieses Modell wird gegenüber den durchgeführten Prüfstandsversuchen verifiziert und validiert. Ebenso wird ein Vorgehen abgeleitet, wie die wichtigsten modellinternen Parameter aus den Messungen abgeleitet werden können. Zusätzlich erfolgt eine Validierung anhand einer Gesamtfahrzeugsimulation mit einem Gegengewichtsgabelstapler, die sich auf die Messwerte der angesprochenen Versuchsfahrten stützt. Damit das Reifenmodell aufwandsarm in eine Gesamtfahrzeugsimulation integriert werden kann, wird abschließend der Modellansatz in Form von Bewegungsgleichungen in einer DLL-Datei hinterlegt. In der DLL-Datei ist eine Berechnungsroutine hinterlegt, die unter Berücksichtigung von Eingangsparametern aus der Gesamtsimulation wie z. B. der Felgenposition mit einem eigens implementierten numerischen Integrationsverfahren die Bewegungsgleichungen löst und die resultierenden Reifenkräfte und Momente an die Gesamtfahrzeugsimulation zurück gibt. Die Parametrisierungsgrößen des Reifenmodells werden aus einer sog. Reifendatei eingelesen und finden so Eingang in die Berechnung.

Der Schlussbericht steht der für die interessierte Öffentlichkeit in der Bundesrepublik Deutschland zu Verfügung und kann unter kontakt@fml.mw.tum.de oder dani-lov.lena@hsu-hh.de angefordert werden.