

Thomas Anderl und Martin Rempfer, Garching

Der Einachs-Rollenprüfstand der TU München

Prüfstandsversuche ermöglichen kontrollierte und wiederholbare Testbedingungen, wie sie im Feld-einsatz kaum zu realisieren sind. Jedoch ist der Aufwand groß, ein komplettes Fahrzeug – etwa einen Traktor – auf einem Prüfstand zu untersuchen. Diese Möglichkeit bietet der neue Einachs-Rollenprüfstand der TU München, der vom Lehrstuhl für Landmaschinen (Prof. Renius) und Lehrstuhl für Fahrzeugtechnik (Prof. Heißing) gemeinsam genutzt wird.

Der Rollenprüfstand der Technischen Universität München (Hersteller: Renk AG, Augsburg; Federführung seitens TUM bei Planung, Einbau und Inbetriebnahme beim Lehrstuhl für Landmaschinen) kann zur Untersuchung von Antrieben, zur Entwicklung oder Überprüfung von Fahrstrategien, zum Vermessen von Leistungs- und Verbrauchskennfeldern oder zur Ermittlung von Geräuschemissionen eingesetzt werden. Durch zwei Getriebestufen und Momentenmesswellen können die maximal möglichen Rollenumfangskräfte (60 oder 14,5 kN) und Geschwindigkeiten (65 oder 250 km/h) an das zu testende Fahrzeug oder den Versuch angepasst werden. Der Prüfstand stellt am Rollenumfang eine maximale Leistung von 280 kW im Zugbetrieb sowie 220 kW im Schubbetrieb zur Verfügung. Das mit einer Messwelle ermittelte Drehmoment am Laufrollensatz (Durchmesser 2 m) wird um die in einem Verlustlauf ermittelten Kräfte aus Reibungs- und Beschleunigungsvorgängen des Prüfstandes zur Zugkraft am Rollenumfang korrigiert.

Die Betriebsarten des Prüfstandes ermöglichen die Regelung der Rollenumfangsgeschwindigkeit, der Zugkraft an der Rolle sowie eine Fahrmassensimulation. In der Betriebsart Fahrmassensimulation beaufschlagt der Prüfstand das zu testende Fahrzeug mit parametrierbaren Fahrwiderständen (Rollwiderstand, Steigung, Luftwiderstand und Beschleunigungskraft). Es besteht zudem die Möglichkeit, durch eine zusätzliche Kraft Arbeitseinsätze zu simulieren oder Fahrzeug und Prüfstand über Messwerte zu koppeln und Versuche zu automatisieren.

Untersuchung von Traktoren

Für die Untersuchung von Traktoren oder mobilen Arbeitsmaschinen auf dem Einachs-Prüfstand (Bild 1) sind zunächst Kenntnisse von Rollwiderständen und Abrollradien der beim Versuchsfahrzeug eingesetzten Reifen erforderlich. Zudem müssen Effekte, die durch den Antrieb von nur einer Achse auf dem Prüfstand hervorgerufen werden, bei der Beaufschlagung mit Prüfkraften berücksichtigt werden. Um etwa bei Allradfahrzeugen einer von der Allradkupplung oder vom Zwischenachsdifferential des Getriebes ausgehenden Überhitzung vorzubeugen, muss entweder die Antriebswelle der nicht angetriebenen Achse ausgebaut oder alternativ die zweite Achse auf Freilaufrollen angetrieben werden. In beiden Fällen sind die zum Feld- oder Straßeneinsatz unterschiedlichen Leistungsflüsse in den Getrieben ebenso zu berücksichtigen wie Schleppkräfte der Frontachse und die Rollwiderstände des Gesamtfahrzeuges im Vergleich zum Rollwiderstand der auf dem Prüfstand betriebenen Achse. Grundsätzlich ist bei allen Versuchen auf den nicht unerheblichen Einfluss der Betriebstemperaturen von Motor, Getriebe und Reifen zu achten.

Mit Kenntnis des Widerstandes der Vorderräder auf den Rollen kann der Leerlaufverlust der Frontachse auf dem Rollenprüfstand ermittelt werden. Alternativ können Ergebnisse von Brenninger [1] über den Wir-

Dipl.-Ing. Thomas Anderl und Dipl.-Ing. Martin Rempfer sind wissenschaftliche Mitarbeiter am Lehrstuhl für Landmaschinen (Leitung: Prof. Dr.-Ing. Dr. h.c. K.Th. Renius) der Technischen Universität München, Boltzmannstr. 15; 85748 Garching; e-mail: rempfer@ltm.mw.tum.de; anderl@ltm.mw.tum.de

Schlüsselwörter

Rollenprüfstand, Rollwiderstand, Rollradius

Keywords

Roller test rig, rolling resistance, rolling radius

Bild 1: Versuchsfahrzeug Valmet 8050E auf dem Einachs-Rollenprüfstand

Fig. 1: Research tractor Valmet 8050E at the single axle roller test rig



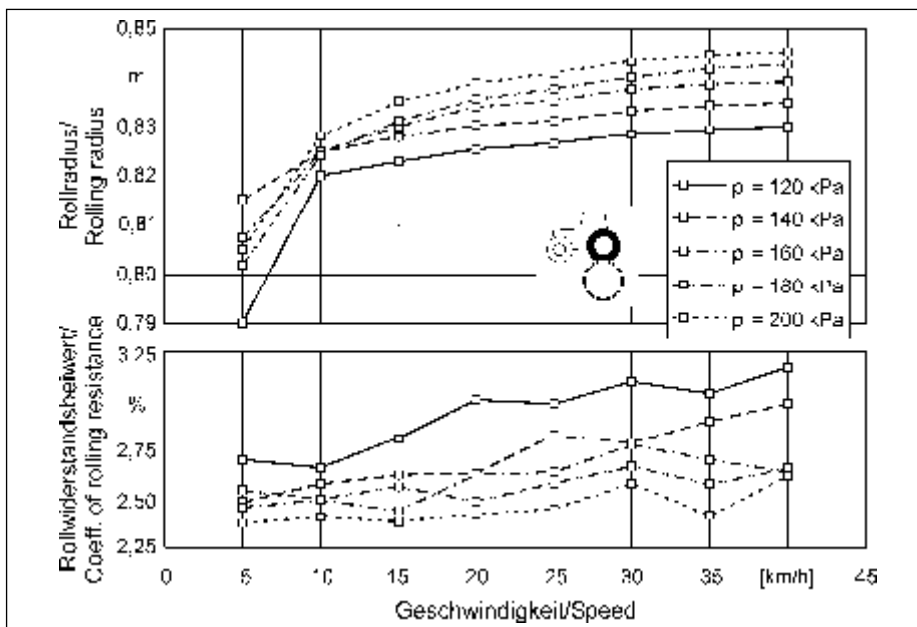


Bild 2: Rollwiderstandsbeiwerte (bei ~1% Schlupf) sowie Rollradien eines Standardreifens Goodyear 18.4 R 38 auf dem Rollenprüfstand in Abhängigkeit von Reifendruck und Fahrgeschwindigkeit. Statische Achslast: 24,6 kN

Fig. 2: Coefficients of rolling resistance (at ~ 1% slip) as well rolling radii of a standard tyre Goodyear 18.4 R 38 on the roller test rig as a function of tyre pressure and speed. Static axle load: 24.6 kN

kungsgrad und die Verluste angetriebener Achsen herangezogen werden. Die Schleppkräfte betragen etwa beim hier verwendeten Traktor mit einem Frontreifen 14.9 R 28 am Radumfang ~ 100 N für eine Frontachse ohne Bremsen. Ist diese mit nassen Scheibenbremsen ausgerüstet, so erhöhen sich die Schleppkräfte auf ~ 150 Nm im betriebswarmen Zustand.

Rollradien und Rollwiderstände auf dem Rollenprüfstand

Rollwiderstände und Rollradien hängen von verschiedenen Parametern ab wie Reifengröße, Reifendruck, Radlast, Fahrbahn und Geschwindigkeit. Wie schon mehrfach an andere Stelle erläutert [2], sind diese Größen abhängig von der Definition des Nullschlupf-Zustands. Bei den hier vorgestellten Ergebnissen liegt der Nullschlupf (linear gemittelt) zwischen den beiden Fahrzuständen „Antriebsmoment null“ und „Zugkraft null“. Weil dazu jedoch, wie bei den vorgestellten Messungen geschehen, traktorseitig die Drehmomente am Rad gemessen werden müssen, was nur selten möglich ist, sind repräsentative Kenngrößen hilfreich.

Für den typischen Treibradreifen 18.4 R 38 konnten repräsentativ Rollwiderstand und Rollradius bei für Straßenfahrt typischen Reifennendruck (120 bis 200 kPa) und Fahrgeschwindigkeiten (5 bis 40 km/h) auf dem Rollenprüfstand ermittelt werden.

Der Rollwiderstand auf der Rolle unterscheidet sich erheblich von dem auf fester ebener Fahrbahn. Auf der im Vergleich zur flachen Fahrbahn stark gekrümmten Rolle ($r_{\text{Rolle}}/r_{\text{Reifen}} \cong 1,2$) kommt es zu größeren lokalen Reifenverformungen und damit zum

Anstieg der inneren Reibung. Die in Wärme umgesetzte Energie macht sich als Rollwiderstand bemerkbar, der für die hier eingestellten Reifendrucke und Geschwindigkeiten im Bereich von 2,3% bis 3,2% liegt, (Bild 2). Die Werte ergeben sich beim frei rollenden Rad (Zugkraft null) und einer Achslast von 24,6 kN. Der Einfluss von Radunrundheiten und Schwingungen wird durch arithmetische Mittelung über 5000 Werte eliminiert.

Untersuchungen von Kiesing [3] zeigen zwar ebenso eine lineare Geschwindigkeitsabhängigkeit des Rollwiderstands, jedoch liegen die unter vergleichbaren Bedingungen auf dem Flachbahnprüfstand ermittelten Rollwiderstandsbeiwerte bei etwa 0,8% bis 2%. Dies deckt sich gut mit Untersuchungen von Steiner [4], der für die Berechnung des Rollwiderstandsbeiwertes eine empirische Näherung angibt. Die danach berechneten Werte für den hier verwendeten Reifen liegen zwischen 1,5% bei 120 kPa Reifennendruck und 1,23% bei 200 kPa. Die Geschwindigkeit wird in [4] jedoch nicht berücksichtigt.

Die Rollradien verändern sich mit der Geschwindigkeit und dem Reifendruck (Bild 2). Dabei zeigt sich im Vergleich zu anderen Untersuchungen [3] ein deutlich größerer Einfluss von Fahrgeschwindigkeit und Reifendruck als auf dem Flachbahnprüfstand. Dies lässt sich auf die stark unterschiedlichen Abrollbedingungen auf der Rolle zurückführen. Insbesondere bei geringer Fahrgeschwindigkeit kommt es zu sehr unrundem Lauf. Die kurze Latschlänge bewirkt, dass der Reifen nicht auf mehreren Stollen abrollt, sondern positiver und negativer Stollenanteil in der Latschlänge unter-

schiedlich großen Anteil haben. Dadurch kommt es zu Vertikalschwingungen.

Während auf dem Flachbahnprüfstand der dynamische Rollradius bis 10 mm zunimmt, ergeben sich auf der Rolle Unterschiede von bis zu 35 mm. Dies entspricht auch den Verhältnissen beim Rollwiderstand. Dabei muss jedoch berücksichtigt werden, dass Kiesing den dynamischen Rollradius beim frei rollenden Rad als vertikalen Abstand der Radachse zur Aufstandsebene ermittelt.

Einsatzmöglichkeiten des Prüfstands

- Ermittlung von Motorkennfeldern (Voraussetzung ist ein Drehmomentsensor in Schwungradnähe): Der Prüfstand dient hierbei als Bremse oder Antrieb (Antriebskennfeld oder Schleppverlustkennfeld). Das universelle Kraftstoffverbrauchsmessgerät ermöglicht die Bestimmung des Verbrauchskennfeldes.
- Untersuchung von Fahrtrieben: Wirkungsgrade und Fahrstrategien können mit einem Höchstmaß an Betriebssicherheit untersucht werden. Schwingungs-, Komfort- und Akustikuntersuchungen am Gesamtfahrzeug sind möglich.
- Kombinierte Einsätze mit Zapfwellen-Belastungseinheit und Vertikalbelastung: Die Kombination des Rollenprüfstands mit Hydropulsanlage (Erweiterung vorgesehen) und Zapfwellenbremse unter gleichzeitiger Belastung der Fahrzeug-Bordhydraulik ermöglicht die Untersuchung komplexer kombinierter Belastungsprofile, wie sie etwa bei Anhängerbetrieb oder Zapfwellenarbeiten auftreten. Dabei sorgen die leistungsfähige Prüfraumkühlung und Frischluftversorgung sowie ein Fahrtwindgebläse für realistische und reproduzierbare Betriebsbedingungen.

Mit dem hier vorgestellten Einachs-Rollenprüfstand steht der Forschung wie auch der Industrie ein universeller und leistungsstarker Großprüfstand zur Verfügung.

Literatur

Bücher sind mit • gezeichnet

- [1] Brenninger, M.: Verluste an Traktorfrontachsen. Landtechnik 53 (1998) Sonderausgabe Juni, S.193-194
- [2] • Steiner, M.: Analyse, Synthese und Berechnungsmethoden der Triebkraft-Schlupf-Kurve von Luftreifen auf nachgiebigem Boden. Diss, TU München, Forschungsbericht Agrartechnik Nr. 33, München, 1979
- [3] • Kiesing, A.: Dynamische Eigenschaften von Traktor-Reifen. Fortschritt-Berichte VDI Reihe 14, Nr. 40, VDI-Verlag, Düsseldorf, 1989
- [4] Steiner, M. und W. Söhne: Berechnung der Tragfähigkeit von Ackerschlepperreifen sowie des Kontaktfächenmitteldruckes und des Rollwiderstandes auf starrer Fahrbahn. Grundlagen der Landtechnik 29 (1979), H. 5, S. 145-152