

Jürgen Haberland, Christian Brinkmann und Stefan Böttinger, Hohenheim

Fahrkomfortuntersuchungen mit verschiedenen Traktorreifen

Subjektive Fahreindrücke und objektive Messungen

Die Reifen als Verbindungselement zwischen Traktor und Untergrund beeinflussen in hohem Maße den Arbeitsplatz- und Fahrkomfort. Im Rahmen eines Vergleichstests wurden der Einfluss verschiedener Traktorreifen auf Fahrkomfort und Fahrverhalten durch Messfahrten subjektiv ermittelt. Parallel dazu wurden die auftretenden Schwingbeschleunigungen an verschiedenen Bauteilen des Testfahrzeuges aufgezeichnet. Objektive und subjektive Messdaten wurden ausgewertet und Zusammenhänge zwischen ihnen untersucht.

Dipl.-Ing. Jürgen Haberland ist wissenschaftlicher Mitarbeiter im Fachgebiet Grundlagen der Agrartechnik (Leitung: Prof. Dr.-Ing. Stefan Böttinger) am Institut für Agrartechnik der Universität Hohenheim, Garbenstrasse 9, 70599 Stuttgart; e-mail: juergen.haberland@uni-hohenheim.de
Dipl.-Ing. Christian Brinkmann ist wissenschaftlicher Mitarbeiter in diesem Fachgebiet.

Schlüsselwörter

Fahrkomfort, subjektive Bewertung, Reifen, Schwingungen

Keywords

Ride comfort, subjective evaluation, tyres, vibrations

Literatur

Literaturhinweise sind unter LT 07411 über Internet <http://www.landwirtschaftsverlag.com/landtech/localliteratur.htm> abrufbar.

Trotz Fahrgeschwindigkeiten bis zu 60 km/h haben moderne Standardtraktoren keine gefederte Hinterachse, so dass die Reifen die gesamte Feder- und Dämpfungsarbeit übernehmen. Die geringe Dämpfung der Reifen sowie verschiedene Anregungsarten während der Fahrt beeinflussen in hohem Maße den Arbeitsplatz- und Fahrkomfort. Als objektives Maß für die Beurteilung des Schwingungskomforts wird in der Regel die Sitzbeschleunigung in vertikaler Richtung herangezogen. Darüber hinaus ist es in der Fahrzeugentwicklung üblich, die Einwirkung von komfortmindernden Vibrationen durch Testpersonen subjektiv zu bewerten. Während das Schwingungsverhalten von Traktoren bei Fahrt über verschiedene Untergründe und der Einfluss der dynamischen Eigenschaften der Reifen vielfach beschrieben wurde [1, 2, 3], wurden Aspekte der subjektiven Beurteilung des Fahrverhaltens durch den Bediener selbst bisher nur in kleinem Umfang beleuchtet [4].

Im Rahmen eines Vergleichstests wurden Fahrkomfortuntersuchungen mit zehn Traktorreifen durchgeführt, um Zusammenhänge von subjektiven Beurteilungen des Fahrkomforts und objektiven Messungen von komfortrelevanten Größen untersuchen zu können. Hierfür wurde durch eine Testpersonengruppe die Eigenschaften der Reifen im Fahrbetrieb subjektiv beurteilt. Parallel dazu wurden objektive Messgrößen, primär in Form von Beschleunigungssignalen, aufgezeichnet.

Subjektive Beurteilung von Fahrzeugeigenschaften

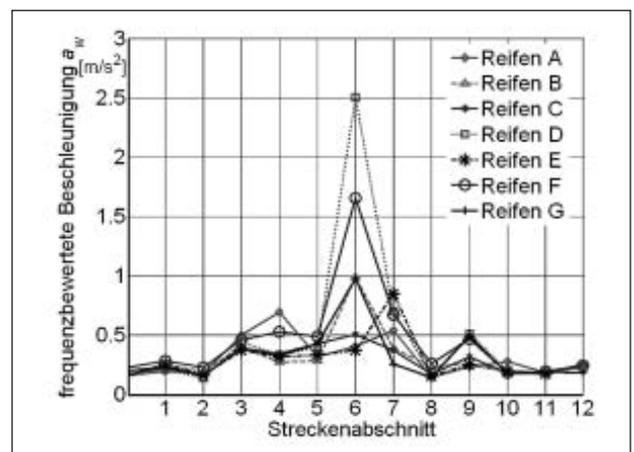
Kriterien zur Beschreibung des subjektiven Fahrempfindens, die vorrangig für Automobile entwickelt wurden [5], lassen sich nur bedingt im Bereich Traktoren und mobile Arbeitsgeräte verwenden, da die Fahrzeugkonzepte hohe systembedingte Unterschiede aufweisen. Die subjektive Bewertung erfolgt in der Regel mit Hilfe spezieller Bewertungsbögen, auf denen direkt nach der Durchführung der jeweiligen Versuchsfahrt die Bewertung des subjektiv empfundenen Fahrkomforts festgehalten wird [4]. Für die Bewertung der Einzelkriterien wie etwa Schwingungsverhalten oder Bremseigenschaften hat sich eine Notenskala mit zehn Stufen als zweckmäßig erwiesen. Durch Korrelationsbetrachtungen von Subjektivurteilen und objektiv erfassten Daten können die aussagekräftigsten Mess- und Kenngrößen identifiziert werden. Im Verlauf dieses Vergleichstests wurden vorrangig die Schwingungseigenschaften eines Testfahrzeuges subjektiv bewertet.

Versuchsaufbau

Zur Durchführung der Fahrkomfortuntersuchungen diente ein Mittelklassetraktor Fendt 411 Vario mit stufenlosem Getriebe und einer Höchstgeschwindigkeit von 50 km/h.

Bild 1: Frequenzbewertete vertikale Sitzbeschleunigung a_w

Fig. 1: Frequency-weighted vertical seat acceleration a_w



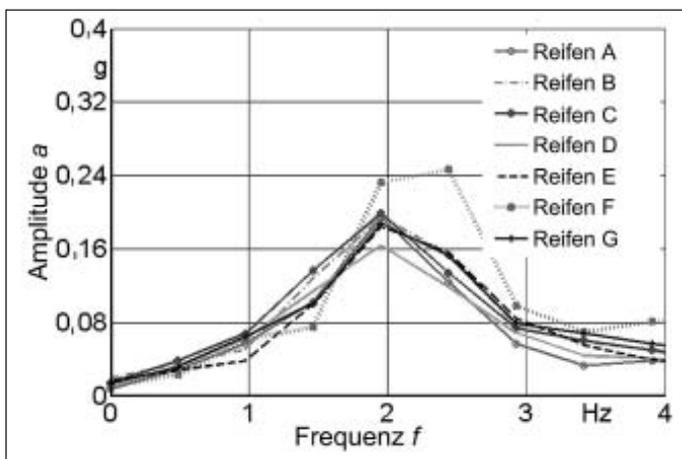


Bild 2: Amplitudenspektrum Peak-Hold, vertikale Beschleunigung am Kabinenboden, Abschnitt 1

Fig. 2: Amplitude spectrum Peak-Hold, vertical acceleration cabin floor, section 1

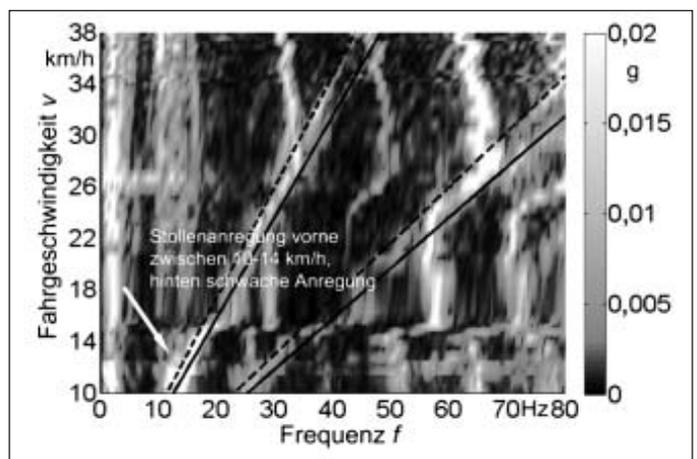


Bild 3: Spektrogramm der vertikalen Sitzbeschleunigung, Reifen D, Abschnitt 0

Fig. 3: Spectrogram vertical seat acceleration, tyre D, section 0

Dieser Traktor hat leer eine Masse von 5240 kg und eine maximale Motorleistung von 87 kW. Das Fahrzeug verfügt über eine niveaureguliert und sperrbare Vorderachsfederung, eine adaptive Kabinenteilfederung sowie eine adaptive Sitzfederung. Der Traktor war im Front- und im Heckkraftheber mit je 870 kg Masse ballastiert, um ein reales Szenario zu simulieren. Im Rahmen der Untersuchungen wurden zehn verschiedene Reifensätze getestet. Auf der Hinterachse waren Radialreifen der Dimension 460/85R38 montiert, die Vorderachse war mit Radialreifen der Dimension 420/85R24 oder 340/85R28 bestückt. Der Reifeninnen- druck betrug für alle Testfahrten 1,2 bar, was einem praxistauglichen Kompromiss zwischen Feldeinsatz und Straßenfahrt entspricht. Die Position des Traktors und seine Fahrgeschwindigkeit wurden mit D-GPS bestimmt. An der Hinterachse befanden sich auf beiden Seiten zwei Sensoren zur Messung der Vertikalbeschleunigung. Drei Beschleunigungssensoren wurden auf dem Kabinenboden in triaxialer Messanordnung, zwei weitere an der Sitzschale zur Bestimmung der Beschleunigung in longitudinaler und vertikaler Richtung angebracht. Die Aufzeichnung der Messdaten erfolgte bei einer Abtastrate von 1000 Hz.

Die Testfahrten wurden auf einer festgelegten Strecke von etwa 4,5 km Länge durchgeführt. Für die Untersuchungen wurde die gesamte Strecke in zwölf Abschnitte aufgliedert. Diese Teilabschnitte wiesen unterschiedliche Fahrbahnoberflächen (glatter Asphalt, schlechter Asphalt, Schotterweg, Feldweg, schlechter Feldweg) auf.

An den Versuchen nahmen fünf männliche Versuchsfahrer teil. Vier davon sind als geübte Fahrer mit regelmäßiger Fahrpraxis, eine Person ist eher als Gelegenheitsfahrer einzuordnen. Insgesamt wurden 36 Testfahrten durchgeführt, die Fahrzeit betrug etwa zwölf Minuten pro Fahrt. Vor den Testfahrten wurde den Fahrern erläutert, welche Kriterien beim Befahren der Teilabschnitte

abzuprüfen sind und unter welchen Bedingungen (Fahrgeschwindigkeit, ein-/ausgeschaltete Vorderachsfederung) einzelne Abschnitte befahren werden sollten. Drei fahrkomfortrelevanten Kriterien (Fahrzeugaufschaukeln, Sitzbeschleunigung und Schwingungsanregung durch Reifenstollen) wurden direkt im Anschluss an jede Testfahrt per Fragebögen mit 10 Punkte-Skala dokumentiert.

Versuchsauswertung und Ergebnisse

Gemäß der Einteilung der Teststrecke wurden die Messdaten abschnittsweise aufgeteilt und getrennt untersucht. Für die Auswertung wurden nach einer Fourieranalyse Beschleunigungsamplitudenspektren mit verschiedenen Darstellungsarten (Peak-Hold, Leistungsdichtespektrum) sowie das Spektrogramm ausgewählter Beschleunigungssignale gebildet. Zur Ermittlung der frequenzbewerteten Beschleunigung a_w und der Effektivwerte der Beschleunigungen wurden die Beschleunigungssignale mit Frequenzfiltern gemäß der VDI-Richtlinie 2057 [6] im Frequenzbereich zwischen 1 und 80 Hz bewertet.

Für die Analyse der vertikalen Sitzbeschleunigung wurden die frequenzbewerteten Beschleunigungen a_w betrachtet und den subjektiven Aussagen gegenübergestellt. Der bei Straßenfahrt subjektiv mit Abstand am schlechtesten bewertete Reifen F weist in den entsprechenden Abschnitten 0, 1, 2, 5, 8 die höchsten frequenzbewerteten Beschleunigungen a_w auf (Bild 1), in den Abschnitten 4 und 9 jeweils den zweithöchsten Wert. Der Reifen E, der subjektiv am besten bewertet wurde, liegt in den Abschnitten 0, 2, 4, 5, 8 und 9 jeweils deutlich im unteren Bereich und weist jeweils die niedrigste frequenzbewertete Beschleunigung a_w auf. Lediglich im Abschnitt 1, in welchem allerdings alle Reifen ähnlich hohe frequenzbewertete Beschleunigungen a_w aufweisen, liegt der Reifen E im mittleren Bereich. Die anderen Rei-

fen liegen sowohl bei den subjektiven Bewertungen als auch bei den bewerteten Beschleunigungen eng beieinander und weisen eine wechselnde Rangordnung auf. Beim Kriterium Fahrzeugaufschaukeln während der Straßenfahrt sind Korrelationen zwischen subjektiver Bewertung und objektiven Messwerten nicht so prägnant zu erkennen. Es konnte festgestellt werden, dass auch der bei diesem Kriterium am schlechtesten bewertete Reifen F bei der Kabinenschwingung in z-Richtung im Abschnitt 1 mit Abstand die höchste Amplitude im Frequenzbereich zwischen 2 und 3 Hz aufweist (Bild 2). Gleiches gilt für die spektrale Leistungsdichte.

Für die Auswertung der subjektiven Bewertungen über die Anregung durch Reifenstollen wurde ein Abschnitt mit glattem Asphalt (Abschnitt 0) herangezogen. Bild 3 zeigt beispielsweise das Spektrogramm der Beschleunigung an der Sitzschale in vertikaler Richtung während einer Testfahrt eines Fahrers mit dem Reifen D. Bei dieser Testfahrt stellte der Fahrer eine starke Profilanregung durch die Vorderreifen in einem Fahrgeschwindigkeitsbereich zwischen 10 km/h bis 14 km/h fest. Im Spektrogramm sieht man, dass die durchgezogene Gerade, welche die Anregungsfrequenz der Stollen der Vorderräder repräsentiert, ziemlich exakt durch den Bereich der erhöhten Amplituden bei dieser Fahrgeschwindigkeit verläuft. Ebenso lässt sich die Bemerkung einer schwachen Anregung durch die Hinterräder (repräsentiert durch die gestrichelte Gerade) wieder finden.

Im Gegensatz zur Straßenfahrt war das Formulieren von Zusammenhängen zwischen subjektiver Bewertung und objektiven Kennwerten für die Fahrt auf Feldwegen aufgrund des hohen Anteils stochastischer Anregungen nur sehr bedingt möglich. Grundsätzlich haben sich jedoch diese Versuche als sehr viel versprechend erwiesen. Weitere Untersuchungen mit präziser definierten Bedingungen werden bereits geplant.