

Henning J. Meyer, Berlin

# Trockenlaufende Bremssysteme in Traktoren und mobilen Arbeitsmaschinen

*Die Erhöhung der maximalen Fahrgeschwindigkeit von Traktoren und Landmaschinen erfordert entsprechend leistungsfähige Bremssysteme. Bei der Auswahl und Dimensionierung gilt es, neben sicherheitstechnischen Anforderungen auch anwendungsorientierte und konstruktive Randbedingungen ausreichend zu berücksichtigen. In diesem Beitrag werden die Mechanismen trockenlaufender Bremssysteme beschrieben, da diese besonders in Nutzfahrzeugen und Lastkraftwagen mit Fahrgeschwindigkeiten über 60 km/h eine weite Verbreitung gefunden haben.*

In mobilen Arbeitsmaschinen kommen eine Vielzahl unterschiedlich arbeitender Bremssysteme zum Einsatz, seien es trocken- oder nasslaufende Einscheiben- oder Lamellenbremsen sowie Trommelbremsen.

Die an die Bremsen gestellten Anforderungen können grob in anwendungsorientierte, technologische Anforderungen und gesetzliche Anforderungen eingeteilt werden. Von besonderer Bedeutung sind die gesetzlichen Anforderungen, da sie bestimmend für die Gestaltung und Auslegung der Komponenten und des Gesamtsystems sind. Die hierfür zu beachtenden Regeln sind [1]:

- in Deutschland etwa die Straßenverkehrszulassungsordnung (StVZO) mit dem § 41
- die Richtlinien der Europäischen Gemeinschaft 71/320/EWG und 76/432/EWG
- die ECE-Regelungen 13 und 78

Der § 41 der StVZO schreibt mit Ausnahme spezieller Fahrzeuge die Einführung der EU-Richtlinie oder der ECE-Regelung vor, wobei diese aber weitgehend übereinstimmen. Neben der Fahrzeugmasse ist ein hervorstechendes Kriterium für die Einteilung der Traktoren und Arbeitsmaschinen die Fahrgeschwindigkeit. Für Fahrgeschwindigkeiten größer als 40 km/h kommen die schärferen Anforderungen der Nutzfahrzeuge nach der Richtlinie 71/320/EEC zum Tragen [2].

In dieser Richtlinie werden die Nutzfahrzeuge in die Klassen N1 (zulässige Gesamtmasse < 3,5 t), N2 (zulässige Gesamtmasse zwischen 3,5 t und 12 t) und N3 (zulässige Gesamtmasse > 12 t) eingeteilt. Während für alle Klassen die Betriebsbremse auf alle vier Räder wirken muss, wird ein Antiblockiersystem nur für Fahrzeuge der Klassen N2 und N3 verlangt.

Auf Grund der höheren Anforderungen an Bremsanlagen in Fahrzeugen mit höheren Fahrgeschwindigkeiten und der Bedeutung von Scheibenbremssystemen in Nutzfahrzeugen liegt es nahe, sich mit den Mechanismen trockenlaufender Scheibenbremssysteme zu befassen. Im Folgenden sollen neuere Erkenntnisse über die Mechanismen trockenlaufender Bremsen näher betrachtet werden, die am Fachgebiet Konstruktion von Maschinensystemen der Technischen Universität Berlin in mehreren Forschungsvorhaben erworben worden sind [3].

Bei der Entwicklung von Bremsen und der Auswahl für die Anwendung geeigneter Reibpartner müssen eine Vielzahl von Einflussparametern auf den Reibprozess berücksichtigt werden, die mit unterschiedlicher Intensität in den Kontaktflächen zwischen den Reibpartnern wirken. Die wichtigsten Parameter zeigt *Bild 1*. In der Praxis ist es üblich, sich mit den globalen

Prof. Dr.-Ing. Henning Jürgen Meyer leitet das Fachgebiet Konstruktion von Maschinensystemen (LT 1) der Technischen Universität Berlin, Zoppoter Str. 35, D - 14199 Berlin; e-mail: [Henning.meyer@tu-berlin.de](mailto:Henning.meyer@tu-berlin.de)

## Schlüsselwörter

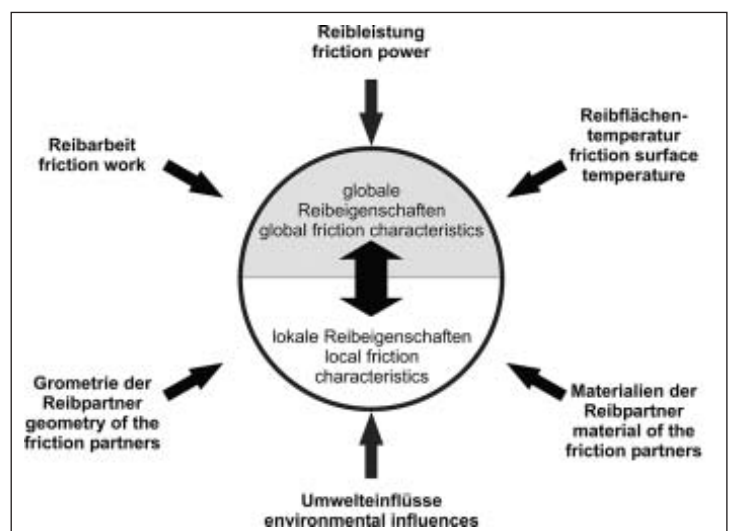
Traktor, Bremsen, Reibmechanismen, Reibtemperatur

## Keywords

Tractor, brake, friction mechanism, friction temperature

*Bild 1: Wichtige Einflussgrößen auf den Reibprozess*

*Fig. 1: Important factors of influence on the friction process*



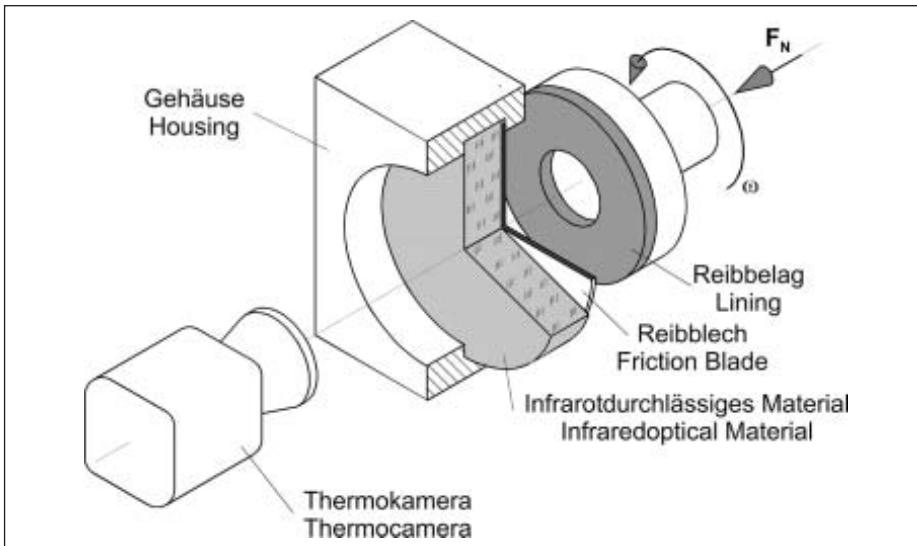


Bild 2: Messsystem zur Erfassung der lokalen Reibtemperatur

Fig. 2: Measuring system for observation of temperature distribution in the contact area

Reibeigenschaften zu befassen, man geht also von mittleren Reibungszahlen und Verschleißkennzahlen aus und nimmt an, dass die Reibeigenschaften über der Reibfläche konstant sind. Untersuchungen der lokalen Reibeigenschaften zeigen aber, dass dem nicht so ist. In der Kontaktfläche wechseln sich, über die Reibflächenbreite gesehen, Orte höherer thermischer Belastung mit Orten kleiner thermischer Belastung ab. Es bilden sich auf Scheiben von Bremsen und Kupplungen konzentrische Reibringe unterschiedlicher Reibintensität. Die thermische Belastung in einem Reibring ist nahezu gleich und ändert sich während des Reibprozesses periodisch.

Untersuchungen der zeitlichen Veränderungen lokaler Reibeigenschaften zeigen deutlich Zusammenhänge zwischen lokalen und globalen Reibungsgrößen auf. Mit Hilfe eines am Fachgebiet entwickelten Messsystems zur Beobachtung der lokalen Reibintensität (Bild 2) und zusätzlichen Messkomponenten, wie Laser-Aerosol-Partikelgrößen-Spektrometer, wurden die Zusammenhänge zwischen den lokalen und globalen Reibeigenschaften eingehender untersucht.

Bild 3 zeigt, dass die Temperaturen in den einzelnen Reibringsegmenten jeweils ungefähr gleich groß sind, von Reibring zu Reibring allerdings unterschiedlich hoch sind und sich periodisch verlagern. Diese Eigenschaft ist im oberen Teil des Bildes mit Hilfe der Wärmebilder dargestellt. Weiterhin zeigt der untere Teil, dass bei einer Verlagerung der Reibzone das Reibmoment und die Schallemissionen ansteigen. Es ist ebenfalls zu beobachten, dass in den am stärksten belasteten Zonen auch der Verschleiß am größten ist. Dieses kann mit einem örtlichen Messen der Partikelkonzentration festgestellt werden. Darüber hinaus ist zu beob-

achten, dass die Geschwindigkeit des Reibringwechsels sich auf Reibungs- und Verschleißigenschaften auswirkt. Diese Phänomene treten in unterschiedlichen Ausprägungen bei verschiedenen Reibpartnern auf.

Ein weiterer wichtiger Aspekt sind Verformungen und Ungleichmäßigkeiten von Brems scheiben. Die Erwärmung der Scheiben während des Bremsens verursacht Verformungen der Scheibe, die während des Betriebes zu Vibrationen führen. Neben der Wärme verursachen aber auch Fertigungs ungenauigkeiten entsprechende Vibrationen während des Bremsens. Bei der Konstruktion können diese negativen Aspekte, besonders die thermisch bedingten, mit Hilfe von FEM-Analysen durch Optimierung der Gestalt reduziert werden.

### Konstruktive Aspekte

Für die technischen Anwendungen können die Beziehungen zwischen den lokalen und globalen Reibungseigenschaften in vielerlei Hinsicht genutzt werden.

Durch die messtechnische Erfassung lokaler Reibungsgrößen können Aussagen zu den globalen Eigenschaften angestellt werden. Die Untersuchung dieser Größen ermöglicht eine verbesserte anwendungsorientierte Auswahl der Reibpartner für die praktischen Anwendungen mit den Zielen:

- Reduzierung des Verschleißes
- Reduzierung der Schallemissionen
- Reduzierung der Bremschwingungen
- Erhöhung der Lebensdauer
- Optimierung der Bremswirkung

Die Messung lokaler Reibparameter kann darüber hinaus einen Beitrag zur Optimierung der Fahrzeugsicherheit leisten, etwa in Bremsmanagementsystemen, die Bestandteil eines übergeordneten Traktor- und Fahrwerksmanagementsystems sind oder in Bremsdiagnosesystemen. Es ist damit eine geeignete Maßnahme, um die Sicherheit und den Komfort von schnelllaufenden Traktoren und mobilen Arbeitsmaschinen zu erhöhen.

### Literatur

- Bücher sind mit • gezeichnet
- [1] • Bosch Kraftfahrtechnisches Taschenbuch. 24. Auflage. Robert Bosch GmbH [Hrg.]. Friedr. Vieweg & Sohn Verlagsgesellschaft mbH, Braunschweig/Wiesbaden, 2002
  - [2] 71/320/EEC Council Directive of 26 July 1971 on the approximation of the laws of the Member States relating to the braking devices of certain categories of motor vehicles and of their trailers. Official Journal of the European Union 202, p. 37, 6.9.1971
  - [3] Severin, D. und C. Kleinlein: Beziehung zwischen den Vorgängen in der Kontaktfläche von Reibpaarungen und deren Verhalten im praktischen Betrieb. VDI-Bericht Nr. 1786, 2003, S. 243 - 263
  - [4] • Kleinlein, C. und D. Severin: 21 Eigenschaften der Reibpaarungen im Bremsprozess. Bremsenhandbuch. Breuer, B. und K. H. Bill [Hrg.]. Friedr. Vieweg & Sohn Verlagsgesellschaft mbH, Braunschweig/Wiesbaden, 2003

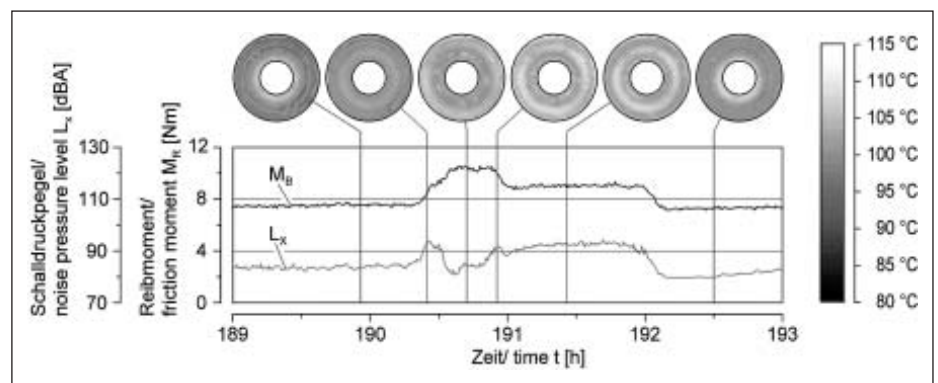


Bild 3: Zusammenhang zwischen der Temperaturverteilung, dem Reibmoment und den Schallemissionen [4]

Fig. 3: Relationship between temperature distribution, friction moment and noise emission over time