Sichere Bremsen im Kraftfahrzeug

Neues Verfahren zur schnellen Überprüfung der Verkehrssicherheit von Fahrzeugbremsanlagen

Joachim Dummer, Wolfgang Runge und Eberhard Treufeld, Dresden

Zur Beurteilung der Bremseigenschaften eines Kraftfahrzeugs wurde ein tragbares Diagnosesystem entwickelt, mit dem u. a. als ein Kriterium rechnergestützt der Bremsweg ermittelt werden kann. Der folgende Beitrag stellt diese Entwicklung vor und geht auf die verfahrenstechnischen Grundlagen des Geräts ein.

Eine hohe Verkehrsdichte und der damit häufig verbundene Zwang der Kolonnenfahrt, auch bei hohen Fahrgeschwindigkeiten, zwingt Fahrzeugführer zunehmend zu Gefahrenbremsungen. Abgesehen von der subjektiv bedingten Reaktionszeit des Fahrzeugführers, tragen auch technische Mängel an der Bremsanlage durch erhöhte Zeitverluste und verminderten Gütegrad zur spürbaren Verlängerung des Bremsweges bei. Der Gütegrad [1] und das statische Übertragungsverhalten der Bremsanlage sowie die Wirksamkeit jeder einzelnen Radbremse lassen sich mit Hilfe von Bremskraftprüfständen ermitteln.

Den Bedingungen einer Gefahrenbremsung unter Beachtung der dynamischen Vorgänge am Gesamtfahrzeug wie auch in der Bremsanlage selbst kommt dagegen eine Bremsprüfung im Fahrversuch näher. Hierfür werden von Prüfstellen seit längerer Zeit schreibende Bremsmeßgeräte [2] genutzt, die gesetzlichen Richtlinien entsprechen müssen. Üblicherweise wird der zeitliche Verlauf der Bremsverzögerung und der Pedalkraft dargestellt. Die nach ECE-Regelung Nr. 13 wichtigste Bewertungsgröße – der Bremsweg – kann mit diesen Geräten nicht ausgewiesen werden.

Eine erste praktikable Lösung zur Bremswegmessung für Kraftfahrzeuge brachte die Entwicklung des Universal-Diagnose-Systems UDS 80 [4]. Es wird in der DDR seit 1984 hergestellt und hat sich vielfach bewährt. Nachteilig zeigte sich jedoch das Fehlen der Pedalkraftmessung, die Ermangelung einer zeitgemäßen Bedienerführung und die bordspannungsabhängige Stromversorgung.

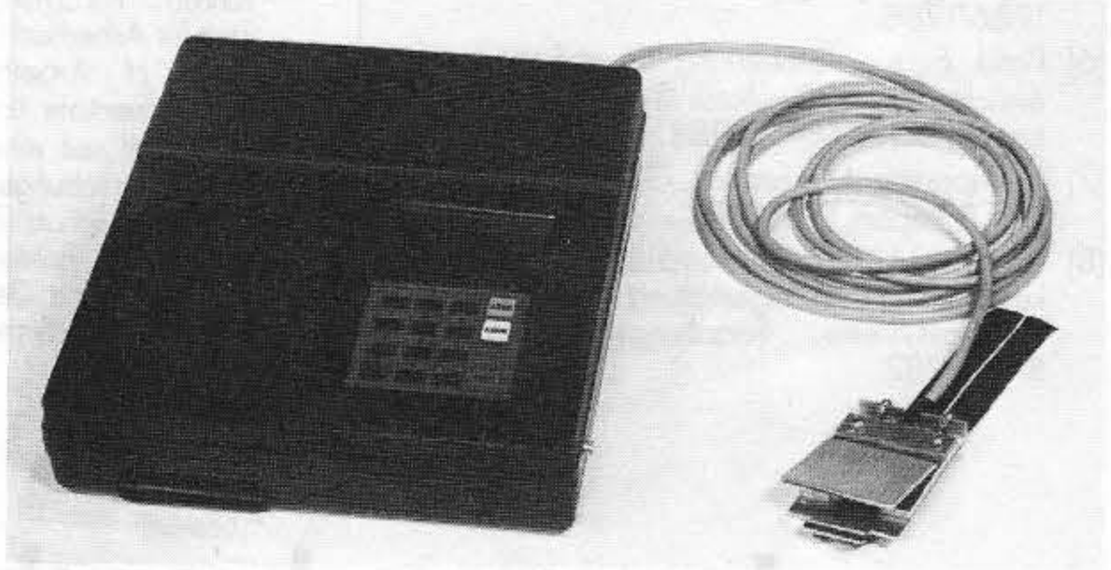

Bild 1: Prototyp des Brake Checker BC 90.

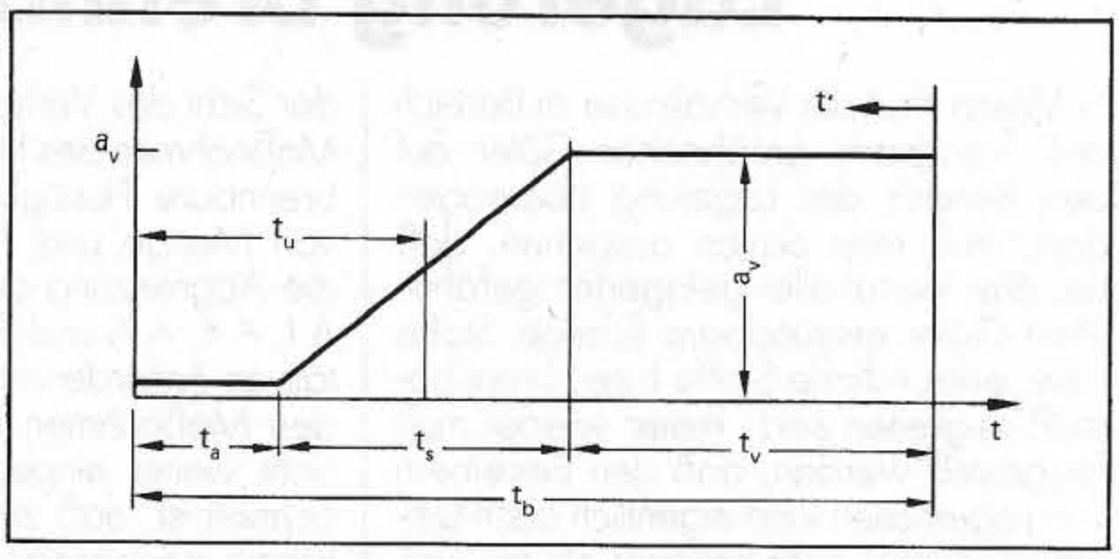

Bild 2: Idealisierter Bremsverzögerungsverlauf für Kfz.

Es wurde daher ein neues Gerät unter dem Namen Brake Checker BC 90 entwickelt. Es funktioniert wie die o.g. Geräte nach dem Pendelprinzip. Der Mikrorechner und ein neues Auswerteverfahren [5] bringen einen entscheidenden Fortschritt: Der beim Bremsversuch eingetretene Bremsweg und alle wichtigen Bremswerte werden, bezogen auf die gewählte Anfangsgeschwindigkeit, direkt und mit einer bisher nur mit dem Peisselerrad erreichten Genauigkeit angezeigt. Die Meßunsicherheit der Bremswegmessung bleibt unter $\pm$ 3 %. Die weitgehende Interpretation der Verzögerungscharakteristik und die rechnergestützte Bewertung des Verlaufs der Betätigungskraft bzw. des Bremsdruckverlaufs ermöglicht schon im Ergebnis einer Bremsprüfung die globale Beurteilung des technischen Zustands der Bremsanlage und die Lokalisierung erkannter technischer Mängel.

Ein entscheidender Vorzug im Vergleich zu den bisher bekannten Verfahren der Auswertung des Bremsverzögerungsverlaufs ist die Unabhängigkeit von Idealisierungen und damit die universelle Einsatzmöglichkeit für beliebige Fahrzeugarten. Dadurch ist erst die Anwendung dieses Verfahrens an Schienenfahrzeugen möglich geworden, deren Verzögerungscharakteristik sich wesentlich von der des Kfz unterscheidet.

Da die Signalfunktionen komplett gespeichert werden, sind diese grafisch darstellbar. Zweifellos sind die Diagramme des Verzögerungs-, Pedalkraft- oder Druckverlaufs für den Fachmann von informellem Wert für die Beurteilung des Bremsversuchs und für Schlußfolgerungen zum Zustand der Bremsanlage. Er kennt aber auch den sehr hohen Aufwand und die Unsicherheit bei der quantifizierten Auswertung solcher Schriebe. Deshalb ist das neue Gerät in der schnellen Bereitstellung objektiver, vergleichbarer Kennwerte unerreicht. Der Einsatzschwerpunkt liegt damit in der Rationalisierung der technischen Überprüfung.

Zur Vorbereitung der Messung ist der Kontaktschalter oder der Pedalkraftsensor auf dem Bremspedal aufzuschnallen. Ein Drucksensor kann bei vorhandenen Prüfanschlüssen an einen Bremskreis angeschlossen werden. Vor der Bremsprüfung ist das Gerät in Fahrtrichtung ausgerichtet auf den Fahrzeugboden zu legen. Das Fahrzeug wird nach Tachometeranzeige auf eine Fahrgeschwindigkeit beschleunigt, die etwa 5 km/h über der vorgegebenen Prüfgeschwindigkeit liegt. Nach Herstellen der Leerlaufstellung des Schalthebels ist das Bremspedal zügig

so zu betätigen, daß die Vollbremsung nahe der Blockiergrenze der Räder einer Achse abläuft. Nach dem Erreichen des Fahrzeugstillstands stehen bei vollständiger Sensorbelegung die nachstehend beschriebenen Ergebnisse zum Abruf bereit.

Gerätetechnische Lösung

Der BC 90 besteht aus einem Mikrorechner mit Analog-Digital-Umsetzer, an welchen die zur Meßwertaufnahme erforderlichen Sensoren angeschlossen sind (**Bild 1**). Zur Darstellung des Bremsverzögerungsverlaufs wird ein Beschleunigungssensor verwendet, der sich im Gehäuse des BC 90 befindet. Von außen sind ein Pedalkontaktgeber oder, optionell für höhere Ansprüche, ein Pedalkraft- bzw. ein Bremsdruckgeber anschließbar. Die letzteren ermöglichen die Darstellung der Bremswerte im Zusammenhang mit der Betätigungscharakteristik, sind aber nicht für die Bremswegmessung Bedingung. Bei der Geräteausführung standen folgende Aspekte im Vordergrund:

– Robuste werkstattfreundliche Ausführung. Das Gerät wiegt 2,5 kg und ist mit den Abmessungen 300 x 260 x 70 mm³ sehr handlich. Das Gehäuse ist aus schlagfestem Kunststoff.
– Eigene Stromversorgung aus aufladbaren NC-Akkus. Dadurch besteht keine Abhängigkeit vom Fahrzeugbordnetz.
– Gute Bedienerführung. Mit einer Funktionstastatur und einer zweizeiligen LCD-Matrixanzeige wird eine gute Bedienerführung realisiert. Die Ergebnisauswertung erfordert keine besondere Qualifikation.
– Druckerausgabe. Die Standardausführung ist mit integriertem Drucker lieferbar.
– Kommunikation mit übergeordneten Informationssystemen. Der BC 90 ist online über eine V24-Schnittstelle an beliebige PC anschließbar. Über Datenkassetten ist ein offline Datenaustausch möglich.
– Universalität. Durch die ladbare Anwendersoftware und Anschlußmöglichkeit unterschiedlicher Sensoren kann mit dieser Geräteausführung eine Vielzahl von Diagnosefunktionen realisiert werden. Der BC 90 stellt dabei nur eine Spezialanwendung dar.

Durch die Entwickler wurde eine Anwenderbibliothek vorbereitet. Problemlösungen für folgende Diagnoseaufgaben liegen bereits vor:
– Diagnose des Bremskraftübertragungssystems (hydraulisches und pneumatisches System).
– Diagnose der Zylinderdichtheit von Verbrennungsmotoren über Anlasserstromauswertung.
– Diagnose der effektiven Leistung und Leistungsverluste von Verbrennungsmotoren über die Drehwinkelbeschleunigungsmessung.
– Diagnose des Einspritzdruckverlaufs an Dieselkraftstoffanlagen.
– Diagnose von Bleistarterbatterien.

Für eine Reihe weiterer Diagnoseverfahren laufen wissenschaftliche Arbeiten.

Verfahrenstechnische Lösung

Die verfahrenstechnische Lösung des Geräts beruht auf einem Wirtschaftspatent der DDR von *Runge* [5] und ist hinsichtlich der technischen Umsetzung in der Dissertationsschrift von *Treufeld* und *Dummer* [6] ausführlich beschrieben.

Das Grundprinzip beruht auf der Abspeicherung des Bremsverzögerungsverlaufs in zeitlicher Folge der Meßsignalaufnahme von Bremsbeginn bis Bremsende in einem Zeitraster und der zweifachen Integration des Verzögerungsverlaufs von Bremsende bis Bremsbeginn (**Bild 2**).

Im Ergebnis der Integrationsstufen erhält man die Anfangsgeschwindigkeit v_0 und den Bremsweg s als Grundlage für weitergehende Auswertungen. Der Meßablauf erfordert folgende Eingangssignale.

1. Signal Bremsbeginn. Das Signal Bremsbeginn wird durch einen Schalter (high-low-Signal) gegeben oder durch die Wandlung der Pedalkraft mit einem Kraftsensor oder die Wandlung des Bremsdrucks mit einem Drucksensor als analoges Signal bestimmt.

2. Signal Pedalkraftverlauf. Bei der Auswertung der Pedalkraft, die für die Bremsendiagnose an Kraftfahrzeugen einen höheren Informationswert hat als die einfache Bremsbeginnsignalisierung durch den Kontaktschalter, sind folgende Randbedingungen zu beachten:
a) Für die Erkennung des Bremsbeginns muß ein Schwellwert des Kraftsignals festgelegt und der wahre Bremsbeginn durch Regression nachträglich ermittelt werden. Der Schwellwert wird in der weiteren Betrachtung mit 3 daN festgelegt.
b) Für die Prüfung von Kraftfahrzeugen nach EG-Richtlinie 71/320 oder TGL 39-852/06 ist der Bremsversuch nur gültig, wenn die Pedalkraft F_P nach Bremsbeginn in $t_F = 0{,}35 \pm 0{,}05$ s seinen Endwert F_{pv} erreicht hat und danach konstant gehalten wird. Demgemäß muß nach Auswertung des Pedalkraftverlaufs vom Rechner selbst geprüft werden, ob diese Bedingung erfüllt ist. Daraus folgt die Entscheidung, ob der Versuch gültig war.

3. Signal Bremsdruckverlauf. Der Bremsdruck p_B wir durch einen Drucksensor, der nach dem Bremsventil im Bremssystem angeordnet ist, in ein analoges Signal gewandelt. Die Auswertung des Bremsdruckverlaufs bringt wesentliche Zusatzinformationen zum Zustand der Bremsanlage. Es ist ähnlich wie beim Pedalkraftverlauf der untere Schwellwert für den Bremsdruck festzulegen, wenn durch ihn der Bremsbeginn markiert werden soll. Im Prototyp wurde er mit 0,5 bar gewählt.

4. Signal Bremsverzögerungsverlauf. Die Bremsverzögerung wird durch den im BC 90 eingebauten Beschleunigungssensor BWH 101 in ein analoges Signal gewandelt. Der reale Bremsverzögerungslauf kann die in **Bild 3** dargestellte oder auch andere Formen annehmen. Er ist prinzipiell charakterisiert durch die in ISO 611 oder TGL 39-852/06 definierten Grundgrößen, die im idealisierten Bremsverzögerungsverlauf in Bild 2 dargestellt sind. Das Bremsende und damit t_b wird eindeutig durch den Nulldurchgang des Bremsverzögerungssignals dedektiert.

Mit der exakten Signalisierung von Bremsbeginn und Bremsende und der Speicherung der Meßwerte während der gesamten Bremsdauer t_b sind alle notwendigen Eingangsinformationen für die Berechnung der Bremswerte entsprechend der Prüfungsanforderungen der StVZO unter Berücksichtigung der EG-Richtlinie 71/320 gegeben. Die Bewertung des Pedalkraftverlaufs läßt eine Zuordnung der Betätigungskraft auf die Bremswerte zu, bis hin zur Gültigkeitsentscheidung des Bremsversuchs. Die zusätzliche Auswertung des Pedalkraft- und des Bremsdruckverlaufs gibt, wie nachgewiesen wird, wertvolle diagnostische Informationen zum Zustand der Bremsanlage.

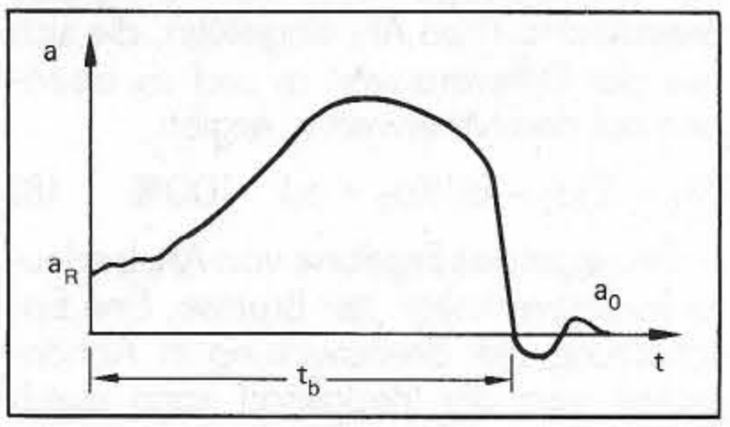

Bild 3: Realer Bremsverzögerungsverlauf eines Fahrzeugs.

Prozeßbeschreibung

Der Bremsvorgang wirkt rückwärts betrachtet wie ein Beschleunigungsvorgang vom Stillstand des Kfz aus bis zum Bremsbeginn (siehe Bild 2). Dabei gilt mit $t' = t_b - t$:

$$v(t') = \int_0^{t'} a(t')dt' \qquad (1)$$

Für $t' = t_b$ erhält man die Anfangsgeschwindigkeit

$$v_0 = \int_0^{t_b} a(t')dt' \qquad (2)$$

Für den Bremsweg gilt

$$s(t') = \int_0^{t'} v(t')dt' \qquad (3)$$

und damit

$$s_b = \int_0^{t_b} \left[\int_0^{t'} a(t')dt' \right] dt' \qquad (4)$$

Da die Anfangsgeschwindigkeit v_0 beliebig sein kann und damit die Vergleichbarkeit der Bremswerte in der Regel erschwert ist, erweist es sich als sinnvoll, die Prüfanfangsgeschwindigkeit v_p einzuführen, die sich aus der Rundung von v_0 auf die nächste Zehnerstelle ergibt:

$$v_p = 10 \cdot (INT[v_0 + 5)/10] \qquad (5)$$

Alle Bremswerte sind dann mathematisch auf den Bezug v_p zu transformieren. Der auf v_p transformierte Bremsweg ergibt sich aus

$$s_b = s_b + \Delta s_b \qquad (6)$$

$$\Delta s_b = t_u(v_p - v_0) + (v_p^2 - v_0^2)/2a_v \qquad (7)$$

Von wesentlicher diagnostischer Bedeutung ist die Bewertung der Verzögerungscharakteristik im Bereich von t_v. Aus dem Anstieg oder dem Abfall der Regressionsgeraden zwischen a_1 und a_2 sind Aussagen über den Bremskraftaufbau oder das Fadingverhalten der Betriebsbremse erreichbar.

Zur Charakterisierung des Verhaltens der Bremsanlage wird die Kenngröße Bremskraftaufbau AF_B eingeführt, die sich aus der Differenz von a_1 und a_2 bezogen auf den Mittelwert a_v ergibt.

$$AF_B = 2(a_2 - a_1)/(a_2 + a_1) \cdot 100\% \qquad (8)$$

Ein negatives Ergebnis von AF_B bedeutet Fadingverhalten der Bremse. Eine Einschätzung der Bremswirkung in Abhängigkeit von der Pedalkraft kann durch den Kraftverstärkungsfaktor

$$K_{VF} = a_v/F_{pv} \qquad (9)$$

gegeben werden. Der Zusammenhang zwischen Bremswirkung und Bremsdruck wird durch den Druckverstärkungsfaktor

$$K_{VP} = a_v/P_{bv} \qquad (10)$$

angegeben und zur Bewertung des Zusammenhangs zwischen Bremsdruck und Betätigungskraft wird der Betätigungsverstärkungsfaktor

$$K_{VB} = p_{bv}/F_{pv} \qquad (11)$$

als Bewertungsgröße des Bremsventils eingeführt.

Im Ergebnis sind folgende Bremswerte sequentiell in der aufgeführten Reihenfolge abrufbar:

1: Ausgangsgeschwindigkeit
v_0 in km/h

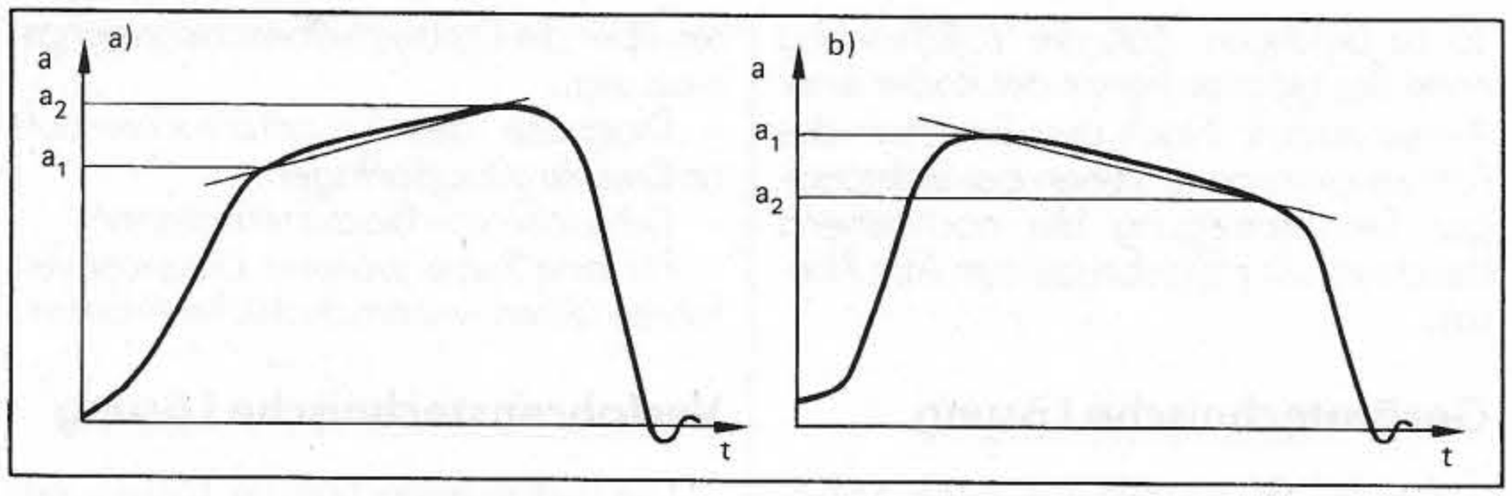

Bild 4: Verzögerungsverlauf a) mit Selbstverstärkung, b) mit Fading.

2: Prüfgeschwindigkeit
v_p in km/h
3: Bremsweg (bezogen auf v_p)
s_b in m
4: Vollverzögerung
a_v in ms^{-2}
5: Verlustdauer
t_u in s
6: Verlustdauer des Bremsdruckes
t_{up} in s
7: Bremskraftaufbau
AF_B in %
8: Pedalkraft bei voller Betätigung
F_{pv} in daN
9: Betätigungsschwelldauer
t_F in s
10: Bremsdruck bei voller Betätigung
p_{bv} in MPa
11: Ausrollverzögerung
a_r in ms^{-2}
12: Kraftverstärkungsfaktor
K_{VF} in ms^{-2}/daN
13: Druckverstärkungsfaktor
K_{VP} in ms^{-2}/MPa
14: Betätigungsverstärkungsfaktor
K_{VB} in MPa/daN

Neben den üblichen Meßschrieben können die Ergebnisse 1 bis 14 mit Datum, Uhrzeit, Fahrzeugzuordnung und Kommentar vom Matrixdrucker ausgegeben oder an ein übergeordnetes Informationssystem übertragen werden. Als Hauptkenngrößen sind die Positionen 2 bis 5 anzusehen. Liegen die ermittelten Werte in den für den Fahrzeugtyp vorzugebenden zulässigen Bereichen, dann ist die Verkehrssicherheit nachgewiesen. Trotzdem können in der Bremsanlage Fehler enthalten sein, die sich unter Umständen anhand der weiteren Kenngrößen aufdecken lassen. So ergibt beispielsweise die nachlassende Wirkung eines Bremskraftverstärkers einen zu niedrigen Wert beim Kraftverstärkungsfaktor (Position 12). Bei Nutzung der Bremsdruckmessung in einem Bremskreis besteht über die Auswertung des Betätigungsverstärkungsfaktors (Position 14) zusätzlich die Möglichkeit, den Bremskreis mit defektem Bremskraftverstärker festzustellen.

Die realisierte verfahrenstechnische Lösung bietet vielfältige Anwendungsmöglichkeiten des BC 90 im technologischen Prozeß der Wartung und Instandsetzung von Fahrzeugen, bei Kontrollen, beim Erstellen technischer Gutachten oder auch im Rahmen experimenteller Untersuchungen für wissenschaftliche Arbeiten.

Resümee

Der Brake Checker BC 90 stellt eine spezielle Lösung für ein universelles, tragbares Diagnosesystem dar, welches in diesem Jahr auf dem Markt angeboten wird. Mit einem günstigen Preis/Leistungsverhältnis sollen vor allem Fuhrunternehmungen, Betriebe mit Fuhrparks, Kfz-Handwerksunternehmen aber auch die Verkehrspolizei und Dienststellen der Technischen Überwachung angesprochen werden. Die verfahrenstechnische Lösung beruht auf neuesten wissenschaftlichen Erkenntnissen aus Forschungsergebnissen der Technischen Diagnostik. Die solide Grundlage der Entwicklung bilden umfangreiche Untersuchungen, wissenschaftliche Nachweisführung [4–7] und der breite Praxiseinsatz mit ca. 600 Geräten UDS 80.

TÜ 345

Literaturverzeichnis

[1] *Schulze, A.*, u. a.: Theorie des Militärkraftfahrzeugs, Berlin: Militärverlag 1988.
[2] *Cupédo, A.N.*: Drie remvertragingsmeters vergeleken. Auto – Motor techniek **49** (1989)1 S. 29 ff.
[3] Richtlinie für die Anwendung, Beschaffenheit und Prüfung von schreibenden Bremsmeßgeräten nach dem Pendelprinzip vom 1. 11. 1960 BMV/StV 8 – 2122 – 1. VkBl (1960) Heft 22, S. 684.
[4] *Treufeld, E., W. Runge, A. Dummer*: Entwicklung des Universellen Diagnosesystems UDS-80: Teil I und II. Kraftverkehr. Berlin 27 (1984) 5. u. 6, S. 183–187 u. S. 226–228.
[5] *Runge, W.*: Wirtschaftspatent WP 601 P/304499992/5. Verfahren zur Messung des Bremsweges bei Landfahrzeugen. 1987.
[6] *Treufeld, E.; A. Dummer*: Transportorientierte Bordinformationssysteme (TOBIS) – Untersuchungen zu einer Systemlösung für den öffentlichen Kraftverkehr der DDR. Dissertation A. 1989 eingereicht an der Hochschule für Verkehrswesen „Friedrich List" Dresden.
[7] *Runge, W.*: Ein Beitrag zur Vervollkommnung der Überprüfung des technischen Zustandes von Militärtechnik auf der Grundlage eines rechnergestützten Diagnosesystems. Dissertation B. 1988 eingereicht an der Militärakademie „Friedrich Engels" Dresden.