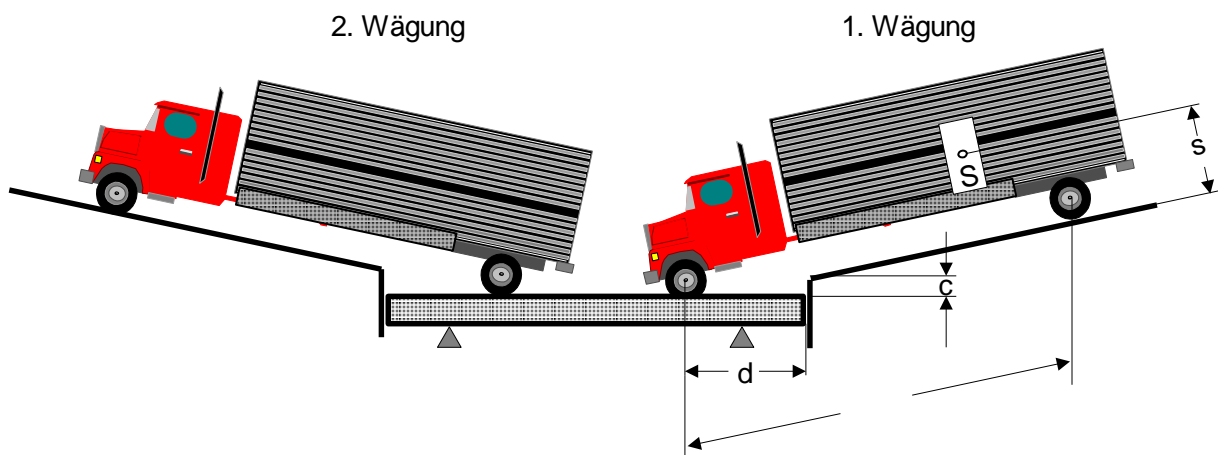


Zusatz-Dokument zur Wägebroschüre

vom 16. Dezember 2019



Inhaltsverzeichnis

BTE-Anmerkung zum Dokument	2
8.3 Gutachten und Aufsätze zum Wägen von Straßenfahrzeugen	3
8.3.1 PTB-Grundsatz-Gutachten zur Verwägung von Straßenfahrzeugen - PTB-Mitteilungen 94 5/84 Seite 344.....	3
8.3.2 PTB-Gutachten zur Feststellung des Gesamtgewichts von Straßenfahrzeugen durch achs- bzw. achsgruppenweises Wägen auf Straßenfahrzeugwaagen.....	5
8.3.3 Gravierende Fehlmessungen beim achsweisen Wägen moderner Sattelfahrzeuge	19
Anhang 8.1.6 (Jetzt „Anhang 8.2“ Prüfanweisung für nichtselbsttätige Waagen - (GM-P 2.3 NSW) vom 23.11.2016)	30
Auszug aus Gesetzliches Messwesen – Prüfanweisung für nichtselbsttätige Waagen (GM-P 2.3 NSW) vom 23.11.2016	31
Impressum	32

BTE-Anmerkung zum Dokument

vom 16. Dezember 2019 zum Gutachten und Aufsatz zum Wägen von Straßenfahrzeugen:

In der GM-P9 NSW¹ vom 28.11.2012, Seite 105 von 148 waren im Anhang 8.3 Gutachten – Gutachten und Aufsätze zum Wägen von Straßenfahrzeugen – zuletzt erwähnt. Die vorgenannte Prüfanweisung trat am 23.11.2016 außer Kraft.

(¹Gesetzliches Messwesen, Prüfanweisung 9 für nichtselbsttätige Waagen)

Zu den zitierten Fundstellen der 1984 gültigen Eichordnung und Anlage 9 einige Hinweise:

§ 6 Abs. 4 EO gilt fort auf Beschluss des Regelermittlungsausschusses (REA) veröffentlicht im Bundesanzeiger vom **20. September 2019; BAnz AT 20.09.2019 B8**

Quellenangabe:

Ermittelte Regeln und Erkenntnisse des Regelermittlungsausschusses nach § 46 des Mess- und Eichgesetzes

Stand: 27. Mai 2019

Physikalisch-Technische Bundesanstalt, Braunschweig und Berlin.

DOI: 10.7795/510.20190828.

Download: <https://doi.org/10.7795/510.20190828>

– Achsweises Wägen gemäß § 6 Absatz 4 der Eichordnung (EO) in der am 31.12.2014 geltenden Fassung.“

Der Text lautet: „Wer eine Straßenfahrzeugwaage im geschäftlichen oder amtlichen Verkehr verwendet, darf das Gesamtgewicht des Fahrzeugs nicht durch achsweises Wägen ermitteln, wenn die Beruhigungsstrecken vor oder hinter der Waagenbrücke nicht mit dieser auf gleicher Höhe liegen und nicht gerade und waagrecht ausgeführt sind. Darauf ist durch ein Schild hinzuweisen. Achsweises Wägen ist außerdem unzulässig, wenn das Wägegut flüssig ist.“)

Die ermittelten Regeln werden in unregelmäßigen Abständen fortgeschrieben. Kontrollieren Sie diese in zeitlichen Abständen unter:

<https://www.ptb.de/cms/metrologische-dienstleistungen/rea/dokumente-fundstellen.html>

EO Anlage 9, Nr. 15.1.10: Die Mindestbrückenlänge einer geeichten Straßenfahrzeugwaage wird nicht mehr vorgeschrieben.

Nach dem Mess- und Eichgesetz (MessEG) muss das Messgerät im Rahmen für den vorgesehenen Verwendungszweck und den entsprechenden Verwendungsbedingungen geeignet sein.

EO Anlage 9 Nr. 15.1.11.8: Die An- und Abfahrten zu Fahrzeugwaagen müssen gerade und waagrecht ausgeführt sein oder mit geraden und waagerechten Beruhigungsstrecken versehen sein.

Der Text ist nicht mehr in den zurzeit geltenden Vorschriften fortgeschrieben worden, sondern es muss der Umkehrschluss von

§ 6 Abs. 4 EO angewendet werden.

Achsweises Wägen nach EO 9 zulässig: Hierüber wird im MessEG und Mess- und Eichverordnung (MessEV) nichts mehr ausgesagt.

Es gilt: „Das Messgerät muss im Rahmen für den vorgesehenen Verwendungszweck und den entsprechenden Verwendungsbedingungen geeignet sein“. Aktuell steht in der „Prüfanweisung für nichtselbsttätige Waagen (GM-P 2.3 NSW) vom 23.11.2016“ wie eine Prüfung einer Fahrzeugwaage auf Eignung für Achslastwägungen durchgeführt werden muss. (Text siehe Seite 31)

Blaue Schrift – Einfügungen auf den nachstehenden Seiten durch den BTE.

8.3 Gutachten und Aufsätze zum Wägen von Straßenfahrzeugen

Vorbemerkung

Nach § 6 Abs. 4 EO ist das Messgerät für achsweises Wägen geeignet, wenn die Beruhigungsstrecke vor und hinter der Straßenfahrzeugwaage mit dieser auf gleicher Höhe liegt. Diese augenscheinliche Prüfung muss mit der messtechnischen Prüfung nach Anhang 8.1.6 (siehe ab Seite 30) kontrolliert werden. Wird diese Prüfung nicht bestanden, ist durch die Eichbehörde konsequent das Anbringen des nach EO geforderte Hinweisschild durchzusetzen.

Die folgenden Unterpunkte dieses Kapitels beinhalten die Gutachten der PTB und einen Aufsatz von Dr. Baumgarten, die die Voraussetzungen für das achs- bzw. achsgruppenweise Wägen von Straßenfahrzeugen auf Fahrzeugwaagen nennen und die damit verbundenen Fehlermöglichkeiten darstellen. Damit soll gezeigt werden, dass eine Zusatzprüfung nach Anhang 8.1.6 (siehe ab Seite 30) für jede Straßenfahrzeugwaage, die augenscheinlich für achsweises Wägen geeignet ist, durchgeführt werden sollte.

Die genannten Rechtsquellen im Punkten 8.3.1 und 8.3.2 entsprechen nicht mehr der aktuellen Fassung, werden aber aus urheberrechtlichen Gründen in dieser Form belassen.

8.3.1 PTB-Grundsatz-Gutachten zur Verwägung von Straßenfahrzeugen - PTB-Mitteilungen 94 5/84 Seite 344

Zur Verkehrsüberwachung wird von der Polizei die Einhaltung des zulässigen Gesamtgewichts von Straßenfahrzeugen kontrolliert. Durch den wachsenden Einsatz von größeren Fahrzeugeinheiten (Sattelzügen) häufen sich die Fälle, dass die zur Verfügung stehende Kontrollwaage zu kurz ist, um das gesamte Fahrzeug aufzunehmen. Dadurch werden zwei achs- bzw. achsgruppenweise Teilwägungen notwendig, die zum Gesamtgewicht summiert werden.

Kommt es auf der Grundlage solchermaßen ermittelter Gesamtgewichte zu Bußgeldverfahren, so gehen diese häufig durch mehrere Gerichtsinstanzen mit immer neuen Gutachten über die möglichen Fehler dieses Wägeverfahrens. Um dieser Rechtsunsicherheit zu begegnen, hat die PTB auf Antrag des Oberlandesgerichts Düsseldorf ein Grundsatz-Gutachten zur Rechtsfortbildung hierzu erstellt.

Unter den Voraussetzungen

- die Wägungen werden auf einer geeichten Straßenfahrzeugwaage der Genauigkeitsklasse III durchgeführt,
- das Gesamtgewicht wird aus maximal zwei Achs- bzw. Achsgruppenwägungen eines Fahrzeugs bestimmt,
- zu einer Achsgruppe gehörende Achsen (Mehrfachachsaggregat) werden durch eine Wägung erfasst, z.B. bei Sattelzügen eine Wägung der Achsen der Zugmaschine und eine Wägung der Achsen des Aufliegers,
- die Ladung ist fest mit dem Fahrzeug verbunden (keine Tankfahrzeuge).

werden die einzelnen Fehlerkomponenten der folgenden Fehlermöglichkeiten ausführlich diskutiert:

1. Fehler des Messgeräts "Waage".

2. Zusätzliche Fehler durch

- Schrägzug und Verklemmen der Waagenbrücke und ggf. des Lasthebelwerkes durch Querkräfte, die von dem nicht auf der Waagenbrücke stehenden Teil des Fahrzeugs ausgeübt werden,
- Verlagerung des Schwerpunktes der Gesamtlast (Fahrzeug plus Ladung) durch veränderte Schrägstellung des Fahrzeugs zwischen den beiden Teilwägungen, ohne Verschiebung der Ladung,
- Veränderte Achslastverteilung zwischen den beiden Teilwägungen bei Fahrzeugen mit mehr als zwei Achsen.

Die einzelnen Fehlerkomponenten werden teils durch Berechnungen, teils aufgrund der Ergebnisse vorliegender Messreihen an 50 verschiedenen Straßenfahrzeugwaagen abgeschätzt. Eine Abschätzung des maximal möglichen Gesamtfehlers erfolgt dann durch

- Addition der Fehlerkomponenten zu den Fehlern der Teilwägungen und
- Addition der Fehler jeder der beiden Teilwägungen zum Gesamtfehler des ermittelten Gesamtgewichts.

Dabei wird der Charakter des jeweiligen Fehlers (systematisch oder zufällig) in Bezug auf die zugehörige Addition berücksichtigt. Außerdem wird dargestellt, dass es im Rahmen der Wägungen zur Verkehrsüberwachung ausreichend ist, die Vielfalt der möglichen Fahrzeugtypen je nach Achszahl in die beiden Gruppen

- zweiachsige Fahrzeuge und
- Fahrzeuge mit mehr als zwei Achsen

aufzuteilen.

Die Abschätzung des möglichen positiven Gesamtfehlers, der sich ggf. zu Ungunsten des einer Überladung Beschuldigten auswirkt, ergibt:

- Für zweiachsige Fahrzeuge 1,8 % des ermittelten Gesamtgewichts.
- Für Fahrzeuge mit mehr als zwei Achsen 2,7 % des ermittelten Gesamtgewichts.

Dipl. Ing. Wünsche

8.3.2 PTB-Gutachten zur Feststellung des Gesamtgewichts von Straßenfahrzeugen durch achs- bzw. achsgruppenweises Wägen auf Straßenfahrzeugwaagen

Angefertigt von Herrn Dipl.-Ing. Wünsche für das Oberlandesgericht Düsseldorf

Gegenstand

Anhand vorliegender Messergebnisse und theoretischer Betrachtungen werden die möglichen Fehler abgeschätzt, die bei achs- bzw. achsgruppenweiser Wägung das Gesamtgewicht verfälschen können. Dabei werden insbesondere auch Fahrzeuge mit Mehrfachachsaggregaten und Sattelzüge einbezogen.

Vorausgesetzt wird:

- die Wägungen werden auf einer geeichten Straßenfahrzeugwaage (Genauigkeitsklasse III) durchgeführt,
- das Gesamtgewicht wird aus maximal zwei Achs- bzw. Achsgruppenwägungen eines Fahrzeugs bestimmt,
- zu einer Achsgruppe gehörende Achsen (Mehrfachachsaggregat) werden durch eine Wägung erfasst, z. B. bei Sattelzügen eine Wägung der Achsen der Zugmaschine und eine Wägung der Achsen des Aufliegers,
- die Ladung ist fest mit dem Fahrzeug verbunden. Z. B. sind flüssige Ladungen grundsätzlich ausgenommen. Solche Fahrzeuge müssen immer in einer Wägung insgesamt gewogen werden.

Fehlermöglichkeiten

Jedes Messinstrument weist auch bei ordnungsgemäßer Benutzung einen Messfehler auf. Deshalb ist für jede Wägung anzusetzen:

1. Fehler der Waage.

Steht das Fahrzeug nur mit einer Achse oder einem Achsaggregat auf der Waage, so gibt es weitere Fehlerquellen:

2. Schrägzug und Verklemmen der Waagenbrücke und ggf. des Lasthebelwerkes durch Querkräfte, die von dem nicht auf der Waagenbrücke stehenden Teil des Fahrzeugs ausgeübt werden.
3. Verlagerung des Schwerpunktes der Gesamtlast (Fahrzeug plus Ladung) durch veränderte Schrägstellung des Fahrzeugs zwischen den beiden Wägungen, ohne Verschiebung der Ladung.
4. Veränderte Achslastverteilung zwischen den beiden Wägungen bei Fahrzeugen mit mehr als zwei Achsen.

Nur in Sonderfällen gelingt es, die Fehlerquellen 2 bis 4 auszuschalten. Dann führen auch achs- bzw. achsgruppenweise Wägungen zu Ergebnissen, die im Bereich der Verkehrsfehlergrenzen der betreffenden Waage liegen. Da solche Voraussetzungen nur selten gegeben sind, ist gemäß Verordnung über öffentliche Waagen (Wägeverordnung) vom 18.6.1970 (BGBl I 799) in der Fassung vom 14.12.1979 (BGBl I 2218) das achsweise Wägen als Ausnahmesituation anzusehen und zu kennzeichnen. Danach ist ein solchermaßen ermitteltes Wägeergebnis mit zusätzlichen Unsicherheiten behaftet, so dass die im Rahmen des eichpflichtigen Verkehrs geltenden Fehlergrenzen nicht mehr allein herangezogen werden dürfen. Es gilt daher, die zusätzlichen Unsicherheiten und ihre Auswirkungen auf den Fehler für das solchermaßen ermittelte Gesamtgewicht abzuschätzen, damit dieses Messverfahren für besondere Zwecke (hier Verkehrsüberwachung) eingesetzt werden kann.

Fehlerabschätzung der Einzelkomponenten

Zu 1: Die Eichfehlergrenzen für Waagen der Genauigkeitsklasse III sind gemäß /1/ EO-Anlage 9 Nr. 4.1 abhängig vom Eichwert e (= Teilungswert d) der Waage und von der Größe der Belastung angegeben in Eichwerten e . Diese Fehlergrenzen muss die Waage bei der Eichung und den Nacheichungen einhalten. Da Bauteileverschleiß und andere Einflüsse während der Benutzung zu größeren Fehlern führen können, wird den Waagen innerhalb einer Eichperiode die sog. Verkehrsfehlergrenze entsprechend dem Doppelten der Eichfehlergrenze zugebilligt. Die Verkehrsfehlergrenze ist hier als größtmöglicher Fehler der Waage anzusetzen.

Unter der Annahme, dass die folgenden zum Teil ungünstigen Konstellationen gleichzeitig auftreten,

- a) Eichwert $e = d = 20$ kg relativ grob, da eine achsweise Wägung ja gerade bei kleineren Waagen nötig wird,
- b) Belastung pro Wägung $500 e$ bis $2000 e \hat{=} 10$ t bis 40 t,
- c) Verkehrsfehlergrenzen werden von der Waage ausgenutzt,

ergibt sich pro Wägung ein möglicher maximaler Fehler von ± 40 kg.

Für das aus zwei Wägungen bestimmte Gesamtgewicht ergibt sich damit ein möglicher maximaler Fehler von ± 80 kg.

(Hinweis: Die Fehler der beiden Wägungen sind hier arithmetisch zu addieren, da es sich um systematische Fehler der betr. Waage handelt.)

Für besonders große und überladene Fahrzeuge (Sattelzüge) kann unter den obigen Bedingungen sicherheitshalber mit einer Belastung pro Wägung größer $2000 e = 40$ t gerechnet werden. Aufgrund der größeren Fehlergrenzen gemäß /1/ ergibt sich dann für das Gesamtgewicht ein

möglicher maximaler Fehler von ± 120 kg.

Bei der Angabe eines prozentualen Fehlers bezogen auf das Gesamtgewicht ist davon auszugehen, dass nur Fahrzeuge mit besonders hohem Gesamtgewicht und/oder Fahrzeuge mit einem äußeren Achsabstand größer oder gleich 5 m eine achsweise Wägung erfordern, da gemäß /1/ EO Anlage 9, Nr. 15.1.10 die Mindestbrückenlänge einer geeichten Straßenfahrzeugwaage 5 m beträgt. Die Gesamtlasten werden also entsprechend hoch liegen. Als repräsentativ für besonders ungünstige Fälle wäre ein Pritschenwagen mit Radstand $5,20$ m und zulässigem Gesamtgewicht von 11 t anzusetzen. Daraus ergibt sich für das aus zwei Wägungen bestimmte Gesamtgewicht ein **maximaler relativer Fehler von $\pm 0,7$ %.**

Zu 2: Die Auswirkungen von Schrägzug und Verklemmen der Waagenbrücke auf das Wägeregebnis sind von so vielen äußeren Randbedingungen abhängig, dass ein theoretisches Abschätzen unmöglich erscheint. Hierzu sind praktische Versuche an möglichst vielen Waagen nötig.

Der PTB liegt eine Versuchsreihe vor, die vom Niedersächsischen Landesverwaltungsamt - Eichwesen -, Hannover, in den Jahren 1973 bis 1975 durchgeführt wurde. An 50 verschiedenen Straßenfahrzeugwaagen wurden achs- bzw. achsgruppenweise Wägungen mit der für das betr. Fahrzeug maximal zulässigen Achslast vorgenommen. Dabei wurden je 3 Achslastwägungen von jeder Auffahrtseite der Waage - und zwar jeweils mit festgebremstem und ungebremstem Fahrzeug - ausgeführt, so dass für jede Waage 12 Messergebnisse vorliegen.

Ausdrücklich zu erwähnen ist, dass bei den Wägungen mit gebremstem Fahrzeug jedesmal besonders große Querkräfte auf die Waage ausgeübt wurden, indem das Fahrzeug auf der Waage vor der Wägung aus dem Stillstand kurz beschleunigt und dann sofort festgebremst wurde. Außerdem wurden bei den Versuchen Zweiachser und Fahrzeuge mit mehr als zwei Achsen, die gemäß Nr. 4. der aufgeführten Fehler zusätzliche Fehler verursachen, etwa zu gleichen Teilen eingesetzt.

Ergebnis der Versuche

Maximale Abweichung vom Mittelwert der Achswägungen ungebremst
(= tatsächlich richtiges Achsgewicht)

- a) der jeweils 6 Einzelwerte ungebremst:
- 0,8 % der Achslast bei 1 Waage
 $\pm 0,1$ % bis $\pm 0,5$ % der Achslast bei 21 Waagen
0 % bis $\pm 0,1$ % der Achslast bei 28 Waagen

- b) der jeweils 6 Einzelwerte gebremst:
 $\pm 1,0$ % bis $\pm 2,0$ % der Achslast bei 3 Waagen

$$\left[\begin{array}{l} - 1,96 \% \text{ bei einer Achsgruppenlast von } 23,5 \text{ t} \\ + 1,56 \% \text{ bei einer Achslast von } 5,1 \text{ t} \\ - 1,18 \% \text{ bei einer Achslast von } 8,4 \text{ t} \end{array} \right]$$

- $\pm 0,5$ % bis $\pm 1,0$ % der Achslast bei 10 Waagen
 $\pm 0,1$ % bis $\pm 0,5$ % der Achslast bei 26 Waagen
0 % bis $\pm 0,1$ % der Achslast bei 11 Waagen

Die Abweichungen streuen gleichmäßig nach Plus und Minus, eine einseitige Fehlertendenz ist nicht erkennbar.

Die Messwerte für jede einzelne Waage zeigen jedoch abhängig von der Auffahrtseite eine klare Tendenz. In der folgenden Auswertung werden die Achslastfehler deshalb arithmetisch addiert, da die beiden Achs- bzw. Achsgruppenwägungen zur Bestimmung des Gesamtgewichts in der Regel von einer Auffahrtseite aus vorgenommen werden.

Auswertung:

Das bewusste Erhöhen der Querkräfte durch das Festbremsen aus der Beschleunigung ergibt eine Verdopplung des Fehlerwertes und eine Vervielfältigung der Fehlerhäufigkeit. Werden diese Werte für die Abschätzung des durch Querkräfte möglichen maximalen Fehlers herangezogen, so ist bezogen auf Versuche an 50 verschiedenen Straßenfahrzeugwagen ein noch ungünstigerer Benutzungsfall auszuschließen.

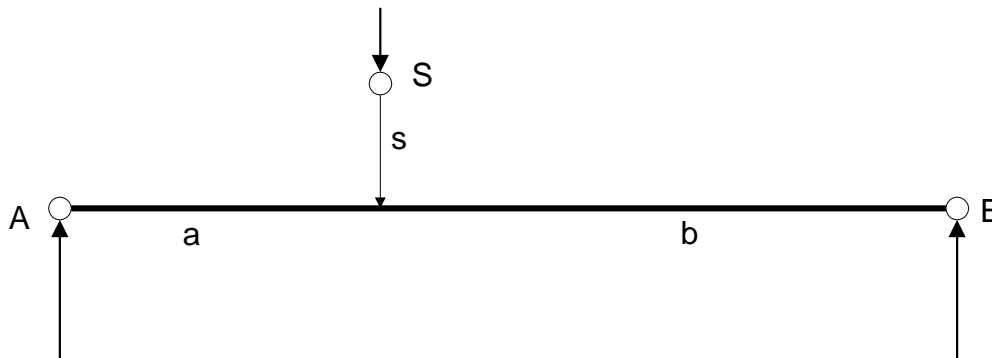
Der bei achsweiser Wägung durch Schrägzug und Verklemmen der Waagenbrücke mögliche maximale relative Fehler kann daher mit guter Sicherheit auf $\pm 1,56 \% \text{ der Achslast} \hat{=} \pm 1,56 \% \text{ der Gesamtlast}$ bei arithmetischer Addition angesetzt werden.

Der für eine Achsgruppenlast gemessene Wert von 1,96 % darf für die Angabe eines möglichen Größtfehlers durch Schrägzug und Verklemmen der Waagenbrücke nicht berücksichtigt werden; denn solche Fahrzeuge weisen gemäß Nr. 4 eine weitere beträchtliche Fehlerkomponente auf. Dieser Wert wäre also für die hier abzuschätzende Fehlerkomponente nicht repräsentativ.

Zu 3: Der Einfluss der Verlagerung des Fahrzeugschwerpunktes bezogen auf die Waagenebene ergibt sich aus den folgenden Überlegungen.

In der Skizze bedeutet:

S	geometrischer Ort und Masse des Gesamtschwerpunktes
A und B	geometrischer Ort der Achse des Fahrzeuges
s	Lot von S auf Verbindungslinie AB
a und b	Projektionen der Hebelarme AS und BS



Aus dem Momentensatz erhält man:

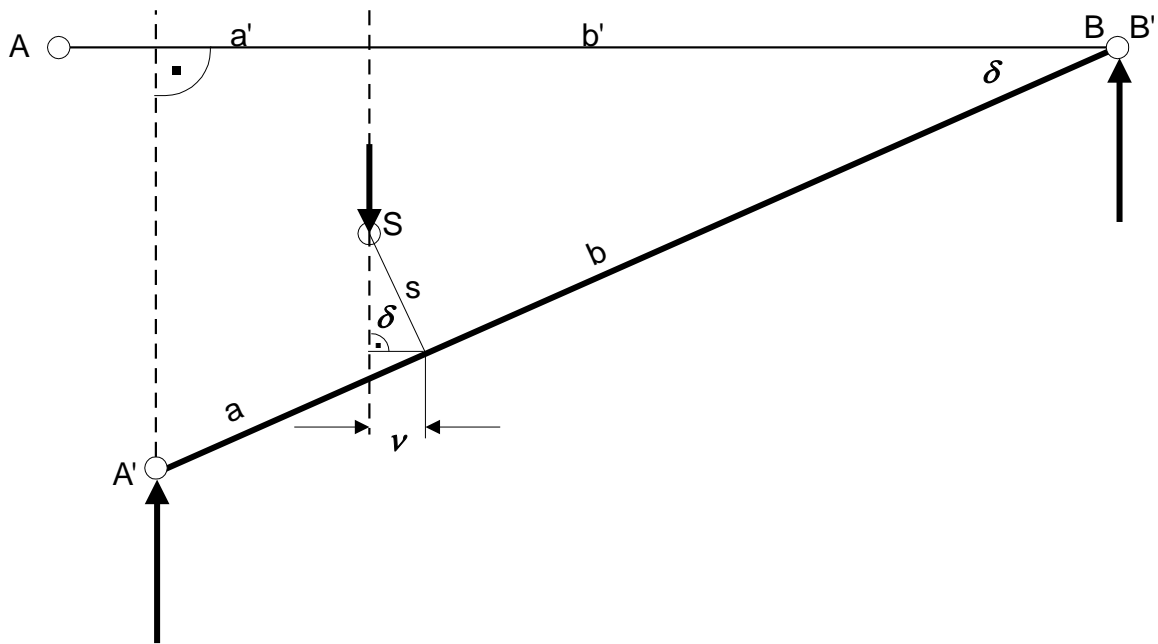
$$A \cdot (a + b) = S \cdot b$$

$$A = \frac{S \cdot b}{(a + b)}$$

$$B \cdot (a + b) = S \cdot a$$

$$B = \frac{S \cdot a}{(a + b)}$$

Ist das Fahrzeug um die Achse B geneigt (Achse A abgesenkt), so verändern sich die Projektionen der Hebelarme a und b zu a' und b' und es ergibt sich:



$$\cos \delta = \frac{a' + b'}{a + b}$$

$$a' = (a + b) \cdot \cos \delta - b'$$

$$a' = a \cdot \cos \delta - s \cdot \sin \delta$$

$$\cos \delta = \frac{b' - v}{b}$$

$$b' = b \cdot \cos \delta + s \cdot \sin \delta$$

$$\text{(mit } v = s \cdot \sin \delta \text{)}$$

Die Last der abgesenkten Achse ergibt sich damit zu

$$A' = S \cdot \frac{b'}{a' + b'} = S \cdot \frac{b \cdot \cos \delta + s \cdot \sin \delta}{(a + b) \cdot \cos \delta}$$

Der Fehler durch Schrägstellung bei einer Achslastwägung errechnet sich dann zu (A mit $\cos \delta$ erweitert)

$$F = A' - A = S \cdot \frac{b \cdot \cos \delta + s \cdot \sin \delta}{(a + b) \cdot \cos \delta} - \frac{b \cdot \cos \delta}{(a + b) \cdot \cos \delta}$$

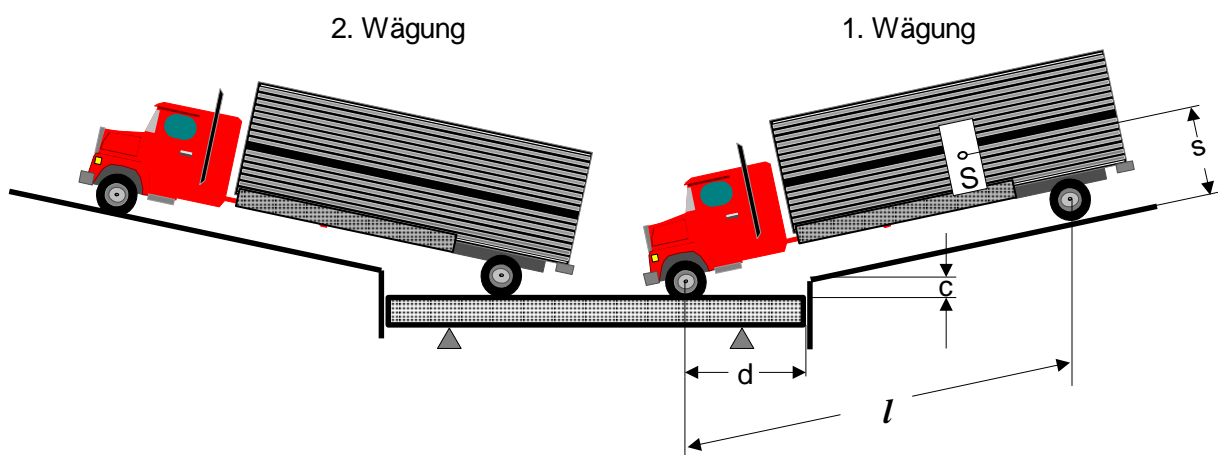
$$F = S \frac{s}{l} \cdot \operatorname{tg} \delta \quad \text{mit } l = a + b$$

Die Lösung zeigt

- der Fehler ist immer positiv, wenn die zu wägende Achse abgesenkt wird, bzw. die nicht zu wägende Achse auf einer Steigung steht,
- der Fehler ist unabhängig von der horizontalen Lage des Schwerpunktes auf der Ladefläche
- der Fehler ist um so größer
 - je höher der Schwerpunkt des Fahrzeugs liegt,
 - je kürzer der Achsabstand l ist und
 - je größer die veränderte Schrägstellung des Fahrzeugs ist.

Damit kann festgestellt werden:

- a) Der mögliche Fehler der Gesamtlast bei achsweiser Wägung auf einer Waage, deren An- und Abfahrtstrecken wegen ungenügender Befestigung ausgewaschen oder abgesenkt sind, ist negativ und wirkt der Feststellung einer Überladung entgegen. Da gemäß /1/ EO Anlage 9 Nr. 15.1.11.8 die An- und Abfahrten zu Fahrzeugwaagen gerade und waagrecht ausgeführt sein müssen, ist damit die Mehrheit der Waagen, deren An- und Abfahrtstrecken durch den praktischen Betrieb mangelhaft geworden sind, in diesem Zusammenhang auszuschließen, da sich ihr möglicher Fehler zugunsten des einer Überladung Beschuldigten auswirkt.
- b) Ein positiver Fehler durch Schrägstellung zwischen den beiden achsweisen Wägungen entsteht nur in den Fällen, bei denen die gut befestigten An- und Abfahrten schon bei der Eichung eine Steigung aufweisen (von der Waage aus gesehen), die an den Grenzen der für die waagerechte Ausführung anzunehmenden Feststellungstoleranzen liegt. Wird zusätzlich noch die Waage als sehr "weich" angenommen, d. h. große Brückenablenkung bei Belastung der Waage, kann die ungünstigste Konstellation gemäß folgender Skizze angesetzt werden:



Wird mit den nachstehenden besonders ungünstigen Werten gerechnet

Absenkung der Waagenbrücke	$c = 5 \text{ mm}$
Neigung der An- und Abfahrt	$0,2 \%$
Auffahrtsstrecke auf die Waage	$d = 2 \text{ m}$
Achsabstand (Mindestbrückenlänge gem. EO /1/ Anlage 9 Nr. 15.1.10)	$l = 5 \text{ m}$
Höhe des Schwerpunktes	$s = 2,5 \text{ m}$

so erhält man

1 den Fehleranteil aufgrund der Absenkung der Waagenbrücke

$$F = +S \cdot \frac{s}{l} \cdot \frac{c}{l}$$
$$F = +S \cdot 0,0005 \quad \text{für eine Teilwägung}$$
$$F = +S \cdot 0,001 \quad \hat{=} \quad +0,1 \% \quad \text{vom Gesamtgewicht}$$

2 den Fehleranteil aufgrund geneigter An- und Abfahrt:

$$F = +S \cdot \frac{s}{l} \cdot 0,2\% \cdot \frac{(l-d)}{l}$$
$$F = +S \cdot 0,0006 \quad \text{für eine Teilwägung}$$
$$F = +S \cdot 0,0012 \quad \hat{=} \quad \pm 0,12 \% \quad \text{vom Gesamtgewicht}$$

Es ergibt sich somit ein **maximaler relativer Fehler von + 0,22 %**

Hinweis: Die Fehler der jeweils zwei Wägungen und die beiden Fehleranteile wurden arithmetisch addiert, da es sich hier wie in Nr.1 um systematische Fehler der betr. Waage handelt.

Zu 4: Reibung in Federn und Gelenken kann bei Fahrzeugen mit mehr als zwei Achsen die Achslastverteilung zwischen den beiden Wägungen verändern und so nennenswerte Wä-
gefehler verursachen. Die Mehrfachachsaggregate lassen sich in drei Gruppen einteilen:

- Achskonstruktionen mit Luft- oder Schraubenfederung und exakter Führung mit gleitge-
lagerten Lenkern; hierzu gehören die luftgefederten Achsen mit Niveauregulierung.
- Achsen mit Blattfedern, die auch alle Führungsaufgaben und Momentabstützungen mit
übernehmen müssen.
- Achsen mit Blattfedern, die teilweise mit Lenkern geführt werden.

Am unempfindlichsten gegen Verspannungen beim Rangieren und damit gegen Rad-
laständerungen bei kleinen Federbewegungen sind die Achsen mit reiner Lenkerführung,
da hier nur Reibungskräfte in den Lenker-Gelenken und an den Dichtflächen der Stoß-
dämpfer (sofern vorhanden) als Fehlerquelle auftreten können. Diese Achsen werden
eingesetzt, um durch weiches Anfedern Ladung und Straße zu schonen.

Die größten Messwertstreuungen werden durch die einfachen blattgefederten Achsen hervorgerufen, da die Federn neben Führungsaufgaben auch zur Schwingungsdämpfung herangezogen werden.

Hier ist es denkbar, dass unter ungünstigsten Umständen Schwankungen in der Achslastverteilung bis etwa $\pm 5\%$ der jeweiligen Achslast auftreten können. Luftgefederte Achskonstruktionen müssten deutlich unterhalb dieses Wertes liegen. Bei allen Achsbauweisen beeinflusst jedoch der Pflege- und Erhaltungszustand von Gelenken, Federn und Federführungen die Reibkräfte und damit die statische Achslastdifferenz entscheidend.

Wie unter Nr. 2 wird durch die äußeren Randbedingungen ein theoretisches Abschätzen des möglichen Fehlers sehr erschwert. Da praktische Messungen hierzu der PTB nicht bekannt sind, muss hier als Voraussetzung für eine weitere Diskussion des Fehlereinflusses eine Achslastschwankung angenommen werden, die mit Sicherheit über den tatsächlich erreichbaren Werten liegt. Diese maximal mögliche Achslastschwankung wird zu $\pm 10\%$ der jeweiligen Achslast angesetzt. Die praktisch auftretenden Werte werden mit großer Wahrscheinlichkeit darunter liegen, da insbesondere bei Erreichen oder gar Überschreiten der zulässigen Achslasten die dazu notwendigen Drehmomente bzw. Reibungskräfte in den Gelenkstellen auch bei einfachen Achskonstruktionen in schlechtem Wartungszustand nicht mehr aufgebracht werden können.

Außerdem zeigt das Ergebnis der im Folgenden unter dieser Voraussetzung vorgenommenen Fehlerabschätzung im Vergleich zu der unter Nr. 2 beschriebenen Versuchsreihe, dass bei etwa 25 verschiedenen Fahrzeugen mit Mehrfachachsaggregat noch einschl. einer möglichen Klemmung der Waage mit $1,96\%$ der Achsgruppenlast kein größerer Fehler aufgetreten ist. ($1,96\%$ der Achsgruppenlast mit $a/b = 2,5/l$ umgerechnet ergibt $1,4\%$ der Gesamtlast).

Die Abschätzung des möglichen Fehlers erfolgt unter den folgenden Voraussetzungen:

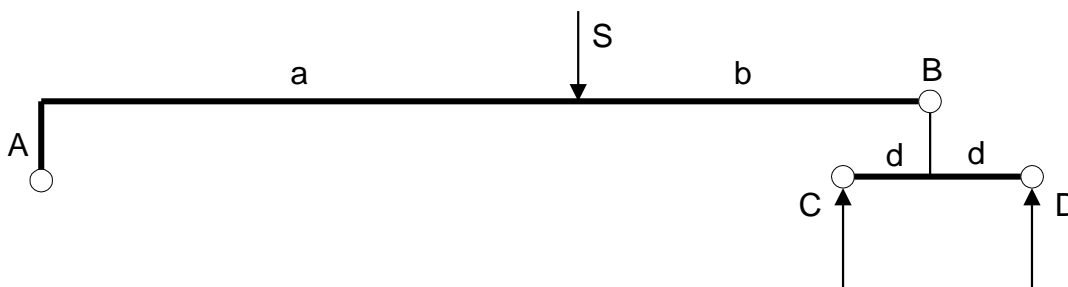
- Es werden nur Fehler 1. Ordnung einbezogen. Fehler höherer Ordnung (z. B. durch die Fehler 1. Ordnung hervorgerufene erneute Fehleranteile) sind vernachlässigt.
- Mehrfachachsaggregate werden unabhängig von der Anzahl ihrer Achsen betrachtet. Da mit der Anzahl der Achsen zwar der Hebelarm d (Skizze) wächst, die Achslast relativ zur Belastung S jedoch abnimmt, heben sich die Auswirkungen auf den möglichen Fehler mit für die Abschätzung ausreichender Näherung auf.
- Der Angriffspunkt der Belastung des auf zwei Achsen reduzierten Mehrfachachsaggregats liegt in der Mitte zwischen den Achsen. Hier ist der Fehlereinfluss am größten.
- Die Achslastverteilung innerhalb eines auf zwei Achsen reduzierten Mehrfachachsaggregats ändert sich maximal um $\pm 10\%$ der jeweiligen Achslast.
- Sattelzugmaschinen werden als ein auf zwei Achsen reduziertes Mehrfachachsaggregat betrachtet. Wegen ihres größeren äußeren Achsabstandes ist der Hebelarm d (Skizze) zwar größer, die Aufliegerkupplung kann jedoch kein so großes Drehmoment übertragen, dass bis zur Vorderachse eine Achslastschwankung zwischen den beiden Wägungen von 10% denkbar wäre. Die einheitliche Betrachtung aller Sattelzugmaschinen ist daher für die Fehlerabschätzung mit ausreichender Sicherheit möglich, zumal

- a) der bei Sattelzügen in jedem Fall längere Hebelarm a, b (Skizze) eine Verkleinerung des wirklichen Fehlers bewirkt,
- b) bei einachsigen Aufliegern die Lage des Schwerpunktes a / b günstiger liegt als im späteren Beispiel angenommen,
- c) ein zusätzliches Mehrfachachsaggregat keine Erhöhung des möglichen Fehlers bringt, wie am Schluss dieser Nr. 4 gezeigt wird.

Die Abschätzung des möglichen Fehlers erfolgt anhand des folgenden gemäß den aufgeführten Voraussetzungen reduzierten Modells.

In der Skizze bedeutet:

- s Geometrischer Ort und Masse des Gesamtgewichts
- A Angriffspunkt einer Einzelachse
- B Angriffspunkt (Gelenk) eines Mehrfachachsaggregats
- C und D Angriffspunkte der Achsen des auf zwei Achsen reduzierten Mehrfachaggregats
- a und b Hebelarme des Fahrzeugs
- d Hebelarme des Achsaggregats



Aus dem Momentensatz erhält man:

$$D \cdot (a + b + d) + C \cdot (a + b - d) = S \cdot a \quad \Leftrightarrow \quad B = C + D$$

$$(B - C) \cdot (a + b + d) + C \cdot (a + b - d) = S \cdot a \quad \Leftrightarrow \quad D = B - C$$

$$B = \frac{S \cdot a}{a + b + d - 2dx} \quad \Leftrightarrow \quad C = x \cdot B$$

Damit ergibt sich für die Fahrzeugseite B:

- 1** bei gleichmäßiger Achslastverteilung mit $x = 0,5$

$$B = \frac{S \cdot a}{a + b}$$

- 2** bei einer Achslastdifferenz von 20% mit $x = 0,45$

$$B' = \frac{S \cdot a}{a + b + 0,1d}$$

ergibt den Fehler auf der Fahrzeugseite B

$$F = B' - B = S \cdot a \cdot \left(\frac{1}{a + b + 0,1d} - \frac{1}{a + b} \right)$$

3 bei einer Achslastdifferenz von 20 % mit $x = 0,55$

$$B' = \frac{S \cdot a}{a + b - 0,1d}$$

ergibt den Fehler auf der Fahrzeugseite B:

$$F = B' - B = S \cdot a \cdot \left(\frac{1}{a + b - 0,1d} - \frac{1}{a + b} \right)$$

Die Lösung zeigt:

- Der Fehler ist positiv, wenn bei dem auf der Waage stehenden Achsaggregat die innen liegende Achse C stärker belastet ist,
- Der Fehler ist um so größer,
 - je kleiner der Abstand $a+b$ ist,
 - je größer der Hebelarm d ist,
 - je größer der Hebelarm a ist.

Die bisherige Rechnung gilt für ein auf der Waage stehendes Achsaggregat, und dessen Einfluss auf diese Wägung. Weiterhin zu berücksichtigen ist die Rückwirkung eines nicht auf der Waage stehenden Achsaggregats auf die Wägung der anderen Fahrzeugseite.

Für die Fahrzeugseite A gilt:

$$A \cdot (a + b + d) + C \cdot 2d = S \cdot (b + d)$$

$$A \cdot (a + b + d) + B \cdot 2dx = S \cdot (b + d) \quad \Leftarrow \quad C = x \cdot B$$

$$A = \frac{S \cdot (b + d - 2dx)}{a + b + d - 2dx} \quad \Leftarrow \quad B = S - A$$

4 Bei gleichmäßiger Achslastverteilung mit $x = 0,5$ ist

$$A = \frac{S \cdot b}{a + b}$$

- 5 Bei einer Achslastdifferenz von 20 % mit $x = 0,45$ ist

$$A' = \frac{S \cdot (b + 0,1d)}{a + b + 0,1d}$$

Der Fehler auf der Fahrzeugseite A errechnet sich daraus zu

$$F = A' - A = S \cdot \left(\frac{b + 0,1d}{a + b + 0,1d} - \frac{b}{a + b} \right)$$

- 6 Bei einer Achslastdifferenz von 20% mit $x = 0,55$ ist

$$A' = \frac{S \cdot (b - 0,1d)}{a + b - 0,1d}$$

Der Fehler auf der Fahrzeugseite A errechnet sich daraus zu

$$F = A' - A = S \cdot \left(\frac{b - 0,1d}{a + b - 0,1d} - \frac{b}{a + b} \right)$$

Die Lösung zeigt:

- Der Fehler durch Rückwirkung der Fahrzeugseite B auf die Fahrzeugseite A ist positiv, wenn bei dem nicht auf der Waage stehenden Achsaggregat die außen liegende Achse D stärker belastet ist
- Der Fehler ist um so größer,
 - je kleiner der Abstand $a+b$ ist,
 - je größer der Hebelarm d ist,
 - je kleiner der Hebelarm b ist.
- Bei getrennter Wägung der Fahrzeugseiten A und B heben sich die durch Achslastdifferenzen möglichen Fehler gegenseitig auf, wenn sich die Achslastdifferenzen zwischen den Wägungen nicht ändern (z.B. gleichzeitige Wägung auf zwei Waagen).

Aus den Fehlergleichungen lässt sich berechnen für:

a) Ein Mehrfachachsaggregat auf der Waage bei einer Wägung

Mit den nachstehenden ungünstigen Werten

Abstand AB der Fahrzeugabstützungen (aus $a + b + d = 5$ m Mindestbrückenlänge)	$a + b = 4,2$ m
Lage des Schwerpunktes	$a:b = 2,5:1$
Hebelarm des Achsaggregats	$d = 0,8$ m
Achslastdifferenz 20 %	$x = 0,5 \pm 0,05$

erhält man den Fehler bei der Wägung der Fahrzeugseite B aus der obigen Rechnung **3** oder **6** zu

$$F = \pm S \cdot 0,0139 \cong \pm 1,39 \% \text{ des Gesamtgewichts.}$$

und den Fehler durch Rückwirkung der Fahrzeugseite B bei der Wägung der Fahrzeugseite A aus der obigen Rechnung **2** oder **5** zu

$$F = \pm S \cdot 0,0134 \cong \pm 1,34 \% \text{ des Gesamtgewichts.}$$

Die geometrische Addition der beiden zufälligen Fehleranteile ergibt dann den möglichen Fehler des mittels zweier Wägungen auf einer Waage bestimmten Gesamtgewichts zu

$$F = \pm S \cdot \sqrt{0,0139^2 + 0,0134^2} \cong \pm 1,93 \% \text{ des Gesamtgewichts.}$$

b) Je ein Mehrfachachsaggregat auf der Waage bei beiden Wägungen

Es wird mit den obigen Werten gerechnet, jedoch wird vereinfachend $a = b$ (Schwerpunkt in der Mitte zwischen den Abstützungen) angesetzt, da sich der Einfluss der horizontalen Lage des Schwerpunkts in diesem Fall mit für die Fehlerabschätzung ausreichender Näherung eliminiert.

Man erhält den Fehler bei der Wägung der Fahrzeugseite **3** oder **6** zu

$$F = \pm S \cdot 0,0097 \cong \pm 0,97 \% \text{ des Gesamtgewichts}$$

und den Fehler durch Rückwirkung der Fahrzeugseite B bei der Wägung der Fahrzeugseite A aus der obigen Rechnung **2** oder **5** zu

$$F = \pm S \cdot 0,0094 \cong \pm 0,94 \% \text{ des Gesamtgewichts.}$$

Beide Fehleranteile sind für jede der beiden Wägungen anzusetzen. Die geometrische Addition dieser zufälligen Fehleranteile ergibt den möglichen Fehler des mittels zweier Wägungen auf einer Waage bestimmten Gesamtgewichts zu

$$F = \pm S \cdot \sqrt{0,0097^2 + 0,0094^2 + 0,0097^2 + 0,0094^2} \cong \pm 1,91 \%$$

des Gesamtgewichts

Hinweis

Es fällt auf, dass unter Buchstabe b trotz einer Erhöhung der Zahl der Fehlermöglichkeiten gegenüber Buchstabe a der mögliche Gesamtfehler jedoch sogar geringfügig kleiner ist. Dies beruht auf der Wahrscheinlichkeitsrechnung, nach der sich vier kleinere zufällige Fehleranteile weniger stark auswirken als zwei größere. Je mehr zufällige Fehleranteile vorhanden sind, desto größer ist die Wahrscheinlichkeit, dass sie sich teilweise gegenseitig aufheben.

Abschätzung des Gesamtfehlers

Die Fehlerkomponenten gemäß den Nrn. 1, 2 und 4 sind geometrisch zu addieren, da sie sowohl positiv als auch negativ sein können und in Bezug auf den Gesamtfehler zufällige Fehler sind.

Die Fehlerkomponente gemäß Nr. 3 ist aufzuteilen in

- den Fehleranteil aufgrund der Absenkung der Waagenbrücke von +0,1 % der Gesamtlast. Er ist immer positiv und wird daher bei der Berechnung des Gesamtfehlers durch arithmetische Addition berücksichtigt.
- den Fehleranteil aufgrund geneigter An- und Abfahrt von $F = \pm 0,12$ % der Gesamtlast. Er ist je nach Neigung der An- und Abfahrt positiv oder negativ und ist daher durch geometrische Addition in die Berechnung des Gesamtfehlers aufzunehmen.

Damit ergeben sich die folgenden möglichen maximalen Gesamtfehler für die Bestimmung des Gesamtgewichts eines Straßenfahrzeugs aus zwei achs- bzw. achsgruppenweisen Einzelwägungen unter den eingangs festgelegten Voraussetzungen:

a) für zweiachsige Fahrzeuge

$$F = 0,001 + \sqrt{0,007^2 + 0,0156^2 + 0,0012^2}$$

$$F = \pm 1,8 \text{ \% des Gesamtgewichts}$$

b) Für Fahrzeuge mit mehr als zwei Achsen

(Eine weitere Unterteilung nach Anzahl der Mehrfachachsaggregate ist gemäß Nr. 4 nicht notwendig)

$$F = 0,001 + \sqrt{0,007^2 + 0,0156^2 + 0,0012^2 + 0,0193^2}$$

$$F = \pm 2,7 \text{ \% des Gesamtgewichts}$$

Anhang:

Sind die Achs- bzw. Achsgruppenwägungen jeweils zweimal durchgeführt worden, und wird das Gesamtgewicht gemittelt, so verringern sich die möglichen Fehler. Dabei wird im Folgenden unterschieden, ob die je zwei Teilwägungen

- 1** auf einer Waage
 - Waagenfehler und Fehler durch Absenken der Waagenbrücke sowie durch Neigung der An- und Abfahrt sind systematische Fehler,
- 2** auf zwei Waagen
 - nur der Fehler durch Absenken der Waagenbrücke ist ein systematischer Fehler

vorgenommen wurden.

Die vorstehend unter den Buchstaben a und b angegebenen Fehler errechnen sich damit zu

a)

$$\boxed{1} \quad F = 0,001 + \sqrt{0,007^2 + \left(\frac{\sqrt{0,0156^2 + 0,0156^2}}{2} \right)^2} + 0,0012^2$$

F = ± 1,4 % des Gesamtgewichts

$$\boxed{2} \quad F = 0,001 + \frac{\sqrt{2 \cdot (0,007^2 + 0,0156^2 + 0,0012^2)}}{2}$$

F = ± 1,3 % des Gesamtgewichts

b)

$$\boxed{1} \quad F = 0,001 + \sqrt{0,007^2 + \left(\frac{\sqrt{0,0156^2 + 0,0156^2}}{2} \right)^2} + 0,0012^2 + \left(\frac{\sqrt{0,0193^2 + 0,0193^2}}{2} \right)^2$$

F = ± 2,0 % des Gesamtgewichts

$$\boxed{2} \quad F = 0,001 + \frac{\sqrt{2 \cdot (0,007^2 + 0,0156^2 + 0,0012^2 + 0,0193^2)}}{2}$$

F = ± 1,9% des Gesamtgewichts

Literatur

/1/ Eichordnung Anlage 9 "Nichtselbsttätige Waagen" vom 15.01.1975

Im Auftrag

(Dipl.-Ing. Wünsche)
Oberregierungsrat

Braunschweig, den 20.08.1982
Gesch.-Nr.: 1.32-23726/82

8.3.3 Gravierende Fehlmessungen beim achsweisen Wägen moderner Sattelfahrzeuge

**Dr. Dieter Baumgarten,
Landesamt für das Mess- und Eichwesen, Berlin**

Das Wägen langer Kraftfahrzeuge ist unproblematisch, sofern die Brückenlänge der Waage das gesamte Fahrzeug aufnehmen kann. Häufig ist das aber nicht der Fall. Insbesondere gilt das für Sattelfahrzeuge. Um das Gewicht der Fahrzeuge trotzdem ermitteln zu können, ist das achsweises Wägen nach EO 9 zulässig.

Bei Sattelfahrzeugen bedeutet das: Wägen der Zugmaschine mit anschließendem Wägen des Aufliegerfahrwerks (Abb. 1).

Waagen, bei denen achsweises Wägen zulässig ist, müssen nach EO 9 Nr. 15.1.11.8 mit geraden und waagerechten Beruhigungsstrecken versehen sein. Oberfläche und Unterbau dieser Beruhigungsstrecken müssen dabei hinreichend fest sein. Diese Anforderungen sind - mit Ausnahme der Forderung nach waagerechter Ausführung der Beruhigungsstrecken - unpräzise und weit auslegbar.

Darüber hinaus fehlt die Bestimmung, dass Wägebrücke und Beruhigungsstrecke in einer Ebene liegen müssen. Das heißt, die Anforderungen sind auch dann erfüllt, wenn zwischen Beruhigungsstrecke und Waagenbrücke eine Stufe (Abb. 2) mit einer Höhendifferenz von beispielsweise 10 cm vorhanden ist, die Beruhigungsstrecken selbst aber gerade und waagrecht ausgeführt sind.



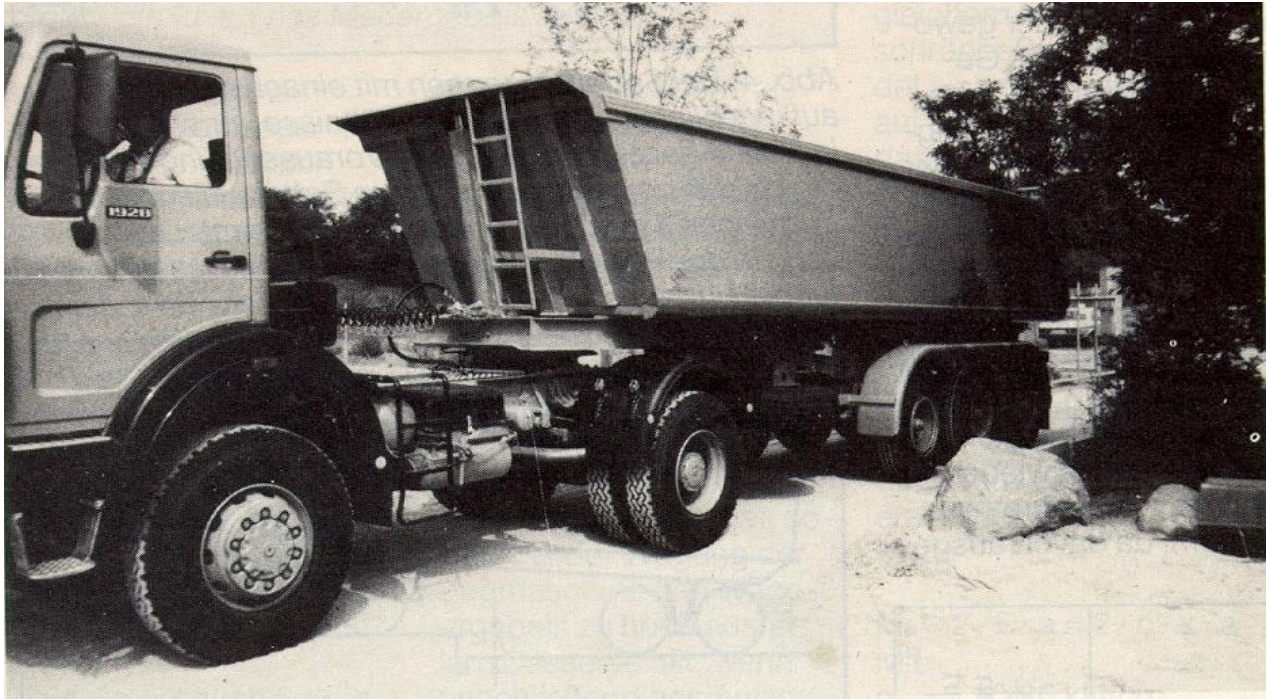


Abb. 1: Bei zu kurzen Waagenbrücken werden Zugmaschine (oben) und Sattelaufleger (unten) nacheinander auf die Waage gefahren und unabgekuppelt gewogen

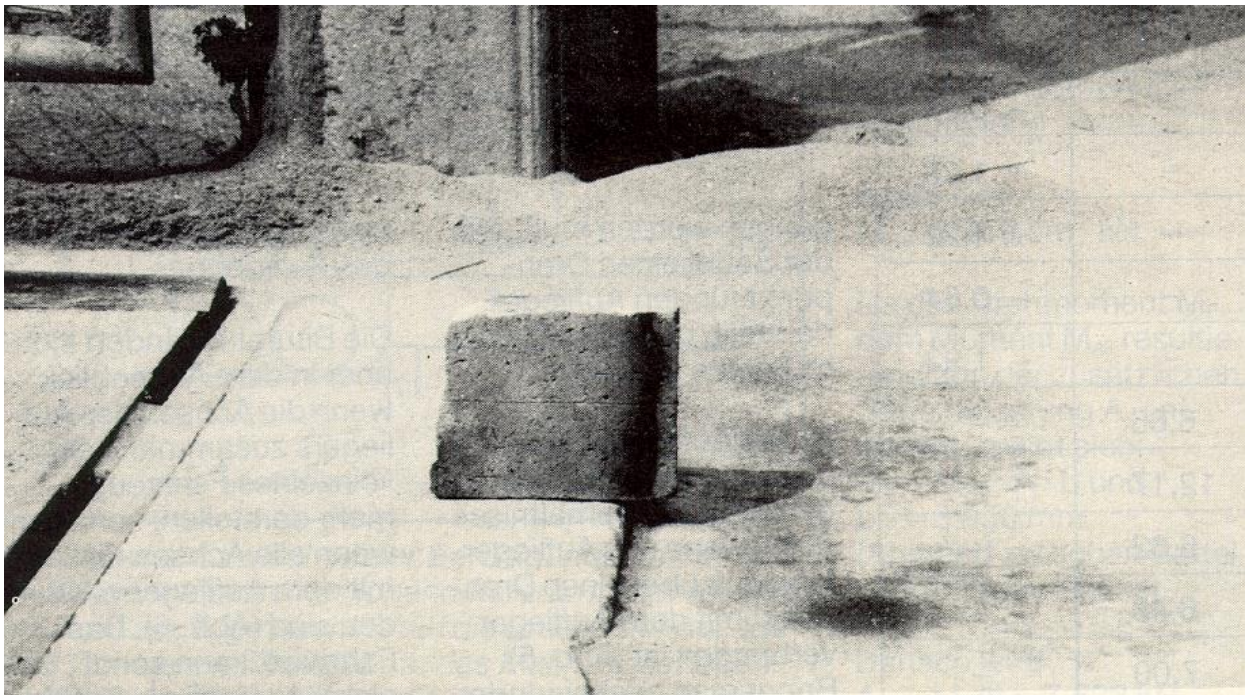


Abb. 2: Die Abbildung zeigt den Höhenunterschied zwischen der Beruhigungsstrecke und der Waagenbrücke der in Abb. 1 gezeigten Waage. Die Höhendifferenz ist gering und fällt dem Betrachter im Allgemeinen nicht auf. Beim achsweisen Wägen von Sattelzügen sind hierdurch allerdings erhebliche Fehlmessungen möglich.

Was ist jedoch unter "gerade" zu verstehen? Da die EO 9 den Begriff "gerade" nicht definiert, bleibt es dem Eichbeamten überlassen, ob er z. B. Spurrillen beanstandet oder nicht. In der Regel wird er sie wohl kaum beanstanden können, denn in bezug auf die Abmessungen der Waage erscheinen sie vernachlässigbar klein, da es sich meistens nur um einige Zentimeter handelt.

Hinzu kommt, dass Spurrillen auch gerade und waagrecht verlaufen können. Da Beruhigungsstrecken nicht eben sein müssen, wäre die Durchsetzung einer Beanstandung zumindest problematisch.

Die hier angestellten Überlegungen mögen den Anschein erwecken, der Verfasser betrachte die Angelegenheit zu akademisch. Es hat sich jedoch in der Praxis gezeigt, dass neuere Entwicklungen im Fahrzeugbau aufgrund von Höhendifferenzen zwischen Brücke und Beruhigungsstrecke ungeahnte Folgen bezüglich der Messgenauigkeit bei Wägungen haben können.

Übliche Vergleichswägungen der Wirtschaft erbrachten Hinweise auf fehlerhafte Messungen. Obwohl die verwendeten Waagen einwandfrei arbeiteten, ergaben sich erhebliche Unterschiede zwischen dem in einer Wägung ermittelten Gesamtgewicht des Fahrzeugs und dem Gesamtgewicht, addiert aus den achsweise bestimmten Teilgewichten.

Da die Messwerte reproduzierbar waren, lag der Verdacht nahe, dass die Eigenart des Fahrzeugs ausschlaggebend sein musste. Ein Versuch sollte das klären. Hierzu wurde ein fünfachsiges Fahrzeug auf eine Fahrzeugwaage Achse für Achse herauf und anschließend in Fahrtrichtung wieder heruntergefahren. Die Höhendifferenz zwischen Beruhigungsstrecke und Waagenbrücke betrug ca. 4 cm.

Bei diesem Verfahren hätten sich durch Differenzbildung die einzelnen Achslasten berechnen lassen müssen. Da das Fahrzeug in ganzer Länge auf die Waage passte, konnte gleichzeitig die Gesamtmasse bestimmt werden.

Ein Vergleich zwischen den Achslasten und dem Gesamtgewicht hätte innerhalb gewisser Toleranzen eine Übereinstimmung ergeben müssen. Dies war jedoch nicht der Fall. Im Einzelnen ergaben sich folgende Werte:

Achsen auf der Waage	Anzeige der Waage (t)
1	6,62
1 und 2	20,06
1 bis 3	28,10
1 bis 4	34,04
1 bis 5	39,12
2 bis 5	32,46
3 bis 5	20,30
4 und 5	13,48
5	7,00

Tabelle I:

Die Tabelle zeigt die von der Fahrzeugwaage angezeigten Werte in Abhängigkeit von den auf ihr befindlichen Fahrzeugachsen.

Vergleicht man die Messwerte der Tabelle I miteinander, so ergeben sich folgende Überlegungen:

Der Wägewert der Achsen 1 und 2 stellt die Masse des Zugfahrzeuges einschließlich Auflieger-teillast dar, der Wägewert der Achsen 1 bis 5 das Fahrzeuggesamtgewicht und der Wägewert der Achsen 1 und 2 sowie der Achsen 3 bis 5 müssten - mit einer Toleranz von max. 40 kg - dem Wägewert der Achsen 1 bis 5 entsprechen. Die Differenz beträgt jedoch 1,24 t.

Die rechnerisch ermittelten Achslasten (Tabelle II) zeigen starke Differenzen bei den Achsen 2 bis 5 in Abhängigkeit davon, ob auf die Waage heraufgefahren oder ob von der Waage heruntergefahren wird. Da die Waage einwandfrei funktionierte und das Fahrzeuggewicht während des Wägevorgangs unverändert blieb, konnte das Messergebnis nur eine Folge der Höhendifferenz zwischen Brücke und Beruhigungsstrecke sein.

Eine Erklärung hierfür findet man bei einer Betrachtung der Radaufhängung des Sattelzuges.

Achse Nr.	Achslast bei Auffahrt t	Achslast bei Abfahrt t	Achslastdifferenz zwischen Auf- und Abfahrt t
1	6,62	-	- 0,04
2	13,44	-	+ 1,28
3	8,04	-	+ 1,22
4	5,94	-	- 0,54
5	5,08	-	- 1,92
1	-	6,66	-
2	-	12,17	-
3	-	6,82	-
4	-	6,48	-
5	-	7,00	-

Tabelle II:

Achslasten ermittelt aus den Messwerten der Tabelle I. Diese Werte stellen lediglich Rechenwerte dar. Sie entsprechen nicht den wirklichen Achslasten.

Einfluss der Radaufhängung auf das Wägeergebnis

Bei zweiachsigen Fahrzeugen ist das achsweise Wägen unproblematisch, sofern das Ladegut nicht flüssig ist (Abb. 3). Die Last stützt sich auf zwei Achsen ab. Die Achslasten sind dabei nur abhängig von der Lage des Schwerpunktes, da das System statisch bestimmt ist.

Der Neigungswinkel α führt grundsätzlich zu einer Entlastung der gewogenen Achse. Das Gesamtergebnis des achswiseigen Wägens fällt folglich zu gering aus. Da der Winkel α aber sehr klein ist, ist der Messfehler in der Regel vernachlässigbar.

Wird ein Sattelfahrzeug mit einachsiger Auflieger gewogen (Abb. 4), so bilden Zugmaschine und Aufliegerachse wiederum ein statisch bestimmtes System, da davon ausgegangen werden muss, dass der Sattel einen Drehpunkt für den Auflieger darstellt, der keine Drehmomente aufnimmt.

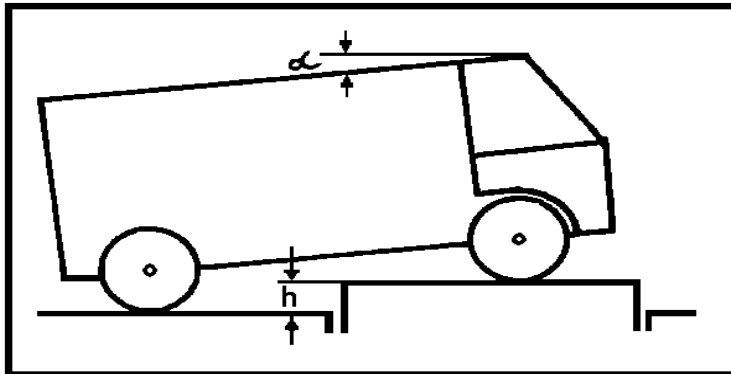


Abb. 3: Bei zweiachsigen Fahrzeugen ist das achsweise Wägen bei nicht flüssigem Ladegut unproblematisch. Die Höhendifferenz h zwischen Waagenbrücke und Beruhigungsstrecke, die eine Schiefstellung des Fahrzeugs um den Winkel α bewirkt, ist in der Regel immer so gering, dass die zusätzliche Belastung der tiefer liegenden Achsen und die Entlastung der höher liegenden Achse vernachlässigt werden können.

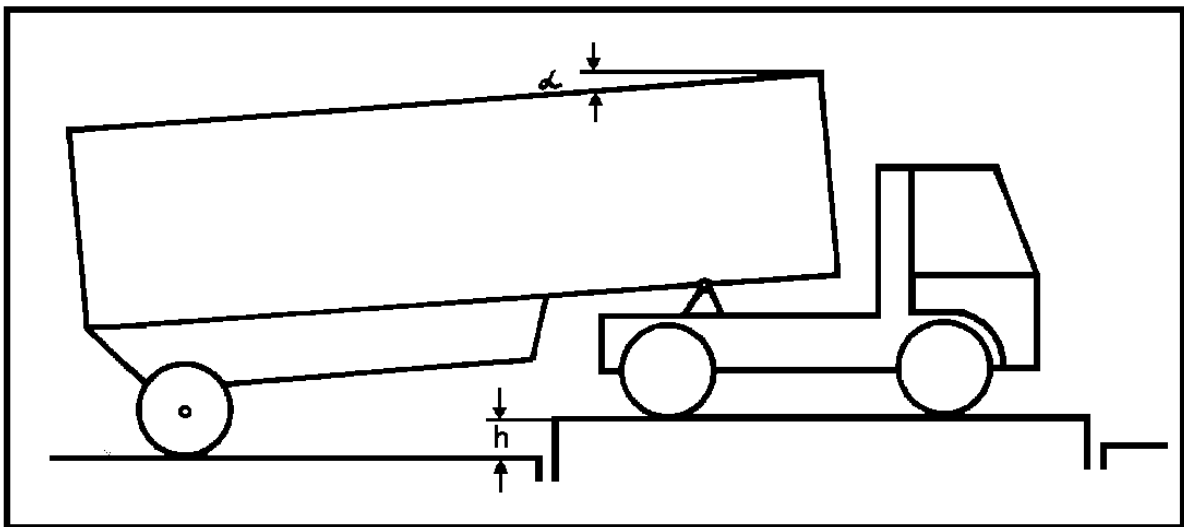


Abb. 4: Bei Sattelfahrzeugen mit einachsiger Sattelaullieger liegen dieselben Verhältnisse vor wie bei dem in Abb. 3 gezeigten Fahrzeug. Voraussetzung ist allerdings, dass der Auflagepunkt des Sattelaulliegers am Zugwagen keine Biegemomente aufnimmt. Davon kann in der Regel ausgegangen werden. Dasselbe gilt für die Radachse des Aufliegers.

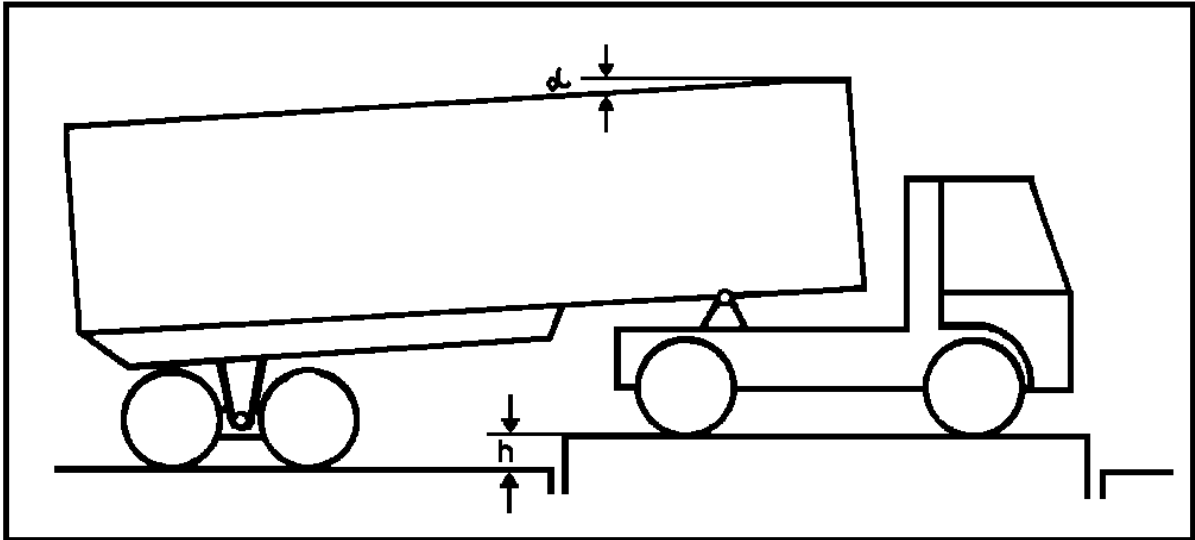


Abb. 5: Sattelfahrzeuge mit zweiachsigem Auflieger sind für achsweises Wägen nur dann geeignet, wenn die Masse des Aufliegers sowohl auf den Sattel als auch auf das Aufliegerfahrwerk momentenfrei übertragen wird. Bei älteren Fahrzeugen ist dies häufig der Fall, da das mehrachsige Fahrwerk über einen Drehpunkt mit dem Auflieger verbunden ist.

Ist der Auflieger zwei oder mehrachsig, so ändern sich die Verhältnisse nicht, wenn das Aufliegerfahrwerk über einen Drehpunkt mit dem Auflieger verbunden ist (Abb. 5). Bringt man nacheinander die Zugmaschine und das Aufliegerfahrwerk auf die Waage, so ergibt die Summe der Wägeergebnisse das Gesamtgewicht des Fahrzeuges.

Die Situation ändert sich aber in dem Augenblick, wenn die Achsen des Aufliegers zusammen kein "einzelnes Fahrzeug" mehr darstellen, sondern wenn alle Achsen einzeln mit dem Auflieger verbunden sind (Abb. 6). Das Fahrwerk kann somit nicht nur vertikale Kräfte abstützen, sondern es nimmt auch die daraus resultierenden Biegemomente auf.

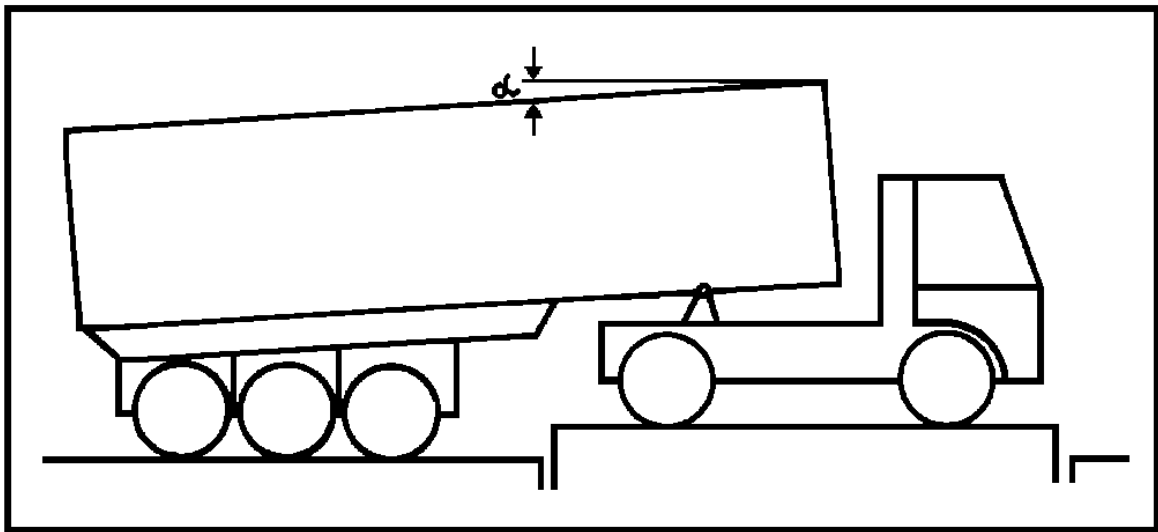


Abb. 6: Bei modernen mehrachsigen Sattelaufliegern werden die Fahrwerke nicht drehmomentfrei in Form eines Fahrschemels ausgeführt und drehmomentfrei befestigt, sondern jede Achse ist einzeln direkt am Aufbau angebracht. Die Masse des Sattelaufliers stützt sich daher nicht auf zwei Punkten ab (statisch bestimmtes System), sondern entsprechend der Anzahl n der Räder auf $n + 1$ (> 3) Punkten. Das System ist damit statisch unbestimmt, d. h. sowohl die Achskräfte als auch die Auflagekraft am Zugfahrzeug sind abhängig von der Aufstellfläche. Höhendifferenzen zwischen Waagenbrücke und Beruhigungsstrecke wirken sich folglich direkt auf das Messergebnis aus.

Das System Zugmaschine/Sattelauflieger ist infolgedessen statisch unbestimmt. Das einzelne Bestimmen der Achslasten ist hierbei nur dann möglich, wenn alle Radaufstandsflächen während des Wägevorganges in einer Ebene liegen.

Liegt die gemessene Achse höher als die daneben befindlichen, so entlastet sie diese und umgekehrt.

Gleiches gilt auch für die Zugmaschine. Liegen die Radaufstandsflächen in einer anderen Ebene als die Radaufstandsflächen des Aufliegerfahrwerks, so folgt daraus eine Mehr- oder Minderbelastung am Sattelaufliagerpunkt.

Liegen die Beruhigungsstrecken vor und hinter der Waage tiefer als die Waagenbrücke (z. B. durch Spurrillen), wie dies in der Regel der Fall ist, so wird bei der Wägung der Zugmaschine das Wägeregebnis zu hoch ausfallen. Dasselbe gilt, wenn anschließend das Aufliegerfahrwerk auf der Brücke steht.

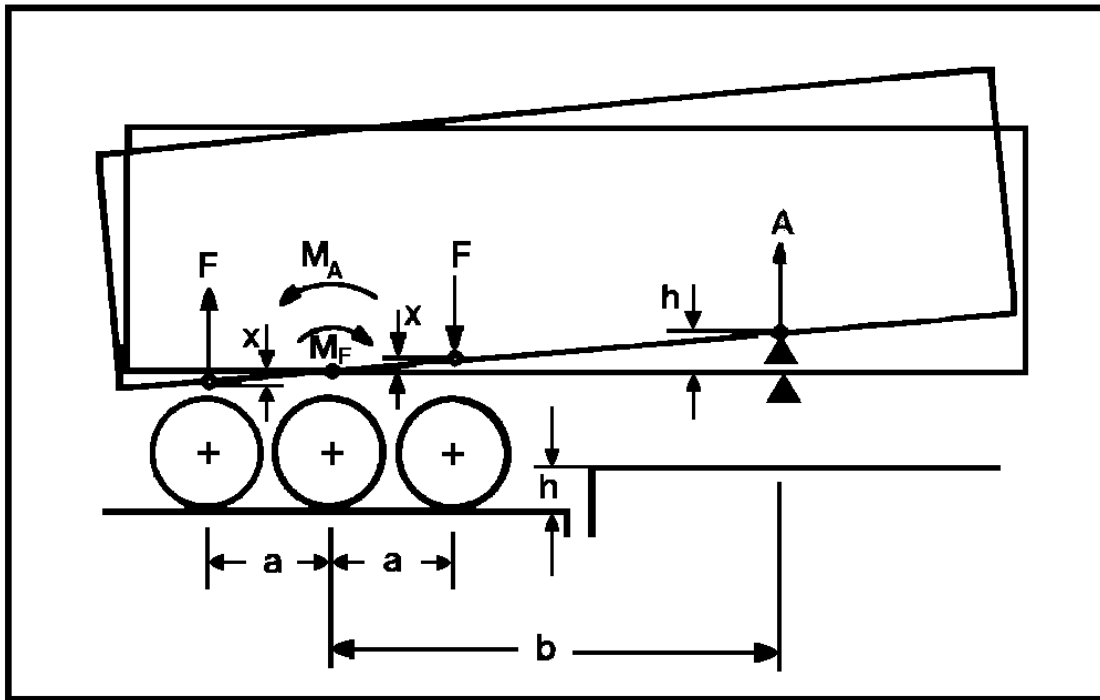


Abb. 7: Besteht zwischen der Beruhigungsstrecke und der Waagenbrücke eine Höhendifferenz h , so wird beim Auffahren der Zugmaschine auf die Brücke der Auflagesattel (schwarzes Dreieck) um das Maß h angehoben. Der Auflieger dreht sich um die mittlere Achse seines Fahrwerks. Die erste Achse wird dabei entlastet, die letzte belastet. Das hieraus resultierende Kräftepaar F erzeugt ein Moment M , das zu einer zusätzlichen Aufliegekraft A im Sattel führt.

Messfehlerabschätzung

Um die Größe des Messfehlers bestimmen zu können, ist die Kenntnis der Federkonstanten beim Fahrzeug erforderlich. Sie lässt sich durch Beladung relativ leicht ermitteln. Im vorliegenden Fall ergab sich zwischen den Zuständen leer und beladen pro Achse ein mittlerer Wert von $c = 10,36 \text{ kN/cm}$.

Die Abmessungen des Aufliegerfahrwerks ergeben sich aus Abb. 7. Hier wird der Sattelaullieger in zwei Positionen gezeigt. In waagrechter Stellung liegen Zugmaschinen- und Aufliegerfahrwerk auf gleichem Niveau, in schräger Stellung befindet sich die Zugmaschine auf der Waagenbrücke, das Aufliegerfahrwerk jedoch auf der Beruhigungsstrecke. Durch das Anheben des Aufliegers gegenüber seinem Fahrwerk um $h = 40 \text{ mm}$ entsteht am Sattel der Zugmaschine eine zusätzliche Belastung A infolge des durch das Kräftepaar F erzeugten Drehmoments M_F .

$$M_F = 2 \cdot F \cdot a = 2 \cdot c \cdot x \cdot a$$

mit $c = 10,36 \text{ kN/cm}$
 $x = 1,2 \text{ cm}$ (Federweg bei Be- bzw. Entlastung der Achsen)

und $a = 115 \text{ cm}$ (Radabstand am Aufliegerfahrwerk)

ergibt sich
 $M_F = 2 \, 859 \text{ cm} \cdot \text{kN}$

Da das Drehmoment M_F dem Moment M_A , resultierend aus der zusätzlichen Sattelbelastung A , entspricht, ergibt sich:

$$M_F = M_A = A \cdot b \text{ und}$$

$b = 3\,650 \text{ mm}$ (Abstand zwischen Sattel und mittlerer Achse).

Danach wird

$$A = M_F/b = 7,833 \text{ kN} \hat{=} 798 \text{ kg.}$$

Beim Zugfahrzeug entsteht dementsprechend ein Messfehler von 0,8 t. Beim Auffahren des Aufliegers auf die Waagenbrücke liegt nunmehr dieser um das Maß h höher als das Zugfahrzeug. Demzufolge tritt eine Entlastung am Sattel des Zugfahrzeugs auf. Diese Entlastung wird durch ein entsprechendes Drehmoment im Aufliegerfahrwerk ausgeglichen, wodurch nochmals eine Fehlmessung von 0,8 t eintritt.

Der anhand eines vereinfachten Modells berechnete Messfehler von 1,6 t stimmt mit dem praktisch ermittelten Wert von 1,24 t recht genau überein.

Bei dieser Berechnung wurde nicht berücksichtigt, dass Reibungskräfte in den Federn und den Ausgleichshebeln vorhanden sind. Ferner ist zu bedenken, dass die Federn progressiv ausgelegt sind, um die Eigenfrequenz des Fahrzeugs und die Federwege bei Belastung entsprechend zu beeinflussen.

Infolgedessen sind die Messfehler nicht linear an den Beladungszustand gekoppelt. Schwerpunktsverlagerungen durch die Schrägstellung der Fahrzeuge um den Winkel haben nur einen bedingten Einfluss auf das Messergebnis. Dabei ist aber zu bedenken, dass die Fehler bei beidseitig tieferliegenden Beruhigungsstrecken zu einer Verringerung des Wäageergebnisses sowohl bei den Zugmaschinen als auch beim Sattelauflieger führen.

Folge: die Verlagerung des Schwerpunktes wirkt den obengenannten Messfehlern entgegen.

Fehler infolge nicht waagerechter Beruhigungsstrecken

Die eichrechtlichen Vorschriften schreiben zwar eine waagerechte Ausführung der Beruhigungsstrecken vor, zulässige Abweichungen von der Waagerechten fehlen aber.

Im Rahmen eines Ordnungswidrigkeitsverfahrens bezüglich der Überladung eines Lastwagens wurde vom Gericht ein Gutachten in Auftrag gegeben. Dieses sollte bei dem durch die Polizei achsweise gewogenen Fahrzeug klarstellen, ob die gemessene Überladung von ca. 5 t möglicherweise auf eine fehlerhafte Wägung zurückzuführen sei.

Bei der Untersuchung der Waage zeigte sich, dass die Beruhigungsstrecke vor der Waage eine Neigung von 1,2 % (6 cm auf 5 m Länge) und hinter der Waage eine Neigung von 0,6 % hatte.

Optisch ist dies nicht erkennbar. Der Neigungswinkel beträgt $0,69^\circ$, die daraus resultierende Horizontalkraft liegt bei $6,9\text{‰}$ des Fahrzeuggewichts. Ein Zurückrollen des Fahrzeugs und eine damit verbundene Fehlmessung infolge von Zugkräften ist dadurch auszuschließen, dass der Rollwiderstandsbeiwert größer als 0,015 ist.

Die Beruhigungsstrecken waren jedoch nicht nur geneigt, sondern außerdem jeweils gegenüber der Waagenbrücke abgesenkt. Diese Absenkung betrug 3 cm im Abstand von 1 m vom Anfang bzw. Ende der Waagenbrücke.

Setzt man diese Daten graphisch um, so kommt man zu folgenden Ergebnissen:

1) Bestimmung des Gewichts der Zugmaschine

Aufgrund der Schrägstellung des Aufliegerfahrwerks bei gleichzeitiger Absenkung der Aufstellfläche gegenüber der Waagenbrücke erhält man bei am Brückenanfang aufgestellter Zugmaschine eine geringe zusätzliche Belastung durch den Auflieger. Wird die Zugmaschine allerdings weiter in Richtung Brückenmitte gefahren, so kommt es u. U. zu einer Entlastung der Zugmaschine (Abb. 8).

Durch die kurzen Radstände sind die möglichen Be- oder Entlastungen jedoch begrenzt.

2) Bestimmung des Gewichts des Sattelauflegers

Befindet sich der Sattelaufleger auf der Waagenbrücke, so nimmt infolge der tiefer und nach vorn geneigt stehenden Zugmaschine die Sattelbelastung ab. Gleichzeitig erhöht sich dabei die an der Waage registrierte Belastung, weil ein Teil der Stützkraft für den Sattelaufleger entfällt und durch entsprechende Drehmomente im Fahrwerk kompensiert werden muss (Abb. 9).

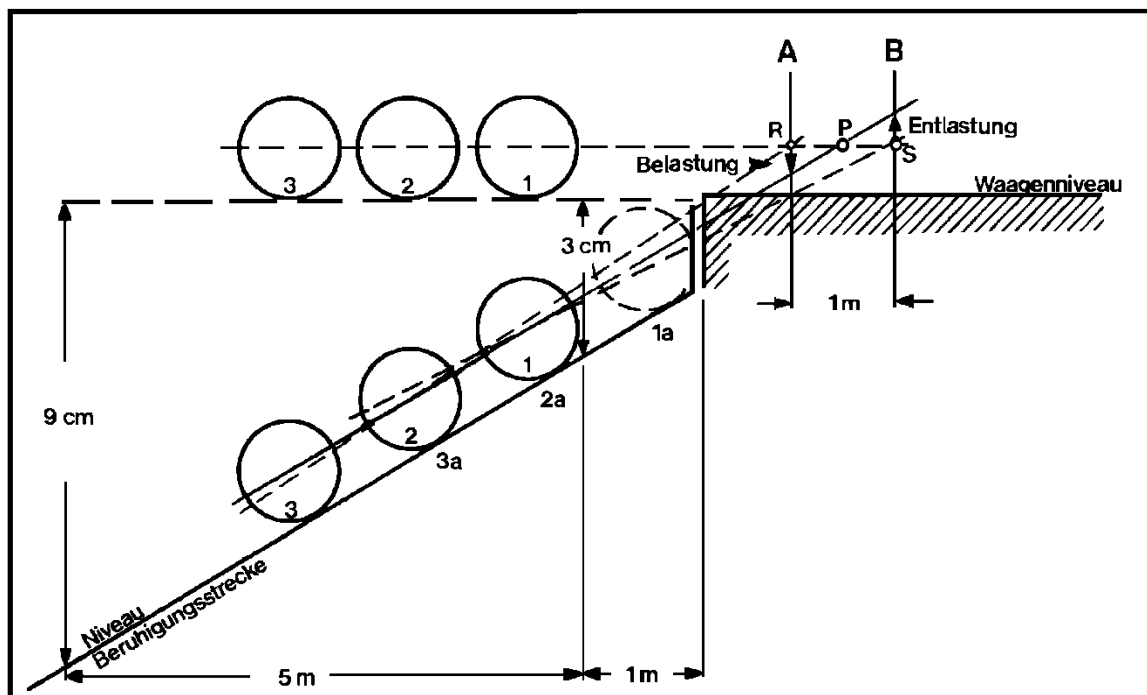


Abb. 8: Die Abbildung zeigt die vor der Waagenbrücke liegende Beruhigungsstrecke in ihrer geneigten Lage. Oben links ist das Aufliegerfahrwerk niveaugleich mit der Waagenbrücke dargestellt. Darunter befindet sich das Aufliegerfahrwerk in der der Neigung der Beruhigungsstrecke entsprechenden Position. Werden jeweils Geraden durch die Mittelpunkte der Räder gelegt, ergibt das den Schnittpunkt P. Stellt R den Sattelauflegepunkt der Zugmaschine dar, so bedeutet dies, dass infolge der Schräglage des Sattelauflegers dessen Kupplungszapfen zu tief liegt. Der Auflieger wird von der Zugmaschine angehoben. Als Folge tritt eine zusätzliche Belastung der Zugmaschine ein.

Zieht die Zugmaschine aus der Position A in die Position B, so geht das Aufliegerfahrwerk 1-2-3 in die Position 1a - 2a - 3a. Der Kupplungszapfen liegt somit höher als der Sattelauflegepunkt S der Zugmaschine. Die Zugmaschine wird in diesem Fall entlastet.

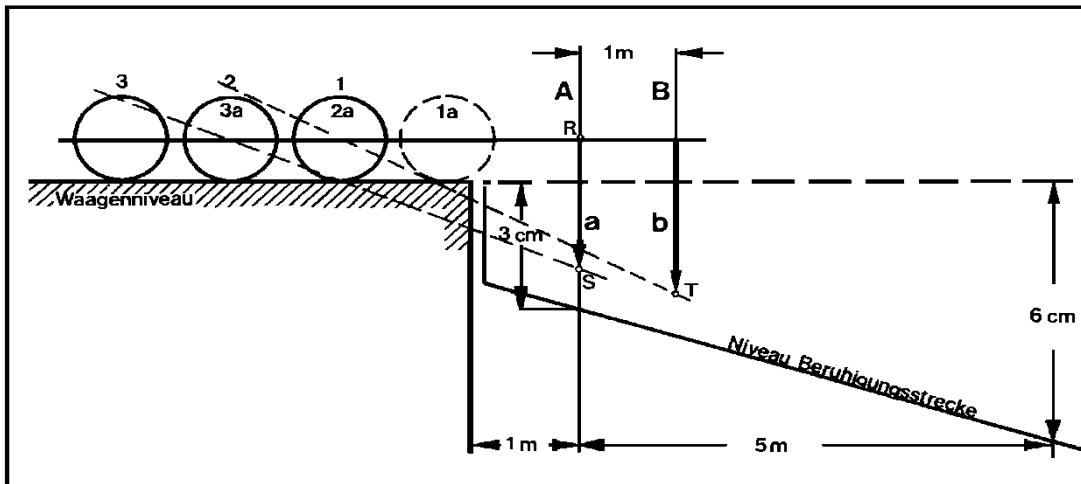


Abb. 9. Die Abbildung zeigt die hinter der Waagenbrücke liegende Beruhigungsstrecke in ihrer geneigten Lage. Da die Zugmaschine tiefer liegt als der Sattelaufleger, liegt der Sattelauflegepunkt R um das Maß a tiefer als bei niveaugleicher Aufstellung. Dies führt zu einer Entlastung der Zugmaschine und folglich zu einer Belastung des Sattelauflegerfahrwerks.

Zieht die Zugmaschine aus der Position A in die Position B, so geht das Aufliegerfahrwerk aus der Position 1 - 2 - 3 in die Position 1a - 2a - 3a. Gleichzeitig verlagert sich der Sattelauflegepunkt von S nach T. Die Belastung des Aufliegerfahrwerks steigt demzufolge noch etwas an.

Auch hier ist der Fehler der Wägung abhängig von der Aufstellung des Sattelauflegers auf der Waage. Allerdings führt eine Verschiebung in Fahrtrichtung um 1 m nur zu einer Erhöhung des Fehlers um ca. 10 %. Größere Verschiebungen sind infolge der kurzen Radstände nicht möglich.

Die unterschiedlichen Belastungsfälle ergeben bei der Zugmaschine je nach Aufstellungsort Fehler zwischen - 200 kg bis + 200 kg, beim Sattelaufleger zwischen + 630 kg bis + 700 kg. Der - bezogen auf das Gesamtgewicht - mögliche Fehler liegt folglich zwischen ca. 430 und 900 kg.

Zusammenfassung

Die dargelegten Untersuchungen an Straßenfahrzeugwaagen machen deutlich, dass ein achsweises Wägen bei bestimmten Fahrzeugen zu nicht mehr tolerierbaren großen Messfehlern führt. Eine Lösung dieses Problems ist bei zu kurzen Waagenbrücken nur dann möglich, wenn die Beruhigungsstrecken in einer Ebene mit der Waagenbrücke liegen.

Bedingt durch die hohen Federkonstanten der Lkw-Federn ist dies allerdings kaum mit der erforderlichen Genauigkeit zu realisieren. Aus diesem Grunde muss das achsweises Wägen bei Sattel Fahrzeugen auf Fahrzeuge mit einachsigen Sattelauflegerfahrwerk beschränkt werden. In allen übrigen Fällen ist die Verwendung von Waagen mit entsprechender Brückenlänge vorzuschreiben.

Eine Änderung der eichrechtlichen Vorschriften muss daher kurzfristig angestrebt werden. Unabhängig davon ist ein achsweises Wägen aufgrund von § 11 EichG auch derzeit bereits unzulässig, wenn die Richtigkeit der Messung nicht gewährleistet ist. Dies sollte im Einzelfall beachtet werden.

Insbesondere ist aber auch zu bedenken, dass nicht nur rechtliche Konsequenzen bestehen, sondern dass auch von Dritten Schadensersatzansprüche geltend gemacht werden können, die u. U. finanziell weitaus höher zu Buche schlagen.

Erschienen in [Wägen und Dosieren 1/1987, Seite 10](#)

Anhang 8.1.6 (Jetzt „Anhang 8.2“ Prüfanweisung für nichtselbsttätige Waagen - (GM-P 2.3 NSW) vom 23.11.2016)

	Prüfer	Datum		
Benutzer:				
Aufstellungsort:				

**Prüfung
einer Fahrzeugwaage auf Eignung für Achslastwägungen**

Fabrik-Nr.:

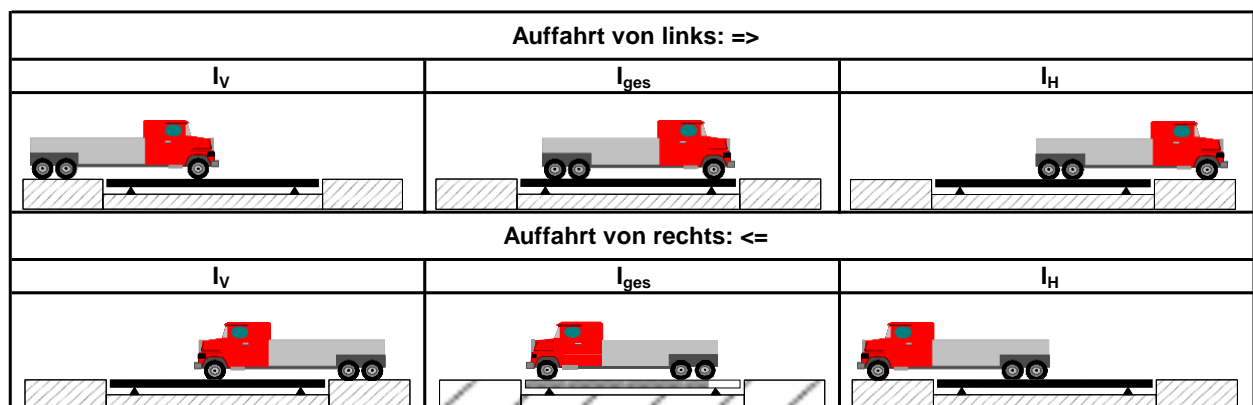
Max:

e =

Rollende Last: LKW Anhänger zweiachsig dreiachsig

Radstand: m

	Anzeige Achslast (analog) I_V / I_H	Summe der Achslasten $I_V + I_H$	Gesamtlast des Fahrzeugs I_{ges}	Unterschied $I_{ges} - (I_V + I_H)$	Fehlergrenze 2-EFG
1	2	3	4	5	6
Auffahrt von links					
Vorderachse I_V					
Hinterachse I_H (Achsgruppe)					
Fahrzeug wenden! Auffahrt von rechts					
Vorderachse I_V					
Hinterachse I_H (Achsgruppe)					



Die Waage ist für Achslastwägungen geeignet, Fehlergrenzen eingehalten: ja nein

Hinweisschild nach § 6 (4) EO erforderlich ja nein

Auszug aus Gesetzliches Messwesen – Prüfanweisung für nichtselbsttätige Waagen (GM–P 2.3 NSW) vom 23.11.2016

6.4 Prüfung einer Fahrzeugwaage auf Eignung für Achslastwägungen

Straßenfahrzeugwaagen, die nicht für Achslastwägungen geeignet sind, müssen mit einem entsprechenden Schild gekennzeichnet sein.

Bei Straßenfahrzeugwaagen, die für achsweises Wägen geeignet erscheinen, ist die Eignung durch eine Prüfung festzustellen.

Unter folgenden Voraussetzungen kann von der Eignung einer Waage für Achslastwägungen und nicht abgekuppeltes Wägen ausgegangen werden:

Die Zu- und Abfahrten der Waage müssen als gerade und waagerechte Beruhigungsstrecken ausgeführt sein und mit der Waagenbrücke auf einer Ebene liegen. Die Oberfläche und der Unterbau der Beruhigungsstrecken müssen hinreichend fest sein. Die Beruhigungsstrecken müssen mindestens gleich der Brückenlänge sein, ihre Länge braucht jedoch 8 m nicht zu überschreiten.

Ist diese Voraussetzung nicht gegeben, so ist vom Messgerätebesitzer in unmittelbarer Nähe der Waagenbrücke gut einsehbar ein Schild mit folgendem Text anzubringen:

“Achsweises und nicht abgekuppeltes Wägen ist ausnahmslos nicht gestattet. Beim Wägen von Lastzügen muss der Teil, der auf der Waagenbrücke steht, von dem anderen Teil abgekuppelt sein.”

Die Mindestschriftgröße beträgt 30 Millimeter.

Bestehen Zweifel an der Einhaltung der Fehlergrenzen, trotz gerade und waagrecht ausgeführter Beruhigungsstrecken, so ist die Eignung wie folgt zu prüfen:

Messtechnische Prüfung

Als Prüflast ist rollende Last zwischen 0,5 *Max* und 0,8 *Max* erforderlich. Die Prüfungen sind im Leerlauf und bei gelösten Bremsen durchzuführen.

- Auffahrt von der linken Seite
- Ermittlung der Analoganzeige bei Belastung der Waage mit der Vorderachse, dem gesamten Fahrzeug und der Hinterachse
- Wenden des Fahrzeuges
- Die identischen Prüfungen sind bei der Auffahrt von rechts zu wiederholen.

Der zulässige Unterschied zwischen der Gesamtlast und der jeweiligen Summe der Achslastwägungen dürfen das Doppelte der für die jeweilige Belastung geltenden Fehlergrenze nicht überschreiten.

Wird der zulässige Unterschied überschritten, so gilt die Waage als nicht geeignet zur Durchführung von Achslastwägungen und sie ist entsprechend zu kennzeichnen.

Impressum

Herausgeber:

Bundesvorstand der
Gewerkschaft Mess- und Eichwesen (BTE)
im dbb beamtenbund und tarifunion
Beethovenstraße 44 (Geschäftsstelle)
86438 Kissing
Telefon (08233) 60994
E-Mail: bte@bte.dbb.de
Internet: www.bte.dbb.de

BTE-Redaktion:

Lars Forche
(verantwortlicher Redakteur)
Auf der Höhe 4
50354 Hürth
Mobil: (0174) 9 1 6 31 96
E-Mail: redaktion@bte.dbb.de

Zusammengefasst durch Ewald Schmidt

Diese Version ersetzt die Ausgabe vom 30. Juli 2019.
