

Wolfgang Hugemann*, Horst Lehmann**

Die zeitpräzise Auswertung

von Diagrammscheiben

Analyse/Toleranzen/Versuche

Zusammenfassung

Der Aufsatz präsentiert die Ergebnisse einer im Auftrag von Mannesmann Kienzle durchgeführten Untersuchung, die sich mit den Toleranzen und deren Auswirkungen bei der zeitpräzisen Auswertung von Diagrammscheiben für die Unfallrekonstruktion befaßt. Die Vorgehensweise bei der zeitpräzisen Diagrammscheibenauswertung wird im Detail beschrieben. Die Toleranzen bei Aufzeichnung und Auswertung des Zeitverlaufs der Geschwindigkeit werden analysiert und in Fahrversuchen quantitativ eingegrenzt. Im Anschluß werden die Folgerungen für die praktische Verwertung solcher Auswertungen bei der Unfallrekonstruktion abgeleitet.

Summary

In behalf of Mannesmann Kienzle, the sources and effects of tolerances in the time-precise evaluation of tachograph charts were investigated. This paper first describes in detail the procedure of forensic chart evaluation. The tolerances during recording and evaluation of the vehicle driving speed are theoretically analysed and quantitatively delimited in driving experiments. Finally, the consequences on the exploitation of chart evaluations within the scope of accident reconstruction are pointed out.

1 Einführung

Bei der Rekonstruktion eines Verkehrsunfalles besteht eine der Hauptaufgaben darin, die Annährungsvorgänge der Unfallbeteiligten an die Unfallstelle zu rekonstruieren. Da die Fahrgeschwindigkeit eines Nutzfahrzeuges durch den eingebauten Tachographen über der Zeit erfaßt wird, liegt es nahe, sich die aufgezeichneten Informationen für die Rekonstruktion nutzbar zu machen. Bei einer Auswertung der Diagrammscheibe für solche Zwecke gilt es, nicht nur den Betrag der Fahrgeschwindigkeit, sondern auch deren zeitlichen Verlauf möglichst genau zu ermitteln. Es kommt also darauf an, einer im Aufschrieb abgegriffenen Geschwindigkeit einen präzisen Zeitpunkt zuzuordnen. Im Hinblick auf diese Aufgabenstellung wird im folgenden der Begriff *zeitpräzise Auswertung* im Gegensatz zur etwas geläufigeren Bezeichnung *Unfallauswertung* verwendet. Der Anspruch hoher zeitlicher Genauigkeit kann dabei selbstverständlich nur für Zeitangaben *relativ* zum Beginn des Auswertzeitraums erhoben werden. Absolute Zeitangaben sind nicht objektiv möglich, da die Uhrzeit manuell am Tachographen eingestellt wird.

Zu der Erkenntnis, daß Fahrtschreiber-Aufzeichnungen nicht nur für wirtschaftliche Zwecke, sondern auch für die Unfallrekonstruktion genutzt werden können, gelangte man bei Kienzle-Apparate (heute Mannesmann Kienzle) bereits Anfang der 50er Jahre. Für die zeitpräzise Auswertung war jedoch eine qualitativ hochwertige Aufzeichnung erforderlich, die hohe Ansprüche an die Präzision des Tachographen und die Oberflächenbeschaffenheit der Diagrammscheibe stellte. Obwohl der Gesetzgeber keine diesbezüglichen Forderungen erhob, wurden die entsprechenden Voraussetzungen durch die Fa. Kienzle geschaffen. Im Jahre 1953 wurde begonnen, ein Auswertverfahren unter Verwendung von Mikroskopen mit speziellen Meßeinrichtungen zu entwickeln. Diese Auswerteinrichtung hat im Laufe der Jahrzehnte stetige Verbesserungen erfahren. Als Ergebnis der Auswertung wurden Fahrgeschwindigkeit und zurückgelegte Fahrstrecke tabellarisch bzw. grafisch

über der ausgewerteten Fahrzeit aufgetragen und bei der Unfallrekonstruktion verwendet.

Mit der Weiterentwicklung des Fachgebietes »Unfallrekonstruktion« beschäftigte man sich bei Kienzle zunächst hausintern mit der durch mögliche Aufzeichnungs- und Auswertungsgenauigkeiten verursachten Bandbreite des Auswertergebnisses. Die diesbezüglichen Erkenntnisse konnten in Zweifelsfällen im Hause Kienzle von Unfallsachverständigen erfragt werden. Vor einigen Jahren entschloß man sich, derartige Rückfragen durch eine allgemein zugängliche Veröffentlichung [1] der Toleranzangaben überflüssig zu machen. Ergänzend wurde jeder Auswertung ein Merkblatt mit den entsprechenden Angaben beigelegt. Als weiterer Schritt in Richtung auf eine Verbesserung des Auswertergebnisses und seiner Einbeziehung in die Unfallrekonstruktion wurde in neuerer Zeit ein unabhängiges Ingenieurbüro damit beauftragt, die möglichen Fehlerquellen und -auswirkungen bei der zeitpräzisen Auswertung von Diagrammscheiben untersuchen und Vorschläge für die Einbeziehung der Toleranzen in die Darstellung des Auswertergebnisses zu erarbeiten [2]. Die dabei gewonnenen Erkenntnisse werden über diesen Aufsatz der Allgemeinheit zugänglich gemacht.

2 Arbeitsweise bei der Diagrammscheibenauswertung

Theoretisch wird die Geschwindigkeit auf der Diagrammscheibe in einem Polarkoordinatensystem aufgezeichnet, in dem der Radius dem Geschwindigkeitswert und der Drehwinkel der Zeit entspricht. Das Kernproblem der mikroskopischen Auswertung besteht in dem extremen Verhältnis der Maßstäbe für die beiden Koordinaten.

So entspricht 1 km/h einer Änderung des Radius' um 165 µm, während 1 s auf der 40 km/h-Umfangslinie nur etwa 3,4 µm entspricht. Die Breite des Aufzeichnungsstriches beträgt ca. 55 µm, bezogen auf den Zeitmaßstab der Diagrammscheibe also etwa 16 s oder, bezogen auf den Geschwindigkeitsmaßstab etwa 1/3 km/h. Sieht man (der glatten Werte wegen) eine Beschleunigung bzw. Abbremsung von 10 km/h pro Sekunde ($= 2,8 \text{ m/s}^2$) als charakteristisch für Fahrvorgänge an, so läßt sich die zugehörige Steigung der Aufzeichnungslinie anhand der Maßstäbe zu 1 : 500 berechnen.

Aufgrund des extremen Verhältnisses der Maßstäbe haben selbst die geringen Fertigungstoleranzen bezüglich der exakt radialen Führung des Schreibstiftes nicht zu vernachlässigende Abweichungen bei der zeitlichen Zuordnung der Geschwindigkeitswerte zur Folge. Auch die geringen Abweichungen, die sich zwischen dem Drehmittelpunkt der Scheibe im Fahrtschreiber und im Auswertgerät einstellen, haben Einfluß auf die Auswertung.

Um die tatsächliche Richtung der Geschwindigkeitsaufzeichnung zu charakterisieren, wurde die Modellvorstellung der sogenannten *Leitlinie* entwickelt. Dabei handelt es sich um diejenige gedachte Linie, die der Geschwindigkeitsschreibstift bei unendlich großer Beschleunigung zeichnen würde, oder, präziser formuliert, diejenige Linie, die bei der im Auswertgerät eingespannten Diagrammscheibe eine unendliche Beschleunigung repräsentiert. (Beide Richtungen sind aufgrund des *Exzentrizitätsfehlers* vgl. [3] nicht notgedrungen identisch). Die Ermittlung dieser Leitlinie steht jeweils am Anfang einer zeitpräzisen Diagrammscheibenauswertung. Es ist wichtig festzuhalten, daß es sich bei der Leitlinie um eine *gedachte Linie* handelt, deren genaue Lage nicht objektiv zu ermitteln ist.

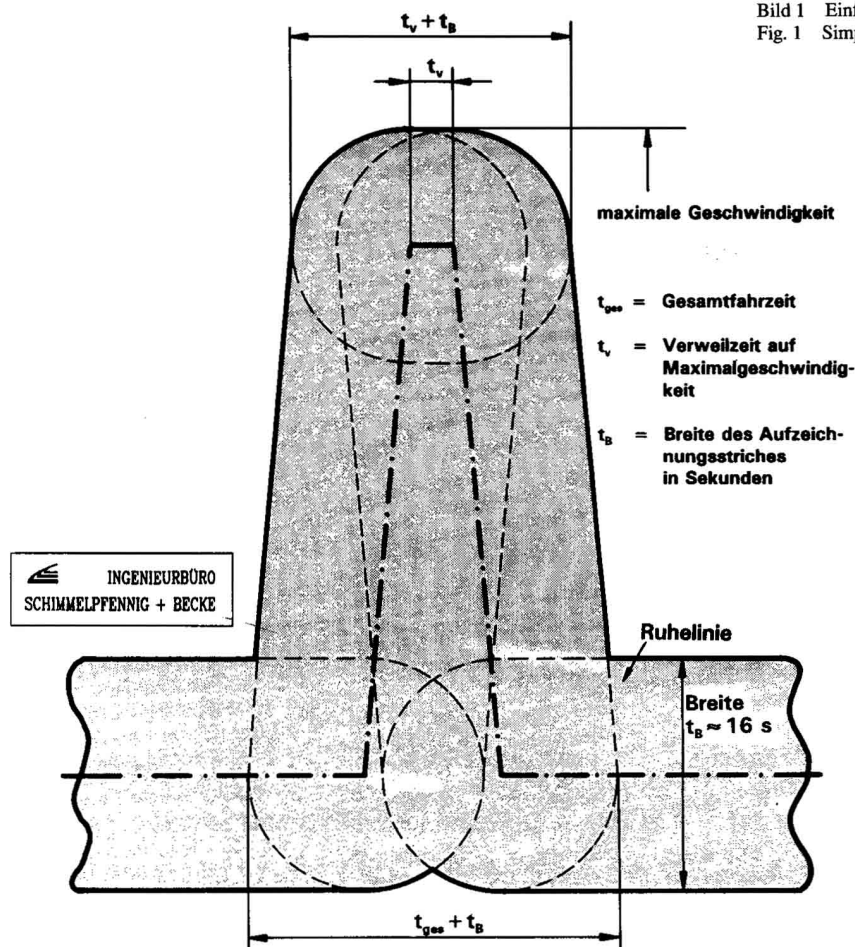
In der mikroskopischen Auswertvorrichtung wird die Leitlinie durch eine Fadenlinie von ca. 3 µm ($= 1 \text{ s}$) Breite repräsentiert. Die Winkellage dieser Fadenlinie gegenüber der radialen Richtung ist durch eine mikromechanische Verstellrichtung veränderbar. Zu Beginn der Auswertung werden zunächst die vor dem eigentlichen Auswertzeitraum liegenden Start- und Stoppvorgänge ausgewertet. Dabei wird die Lage der Fadenlinie als realer Leitlinie iterativ solange verändert, bis sich für sämtliche Anfahr- und Bremsvorgänge plausible Beschleunigungswerte ergeben. Die solchermaßen bestimmte Leitlinie bildet die Grundlage für die Auswertung im unfallrelevanten Bereich.

Bei der zeitpräzisen Auswertung werden dann sukzessive die Geschwindigkeit-Zeit-Koordinatenpaare für eine Auswahl markanter Punkte auf der Diagrammscheibe ermittelt. Dazu wird der Drehteller des Auswertgerätes so lange bewegt, bis die Fadenlinie die entsprechende Stelle

*Dipl.-Ing. Wolfgang Hugemann, Mitarbeiter im Ingenieurbüro Schimmelpfennig + Becke, Münsterstraße 101, 48155 Münster-Wolbeck

**Horst Lehmann, Leiter der Diagrammscheibenauswertung, Mannesmann Kienzle GmbH, Postfach 16 40, 78006 Villingen-Schwenningen

Bild 1 Einfach überlagerte Aufzeichnung auf einer Diagrammscheibe
Fig. 1 Simple overlapped recording on a tachograph chart



des Aufschriebs schneidet. Der Verdrehwinkel ist direkt proportional zur verstrichenen Zeit; der Geschwindigkeitswert kann über die Skalierung der Diagrammscheibe ermittelt werden. Die Beschreibung der vorgehensweise zeigt, daß es sich bei der Zeitmessung innerhalb des Auswertzeitraums um eine Absolutmessung handelt. In der tabellarischen Darstellung des Auswertergebnisses werden derzeit hingegen die Zeitabstände zwischen den Stützpunkten angegeben. Diese Angabe stellt bereits ein weiterverarbeitetes Ergebnis der eigentlichen Auswertung dar.

Die obigen Ausführungen zur Strichstärke der Aufzeichnung machen deutlich, daß der Geschwindigkeitsmeßschieb nicht im üblichen Sinne als Funktionsverlauf im (modifizierten) Polarkoordinatensystem aufgefaßt werden kann. In einem gewöhnlichen Koordinatensystem stellt der dargestellte Kurvenverlauf eine akzeptable Annäherung an das mathematische Konzept der Linie als eindeutiger Zuordnung zwischen den beiden Koordinaten dar. Bei einem Aufzeichnungsstrich, dessen Breite das 16fache einer der beiden Koordinateneinheiten darstellt, muß man sich hingegen besonderer Hilfsmittel bedienen.

Die Lösung besteht darin, daß im Aufzeichnungsschrieb nach besseren Annäherungen an das Idealbild der Linie gesucht wird. Hierzu gibt es zwei Möglichkeiten. Im Rahmen einer üblichen Auswertung orientiert man sich an der Hell-dunkel-Grenze an einem der beiden Ränder des Aufzeichnungsstriches. In der Wahl zwischen »linkem« und »rechten« Rand¹ ist man dabei im Prinzip frei.

Bei einem Vorzeichenwechsel der Beschleunigung treten, wenn die Verweilzeit auf konstanter Geschwindigkeit kleiner als die Strichstärke ist, überlagerte Aufzeichnungen auf, Bild 1. Bei dem dargestellten Start-Stopp-Vorgang⁴ sind die »rechte« Flanke des ansteigenden Aufzeichnungsstriches und die »linke« Flanke des absteigenden Aufzeichnungsstriches nicht zu erkennen. Am Scheitelpunkt der Aufzeichnung (bei der höchsten Fahrgeschwindigkeit) muß deshalb die Bezugsflanke auf die jeweils freistehende Flanke gewechselt werden. Im folgenden soll diese Art der Auswertung deshalb als *Flankenverfahren* bezeichnet werden. Die Verweildauer auf der Maximalgeschwindigkeit ergibt sich, indem

man von dem dort ermittelten Abstand zwischen beiden Flanken die an anderer Stelle bestimmte Strichstärke der Aufzeichnung subtrahiert. Findet innerhalb des der Strichstärke entsprechenden Zeitraumes mehr als ein Vorzeichenwechsel statt, Bild 2, so sind beide Flanken des betreffenden Aufzeichnungsstriches nicht zu erkennen. Für die Auswertung derartiger Teilverläufe der Geschwindigkeit ist das Flankenverfahren somit nicht anwendbar. In einem solchen Fall wird auf das *Auflichtverfahren* gewechselt, vgl. [1]. Der Verfahrensgedanke besteht darin, die idealisierte Aufzeichnungslinie durch eine genauer bestimmte »Mitte« des Aufzeichnungsstriches anzunähern. Das Auflichtverfahren bedient sich hierbei des dreidimensionalen Verlaufs der Aufzeichnungsmulde als zusätzlicher Information. Bei Beleuchtung direkt von oben erfolgt die gerichtete Reflektion des einfallenden Lichts zum Auge des Betrachters bevorzugt von der Mitte der Aufzeichnungsmulde. Der Aufzeichnungsstrich wirkt dadurch in der Mitte deutlich heller, weshalb es leichter fällt, das Zentrum zu lokalisieren. Beim Wechsel zwischen Auflicht- und Flankenverfahren wird der Zeitversatz zwischen den Bezugspunkten in Höhe der halben Strichbreite (= ca. 8 s) berücksichtigt.

Die mechanisch-optische Auswerteeinrichtung läßt es zu, Zeitwerte etwa im 0,5 s-Abstand abzulesen. Bei der Auswertung wird der Zeitverlauf der Geschwindigkeit durch einen Polygonzug angenähert. Die Wahl der Stützstellen dieses Polygonzuges ist in das Ermessen des Auswerters gestellt. Die ermittelten Zeitpunkte werden für die Präsentation des Auswertergebnisses jeweils auf volle Sekunden gerundet, um nicht durch die Angabe einer Nachkommastelle ungewollt eine zu große Genauigkeit vorzutäuschen.

Sämtliche Fahrschreiber und EG-Kontrollgeräte haben eine Ansprechschwelle für die angezeigte Geschwindigkeit; bei Geschwindigkeiten, die unterhalb dieser Ansprechschwelle liegen, verharrt der Geschwindigkeitsschreibstift auf dem *Ruhekreis* (auch als Ruhelinie bezeichnet). Der Geschwindigkeitswert an der Ansprechschwelle des Gerätes ist vom Meßbereich des Fahrschreibers abhängig [4]. Der Ruhekreis besitzt eine definierte Normallage; er muß die äußeren Enden

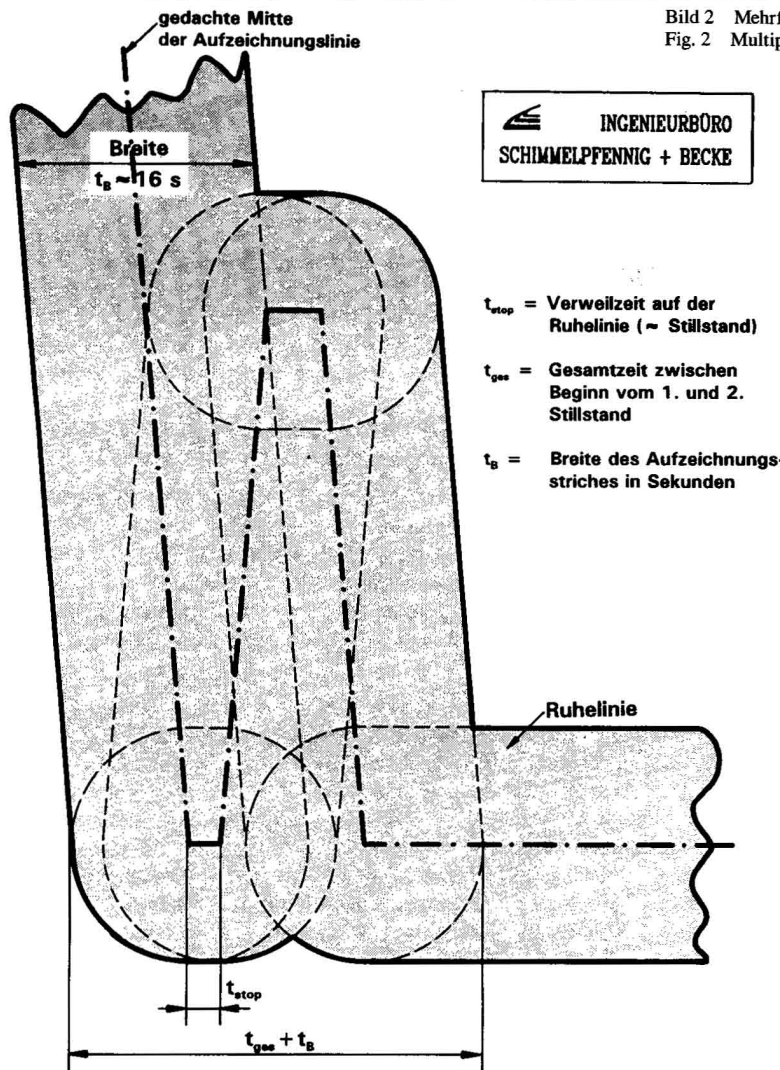


Bild 2 Mehrfach überlagerte Aufzeichnung auf einer Diagrammscheibe
Fig. 2 Multiple overlapped recording on a tachograph chart

der Striche der Zeitskala gerade berühren. Innerhalb des Aufzeichnungsbereiches ist die Auslenkung des Geschwindigkeitsschreibstiftes linear proportional zur Fahrgeschwindigkeit; die Diagrammscheibe ist in gleichmäßigen Abständen durch konzentrische Kreise im 20 km/h-Abstand skaliert. Der Abstand zwischen dem genormten Ruhekreis und dem 20 km/h-Kreis ist genau um die Ansprechschwelle kleiner als der Abstand zwischen den übrigen Einteilungen. Weicht der Ruhekreis der Aufzeichnung von der Normallage ab, so läßt sich der Offset im Rahmen einer präzisen Auswertung direkt ermitteln und der damit verbundene Fehler eliminieren.

Fahrvorgänge unterhalb der Ansprechschwelle entziehen sich einer exakten Rekonstruktion. Der Zeitwert zu einem eventuellen Stillstand des Fahrzeugs wird dergestalt ermittelt, daß man den Verlauf der Geschwindigkeitslinie bei Aus- bzw. Eintritt in die Ansprechschwelle mittels des aktuellen Beschleunigungswertes auf die Nulllinie extrapoliert. Der so ermittelte Zeitwert wird derzeit ebenfalls auf volle Sekunden gerundet und anstelle des eigentlich auf der Ruhelinie ermittelten Meßwertes in das Auswerteergebnis eingetragen. Sowohl in der tabellarischen Darstellung des Ergebnisses als auch in der zugehörigen grafischen Darstellung findet sich der tatsächlich nachgemessene Eintrittspunkt in die Ruhelinie dann nicht mehr.

Längere Fahrten mit Geschwindigkeiten unterhalb der Ansprechschwelle des Gerätes könnten unter bestimmten Bedingungen anhand der Wegstreckenaufzeichnung und bei älteren Geräten auch anhand des Zeitgruppenschriebs erkannt werden. Der Kreisring, in dem die Wegstrecke in 5 km/h-Raster aufgezeichnet wird, ist exakt 5 mm breit, so daß 1 m Fahrstrecke 1 µm im Wegstreckenschrieb entspricht. Eine Fahrstrecke von 40 m entspricht damit etwa der Breite des Aufzeichnungstriches. Liegt vor und nach der Schleichfahrt eine längere Stillstandszeit, so läßt sich die geringfügige Veränderung im Radius der Aufzeichnung erkennen.

Bei Fahrtschreibern älterer Bauart wird der Schreibstift des Zeitgruppenschriebs mechanisch durch die Tachowelle angetrieben. Eine Auf- bzw. Abwärtsbewegung des Schreibstiftes entspricht dann einer Fahrstrecke von ca. 40 m. Obwohl die Breite des Zeitgruppenschriebs bei diesem Fahrtschreibertyp lediglich 0,5 mm beträgt, liegt beim Zeitgruppenschrieb damit ein etwa 10fach größerer Maßstab als bei der Wegstreckenaufzeichnung vor. Entsprechend einfacher ist es, Schleichfahrten anhand des Zeitgruppenschriebs festzustellen und die Wegstrecke zu quantifizieren.

Bei den elektronischen EG-Kontrollgeräten (Automatikgeräten) erfolgt die Auf- und Abwärtsbewegung des Schreibstiftes im Zeitgruppenschrieb in einem festen Zeitraster, sobald sich das Fahrzeug in Bewegung befindet. Aus dem Zeitgruppenschrieb läßt sich bei neueren Geräten demnach unmittelbar allenfalls die Fahrzeit, nicht jedoch die Fahrstrecke ermitteln.

3 Toleranzen

Bei dem Versuch, die verschiedenen Fehlereinflüsse in eine logische Struktur einzuordnen, bietet es sich zunächst an, zwischen Abweichungen, die bereits bei der *Aufzeichnung* im Registriergerät entstehen und solchen, die bei der eigentlichen *Auswertung* der Diagrammscheibe entstehen, zu unterscheiden. Es ergibt sich folgende Einteilung:

- Abweichungen bei der Aufzeichnung
 - Ansprechschwelle
 - Fehl Anzeige der Geschwindigkeit
 - Unregelmäßigkeiten in der Registrierschicht
- Abweichungen bei der Auswertung
 - Annäherung der idealen Leitlinie durch die reale Fadenlinie
 - Ablesungenauigkeit

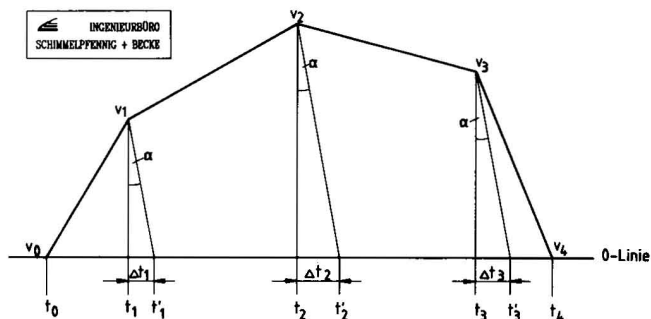


Bild 3 Auswirkung einer Fehllage der Leitlinie auf die zeitliche Zuordnung
Fig. 3 Error in time-assignment due to a misfitted guideline



Bild 4 Versuchsaufbau und Meßwerterfassung bei den Versuchsfahrten
Fig. 4 Test vehicle and measuring equipment for the driving experiments

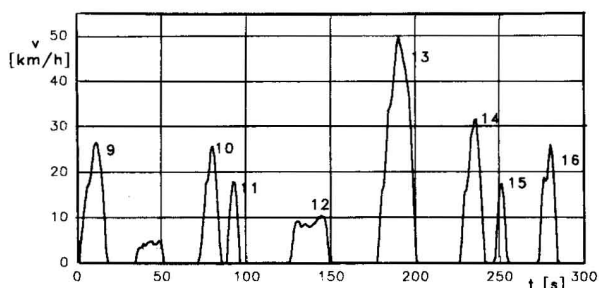


Bild 5 Zeitlicher Verlauf der Geschwindigkeit während der zweiten Meßfahrt
Fig. 5 Time-dependent course of velocity during the second driving experiment

- Wechsel der Bezugslinie
- Wechsel zwischen linker und rechter Flanke des Aufschriebs
- Wechsel zwischen Flanken- und Auflichtverfahren.

Auffällig ist, daß sämtliche bereits bei der Aufzeichnung entstehende Abweichungen die Geschwindigkeitskoordinate betreffen, während die bei der Auswertung verursachten Fehler ausschließlich die Zeitkoordinate betreffen. (Eine Ausnahme bilden die Unregelmäßigkeiten in der Registrierschicht, die in Abschnitt 3.2.3 erläutert werden). Neben dieser Einteilung nach Fehlerursachen läßt sich auch eine Einteilung nach Fehlereigenschaften vornehmen. Es lassen sich folgende Kategorien unterscheiden:

- stochastische Fehler
- systematische Fehler
- prinzipielle Beschränkungen der Erkenntnismöglichkeit.

So verursacht beispielsweise die begrenzte Ablesegenauigkeit in Verbindung mit der Rundung auf volle Sekundenwerte einen im Vorzeichen wechselnden, stochastischen Fehler. Eine Fehlanzeige der Geschwin-

digkeit im Aufzeichnungsgerät ist demgegenüber den systematischen, sich stets in gleicher Weise wiederholenden Fehlern zuzurechnen. Daneben gibt es prinzipielle Beschränkungen der Erkenntnismöglichkeit, beispielsweise was Fahrvorgänge unterhalb der Ansprechschwelle betrifft.

In den folgenden Unterabschnitten werden die einzelnen Ursachen für mögliche Abweichungen genauer analysiert. Die Einteilung erfolgt grob nach Weg- und Zeitkoordinate.

3.1 Toleranzen bei der Geschwindigkeitsanzeige

Die EG-Vorschriften [5], [1] unterscheiden bei der Angabe der Gerätetoleranz zwischen folgenden Randbedingungen:

- Gerätefehler im Prüfstandsversuch vor dem Einbau in das Fahrzeug
- Geschwindigkeits-Fehlanzeige unmittelbar nach dem Einbau in das Fahrzeug
- Fehlanzeige während des Fahrbetriebes im Zeitraum zwischen den zweijährigen Überprüfungen gem. § 57 b StVZO.

Diese Einteilung korrespondiert mit den verschiedenen Ursachen für mögliche Abweichungen:

- Fehlanzeige des eigentlichen Fahrschreibers bzw. Kontrollgerätes
- Ungenauigkeit bei der Abstimmung zwischen der Wegdrehzahl am Getriebeausgang und der im Gerät eingestellten Wegdrehzahl
- Veränderungen des Halbbrollmessers der Reifen.

Vergegenwärtigt man sich das Funktionsprinzip moderner elektronischer Kontrollgeräte, so ist davon auszugehen, daß der Zusammenhang zwischen eingespeister Impulsfrequenz und der Auslenkung der Geschwindigkeitsnadel durch den Stellmotor linear und hochgenau einstellbar ist. Die von uns im Rahmen der Versuchsdurchführung veranlaßte Überprüfung des verwendeten Kontrollgerätes ergab deshalb auch erwartungsgemäß, daß die Fehlanzeige der Geschwindigkeit unterhalb der Nachweisgrenze lag. Lediglich eine Fehleinstellung des Ruhekreises der Aufzeichnung kann weiterhin einen konstanten Offset verursachen, der allerdings im Rahmen einer zeitpräzisen Auswertung korrigiert wird. Bei älteren Fahrschreibern, die noch nach dem Wirbelstromprinzip arbeiten (und heute vom Aussterben bedroht sind), sind demgegenüber größere, auch nichtlineare Abweichungen bei der Geschwindigkeitsanzeige zu berücksichtigen.

War die Abstimmung zwischen der Wegdrehzahl des Fahrschreibers und der Wegdrehzahl am Getriebeausgang des Fahrzeugs früher unter Verwendung mechanischer Getriebe nur in festen Schritten möglich, so können moderne elektronische Kontrollgeräte intern hochgenau auf die Wegdrehzahl am Getriebeausgang eingestellt werden. Die beiden erstgenannten Fehlerursachen spielen deshalb bei elektronischen Kontrollgeräten praktisch keine Rolle mehr.

Bei der Veränderung des Reifenhalbbrollmessers sind nur die quasistatischen Einflüsse, wie veränderliche Profiltiefe, wechselnde Beladung und falsch eingestellter Luftdruck, zu berücksichtigen. Die dynamische Veränderung des Abrollumfangs, beispielsweise verursacht durch Aufstellkräfte (Fliehkräfte) und Veränderungen der Reifenaufstandskräfte ist demgegenüber vernachlässigbar klein.

Sowohl eine falsch eingestellte Wegdrehzahl als auch eine Veränderung des Reifenhalbbmessers verursachen geschwindigkeitsproportionale Meßfehler. So beträgt beispielsweise der Abrollumfang eines abgefahrenen Reifens einen konstanten Bruchteil des Abrollumfangs eines Neureifens, so daß sich die Geschwindigkeitsanzeige um den entsprechenden Bruchteil erhöht. Auch bei älteren mechanischen Geräten stellt das Verhältnis zwischen Wegdrehzahl am Ausgang des Antriebsgetriebes und der im Fahrschreiber eingestellten Wegdrehzahl einen festen Wert dar, der einen rein geschwindigkeitsproportionalen Meßfehler verursacht. Bei modernen elektronischen Kontrollgeräten sind demnach sämtliche Abweichungen der angezeigten Geschwindigkeit von der tatsächlichen rein geschwindigkeitsproportional, die absolute Abweichung Δv ist also proportional zur Fahrgeschwindigkeit v

$$\Delta v = c_v \cdot v. \quad (1)$$

Bei nach dem Wirbelstromprinzip arbeitenden Fahrschreibern müssen zusätzlich zur geschwindigkeitsproportionalen Abweichung auch nichtlineare Effekte berücksichtigt werden, die über eine Absolutangabe Δv_{nl} eingegrenzt werden können, also etwa

$$\Delta v = c_v \cdot v \pm \Delta v_{nl}. \quad (2)$$

Referenzschrieb					Diagrammscheiben- auswertung			Abweichung		
Fahrt Nr.	Max. Geschw. $v_{\max}$ [km/h]	Fahr- zeit [s]	Stillstand [s]	Strecke [m]	Max. Geschw. $v_{\max}$ [km/h]	Fahr- zeit [s]	Strecke [m]	Max. Geschw. $v_{\max}$ [km/h]	Fahr- zeit [s]	Strecke [m]
1	28.3	13.0	35.7	67.9	28	13	68	-0.3	0	0.1
2	33.4	12.6		77.7	33	13	73	-0.4	0.4	-4.7
3	8.5	5.7	26.5	12.0	8	5	10	-0.5	-0.7	-2.0
4	28.9	15.0	18.4	77.5	28	14	73	-0.9	1.0	-4.5
5	34.2	13.1	25.0	78.5	34	12	75	-0.2	-1.1	-3.5
6	24.5	7.1	10.6 ²	34.1	24	9	42	-0.5	1.9	7.9
1	7.5	-	48.9	30.7	-	-	-	-	-	-
7	16.4	15.3	21.3	54.6	16	12	45	-0.4	-3.3	-9.6
8	31.9	10.7		61.6	31	11	60	-0.9	0.3	-1.6
9	26.7	13.7	57.3	72.8	26	13	68	-0.7	-0.7	-4.8
1	5.0	-		18.0	-	-	-	-	-	-
10	25.7	9.9		46.4	25	13	65	-0.7	3.1	18.6
11	17.8	6.0	5.5 ²	23.9	18	10	41	0.2	4.0	17.1
12	10.4	19.6	32.6	47.6	11	20	54	0.6	0.4	6.4
13	50.2	21.0	31.2	195.3	49	23	193	-1.2	2.0	-2.3
14	32.0	12.3	28.2	74.1	32	14	81	0.0	1.7	6.9
15	17.4	5.4	8.1 ²	20.8	17	11	43	-0.4	5.6	22.2
16	26.1	9.6	20.5	49.1	26	11	54	-0.1	1.4	4.9

- 1 Schleichfahrt unterhalb der Ansprechgeschwindigkeit
In der 5. Spalte ist in diesem Fall die Gesamtfahrstrecke angegeben
- 2 Stillstandszeit kleiner als die Strichstärke

Bild 6 Maximalgeschwindigkeit sowie Gesamtfahrzeit und -strecke im Vergleich zwischen Referenzschrieb und Diagrammscheibenauswertung
Fig. 6 Maximum speed and overall driving-time and -distance in comparison between reference graph and tachograph chart evaluation

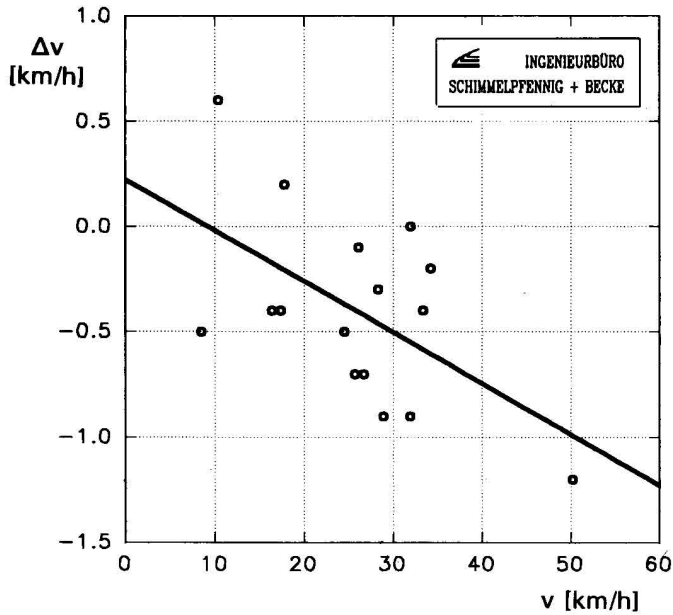


Bild 7 Abweichung der ausgewerteten von der tatsächlichen Maximalgeschwindigkeit
Fig. 7 Difference between evaluated and actual maximum driving speed

3.2 Toleranzen im Zeitbezug

3.2.1 Ableseungenauigkeit

Aufgrund der geometrischen Verhältnisse – die Breite des Aufzeichnungsstrichs beträgt 16 s, die der Fadenlinie knapp 1 s – kann der Schnittpunkt zwischen der Fadenlinie und der Bezugslinie (Mitte oder Flanke des Aufzeichnungsstrichs) nur mit beschränkter Genauigkeit abgelesen werden. Diese Unsicherheit bei der Ermittlung des Zeitbezugs ergibt sich für jeden Bezugspunkt aufs neue. Der Ablesefehler ist seinem Wesen nach stochastisch, kann also sein Vorzeichen von Stützstelle zu Stützstelle wechseln. Die in Abschnitt 2 beschriebene Vorgehensweise bei der Auswertung legt jedoch die Vermutung nahe, daß der Ablesefehler insbesondere bei zeitlich dicht beieinander liegenden Stützstellen korreliert ist⁵. Quantitative Angaben zur Korrelation lassen sich jedoch auf theoretischem Wege nicht ableiten. Beim Auflichtverfahren ist der Ablesefehler aufgrund der unschärferen Bezugslinie größer als beim Flankenverfahren.

3.2.2 Wechsel der Bezugslinie

Ist man infolge einfach überlagerter Aufzeichnungen gezwungen, zwischen linker und rechter Flanke des Aufzeichnungsstrichs zu wechseln, so wird ein Zeitversatz in Höhe des der Strichstärke entsprechenden Zeitraums (16 s) berücksichtigt. Dieser Zeitversatz beträgt ein Vielfaches der angestrebten Auswertegenauigkeit, so daß bereits prozentual kleine Abweichungen von der unterstellten Strichstärke zu einer Verschiebung des Zeitbezugs führen. Weicht die tatsächliche Strichstärke z.B. um 7% von der unterstellten ab, so ergibt sich bereits eine zeitliche

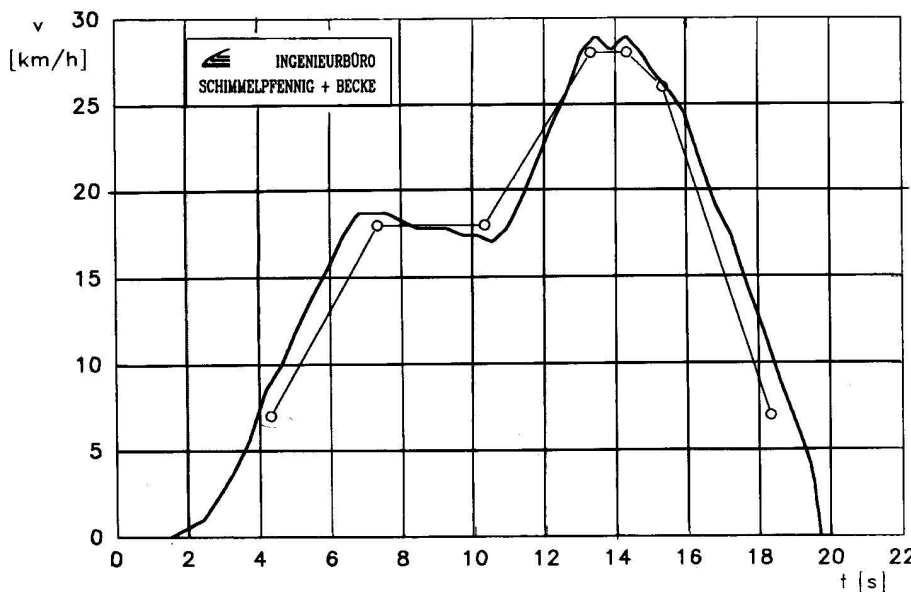


Bild 8 Vergleich von Referenzschrieb und Diagrammscheibenauswertung für die Fahrt Nr. 4

Fig. 8 Comparison between reference graph and tachographic chart evaluation for vehicle movement No. 4

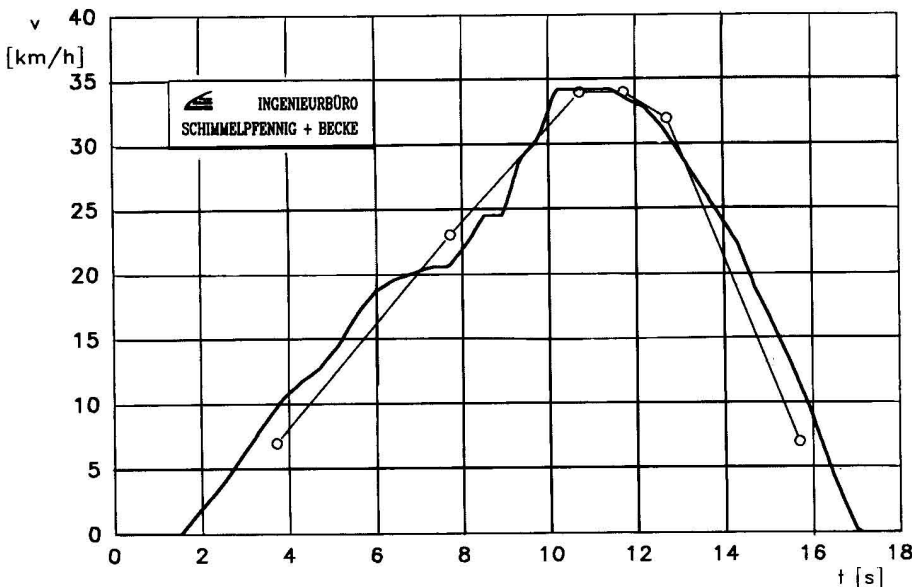


Bild 9 Vergleich von Referenzschrieb und Diagrammscheibenauswertung für die Fahrt Nr. 5

Fig. 9 Comparison between reference graph and tachographic chart evaluation for vehicle movement No. 5

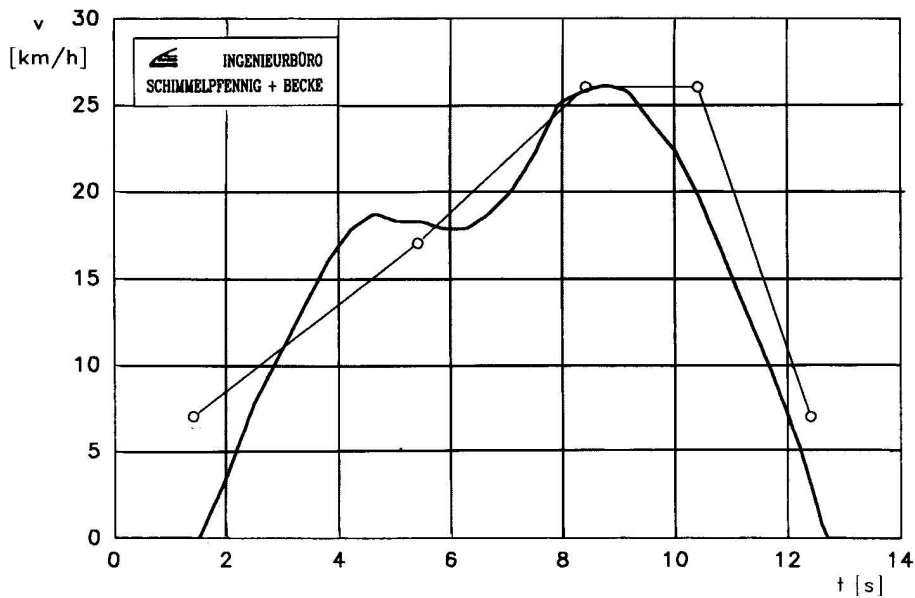


Bild 10 Vergleich von Referenzschrieb und Diagrammscheibenauswertung für die Fahrt Nr. 16

Fig. 10 Comparison between reference graph and tachographic chart evaluation for vehicle movement No. 16

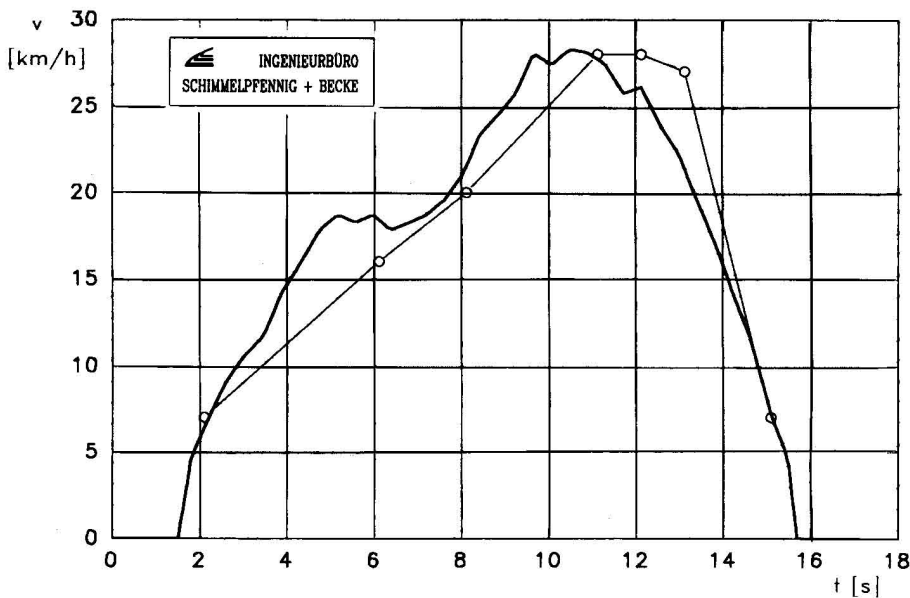


Bild 11 Vergleich von Referenzschrieb und Diagrammscheibenauswertung für die Fahrt Nr. 1

Fig. 11 Comparison between reference graph and tachographic chart evaluation for vehicle movement No. 1

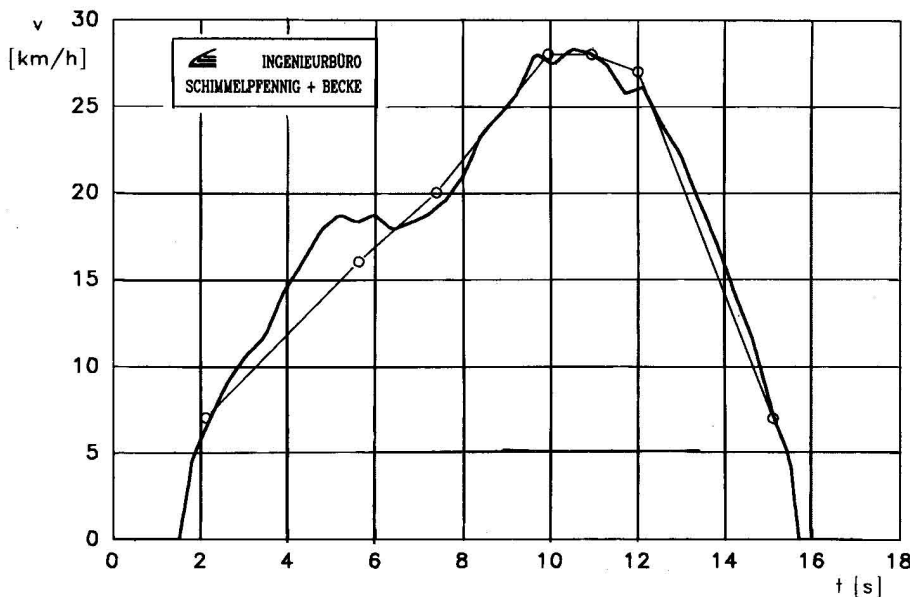


Bild 12 Ausgleich der Fehllage der Leitlinie durch Scherung

Fig. 12 Compensation of a misfitted guideline by shearing

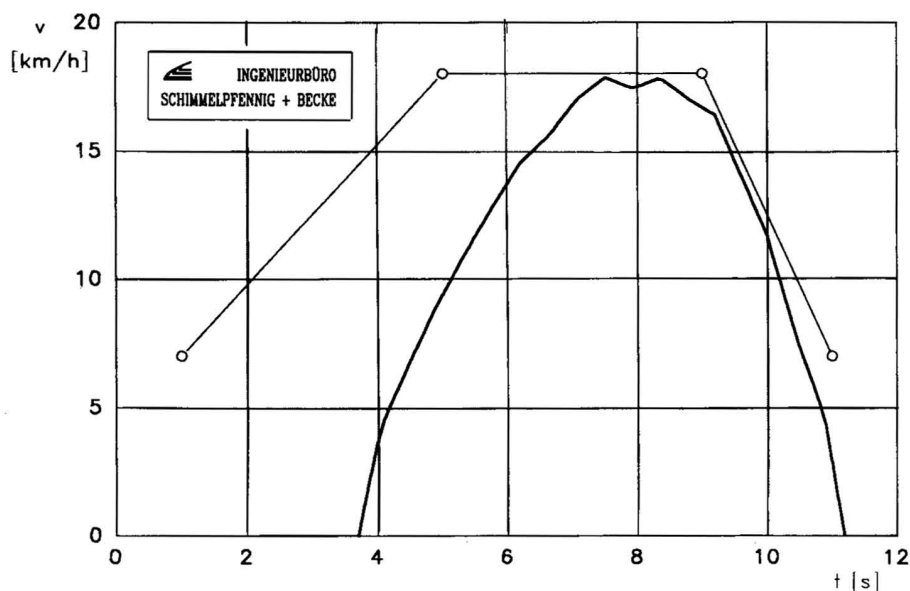


Bild 13 Vergleich von Referenzschieb und Diagrammscheiben-
auswertung für die zweite Teilfahrt der Doppelfahrt
Nr. 10/11

Fig. 13 Comparison between reference graph and tachographic
chart evaluation for the second motion in vehicle double
movement No. 10/11

Verschiebung von 1 s in der Auswertung. Entsprechendes gilt für den Wechsel zwischen Flanken- und Auflichtverfahren, wobei der Zeitversatz zwischen den Bezugslinien in diesem Fall nur der halben Strichstärke entspricht.

3.2.3 Unregelmäßigkeiten in der Registrierschicht

Im Idealfall weist die Registrierschicht der Diagrammscheibe auf der gesamten Aufzeichnungsfläche eine gleichbleibende Zähigkeit auf. Tatsächlich gibt es jedoch, speziell bei preisgünstigen Diagrammscheiben, gelegentlich Inhomogenitäten in der Registrierschicht. Lokale Verhärtungen des Materials können dann dazu führen, daß der Schreibstift in Richtung des weichen Materials abgelenkt wird, so daß der Zeitverlauf gestört ist. In den meisten Fällen werden derartige künstliche Schwankungen des Geschwindigkeitsschriebes als solche erkannt und in der Auswertung unterdrückt.

Bei minderwertigen Diagrammscheiben ist zudem der Rand des Aufzeichnungsstrichs stark »ausgefranst«, da das spröde Material an den Rädern sozusagen »wegbricht«. In diesen Fällen ist die Hell-dunkel-Grenze nicht so exakt definiert wie bei einwandfreien Aufzeichnungen, so daß sich größere Ablesefehler einstellen. Die Registrierschicht der früher in der DDR hergestellten Diagrammscheiben ist bspw. von derart schlechter Qualität, daß sich solche Diagrammscheiben nicht für zeitpräzise Auswertungen eignen.

3.2.4 Fehllage der Leitlinie

Die ideale Leitlinie repräsentiert eine gedachte Linie unendlich großer Beschleunigung. Über das im Abschnitt 2 beschriebene Verfahren versucht man, die ideale Leitlinie durch eine reale Leitlinie (Fadenlinie), deren Lage einen möglichst hohen Beschleunigungswert repräsentiert, anzunähern. Die Güte einer realen Leitlinie kann damit sehr plastisch durch den Beschleunigungswert, den sie repräsentiert, charakterisiert werden. Eine Fehllage der Leitlinie um 2' (zwei Winkelminuten = 1/30°) entspricht beispielsweise einer Beschleunigung von etwa 10 m/s².

Da der Drehmittelpunkt der Scheibe im Auswertegerät nicht mit dem Drehmittelpunkt der Scheibe während der Aufzeichnung im Kontrollgerät übereinstimmt, ergibt sich bei der Auswertung zusätzlich ein Exzentrizitätsfehler [3]. Dieser führt dazu, daß sich die Orientierung der idealen Leitlinie mit der Zeit verändert. Der Effekt spielt für Auswertungen im Sekundenmaßstab nur in Ausnahmefällen eine Rolle. Es kann deshalb davon ausgegangen werden, daß zwischen der ermittelten Leitlinie und der idealen Leitlinie ein fester Winkel α vorliegt. Dieser Winkel kann ebenso über eine charakteristische Beschleunigung a_c bezeichnet werden. In diesem Fall ergibt sich ein geschwindigkeitsproportionaler Fehler im Zeitbezug, Bild 3,

$$\Delta t_i = \tan \alpha \cdot v_i = \frac{v_i}{a_c} \quad (3)$$

Für den gesamten Fahrvorgang zwischen den Stützstellen »0« bis »n« ergibt sich

$$\Delta t = \frac{v_n - v_o}{a_c} \quad (4)$$

Fortsetzung folgt