

6.6 Auswertung von Fahrtschreiberdaten

Das EG-Kontrollgerät (so die offizielle Bezeichnung) gemäß EG-Verordnung 3820/85 sollte eigentlich nur die Überwachung arbeitsrechtlicher Bestimmungen erleichtern [A1]. Es wurde allerdings schon früh zur Ahndung von Verkehrsverstößen «missbraucht», eine Vorgehensweise, die 1991 in Deutschland höchstrichterlichen Segen fand [O1]. Auch die Auswertung von Fahrtschreiberdaten im Zusammenhang mit Verkehrsunfällen ist in Deutschland spätestens seit den 1950er Jahren geübte Praxis [L1].

Weil der Fahrtschreiber (und nicht Fahrtschreiber, wie häufig fälschlich zu lesen ist) offiziell einzig der Überwachung arbeitsrechtlicher Bestimmungen dient, ist längst nicht jedes Nutzfahrzeug mit einem solchen Gerät ausgestattet. Es gibt eine Reihe von Ausnahmen, so etwa bei Fahrzeugen, die zur Personenbeförderung im Linienverkehr dienen, wenn die Linienstrecke nicht mehr als 50 km beträgt. Davon sind insbesondere Straßenbahnen betroffen, die derzeit allenfalls einen Restwegschreiber besitzen, der dann einzig der Unfallrekonstruktion dient und die Fahrdaten, ähnlich wie der UDS, zyklisch überschreibt.

Obwohl derzeit noch keine Erfahrungen bezüglich der Unfallauswertung bei den 2006 neu eingeführten digitalen Kontrollgeräten vorliegen, ist der vorliegende Text so abgefasst, dass viele der dargelegten Konzepte auch auf komplett digitale Auswertungen zu übertragen sind. Andererseits sind nur Neufahrzeuge seit Mitte 2006 verbindlich mit einem elektronischen Fahrtschreiber ausgestattet, sodass die Auswertung von Diagrammscheiben sicher noch zehn Jahre lang Thema bleiben wird, bevor sich die letzten Altfahrzeuge überlebt haben. Im erweiterten Sinne kann man unter «Fahrtschreiber» jedes Gerät verstehen, das komplette Fahrdaten über einen längeren Zeitraum dauerhaft aufzeichnet, also etwa auch Fahrtabrechnungssysteme auf Basis von GPS.

Die Auswertung von Fahrtschreiberdaten kann in sehr verschiedener Absicht erfolgen:

- Überwachung von Lenk- und Ruhezeiten
- Nachweis überhöhter Geschwindigkeit
- Nachweis von Manipulationen am Gerät
- Routenverfolgung
- Lokalisation des Kollisionsorts, besonders auf Autobahnen
- Rekonstruktion der Weg-Zeit-Zusammenhänge beim Unfall.

Mit dem erstgenannten Punkt hat der Unfallanalytiker i.d.R. wenig zu schaffen, doch alle übrigen Punkte können Gegen-

stand einer Beauftragung sein und werden im Folgenden behandelt.

6.6.1 Aufzeichnungsverfahren

6.6.1.1 Diagrammscheibe

Bei der Auswertung von Fahrtschreiberdaten hat man es derzeit in der Hauptsache mit Diagrammscheiben zu tun. Linearschriebe (z.B. Industistreifen) haben nur noch historische Bedeutung und rein elektronische Aufzeichnungen sind bislang die Ausnahme, sieht man von Straßenbahnen ab. Grund genug also, sich mit der Gestaltung der Diagrammscheibe näher zu beschäftigen, Abb. 6.6.1. Die Aufzeichnungsdauer umfasst bei den meisten Diagrammscheiben 24 h. Daneben gibt es noch «Wochenscheiben», bei denen sieben Diagrammscheiben hintereinander gestapelt werden. Durch eine Aussparung in jeder Scheibe wird dann nach Ablauf eines Tages automatisch die jeweils nächste Scheibe im Stapel beschrieben.

Die Diagrammscheibe ist in drei oder vier Ringe unterteilt, in denen unterschiedliche Signale aufgezeichnet werden:

- Geschwindigkeit
- Zeitgruppe

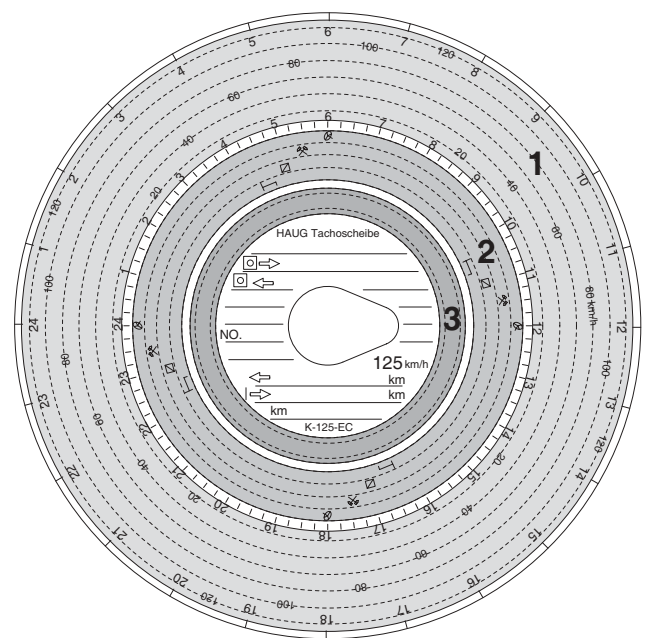


Abb. 6.6.1: Diagrammscheibe mit den drei Aufzeichnungsbereichen
1: Geschwindigkeit, 2: Zeitgruppe, 3: Weg

- Sondersignale
- Weg.

Für den Unfallanalytiker sind dabei vor allem Geschwindigkeits- und Wegaufzeichnung von Bedeutung, während der Zeitgruppenschrieb auf die Überwachung arbeitsrechtlicher Bestimmungen zielt. Von unfallrelevantem Interesse kann auch die Aufzeichnung von Sondersignalen sein, etwa der Einsatz des Martinshorns.

Die EG-Verordnung 3821/85/EG enthält Vorschriften betreffend die Mindestmaßstäbe von Weg- und Geschwindigkeitsaufzeichnung. So muss eine Geschwindigkeitsänderung von 10 km/h in der Aufzeichnung einer Strecke von mindestens 1,5 mm entsprechen, eine Fahrstrecke von 1 km einer Strecke von mindestens 1 mm. Letztere Forderung lässt sich nur dadurch erfüllen, dass die Aufzeichnungsnadel des Wegstreckenschriebs im entsprechenden Ring langsam zwischen Innen- und Außenseite pendelt, meist im 5-km-Rhythmus und dabei eine Zick-Zack-Linie zeichnet.

Am Innenrand der Geschwindigkeitsaufzeichnung muss eine Stunde mindestens 7 mm Strecke entsprechen. Der Ruhkreis der Aufzeichnung – also derjenige Kreis, der bei stehendem Fahrzeug gezeichnet wird – hat demnach einen Mindestdurchmesser von 53,5 mm. Bei der Diagrammscheibe für 125 km/h Maximalgeschwindigkeit führen die Bestimmungen damit auf mindestens 90 mm Außendurchmesser. Der tatsächliche Durchmesser von ca. 123 mm lässt demnach nicht viel Spielraum und so wundert es nicht, dass die Mindestbestimmungen betreffend die Maßstäbe nicht gerade übererfüllt werden: Speziell beim Wegstreckenschrieb sind es exakt die mindestens geforderten 1:1.000.000. Zufälligerweise entspricht der Außendurchmesser der Diagrammscheibe annähernd demjenigen einer CD (12 cm), sodass sich CD-Hüllen vorzüglich als knicksichere Transportverpackung für Diagrammscheiben eignen. (Das Innenloch der CD ist mit 15 mm Durchmesser praktischerweise etwas kleiner als das Formloch der Diagrammscheibe, sodass es auch in dieser Hinsicht kein Problem gibt.)

Die Mindestaufbewahrungsfrist für Diagrammscheiben beträgt ein Jahr. Wurde die Diagrammscheibe am Unfallort nicht sichergestellt, so kann sie auch zu einem späteren Zeitpunkt noch angefordert werden. In Zivilverfahren ist, sofern sich die Diagrammscheibe nicht in der Beiakte befindet, zu meist Eile geboten: Sie muss unbedingt sofort bei Akteneingang angefordert werden! Speziell große Fuhrunternehmen entsorgen Diagrammscheiben nämlich regelmäßig jeweils monatsweise nach Verstreichen der Aufbewahrungsfrist.

6.6.1.2 Digitaler Fahrtschreiber

Da das digitale EG-Kontrollgerät über die Verordnung 1360/2002/EG erst Mitte 2006 verpflichtend eingeführt wurde, liegen bislang kaum Erfahrungen mit dessen Auswertung vor. Die Datensicherung vor Ort wird zunächst komplizierter, siehe «Unfallaufnahme»; im Zweifel wird man den Tachografen schlicht aus dem Radioschacht «ziehen» müssen. Gemäß Verordnung müssen die Geräte die Fahrgeschwindigkeit im Sekundenrhythmus über einen Zeitraum von mindestens 24 h speichern, danach werden die Daten zyklisch wieder überschrieben (sog. Ringspeicher).

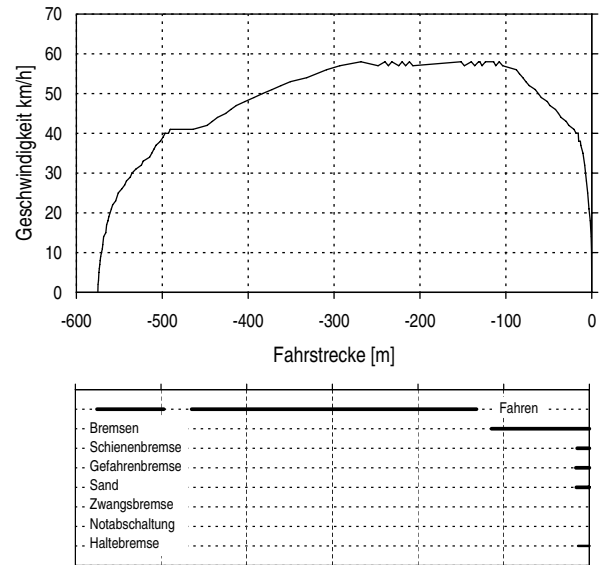
Die zeitliche Auflösung von 1 s (1 Hz) entspricht etwa dem, was man sich derzeit von der analogen Diagrammscheibenauswertung bestenfalls versprechen darf, wobei man die Daten jedoch nicht erst mühsam aus der Aufzeichnung destillieren muss. Werden die Daten von den Beamten jedoch mangels technischer Mittel, aus Vergesslichkeit oder wegen scheinbarer Belanglosigkeit des Unfalls nicht gesichert, sind sie unrettbar verloren, sofern dies nicht innerhalb der nächsten 24 Stunden reiner Fahrzeit nachgeholt wird. Etwas besser sieht es in puncto Unfallauswertung bei den Siemens-VDO-Geräten aus, die mit sechs zusätzlichen Ringspeichern die Geschwindigkeit jeweils vor den letzten drei Stillständen bzw. Verzögerungen $> 3 \text{ m/s}^2$ mit 4 Hz speichern, vgl. «Unfalldatenspeicher».

6.6.1.3 Restwegschreiber

Die in Schienenfahrzeugen, besonders Straßenbahnen, gängigen Restwegschreiber zeichnen im Regelfall wegbasiert auf, wobei meist alle 25 ... 50 cm ein Datensatz abgelegt wird. Dieser enthält neben der Geschwindigkeit auch die Stelleingriffe des Fahrers, so etwa auch Notbremsungen, Abb. 6.6.2. Die Daten werden in einem Ringspeicher abgelegt und überschrieben, wenn sie nicht direkt an der Unfallstelle gesichert werden. Wird dies vergessen, haben die Daten oft eine noch kürzere Lebensdauer als im elektronischen Tachografen: Nicht selten werden sie schon nach weniger als 10 km wieder überschrieben. Da bei schwereren Unfällen meist ein Mitarbeiter der Verkehrsbetriebe vor Ort ist, kommt es allerdings selten vor, dass die Datensicherung vergessen wird. Ist dies dennoch geschehen, ist schnelles Handeln gefragt: Möglicherweise wurde die Straßenbahn ja nur noch vom Unfallort in den Reparaturbetrieb gefahren. Da die wegbasierte Aufzeichnung verhindert, dass im Stillstand Daten überschrieben werden, besteht in solchem Fall noch Aussicht, die Daten zu retten.

Nr.	Zeit	Δs [m]	s [m]	v [km/h]	Fahren	Bremsen	Schienebremse	Gefahrenbremse	Sand	Zwangsbremse	Notabschaltung	Haltebremse
95	09:57:05	2,50	-18,25	40		1						
96	09:57:05	2,50	-15,75	40		1	1					
97	09:57:05	0,50	-15,25	38		1	1	1	1			
98	09:57:05	1,00	-14,25	38		1	1	1	1			
99	09:57:05	1,00	-13,25	38		1	1	1	1			1
100	09:57:05	0,50	-12,75	37		1	1	1	1			1
101	09:57:06	2,50	-10,25	35		1	1	1	1			1
102	09:57:06	2,00	-8,25	32		1	1	1	1			1
103	09:57:06	2,00	-6,25	28		1	1	1	1			1
104	09:57:06	1,50	-4,75	25		1	1	1	1			1
105	09:57:07	1,50	-3,25	21		1	1	1	1			1
106	09:57:07	1,50	-1,75	18		1	1	1	1			1
107	09:57:07	1,00	-0,75	14		1	1	1	1			1
108	09:57:07	0,50	-0,25	10		1	1	1	1			1
109	09:57:08	0,25	0	0		1	1	1	1			1

a) tabellarische Darstellung



b) grafische Darstellung

Abb. 6.6.2: Letzter Fahrvorgang einer U-Bahn, aufgezeichnet von einem Wegstreckenschreiber der Fa. Messma (eigene Auswertung)

6.6.1.4 GPS-Fahrtenbuch

Viele Firmen setzen mittlerweile die GPS-gestützte Fahrtroutenaufzeichnung ein, etwa um jederzeit über den Standort des betreffenden Fahrzeugs informiert zu sein oder auch als Abrechnungsgrundlage anstelle eines handgeschriebenen Fahrtenbuchs. Bei diesen Systemen werden die Fahrdaten der Flottenfahrzeuge häufig mittelfristig zentral gespeichert und stehen damit für die Rekonstruktion von Fahrvorgängen zur Verfügung. Die Standardabtastrate dieser Systeme liegt bei einem Datensatz pro Minute und wird, obwohl prinzipiell möglich, so gut wie nie kürzer eingestellt. (Standard-GPS-Empfänger liefern Positionsdaten mit 1 Hz.) Ist das Gerät auf die Standardspeicherrate eingestellt, ist der Papierausdruck oft eine 1:1-Repräsentation der gespeicherten Daten.

Für die Unfallrekonstruktion im engeren Sinne sind die Aufzeichnungen damit unbrauchbar, sie lassen allenfalls auf das generelle Fahrverhalten schließen, etwa auf die persönliche Einstellung des Fahrers zu Geschwindigkeitsbegrenzungen. Sind jedoch großräumigere Fahrbewegungen von Interesse, etwa die Rekonstruktion einer Fahrtroute oder die ab dem Auffahren auf die Autobahn bis zum Unfall zurückgelegte Fahrstrecke, können diese Daten hilfreich sein.

6.6.2 Aufbereiten der Aufzeichnung

Sämtliche Fahrtschreiber zeichnen zumindest zwei physikalische Größen auf. Es sind dies

- Geschwindigkeit und Zeit beim (elektronischen) Tachografen
- Geschwindigkeit und Weg beim Restwegschreiber
- Weg (bzw. Position) und Zeit beim GPS-Routenaufzeichner.

Aus den aufgezeichneten Größen kann man den letztlich meist interessierenden Weg-Zeit-Zusammenhang errechnen, außerdem abgeleitete Größen, wie etwa die Beschleunigung des Fahrzeugs. Diese Berechnungen führt man heutzutage mittels Tabellenkalkulation (z.B. mit EXCEL) durch. Dies erlaubt dann auch die ansprechende grafische Darstellung sowie die Umrechnung in andere geeignete Darstellungen, etwa den Export als DXF-Datei zum Import in ein Weg-Zeit-Diagramm.

Die Daten kann man, sofern sie bereits als ASCII-Daten vorliegen, direkt in die Tabellenkalkulation einlesen. Handelt es sich nur um wenige Datenpaare, ist das Eintippen per Hand allerdings meist schneller. Man sollte sich jedoch stets rückversichern, dass die zur Verfügung gestellten Daten, sei es nun ein Ausdruck oder eine ASCII-Datei, umfassend das

repräsentieren, was im Gerät gespeichert wurde. Geräte-intern werden die Daten in proprietären (hersteller-eigenen) Formaten gespeichert, die der externen Auswertung nicht direkt zugänglich sind, sodass man auf die Zusammenarbeit mit dem Hersteller bzw. auf dessen Software angewiesen ist. Ähnlich wie bei Digitalfotos wird ein zur Akte gereicher Ausdruck von den Parteien oft vorschnell als 1:1-Repräsentation der digitalen Daten missverstanden. Besondere Vorsicht ist geboten, wenn bei solcher Aufbereitung der Daten bereits Hypothesen eingeflossen sind.

Meist sind die überreichten Daten tabellarisch so aufbereitet, dass sie bereits errechnete Größen umfassen, wie etwa den zurückgelegten Weg bei der Diagrammscheibenauswertung durch den Hersteller. Um sich die größtmögliche Flexibilität zu sichern und auch Toleranzen berücksichtigen zu können, sollte man ausschließlich die Rohdaten in die Tabellenkalkulation einfüttern und sämtliche weitergehende Berechnungen, etwa die Integration auf den Weg, mit den dort zur Verfügung stehenden Funktionen durchführen.

6.6.3 Auswertung von Diagrammscheiben

Auf absehbare Zeit wird ein Großteil der bei der Unfallanalyse verwerteten Aufzeichnungen noch ganz «klassisch» analog auf Diagrammscheiben erfolgt sein. Deshalb wird die Diagrammscheibenauswertung im Folgenden ausführlich behandelt, obwohl das Verfahren manch einem antiquiert erscheinen mag. Es geht also darum, wie aus der analogen Aufzeichnung auf der Diagrammscheibe eine Folge von Wertepaaren Geschwindigkeit / Zeit gewonnen werden kann und welche Fehlerquellen und Toleranzen dabei zu beachten sind.

Der Hersteller selbst setzt dabei ein mikroskopisches Verfahren ein, das im Kern mechanisch ist und dessen Grundlagen in den 1950er Jahren gelegt wurden. Das notwendige Equipment ist proprietär und für den normalen Unfallanalytiker unerschwinglich. Viele Fragen lassen sich heute allerdings mit weniger Geräteaufwand beantworten, indem man den Messschrieb einscann und mittels CAD verarbeitet; auch dieses Verfahren wird weiter unten beschrieben. Gleich welchen Weg man wählt – die externe Auswertung durch den Hersteller oder die bürointerne am PC – hat man sich größtenteils mit denselben Fehlerquellen auseinander zu setzen, sodass nachfolgend zunächst einige Grundlagen behandelt werden, bevor wir zur eigentlichen Auswertung kommen.

6.6.3.1 Aufzeichnungsverfahren

Das Gerät besitzt intern für jedes aufgezeichnete Signal eine Schreibnadel, die seit Beginn der 1990er Jahre durch jeweils einen eigenen Stellmotor bewegt wird. Dieser bewegt im Falle der Geschwindigkeitsaufzeichnung auch die Tachonadel in der Anzeige. Wegen der Fertigungstoleranzen erfolgt die Aufzeichnung weder exakt radial, noch liegen sämtliche Schreibnadeln exakt auf einer Linie. Die Lose in der Führung der einzelnen Schreibnadeln wird sich nach dem Einlegen einer neuen Diagrammscheibe zunächst über eine gewisse Zeit (und die damit verbundene Drehbewegung der Diagrammscheibe) setzen müssen. Wird das Gerät geöffnet, so schlägt die Geschwindigkeitsnadel automatisch ein Stück weit aus und schreibt dabei die sog. Öffnungsmarkierung.

Die Diagrammscheibe wird beim Einlegen mit ihrem mittigen Formloch straff auf einen entsprechend geformten Mitnehmer auf der Mittelachse des Geräts gezogen. Bei der sekundengenauen Auswertung der Diagrammscheibe spielt die durch dieses Verfahren verursachte leichte Exzentrizität durchaus eine Rolle. Nicht jede Diagrammscheibe hat dabei ausreichende Passgenauigkeit: In [W1] wird von offenbar minderwertigen Scheiben berichtet, bei denen die Schreibstifte nach einem 24-Stunden-Umlauf im ruhenden Fahrzeug nicht wieder auf den Ausgangspunkt stoßen. Bei hochwertiger Diagrammscheibe und neuwertigem Fahrtschreiber ist jedoch nach einem Umlauf kein Versatz zur vorangegangenen Aufzeichnung zu erkennen.

Die Uhrzeit wird manuell am Gerät eingestellt. Auch wenn die Ganggenauigkeit der Uhr sicher besser ist als die von der Verordnung 3821/85/EG geforderten ± 2 min/Tag, sollte damit klar sein, dass die absolute Zeit dem Schrieb allenfalls näherungsweise entnommen werden kann.

Bei Fahrgeschwindigkeiten unterhalb der Ansprechschwelle verharrt die Aufzeichnungsnadel des Geschwindigkeitsschriebs auf dem Ruhkreis. Der genaue Wert der Ansprechschwelle hängt vom Gerätehersteller und von der Ma-

v_{\max} [km/h]	v_{\min} [km/h]	Ruhkreis \varnothing [mm]	Außenkreis \varnothing [mm]	r_0 [mm]	t_c [mm / km/h]
100	5	80,6	119,31	39,30	0,2041
125	6,5	80,8	119,06	39,35	0,1621
140	11,5	80,5	119,23	38,52	0,1507
160	8	80,8	119,71	39,36	0,1289
180	20	70,9	118,88	32,44	0,1500

Tab. 6.6.1: Abmessungen der Diagrammscheiben passend zu den VDO-Geräten. Ansprechschwelle und Außenkreis (bei Maximalgeschwindigkeit) stammen aus Angaben von VDO. Die Proportionalitätsfaktoren und der Durchmesser des Ruhkreises sind Ergebnisse von Regressionrechnungen.

ximalgeschwindigkeit ab, auf die der Fahrtschreiber ausgelegt ist, Tab. 6.6.1. Sog. Schleichfahrten mit Geschwindigkeiten, die durchweg unterhalb der Ansprechschwelle liegen, sind damit anhand der Geschwindigkeitsaufzeichnung nicht vom Stillstand zu unterscheiden. Unter bestimmten Randbedingungen offenbaren sie sich allerdings im Wegstreckenschrieb, Abb. 6.6.11.

Der Ruhekreis sollte die Markierungen der Zeitskala auf der Diagrammscheibe im Idealfall soeben außen berühren. Innerhalb des ringförmigen Aufzeichnungsbereichs ist die Auslenkung der Schreibnadel linear proportional zur Fahrgeschwindigkeit. Der Zusammenhang zwischen Radius r gegenüber dem Drehzentrum und Fahrgeschwindigkeit v kann durch die Beziehung

$$r = r_0 + t_c v \quad (6.6.1)$$

approximiert werden, mit den Koeffizienten gemäß Tab. 6.6.1. (Diese Regressionsrechnung fußt auf den Vorgaben zur Markierung der Diagrammscheibe und nicht auf Messungen der tatsächlichen Auslenkung.) Errechnet man umgekehrt die Geschwindigkeit mittels

$$v = \frac{r - r_0}{t_c} \quad (6.6.2)$$

so ist die Genauigkeit besser als $\pm 0,25$ km/h. Die Diagrammscheibe wird also durch die aufgedruckten Markierungskreise in 20-km/h-Abständen in Ringe konstanter Breite geteilt. Der Abstand zwischen dem Ruhekreis und dem 20-km/h-Kreis ist geringer als derjenige zwischen den übrigen Kreismarkierungen. Der Unterschied entspricht genau der Ansprechschwelle.

Das Geschwindigkeitssignal wird im Ende der 1950er Jahre als Impulsfolge in das Gerät gespeist, wobei die Fahrtrichtung nicht codiert wird. Vorwärts- und Rückwärtsfahrt sind in der Aufzeichnung damit nicht zu unterscheiden. Der Proportionalitätsfaktor zwischen eingespeister Pulsfrequenz und aufgezeichneter Geschwindigkeit wird bei der Kalibrierung an Mikroschaltern («Mäuseklavier») im Gerät eingestellt und anschließend verplombt.

6.6.3.2 Fehlerquellen

Die Verordnung 3821/85/EG unterscheidet drei verschiedene Randbedingungen in Bezug auf den zulässigen Fehler bei der Aufzeichnung:

- Fehlerursache im Fahrtschreiber selbst, also noch bevor er in das Fahrzeug eingebaut wird
Geschwindigkeit: ± 3 km/h
Weg: 1%
- Fehler nach dem Einbau in das Fahrzeug
Geschwindigkeit: ± 4 km/h
Weg: 2%
- Maximaler Fehler im Betrieb
Geschwindigkeit: ± 6 km/h
Weg: 4%.

Diese Kategorisierung entspricht den verschiedenen Fehlerursachen:

- Gerätefehler
- unvollständige Anpassung zwischen der Pulsrate des Gebers (Wegdrehzahl) und dem Fahrtschreiber
- Veränderung des Reifenhalbmessers durch Reifenwechsel, Abrieb und wechselnden Innendruck.

Bei elektronischen Fahrtschreibern ist die Ablenkung der Aufzeichnungsnadel (die durch einen Stellmotor bewegt wird) linear proportional zur eingespeisten Pulsfrequenz [H1]. (Wie es auch die Vorgaben betreffend die Skalierung der Diagrammscheibe nahe legen.) Der erste Punkt der Verordnung zielt deshalb auf veraltete, mechanische Fahrtschreiber und ist heutzutage irrelevant. Zwar kann die inkorrekte Justierung des Ruhekreises immer noch einen konstanten Versatz in der aufgezeichneten Geschwindigkeit bewirken, doch wird dieser konstante Offset im Rahmen der präzisen Auswertung leicht erkannt und vollständig korrigiert.

Auch der zweite Punkt der Regelung hat sich mittlerweile überlebt. Früher wurde die sog. Wegdrehzahl des Getriebeausgangs (= Zahl der Umdrehungen pro Fahrkilometer) über ein mechanisches Getriebe an die Wegdrehzahl des Fahrtschreibers angepasst. Es lag in der Natur der Sache, dass diese Anpassung auf feste Übersetzungsverhältnisse beschränkt war. Heutzutage kann die Wegdrehzahl des elektronischen Fahrtschreibers per Mikroschalter präzise an die Pulsfrequenz des elektrischen Gebers am Getriebeausgang angepasst werden.

Der dritte Punkt der EU-Verordnung zielt hauptsächlich auf den Reifenverschleiß. Der Umfang eines abgefahrenen Lkw-Reifens ist um bis zu 2% geringer als derjenige eines Neureifens, wodurch die angezeigte Geschwindigkeit in gleichem Maße größer wird als die tatsächliche. Neu kalibrierte elektronische Fahrtschreiber können die Fahrgeschwindigkeit mit einer Genauigkeit besser als ± 1 km/h aufzeichnen [H1, H2]. Reifenverschleiß und falsch eingestellte Wegdreh-

zahl erzeugen einen Fehler Δv , der proportional zur Fahr-
geschwindigkeit v ist

$$\Delta v = \kappa v \quad (6.6.3)$$

mit dem dimensionslosen Proportionalitätsfaktor κ . Die praktische Erfahrung lehrt, dass die Wegdrehzahl bei der Kalibrierung meist zu niedrig eingestellt wird, sodass die aufgezeichnete Geschwindigkeit stets unterhalb der tatsächlichen liegt. Man kann dies wissenschaftlich damit begründen, dass der zu erwartende Reifenverschleiß diesen Fehler langsam kompensieren wird – oder merkantil damit, dass es die Folgen eventueller Geschwindigkeitsverstöße mildern hilft.

6.6.3.3 Auswertung

Die Geschwindigkeit wird auf der Diagrammscheibe in einem Polarkoordinatensystem aufgezeichnet: Der Radius (abzüglich des Ruheradius) entspricht der Fahrgeschwindigkeit und der Drehwinkel der verstrichenen Zeit. Hat man also den Ursprung dieses Koordinatensystems lokalisiert, muss man lediglich die Aufzeichnung verfolgen und Radius und Drehwinkel in die entsprechenden Koordinaten umrechnen – soweit die Theorie. Bei der praktischen Umsetzung dieses Grundgedankens gibt es vor allem drei Probleme:

- die Lokalisierung des Drehzentrums
- die Rekonstruktion der Schreibrichtung der Nadel
- die Breite des Aufzeichnungsstrichs.

Alle drei genannten Punkte betreffen die Zeitkoordinate, deren Ermittlung das Hauptproblem darstellt. Die Maßstäbe der beiden aufgezeichneten physikalischen Größen unterscheiden sich nämlich enorm: Eine Geschwindigkeitsänderung von 1 km/h entspricht einem Radiusunterschied von 165 μm , während ein Zeitintervall von 1 s lediglich 3,4 μm auf dem 40-km/h-Kreis entspricht. Wenn wir also eine Geschwindigkeitsänderung von 10 km/h pro Sekunde (= 2,8 m/s^2) als unfalltypisches Fahrmanöver betrachten, so beträgt die Steigung der aufgezeichneten Linie 1:500.

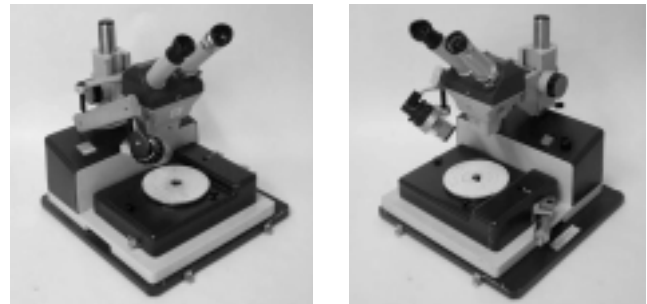
Die Aufzeichnung wird mit gehärteten Stahlnadeln in die weißliche Beschichtung der Diagrammscheibe gekratzt, sodass der dunkel gefärbte Untergrund zum Vorschein kommt. Der «Strich» ist damit in der dreidimensionalen Ansicht eine Mulde, was man sich bei der Auswertung zunutze machen kann. Dieses leicht antiquiert wirkende Aufzeichnungsverfahren hat seine Tücken, etwa wenn die Schreibnadel durch lokale Verhärtungen in der Registrierschicht abgelenkt wird. Die Breite des so entstandenen Strichs beträgt etwa 40 μm ; das ist etwa die Strichstärke einer Haarlinie in einem 600-dpi-Ausdruck. Die genau Breite variiert mit dem

Verschleiß der Nadel, der Temperatur der Diagrammscheibe und der Geschwindigkeit, mit der die Nadel über die Registrierschicht gleitet, sprich der Beschleunigung des Fahrzeugs. Der Zeitabstand, der mit der Strichbreite der Aufzeichnung verbunden ist, wird im Folgenden als **Strichzeit** bezeichnet. Diese beträgt ca. 16 s.

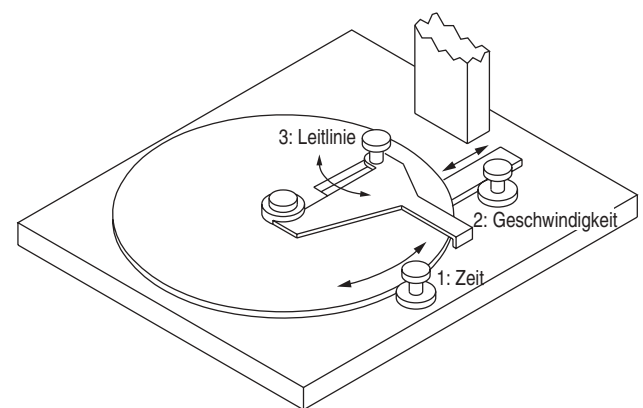
Arbeitsprinzip der mikroskopischen Auswertung

Die mechanische Auswertevorrichtung wurde zu Beginn der 1950er Jahre vom damaligen Hersteller Kienzle entwickelt. Seitdem hat sie in über 130.000 Auswertungen ihren Dienst verrichtet [L1]. Sie besteht aus einem Auflichtmikroskop mit einem modifizierten Objektträger, Abb. 6.6.3. Die Diagrammscheibe ist auf einem Drehteller platziert, der sich mit den Stellmechanismen 1 und 2 drehen und verschieben lässt. Die Freiheitsgrade der Bewegung des Drehtellers entsprechen damit den Polarkoordinaten der Aufzeichnung.

Eine Haarlinie innerhalb des Okulars zeigt dem Betrachter die Tangentialrichtung des Drehtellers. Der Drehteller wird nun über die Stellschraube 2 so verschoben, dass diese Haarlinie die Aufzeichnung an einem bestimmten Punkt schnei-



a) Original



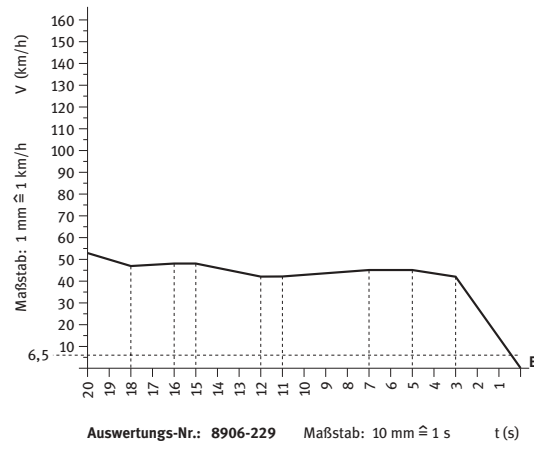
b) vereinfachte Darstellung des Drehtellers

Abb. 6.6.3: Mikroskopische Vorrichtung zur Auswertung von Diagrammscheiben

Ausw.-Nr.: 8906-229 Seite 1 Datum: 29.08.06

v	-----Geschwindigkeit-----		---Zeit in Sek.---			-----Weg in Meter-----			Beschl.
	km/h	m/s	t	t [^]	s	s	s [^]	a	
A	70	19,44	0	0	34	0	0	477	
	64	17,78	18,61	7	27	130	130	347	-0,24 Verzögerung
	56	15,56	16,67	6	21	100	230	247	-0,37 Verzögerung
	47	13,06	14,31	3	18	43	273	204	-0,83 Verzögerung
	48	13,33	13,19	2	16	26	299	178	0,14 Beschleunigung
	48	13,33	13,33	1	15	13	312	165	0,00 gleichbleibend
	42	11,67	12,50	3	12	38	350	127	-0,56 Verzögerung
	42	11,67	11,67	1	11	12	362	115	0,00 gleichbleibend
	45	12,50	12,08	4	7	48	410	67	0,21 Beschleunigung
	45	12,50	12,50	2	5	25	435	42	0,00 gleichbleibend
	42	11,67	12,08	2	3	24	459	18	-0,42 Verzögerung
B	0	0,00	5,83	3	0	18	477	0	-3,89 Bremsung

a) tabellarische Darstellung



b) graphische Darstellung

Abb. 6.6.4: Darstellung des Ergebnisses nach der Auswertung durch den Hersteller [V1]

det. Die Geschwindigkeit an diesem Punkt ist dann proportional zur notwendigen Verschiebung.

Über dem Drehteller befindet sich eine Klarglasscheibe, in deren Rückseite eine weitere Haarlinie eingätzt ist, die annähernd radial zum Drehteller ausgerichtet ist. (Wir werden diesen Punkt später noch genauer aufgreifen.) Der Drehwinkel 1, der benötigt wird, um diese Haarlinie mit einem bestimmten Punkt der Aufzeichnung zum Schnitt zu bringen, entspricht der abgelaufenen Zeit. Die Orientierung dieser Haarlinie im Hinblick auf die exakt radiale Richtung kann über den Mechanismus 3 eingestellt werden.

Heutzutage sind die Stellschrauben mit Impulsgebern versehen, sodass die Stellbewegungen des Auswerters sofort in den Computer eingelesen werden. Dies ändert jedoch nichts daran, dass der Kern des Auswerteverfahrens weiterhin mechanisch ist. Einer der größten Nachteile der mechanischen Apparatur ist das Spiel zwischen den einzelnen Bauteilen: Hat man mit der Auswertung begonnen, so darf man etwa den Teller nur noch in eine Richtung drehen, sonst ist man gezwungen, die gesamte Auswertung von vorn zu beginnen. Der große Vorteil der Apparatur besteht allerdings darin, dass die Auswertung *in situ* (d.h. am Ursprungsort) stattfindet, sodass die unvermeidliche optische Verzerrung durch die starke Vergrößerung die Aufzeichnung auf der Diagrammscheibe und die Hilfslinien gleichermaßen betrifft und damit die Messung nicht verfälscht, Abb. 6.6.4.

Arbeitsprinzip der computergestützten Auswertung
 Für die computergestützte Auswertung wird der interessierende Sektor der Diagrammscheibe zunächst eingescannt. Da die Auswertung im Gegensatz zum analogen Verfahren nicht

in situ stattfindet, müssen dabei die optischen Verzerrungen minimiert werden, was eine mikroskopische Vergrößerung ausschließt. Es empfiehlt sich daher, die Diagrammscheibe mit möglichst hoher Auflösung (2.400 dpi) mit einem Flachbettscanner einzulesen; dabei kann sich infolge der Positionierungsfehler des Scannerschlittens allenfalls das Höhen-Breiten-Verhältnis des Bildes leicht ändern.

Der Scan der Diagrammscheibe muss aus den im Kapitel «Digitale Bild- und Videobearbeitung» genannten Gründen in einem verlustfrei komprimierten Datenformat, am besten als TIFF, gespeichert werden. Weil es so oft falsch gemacht wird, hier nochmals zum Mitschreiben: Solche Scans **nie-mals** als JPEGs speichern! Selbst 2.400 dpi entsprechen «grob» 10,6 µm pro Bildpunkt und damit, bezogen auf den Zeitmaßstab der Aufzeichnung, immer noch gut 3 s.

Dieser Scan wird in ein CAD-Programm importiert und dort zunächst das Drehzentrum der Aufzeichnung ermittelt. Dazu wird das Bild als Erstes mittels der auf der Diagrammscheibe aufgetragenen Skalierungen auf Maßstab gebracht. Die Radien der Markierungskreise können über Gl. (6.6.1) mit den Koeffizienten gemäß Tab. 6.6.1 berechnet werden. Meist wird wegen des hohen Datenaufkommens nicht die gesamte Diagrammscheibe in hoher Auflösung gescannt. In diesem Fall ist darauf zu achten, dass ausreichend große Teilstücke des Ruhekreises auf dem Ausschnitt zu sehen sind. Soll ein Teilscan auf Maßstab gebracht werden, zeichnet man dazu am Besten konzentrische Kreise mit den Durchmessern der Markierungskreise, gruppiert diese und bringt das so entstandene Konstrukt mit der Skalierung weitmöglichst zur Deckung. (Selbstverständlich kann man sich die konzentrischen Markierungen auch als Bauteile ablegen ☺.) Der Mit-