

Zur Messung von Abrauchparametern mit Hilfe von Meßgrößenumformern*

von H.-W. Lorenz und F. Seehofer

B·A·T Cigaretten-Fabriken GmbH, Forschung und Entwicklung, Hamburg

1. EINLEITUNG

Für die Beurteilung von Rauchanalysergebnissen ist u. a. die Kenntnis der Abrauchbedingungen unerläßliche Voraussetzung. Die meisten dieser Bedingungen sind im Laufe der Zeit durch Fachausschüsse standardisiert worden. Da jedoch häufig auf die Angabe von Meßmethoden zur Kontrolle der effektiven Abrauchbedingungen verzichtet wurde, schien es uns notwendig, hierfür geeignete Meßverfahren zu finden.

Im folgenden berichten wir über unsere Ergebnisse und Erfahrungen bei der Messung von Zugzeit, Zugwiderstand beim Rauchen, Zugprofil und Zugvolumen.

2. ALLGEMEINES ZUM MESSVERFAHREN

Als Meßverfahren wurde die Umformung der zu messenden Größen in elektrische Signale mittels Transducer gewählt.

Das Prinzip dieses Verfahrens zeigt Abbildung 1.

Die nichtelektrische, meist zeitlich veränderliche, Eingangsgröße x_e wird im Meßgrößenumformer in eine elektrische Größe umgewandelt. Das elektrische Signal wird verstärkt und dem Ausgabegerät zugeführt. Die Ausgangsgröße x_a ist meistens wieder eine nichtelektrische Größe.

Die wesentlichen Vorteile dieser Meßmethode sind:

- einfache Signalverstärkung, d. h. geringer Energiebedarf für die Messung und damit fast keine Rückwirkung auf die Versuchsanordnung,
- einfache Signalübertragung und -verarbeitung,
- leichte Meßbereichsanpassung der dem Aufnehmer nachgeschalteten Geräte.

3. VERSUCHSDURCHFÜHRUNG

Alle im folgenden beschriebenen Messungen wurden mit einer Rauchmaschine RM 20/68 E durchgeführt. Die Meßanordnungen hierfür sind in Abbildung 2 als Blockschaltbilder dargestellt und in Abbildung 3 photographisch wiedergegeben.

3.1 Zugzeit

Die Messung der Zugzeit erfolgte mit einem elektronischen Zähler auf zwei verschiedene Arten:

- Es wurde die Zeit gemessen, während der an den Magnetventilen, durch die der Zug freigegeben wurde, Spannung lag. Diese Messung ist bei der verwendeten Rauchmaschine ohne Schwierigkeit möglich, da für die Zugzeit ein Spannungsausgang vorhanden ist.
- Es wurde die während des Zuges an einem kleinen, hinter der Zigarette befindlichen, Laminar-Widerstand auftretende Druckdifferenz in ein elektrisches Signal umgeformt und dieses auf den elektronischen Zähler gegeben.

Alle Messungen erfolgten mit rechteckig eingestelltem Zugprofil.

Die Ansprechschwelle des Zählers war auf 100 Millivolt eingestellt. Die volle Ausgangssignalhöhe des Differenzdruckaufnehmers betrug ca. 2 Volt.

3.2 Zugwiderstand

Der Zugwiderstand wurde unmittelbar hinter der Zigarette durch eine Bohrung im vorderen Dichtungsblock abgenommen und auf einen pneumatischen Differenzdruckaufnehmer gegeben. Der zweite Anschluß des Auf-

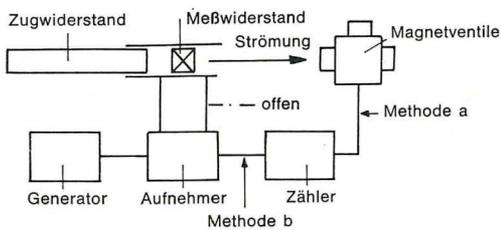
Abbildung 1. Meßprinzip.



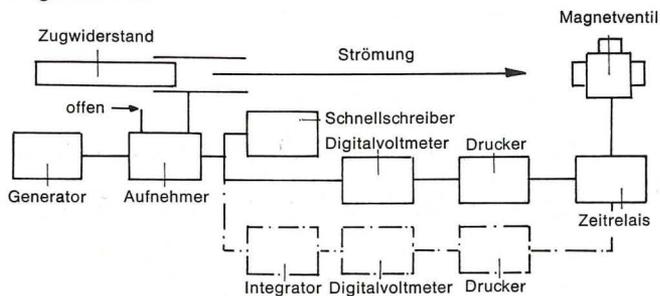
* Vortrag anlässlich der 24th Tobacco Chemists' Research Conference, Montreal, Oktober 1970.

Abbildung 2. Schematische Meßanordnung: Zugzeit, Zugwiderstand, Zugprofil sowie Zugvolumen und Zugprofil.

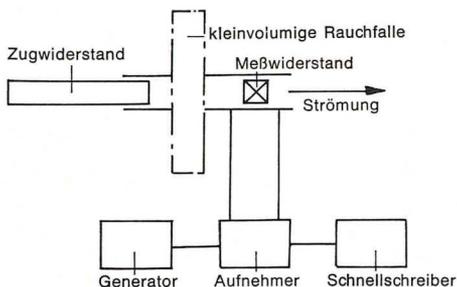
Zugzeit



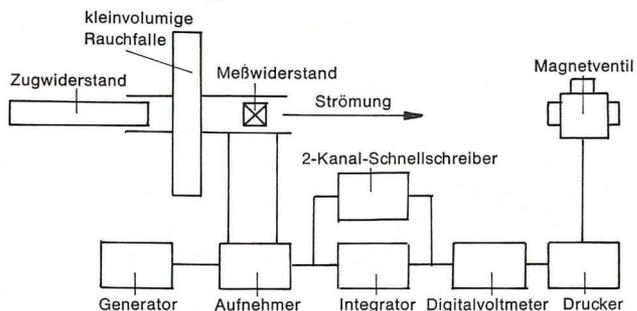
Zugwiderstand



Zugprofil



Zugvolumen + Zugprofil



nehmers war gegen Atmosphäre geschaltet. Das Ausgangssignal des Aufnehmers wurde auf ein Digitalvoltmeter und auf einen parallel geschalteten Schnellschreiber gegeben. Das Digitalvoltmeter war mit einem Drucker gekoppelt, der den Druckbefehl von einem mit den Magnetventilen der Rauchmaschine verbundenen Verzögerungsschalter bekam. Der Abruflbefehl für das Drucken des jeweils anstehenden Zugwiderstandes war auf halbe Zugzeit eingestellt.

Im Gegensatz zu den von *Waltz* (1) und *Jarman* (2) verwendeten Methoden, bei denen die Zugwiderstände aus den graphisch aufgezeichneten Zugwiderstandsprofilen

bestimmt wurden, lassen sich mit der hier gezeigten Meßanordnung die Zugwiderstände direkt als Zahlenwerte auf einem Papierstreifen ausdrucken.

Genauere Angaben über den durchschnittlichen Zugwiderstand für die gesamte Zugdauer erhält man, wenn das Ausgangssignal des Transducers vorher auf einen Integrator gegeben wird. Der Spitzenwert des Zugwiderstandsprofils läßt sich mit einem auf Maximalwert erfassung geschalteten Digitalvoltmeter bestimmen. Beide Werte, der durchschnittliche und der maximale Zugwiderstand, lassen sich unmittelbar nach Zugende als Zahlenwerte ausdrucken.

Abbildung 3. Meßgerätenordnung und Versuchsaufbau.

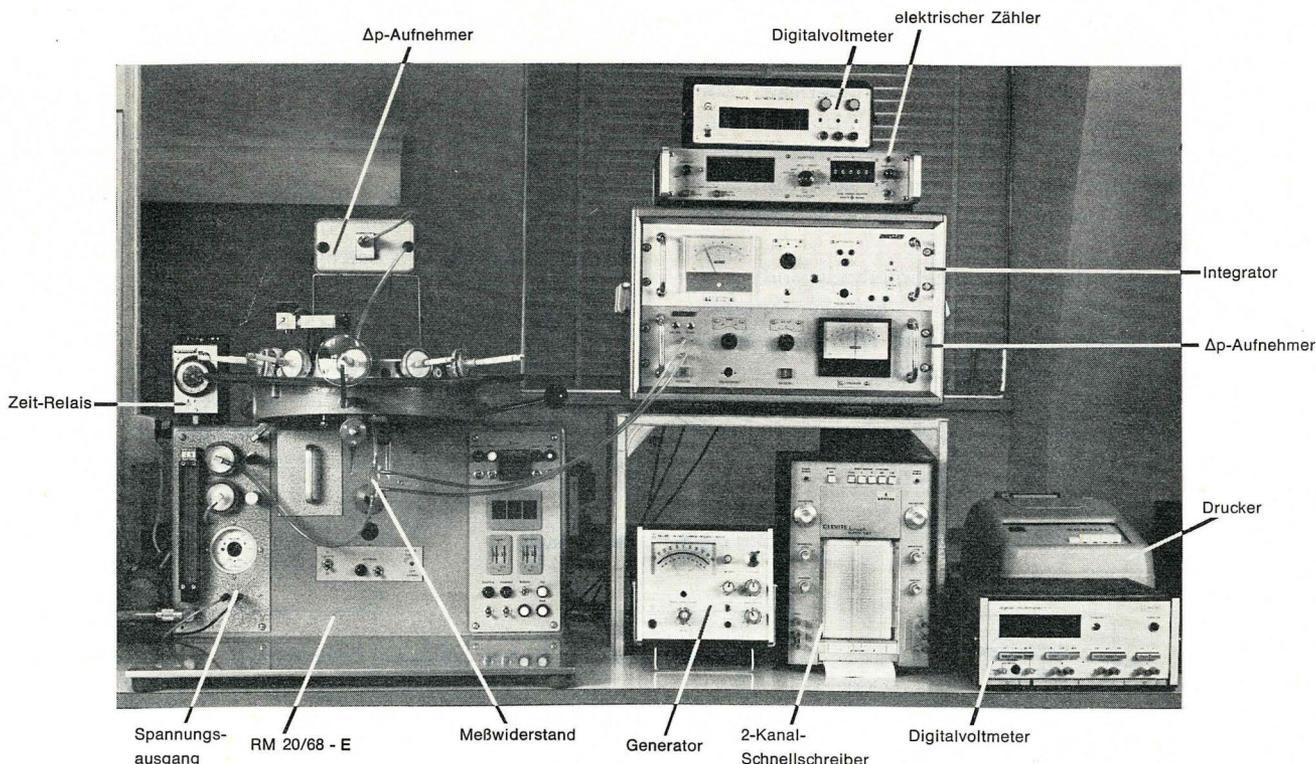


Tabelle 1. Reproduzierbarkeit der Zugzeitmessungen und Vergleich der Methoden.

Meßverfahren Zugauslösung	Zugzeitmessung					
	(a) Magnetventil		(b) Druckdifferenz			
	Manuell	Automatisch	Manuell		Automatisch	
Zugwiderstand (mm WS)	—	—	50	150	50	150
Soll-Zugzeit (sec.)	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0
Ist-Zugzeit:						
\bar{x} (sec.)	1,995	1,999	2,022	2,021	2,027	2,024
s (msec.)	2,7	0,1	2,8	2,8	0,3	0,5
V (%)	0,13	<0,01	0,14	0,14	0,01	0,02
n	20	19	10	10	5	5

Manuelle Zugauslösung: stehender Rauchring
 Automatische Zugauslösung: drehender Rauchring

\bar{x} : arithmetisches Mittel
 V: Variationskoeffizient

s: Standardabweichung
 n: Anzahl der Meßwerte

3.3 Zugprofil

Als Zugprofil, auch Zugvolumenprofil oder Strömungsvolumenprofil, bezeichnen wir den zeitlichen Geschwindigkeitsverlauf des strömenden Mediums beim Austritt aus dem Mundstückende der Cigarette.

Als Meßwiderstand für die Zugprofilauzeichnung dienen Acetatfilterstücke von 10 mm WS Zugwiderstand. Der Zugwiderstand dieser Filterstücke erhöhte sich durch das Abrauchen um maximal 5 %.

3.4 Zugvolumen

Das Zugvolumen ergibt sich durch Integration des Strömungsvolumens über die Zeit, d. h. aus der Fläche unter der Zugprofilkurve. Zur Integration benutzten wir einen elektronischen Integrator, der nach dem Kondensatorprinzip arbeitet. Seine Ansprechschwelle war bei den meisten Untersuchungen auf + 60 mV, die Abfallschwelle auf + 10 mV eingestellt. Die maximale Eingangssignalhöhe betrug 1 Volt.

4. ERGEBNISSE UND DISKUSSION

4.1 Zugzeit

Die geringfügig längeren Zugzeiten bei der Messung nach 3.1b dürften eine Folge des verzögerten Schließens der Magnetventile und der Strömungswiderstände in den pneumatischen Leitungen sein.

Die gute Reproduzierbarkeit der Zugzeiten und die sehr kleinen Zugzeitunterschiede zwischen den beiden Meßverfahren und zwischen den manuell und automatisch ausgelösten Zugzeiten werden erst durch die hohe Auflösung des elektronischen Zählers erkennbar (Tabelle 1).

Für eine genaue Zugzeitbestimmung nach dem Verfahren 3.1b ist das Rechteckprofil wegen des steilen Signalanstiegs besonders gut geeignet.

4.2 Zugwiderstand

Die gute Reproduzierbarkeit der Zugwiderstandsmessung nach diesen Verfahren zeigt Tabelle 2. Für diese Untersuchung wurden dieselben 5 Cigaretten 10mal nacheinander in unangezündetem Zustand gemessen. Die Stan-

Tabelle 2. Reproduzierbarkeit der Zugwiderstandsmessung.

	Zugwiderstand (mm WS)
\bar{x}	111,3
FG _z	4
FG _i	45
s _z	9,00
s _i	0,66
V _z (%)	8,1
V _i (%)	0,6
s ² _z : s ² _i	184,3
F ₉₉ %	3,77

z: zwischen verschiedenen Cigaretten

i: zwischen wiederholten Messungen an denselben Cigaretten

FG: Freiheitsgrad

F: tabellarischer F-Wert für 99 % stat. Sicherheit

Standardabweichung zwischen den Wiederholungsmessungen an denselben Cigaretten betrug nur 0,7 mm WS Δ einem Variationskoeffizienten von 0,6 %.

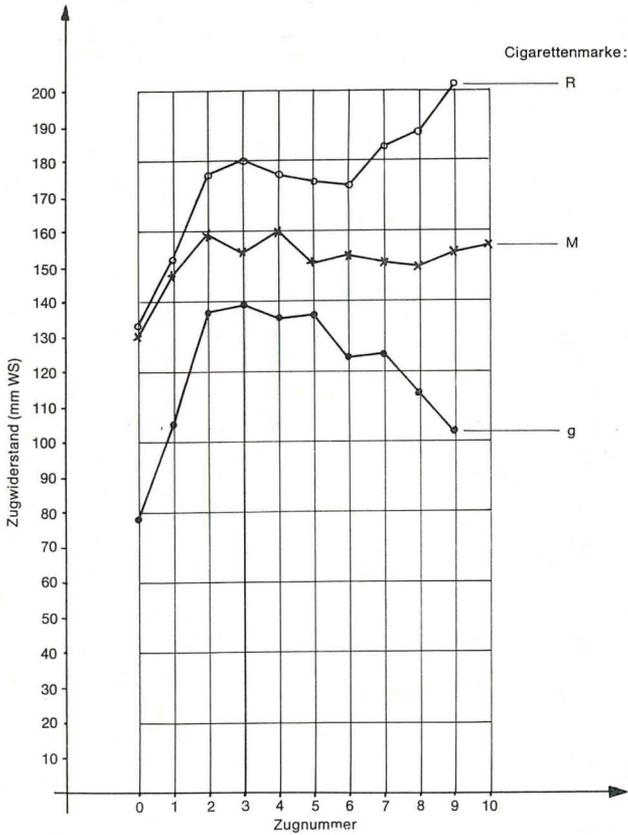
Bei unseren Untersuchungen wurden 12 Marken von Filtercigaretten und 6 Marken von filterlosen Cigaretten auf ihre Zugwiderstandserhöhung beim Abrauchen geprüft.

Die Auswahl der Marken erfolgte im Hinblick auf möglichst große Verschiedenartigkeit der untersuchten Cigaretten.

Alle Cigaretten, bis auf die Standardcigaretten, wurden als normal verpackte Cigaretten angeliefert und auch packungsweise, ohne vorher konditioniert oder selektiert worden zu sein, nach den *Einheitlichen Vorschriften für die Analyse von Tabak und Tabakrauch* des Verbandes der Cigarettenindustrie verraucht. Die Standardcigaretten waren konditioniert und auf ± 10 mg gewichtsselektiert worden.

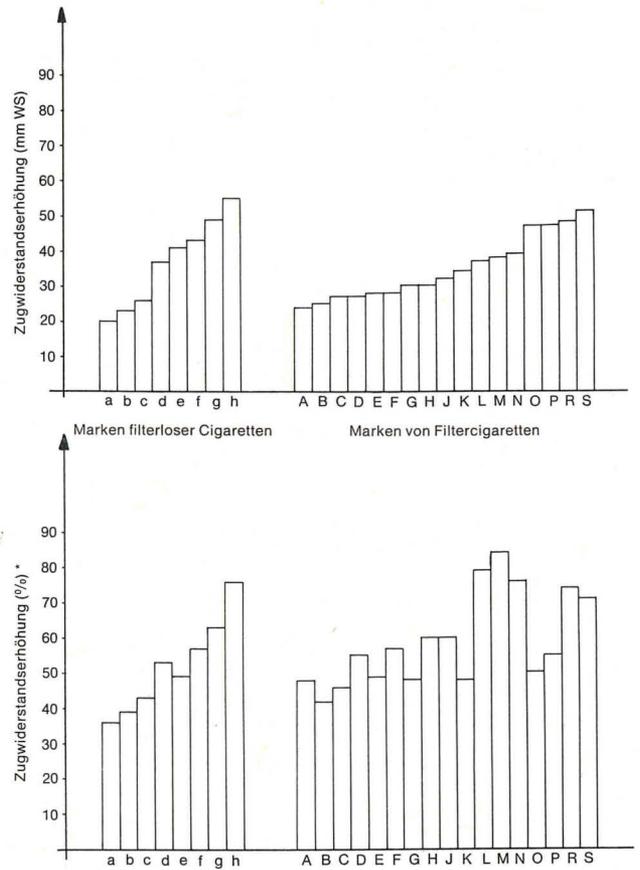
Bei allen untersuchten Marken stieg der Zugwiderstand nach dem Anrauchen an. Bei keiner Marke fiel der Zugwiderstand während des Rauchens bis auf den Zugwiderstand der nichtbrennenden Cigarette ab. Bei einigen Marken fiel der Zugwiderstand nach dem 2. Zug, d. i. der erste Zug nach dem Anrauchzug, langsam wieder ab. Bei anderen Marken blieb der Zugwiderstand vom 2. Zug an etwa konstant. Bei zwei Marken

Abbildung 4. Zugwiderstandsverlauf verschiedener Cigarettenmarken während des maschinellen Abrauchens.



erhöhte sich der Zugwiderstand deutlich während der letzten Züge. Typische Beispiele für diese drei Formen des Zugwiderstandsverlaufes beim Rauchen zeigt Abbildung 4. Bezüglich einer Deutung dieser Beobachtungen sei auf die Arbeit von Meyer-Abich (3) verwiesen. Abbildung 5 zeigt die durchschnittlichen Zugwiderstandserhöhungen beim Rauchen (Durchschnitt aus dem 2. bis

Abbildung 5. Zugwiderstandserhöhung verschiedener Cigarettenmarken beim maschinellen Abrauchen.

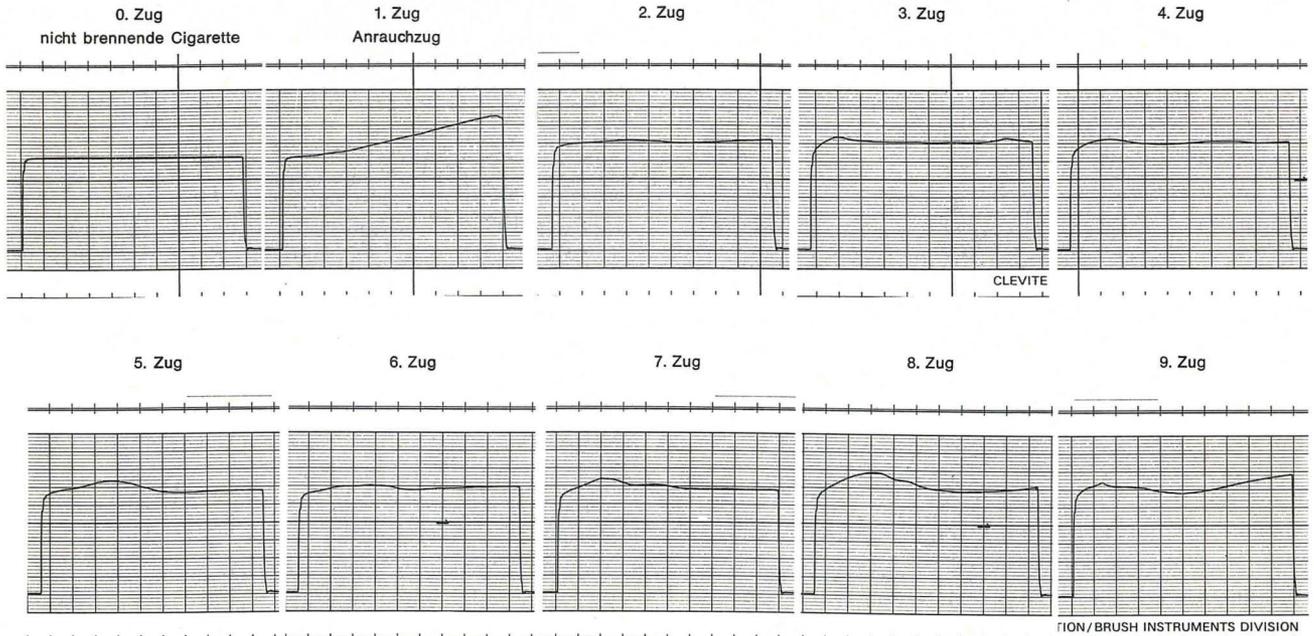


* Bezogen auf den Strangzugwiderstand der nicht brennenden Cigarette

n. Zug) gegenüber der nichtbrennenden Cigarette. Diese Zugwiderstandserhöhung betrug absolut 20–55 mm WS, relativ, d. h. bezogen auf den Strangzugwiderstand der nicht brennenden Cigarette, 35–85%.

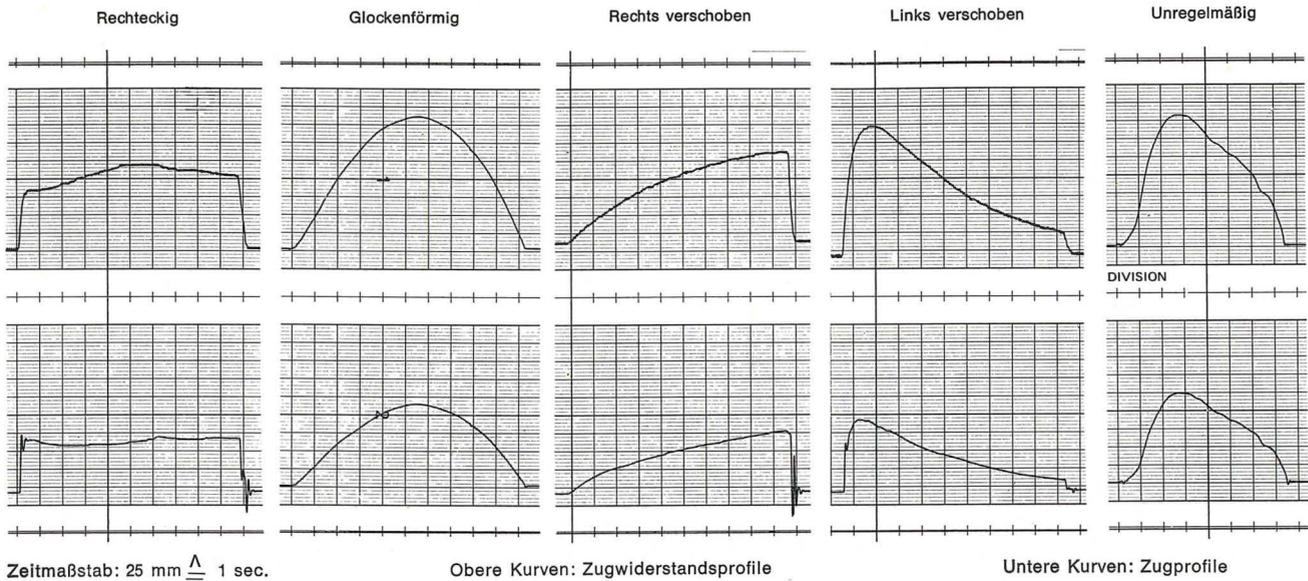
Die größte Erhöhung zwischen dem Zugwiderstand des nichtbrennenden Stranges und dem höchsten gemessenen Zugwiderstand einer Zugnummer (Durchschnitt aus

Abbildung 6. Zugwiderstandsprofile aller Züge eines Abrauchganges einer Blend-Cigarette mit Filter.



ION/BRUSH INSTRUMENTS DIVISION

Abbildung 7. Zugprofile und Zugwiderstandsprofile brennender Cigaretten.



meistens 10 Einzelmessungen) der brennenden Cigaretten betrug absolut 78 mm WS und relativ, bezogen auf den nichtbrennenden Strang, 108 %.

Zwischen den absoluten Zugwiderstandserhöhungen von Filtercigaretten und filterlosen Cigaretten wurde kein Unterschied gefunden.

Abbildung 6 zeigt die Zugwiderstandsprofile einer Blendcigarette mit Filter für alle Züge eines Abrauchganges. Eine Gesetzmäßigkeit der Zugwiderstandsschwankung während der Züge war nicht zu erkennen.

4.3 Zugprofil

In Abbildung 7 sind verschiedene Zugprofile und Zugwiderstandsprofile brennender Cigaretten wiedergegeben.

4.4 Zugvolumen

Die Korrelation von spirometrisch gemessenem und elektronisch integriertem Volumen ist sehr gut ($r = 0,999$) und verläuft im untersuchten Bereich linear (Abbildung 8, Tabelle 3). Der Variationskoeffizient für die Reproduzierbarkeit der Meßergebnisse beträgt für beide Verfahren weniger als 1 %.

Tabelle 3. Vergleich der spirometrisch und durch elektronische Integration gemessenen Zugvolumina.

Meßverfahren	Zugvolumen	
	Spirometrisch (ml)	Elektronisch integriert (mV)
\bar{x}	29,39	526,9
FG_z	3	3
FG_i	16	16
s_z	22,67	408,06
s_i	0,10	1,86
V_i (%)	0,34	0,35
$s_z^2 : s_i^2$	51402,48	48263,63

z: zwischen den Mittelwerten für verschiedene Sollwertstellungen des Nadelventils

i: zwischen den Wiederholungsmessungen bei einer Sollwertstellung des Nadelventils

Abbildung 9 zeigt für verschiedene Zugprofile die parallel aufgenommenen Zugvolumenkurven.

Unsere Untersuchungen ergaben, daß die elektronische Integration der Zugprofilkurve ein geeignetes Verfahren zur Bestimmung der Zugvolumina beim Rauchen darstellt. Bei Verwendung großvolumiger Rauchfallen können sich allerdings erhebliche Fehler mit diesem Verfahren ergeben, wenn der Meßwiderstand hinter der Rauchfalle angeordnet ist.

Abbildung 8. Vergleich der spirometrisch und durch elektronische Integration gemessenen Zugvolumina.

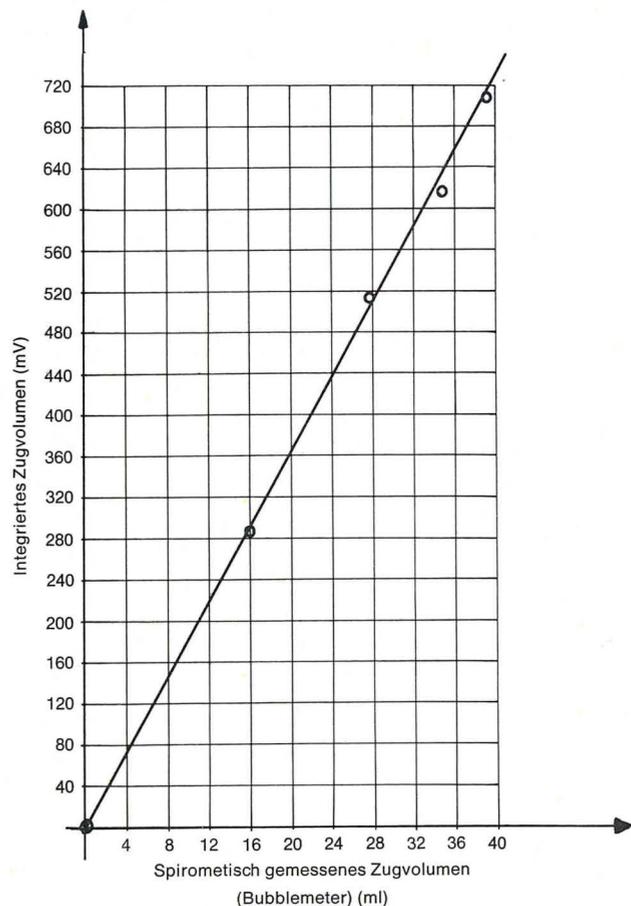
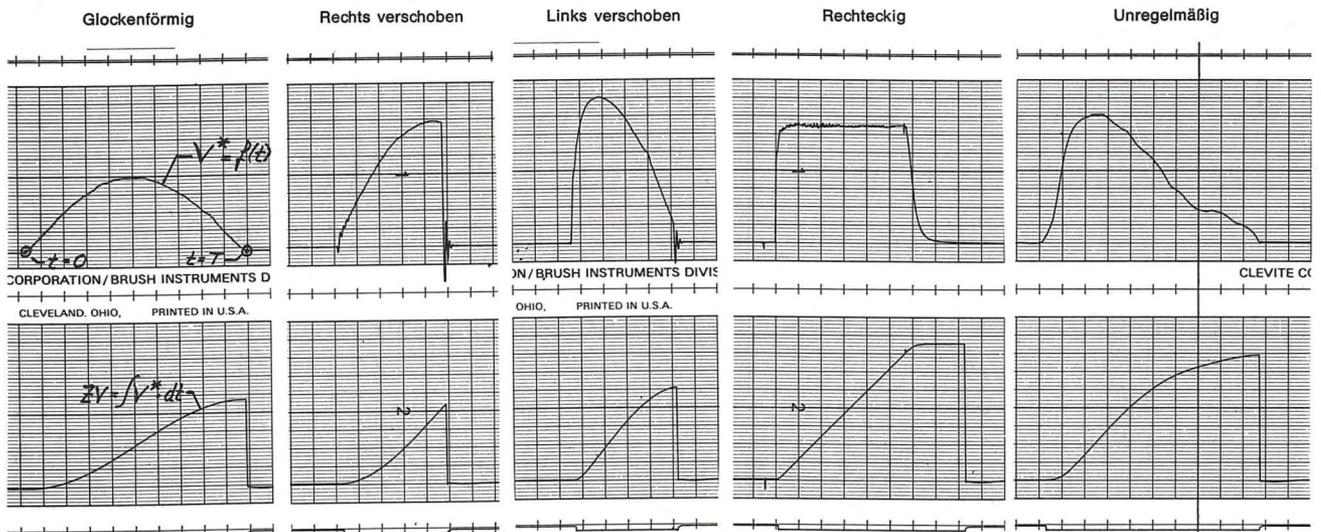


Abbildung 9. Zugprofile und integrierte Zugvolumina.



ZV: Zugvolumen
 $V^* =$ Strömungsvolumen = $k \cdot$ Strömungsgeschwindigkeit
 Papiergeschwindigkeit = 25 mm/sec.

Obere Kurven: Zugprofile
 Untere Kurven: Zugvolumina

ZUSAMMENFASSUNG

Elektrische Verfahren zur Messung der Rauchparameter Zugzeit, Zugwiderstand, Zugprofil und Zugvolumen, bei denen Meßwertaufnehmer eingesetzt werden, wurden auf ihre Eignung untersucht.

Die geprüften Verfahren sind u. E. hinsichtlich ihrer Genauigkeit und ihrer Reproduzierbarkeit wie auch hinsichtlich der Einfachheit ihrer Anwendung gut geeignet, die genannten Parameter sowohl bei der Einstellung von Rauchmaschinen wie auch während des Rauchens zu messen.

SUMMARY

The suitability of electric measuring methods making use of transducers has been tested for the smoking parameters puff duration, draw resistance, puff profile, and puff volume.

The procedures proved to be accurate, reproducible and technically simple and are, in our opinion, appropriate for calibrating smoking machines and for controlling the said parameters during the smoking process.

RESUME

Nous avons vérifié si un système de mesure électrique basé sur des appareils de mesure directe pouvait donner une mesure des paramètres de fumée, tels que la durée de la bouffée, la résistance au tirage, le profil et le volume de la bouffée. Ces essais de mesure ont donné satisfaction, grâce à leur précision et à leur reproductibilité, ainsi qu'à leur usage aisé, ceci pour mesurer les paramètres cités ci-dessus aussi bien pendant le réglage que pendant l'opération des machines à fumer.

LITERATUR

1. Waltz, P., Häusermann, M., und Nyari, E.: Mitt. Lebensmitt. Hyg. 50 (1959) 166.
2. Jarman, R. T.: 14th Tobacco Chemists' Research Conference, Winston-Salem, N. C., 1960.
3. Meyer-Abich, Klaus M.: Beitr. Tabakforsch. 3 (1966) 307.

Anschrift der Verfasser:

B·A·T Cigaretten-Fabriken GmbH,
 Forschung und Entwicklung,
 2 Hamburg 36, Esplanade 39.