

## **Einfluß des Feuchtigkeitsgehaltes von Cigaretten auf die Zusammensetzung des Rauches und die Glutzonentemperatur\***

von G. Neurath und H. Horstmann

Analytisches Laboratorium H. F. & Ph. F. Reemtsma, Hamburg

### EINLEITUNG

Im Rahmen einer umfassenden Untersuchung über den Einfluß der Rauchparameter auf die Zusammensetzung des Rauches haben wir uns in einer ersten Studie mit dem Einfluß der Tabakfeuchtigkeit auf die Kondensatausbeute und -zusammensetzung sowie die Glutzonentemperatur befaßt.

Zur Untersuchung dienten Strangcigaretten, die bei verschiedenen relativen Luftfeuchtigkeiten auf Feuchtigkeitsgehalte von 4 – 20% konditioniert waren.

Beim Abrauchen unter den üblichen Standardbedingungen (1, 2) wirkt sich der unterschiedliche Feuchtigkeitsgehalt stark auf die Zugzahl aus, die in unserem Falle von der Zahl 8 bei 4,3% Tabakfeuchtigkeit auf 15 bei 20,6% Tabakfeuchtigkeit anstieg. Einen ähnlichen Befund erhielt bereits *Seehofer* (3). Dieser Zunahme entspricht der gefundene Anstieg in der Kondensatausbeute nicht annähernd. Wir haben deshalb versucht, in einem semiquantitativen Verfahren die Tabakmengen zu bestimmen, die im Zug und im Intervall verbrannt werden, um in dem Tabakanteil, der im Hauptstrom verraucht wird, eine bessere Bezugsbasis zu finden.

Die so erhaltene hauptstromverrauchte Tabakmenge als Trockensubstanz bietet eine echte Vergleichsbasis für die Ausbeuten an Gesamtkondensat und die einzelnen Rauchbestandteile.

Die hauptstromverrauchte Tabakmenge liegt in einem verhältnismäßig breiten Feuchtigkeitsbereich bei etwa 45%, erreicht bei etwa 18% Feuchtigkeit die 50%-Grenze und steigt erst bei 20 und mehr Prozent Feuchtigkeit auf etwa 58% an.

Es besteht also keinesfalls eine Parallelität zwischen Zugzahl und der für die Analyse effektiven, hauptstromverrauchten Tabakmenge.

Die Untersuchung ergab, daß die Trockenkondensatausbeute – bezogen auf die Trockensubstanz der im Hauptstrom verrauchten Tabakmenge – konstant ist.

Auch *Newsome* und *Keith* (4) fanden bereits bei einer Untersuchung über die Variation der Zugzahl diese Beziehung. Im Gegensatz zu uns fanden sie jedoch naturgemäß eine Abnahme der Kondensatausbeute mit steigender Feuchtigkeit, da sie bei dieser Untersuchung mit konstanter Zugzahl, wir jedoch auf konstante Stummellänge verrauchten.

Wir haben uns nun weiter mit dem Verbleib des Nikotins beim Abrauchen und der Ausbeute an 1.2- und 3.4-Benzpyren bei den verschiedenen Feuchtigkeitsgehalten des Tabaks beschäftigt. Beim Nikotin im Rauch stellt man einen Abfall um etwa 15 – 20% bei einem Feuchtigkeitsanstieg auf 20% fest. Der Befund ist bemerkenswert, da man annehmen sollte, daß der erhöhte Feuchtigkeits-

\* Eingegangen im Juni 1963

gehalt einen verstärkten Übergang des Nikotins mit dem Wasserdampf bewirkt und daß außerdem der höhere Feuchtigkeitsgehalt die Verbrennung hemmt.

Wir vermuteten zunächst eine selektive Nikotinabsorption durch die Feuchtigkeit im Stummel und damit einen Anstieg der Absorption mit steigender Feuchtigkeit. Der Befund zeigt jedoch im Gegenteil, daß die Menge des absorbierten Nikotins im Stummel mit steigendem Feuchtigkeitsgehalt der Zigarette stark abnimmt.

Der Versuch einer Bilanz über den Verbleib des Nikotins ergibt – soweit er ohne Erfassung des Nebenstromrauches ermittelt werden kann –, daß das Nikotin tatsächlich mit steigendem Feuchtigkeitsgehalt verstärkt abgebaut wird. Wir sehen darin einen Hinweis auf die chemische oder katalytische Bedeutung des Wassers bei diesen Prozessen.

Die Ausbeute an 1.2- und 3.4-Benzopyren steigt – im Gegensatz zum Nikotin – bei höherer Feuchtigkeit des Tabaks an, und zwar interessanterweise mit unterschiedlichem Neigungswinkel. Die Glutzonentemperatur ist nicht dafür verantwortlich. Sie erwies sich bei der Messung mit Thermoelementen als unabhängig von der Feuchtigkeit; die Werte lagen innerhalb der Fehlergrenzen konstant.

Aus der Literatur sind einige weitere Arbeiten über den Einfluß der Feuchtigkeit auf die Rauchausbeute verschiedener Komponenten bekannt. *Pailer, Kuhn und Grünberger* (5) fanden bei Feuchtigkeiten zwischen 6,8% und 12% die Abnahme der Ausbeute von niederen Carbonylverbindungen im Rauch. *Grob* (6) berichtete über den Ausbeutenabfall von Furan, Methanol und Acrolein mit steigender Feuchtigkeit. Den Unterschied des Nikotinanfalls zwischen „trockenen“ und „feuchten“ Zigaretten – im von uns beschriebenen Sinne – beobachteten *Greenberg, Lester und Haggard* (7). Über den Einfluß der Feuchtigkeit auf die Glutzonentemperatur findet man in der Literatur widersprüchliche Angaben. *Kobashi, Sakaguchi und Izawa* (8) sowie *Stelzer* (9) beobachteten wie wir keinen Einfluß der Feuchtigkeitsänderung auf die Glutzonentemperatur, während *Seehofer und Borowski* (3) eine Abnahme der Glutzonentemperatur mit steigender Feuchtigkeit berichteten.

## AUSFÜHRUNG

### 1. Allgemeine Methoden

Zur Untersuchung diente eine filterlose Blendzigarette mit den Kennzahlen der Tab. 1.

Format	8,3x80 mm
Mittelgewicht	1230 mg ± 10 mg
Papiergewicht	50 mg
Luftdurchlässigkeit	24 ml/cm <sup>2</sup> min
Zugwiderstand	64 mm WS ± 5 mm WS
Nikotin im Tabak	1,39 % i. Tr.

TABELLE 1

**Kennzahlen der untersuchten  
Blendzigarette**

Je 100 nach Mittelgewicht und Zugwiderstand selektionierte Zigaretten wurden 48 Std. in einer Klimakammer mit Luftumwälzung (10) bei den in Tab. 2 aufgeführten relativen Luftfeuchtigkeiten konditioniert.

gesättigte Salzlösung	% relative Luftfeuchtigkeit	% Tabakfeuchtigkeit
NaOH	5,5	3,1
MgCl <sub>2</sub>	33,0	5,3
Mg(NO <sub>3</sub> ) <sub>2</sub>	55,0	12,8
NH <sub>4</sub> NO <sub>3</sub>	67,0	13,5
(NH <sub>4</sub> ) <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	81,0	20,0
KCl	85,0	21,75

TABELLE 2

**Abhängigkeit  
der Tabakfeuchte  
von der  
relativen Luftfeuchte**

**Konditionierung**

Für die Rauchanalysen wurden je 20, für die Benzpyrenbestimmungen je 40 Cigaretten nach den Einheitlichen Vorschriften (1, 2) der Wissenschaftlichen Forschungsstelle (1 Zug pro Minute, 2 sek Zugdauer, 35 ml Zugvolumen, 23 mm Stummellänge) auf einer Cigarette Components Ethel Mark VI Rauchmaschine verraucht. Die Tabakfeuchtigkeit wurde an 10 Cigaretten nach der Trockenschrankmethode bestimmt. Weitere 10 Cigaretten wurden für die Zugwiderstandsmessung verwendet.

## 2. Bestimmung von haupt- und nebenstromverrauchter Tabakmenge

Während des Verrauchens wurde mit einem in halbe Millimeter geteilten Meßstab an 10 Cigaretten die verbrannte Gesamtstrecke jeweils nach Beendigung der Züge und nach Beendigung der Zuggasen gemessen. Die aus den Differenzen der Einzelwerte ermittelten, auf Haupt- und Nebenstrom entfallenden Längenanteile der Cigaretten wurden für jede einzelne Cigarette addiert, und daraus wurde der prozentuale Anteil der verrauchten Tabakmenge für Haupt- und Nebenstrom errechnet. Diese Prozentzahlen wurden zur Ermittlung über die 10 verrauchten Cigaretten benutzt.

## 3. Bestimmung des an den Stummeln absorbierten Nikotins

An den gelöschten Cigarettenstummeln wurde durch Nikotinbestimmung und Abzug der auf 23 mm Tabakstrang entfallenden Nikotinmenge das abgelagerte Nikotin bestimmt.

## 4. Messung der Glutzonentemperatur

**4.1 Prinzip** Die Temperaturmessung wurde mit dem Thermopaar Pt-Pt/Rh (Durchmesser 0,03 mm) nach DIN 43710 vorgenommen.

**4.2 Meßanordnung** Die EMK des Elementes wurde mit DC Vacuum Tube Voltmeter der Firma Hewlett & Packard GmbH., Böblingen, mit einem Eingangswiderstand von 10 M-Ohm mit abgeschlossenem Siemens-Streifenschreiber mit Meßverstärker bei 20 mm Vorschub/min vorgenommen.

**4.3 Eichung** Die Eichung wurde unter Ausnutzung der Thermospannungskurve DIN 43710 mit Hilfe einer Gleichspannungsquelle von 0–10 mmV  $\pm$  0,2% durchgeführt.

**4.4 Messung** Das Thermopaar wurde mit Hilfe einer Nadel 23–25 mm vom Brandende – an der Stelle des 5. Zuges – in die Versuchscigarette quer eingeführt. Die zentrale Lage der Schweißstelle wurde durch Vormarkierung des Drahtes sichergestellt. Die Einführungsstellen wurden mit einem Alleskleber abgedichtet und die Anschlußenden dadurch gleichzeitig in ihrer Lage fixiert. Verraucht wurde unter Normalbedingungen.

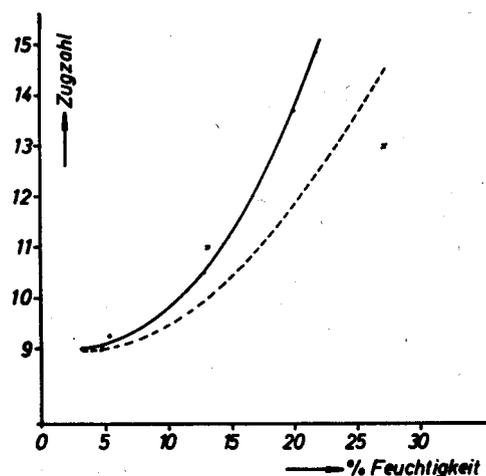
**4.5 Auswertung** Die Peaks wurden anhand der Thermospannungskurve graphisch ausgewertet.

ABBILDUNG 1

Zugzahl

— eigene Werte

- - - Werte nach Seehofer



## Meßergebnisse

Tabakfeuchtigkeit %	3,1	5,3	12,8	13,5	20,0	21,75
durchschnittliche Zugzahl	9,0	9,3	10,5	11,5	13,7	14,9
Zugwiderstand mmWS	—	55,9	62,4	64,2	85,9	93,3
abgerauchtes Tabakgewicht mg	738	738	738	738	738	738
abgerauchter Tabak mm/Zug	2,86	2,78	2,53	2,57	2,14	2,19
abgerauchter Tabak mm/Zugpause	3,88	3,80	3,20	2,64	2,16	1,75
im Hauptstrom verrauchter Tabak (Tr. S.) in %	45,1	45,1	48,5	51,5	51,5	57,5
im Nebenstrom verrauchter Tabak (Tr. S.) in %	54,9	54,9	51,5	48,5	48,5	42,5
Kondensat feucht mg/Cigarette	27,3	28,2	29,9	32,9	34,1	33,6
Kondensat trocken mg/Cigarette	26,7	26,4	29,7	30,9	31,4	29,7
Kondensat feucht % bez. a. hauptstromverrauchten Tabak (Tr. S.)	8,20	8,50	8,70	8,59	8,98	7,95
Kondensat trocken % bez. a. hauptstromverrauchten Tabak (Tr. S.)	8,02	7,95	—	8,11	8,26	7,01
Nikotin im Rauch mg/Cigarette	1,73	1,67	1,69	1,65	1,50	1,41
Nikotin im Rauch % bez. a. hauptstromverrauchten Tabak (Tr. S.)	0,52	0,51	0,47	0,44	0,40	0,34
Nikotin i. abgerauchten Stummel mg	4,14	4,02	3,91	3,65	3,72	3,79
abgelagertes Nikotin im Stummel mg	0,50	0,52	0,34	0,29	0,22	0,22
Nikotinabsorption* im Stummel %	22,4	23,7	16,8	14,95	12,8	13,5
Glutzonentemperatur °C	894 ±22	902 ± 2	907 ±26	913 ±40	901 ±40	867 ±40

\* Nikotinabsorption im Stummel =  

$$\frac{\text{absorbiertes Nikotin} \times 100}{\text{absorbiertes Nikotin} + \text{Rauchnikotin}}$$

ABBILDUNG 2

Zugwiderstand (mmWS)

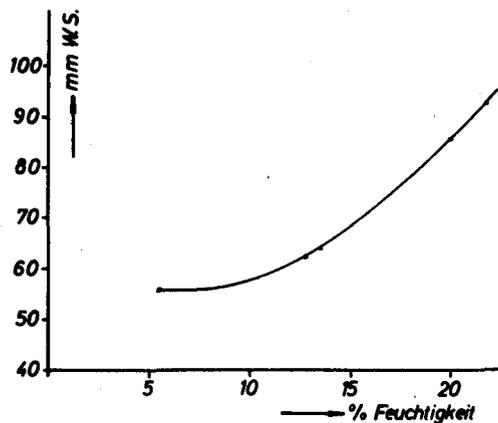
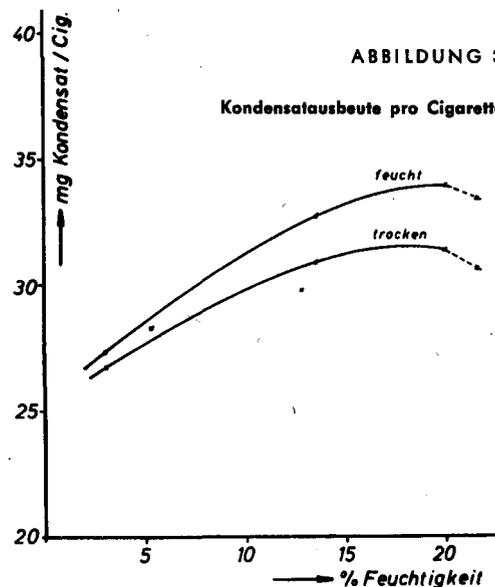


ABBILDUNG 3

Kondensatausbeute pro Cigarette



Die in Tab. 3 zusammengestellten Ergebnisse stammen aus einer von drei parallelen Versuchsreihen. Die Diagramme sind unter Auswertung aller drei Reihen gezeichnet.

1. Durchschnittliche Zugzahl

Die durchschnittliche Zugzahl steigt mit der Tabakfeuchte – wie einleitend erwähnt – stark an. Die Abb. 1 zeigt diesen Anstieg und im Vergleich dazu die von Seehofer (3) gefundenen Werte. Die Zugzahl ist bei gegebenen Rauchbedingungen und bei gegebener Papierporosität offenbar proportional dem Zugwiderstand – wie aus Abb. 2 ersichtlich. In unserem Falle beträgt der Faktor 0,17.

2. Kondensatausbeute

Der Anstieg der Kondensatausbeute nach der herkömmlichen Angabe in mg/Cigarette (Abb. 3) entspricht dem steilen Anstieg der Zugzahl nicht annähernd.

Die Trockenkondensatausbeute ist – wenn man sie auf die semiquantitativ bestimmte hauptstromverrauchte Tabaktrockensubstanz bezieht – jedoch konstant, wie aus Abb. 4 ersichtlich ist.

3. Haupt- und nebenstromverrauchte Tabakmenge

Die nach dem semiquantitativen Verfahren bestimmten Verhältnisse von haupt- und nebenstromverrauchtem Tabak in Abhängigkeit von der Tabakfeuchtigkeit sind in der Abb. 5 wiedergegeben. Sie zeigt, daß das Verhältnis bei niedrigen Feuchtigkeitsgehalten des Tabaks nahezu konstant bei 45% hauptstromverrauchtem Tabak liegt. Erst bei etwa 18% Tabakfeuchtigkeit werden 50% im Hauptstrom verraucht, und bei höheren Feuchtigkeiten nimmt die hauptstromverrauchte Tabakmenge steil zu.

ABBILDUNG 4

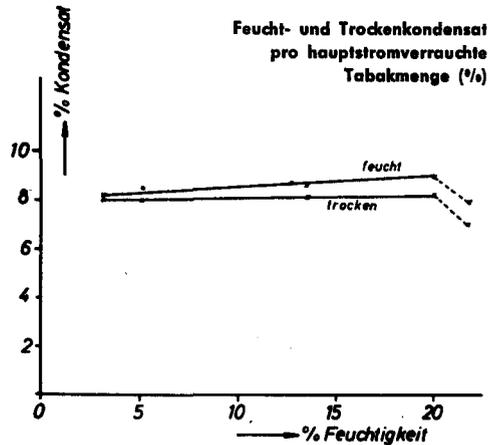


ABBILDUNG 5

% haupt- und nebenstromverrauchte Tabakmenge

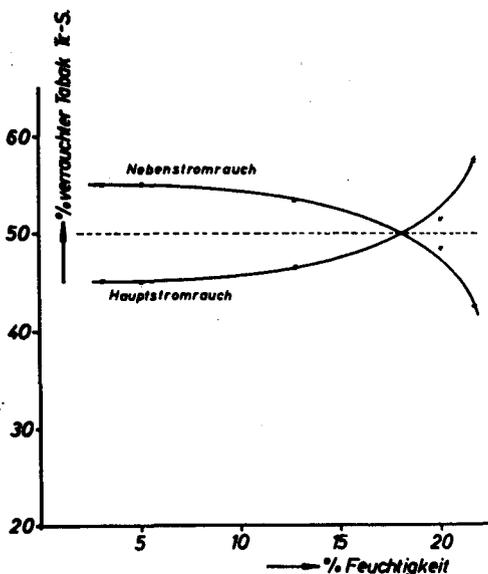


ABBILDUNG 6

mg Nikotin / Cigarette

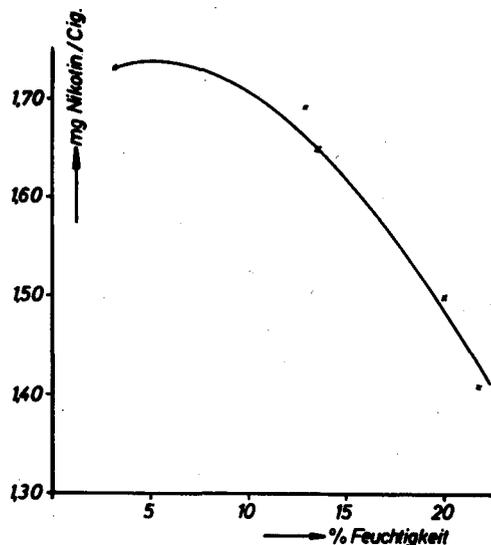


ABBILDUNG 7

% Rauchnikotin  
pro hauptstromverrauchte Tabakmenge

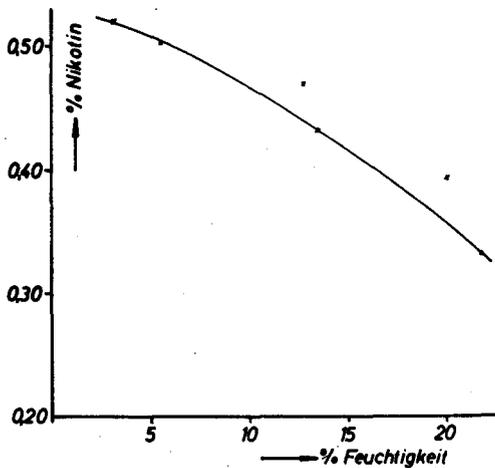


ABBILDUNG 8

Nikotinabsorption im Stummel

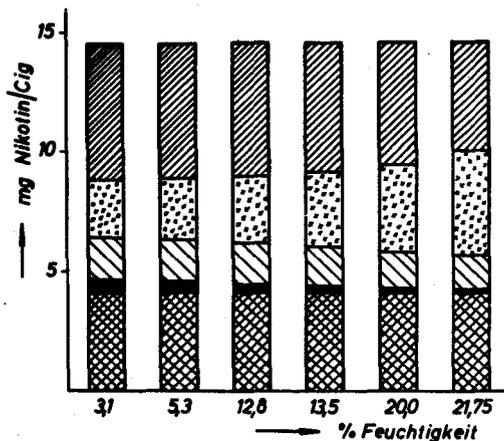
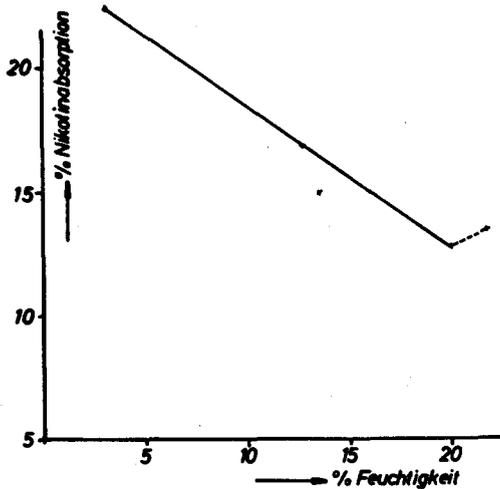


ABBILDUNG 9

Nikotinaufteilung an der Zigarette

Legende:

- Nikotin im:
- Nebenstrom (Rauch u. verbrannt)
  - ▨ Hauptstrom (verbrannt, berechnet)
  - ▧ Hauptstrom (Rauch)
  - ▩ Hauptstrom (absorbiert im Stummel)
  - ▤ Tabak (des Stummels, berechnet)

#### 4. Verhalten des Nikotins

Der Nikotinwert des Rauches fällt mit der steigenden Feuchtigkeit um etwa 15–20% bei einem Feuchtigkeitsanstieg von 5 auf 20% ab. Abb. 6 zeigt dieses Verhalten in der herkömmlichen Darstellungsweise in mg/Cigarette. Abb. 7 gibt den gleichen Sachverhalt unter Bezug auf die hauptstromverrauchte Tabakmenge wieder.

Die zunächst vermutete Ursache einer selektiven Nikotinabsorption durch die Feuchtigkeit im Stummel und der damit erwartete Anstieg der Absorption bei steigender Feuchtigkeit werden durch die Ergebnisse widerlegt (Abb. 8).

#### 5. Bilanz des Nikotins

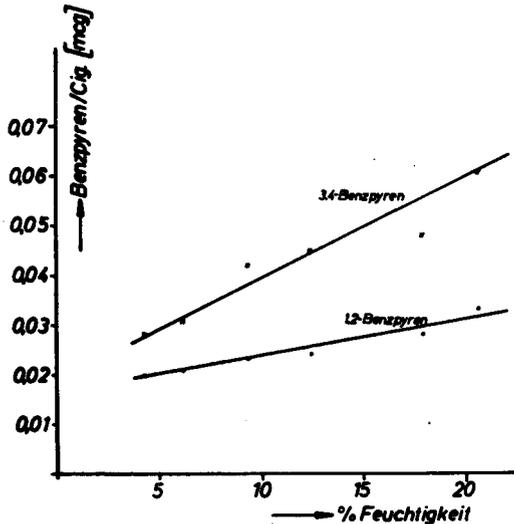
Abb. 9 gibt eine Bilanz über den Verbleib des Nikotins, soweit er ohne Erfassung des Nebenstromrauches ermittelt werden kann.

Das auf den Tabak des Stummels entfallende Nikotin ist berechnet, wurde aber gemeinsam mit dem beim Verrauchen im Stummel absorbierten Nikotin außerdem bestimmt. Das Rauchnikotin wurde in der üblichen Weise ermittelt. Diese beiden experimentellen Werte ergeben mit dem im semiquantitativen Verfahren berechneten Nikotin des im Hauptstrom verbrannten Tabaks das Bild eines verstärkten Nikotinabbaues mit steigender Tabakfeuchtigkeit. Die oberen Felder stellen die Ergänzungen der Nikotinbilanz auf 100% dar und sind ein Ausdruck für das abgebaute und erhaltene Nikotin des Nebenstromrauches. Für eine endgültige Klärung des Nikotinverbleibs ist eine Untersuchung des Nebenstromrauches notwendig, die mit einer an anderer Stelle beschriebenen Apparatur möglich ist (11).

## 6. Verhalten der polycyclischen Kohlenwasserstoffe

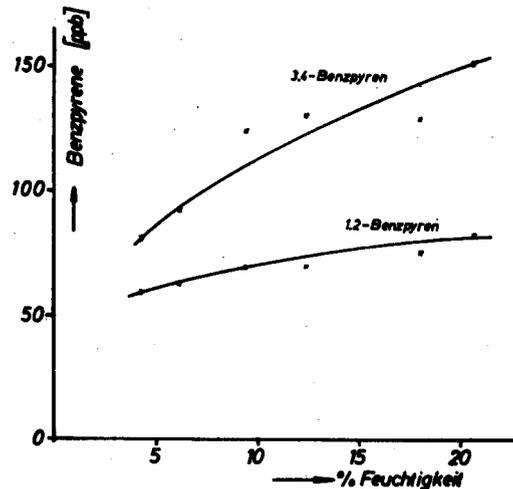
Die Abb. 10 und 11 zeigen das Ansteigen von 3,4- und 1,2-Benzpyren mit wachsendem Feuchtigkeitsgehalt und den unterschiedlichen Neigungswinkel bei den beiden Kohlenwasserstoffen in den Ausbeuten pro Zigarette, bezogen auf die hauptstromverrauchte Tabakmenge.

ABBILDUNG 10



Benzopyrene pro Zigarette

ABBILDUNG 11



ppb Benzopyrene pro hauptstromverrauchte Tabakmenge

## 7. Glutzonentemperatur

Die Ergebnisse der Glutzonentemperatur-Messungen und -Berechnungen sind in der folgenden Tabelle 4 zusammengefaßt. Die Werte sind Mittel aus 9 Messungen:

TABELLE 4

### Zusammenhang zwischen Glutzonentemperatur und Tabakfeuchte

% Tabakfeuchtigkeit	3,1	5,3	12,8	13,5	20,0	21,75
Glutzonentemperatur in °C	894 ±22	902 ± 2	907 ±26	913 ±40	901 ±40	867 ±40

Die Werte sind innerhalb der Fehlergrenze konstant.

## ZUSAMMENFASSUNG

Der Einfluß der Tabakfeuchtigkeit auf die Kondensatausbeute und -zusammensetzung sowie die Glutzonentemperatur einer Strangzigarette wurde untersucht.

Als beste Bezugsgröße für Kondensat und Einzelkomponenten wird der im Hauptstrom verrauchte Tabak als Trockensubstanz angegeben. Der Wert wird in einem semiquantitativen Verfahren ermittelt.

Die Trockenkondensatausbeute ist von der Tabakfeuchte unabhängig, wenn sie auf den vorstehenden Wert bezogen wird.

Das Nikotin im Rauch nimmt mit steigender Feuchtigkeit ab. Eine Bilanz des Nikotins deutet auf verstärkten Abbau des Nikotins in Gegenwart von Feuchtigkeit hin.

Die 1.2- und 3.4-Benzpyrenwerte nehmen mit steigender Feuchtigkeit zu, die Neigungswinkel ihrer Zunahme sind jedoch verschieden. Die Glutzonentemperatur ist von der Feuchtigkeit des Tabaks unabhängig.

Auf die chemische und katalytische Bedeutung des Wassers bei den Rauchvorgängen wird hingewiesen.

#### SUMMARY

The authors studied the influence of tobacco moisture content on yield and composition of total particulate matter as well as on the temperature in the combustion zone of plain cigarettes.

Total particulate matter and single components of the smoke can best be correlated with the dry weight of tobacco burnt in the mainstream. These figures are estimated by semiquantitative measures.

The yield of dry total particulate matter is independent of tobacco moisture content if calculated on the basis mentioned above.

The nicotine content of the smoke decreases with increasing moisture content of tobacco. Calculations on the whereabouts of total nicotine suggest that nicotine is increasingly decomposed in the presence of moisture.

The yield of 1.2- and 3.4-benzopyrene rises with increasing moisture content but with different slopes. The temperature of the combustion zone is independent of tobacco moisture content. The chemical and catalytic importance of moisture in smoking processes is mentioned.

#### RÉSUMÉ

Le présent travail traite de l'influence que l'humidité du tabac exerce sur le rendement en condensat et la composition chimique de celui-ci ainsi que sur la température de la zone incandescente de cigarettes sans filtre.

Le condensat et les différents composants de la fumée se rapportent le mieux au poids sec du tabac provenant de la combustion du courant de fumée principal. Ces valeurs sont déterminées au moyen de mesures semi-quantitatives.

Le rendement en condensat sec est indépendant de l'humidité du tabac pourvu qu'il se base sur les valeurs sus-mentionnées.

La quantité du nicotine contenu dans la fumée diminue avec l'humidité croissante. L'examen de la totalité du nicotine montre que le nicotine est décomposé d'une manière renforcée en présence d'humidité.

Les rendements en 1.2- et 3.4-benzopyrène augmentent avec l'humidité croissante. Les angles d'inclinaison des augmentations respectives divergent. La température de la zone incandescente ne dépend pas de l'humidité du tabac.

Les auteurs attirent l'attention du lecteur sur la grande influence catalytique et chimique que l'humidité du tabac exerce sur le processus de combustion.

#### LITERATUR

1. Vorschrift 1: Beiträge zur Tabakforschung 1 (1962) 307
2. Vorschrift 4.2: Beiträge zur Tabakforschung 1 (1962) 312
3. Seehofer, F. und Borowski, H.: Beiträge zur Tabakforschung 1 (1962) 329
4. Newsome, J. R. und Keith, C. H.: Tob. Sci. I (1957) 58
5. Pailer, M., Kuhn, H. und Grünberger, J.: Fachl. Mitt. d. Österr. Tabakregie 3 (1962) 33
6. Grob, K.: Beiträge zur Tabakforschung 1 (1962) 285
7. Greenberg, L. A., Lester, D. und Haggard, H. W.: J. Pharmacol. a. exp. Ther. 104 (1952) 163; Ref.: Fachl. Mitt. d. Österr. Tabakregie 2 (1953) 28
8. Kobashi, Y., Sakaguchi, S. und Izawa, M.: Agr. Chem. Soc. Japan 23 (1959) 532
9. Stelzer, D.: TTH Abschlußarbeit, Sommer (1962)
10. Seehofer, F. und Lorenz, H. W.: Beiträge zur Tabakforschung 1 (1961) 35
11. Neurath, G. und Kröger, R.: Beiträge zur Tabakforschung 2 (1963) 81

*Anschrift der Verfasser: Forschungslaboratorium H. F. & Ph. F. Reemtsma,  
Hamburg-Bahrenfeld, Luruper Chaussee 145*