

Nikotinabsorption aus dem Cigarettenrauch¹

Von A. J. Artho und K. Grob²

Zusammenfassung

Wie die vorliegenden Untersuchungen zeigen, ist eine Beurteilung der physiologischen Wirkung verschiedener Cigaretten sowohl auf Grund des im verrauchten Tabak enthaltenen als auch auf Grund des insgesamt im Rauch vorgefundenen Nikotins *äußerst fragwürdig*. Die Nikotin-Absorption beim Rauchen wird in wesentlichem Maße bestimmt:

1. Durch das *physikalisch-chemische Verhalten des Nikotins im Rauch*, das weitgehend vom pH-Wert beeinflusst wird.

2. Durch die *Rauchgewohnheit* (Inhalationstiefe, Verweilzeit des Rauches), welche das Ausmaß und die Dauer des Kontaktes zwischen dem Rauch und den absorbierenden Oberflächen bestimmt.

Die pro Rauchzug zur Verfügung stehende Nikotinmenge hängt offensichtlich in hohem Maße von der *Stummellänge* ab, infolge der beachtlichen Nikotinmenge, die vom Tabakstummel aus dem durchströmenden Rauch absorbiert werden kann.

Résumé

Nous avons étudié l'absorption, par un liquide tamponné similaire à la salive, de la nicotine («alcaloïdes totaux») contenue dans la fumée. Il s'avère que les tabacs réagissent différemment suivant le genre, de sorte que ni le taux de nicotine du tabac, ni la quantité totale de nicotine retrouvée dans la fumée condensée («total particulate matter»), ne peuvent servir de base valable pour juger l'effet physiologique de cigarettes différentes.

La nicotine libre (sous forme de vapeur) est facilement absorbée par un liquide tamponné tel que la salive. La pression de vapeur de la nicotine étant plus forte (à 37°C) dans une fumée à pH élevé, davantage de nicotine se trouve donc dans la phase-vapeur. En effet, la «salive», après contact avec une fumée de pH élevé, contient une plus forte proportion de la nicotine qu'après contact avec une fumée de pH bas.

La surface en contact avec la fumée (profondeur de l'inhalation), ainsi que la durée du contact, entrent également en ligne de compte. En outre, la longueur du mégot joue un rôle important, du fait qu'une quantité considérable de nicotine peut être retenue lors du passage de la fumée et vaporisée à nouveau lorsque la zone de combustion s'approche.

Die Stellung des Nikotins unter den Rauchbestandteilen

Nikotin ist trotz größten Forschungsanstrengungen unter den Hunderten der im Cigarettenrauch bekannten Stoffe bis heute der einzige geblieben, der als individuelle und wohldefinierte Substanz mit bestimmten physiologischen Auswirkungen studiert werden konnte. Für andere Wirkungen, die der Rauch

¹ Auszugsweise vorgetragen an der «17th Tobacco Chemists' Research Conference» Montreal, September 1963.

² Adresse: Dr. A. J. Artho, F. J. Burrus & Cie., Boncourt, und Dr. K. Grob, organisch-chemisches Institut der Universität Zürich.

beim Menschen hervorruft, sind leider noch keinerlei *spezifische* Verursacher bekannt. Zwar wurden immer wieder exakte Zusammenhänge zwischen Ursachen und Wirkungen diskutiert; es blieb aber immer bei dürftig gestützten Hypothesen. Und auch für diese Hypothesen mußten stets gewisse Substanzgruppen ins Auge gefaßt werden, nie eine Einzelsubstanz wie eben Nikotin. Der Tabak enthält freilich mehrere Alkaloide. Mengenmäßig spielen sie jedoch neben dem Nikotin im Rauch der weitaus meisten Tabakvarietäten keine nennenswerte Rolle.

Der Zusammenhang dreier Nikotinmengen: im Tabak – im Rauch – im Körper des Rauchers

Um so wichtiger ist es, über die Art und Weise, wie Nikotin aus dem Tabak in den menschlichen Körper übergeht, möglichst genau Bescheid zu wissen. Jahrzehntlang galt der Nikotingehalt eines Tabaks als zuverlässige Basis zur Beurteilung seiner physiologischen Wirkung. Mit dem Aufkommen einer verfeinerten Rauchanalytik begann man, sich auf den Nikotingehalt des Rauches zu stützen – ein wesentlicher Fortschritt, da die beiden Werte in keineswegs einfacher Weise zusammenhängen. Nun hat jedoch bereits 1937 *Wenusch* [1, 2] gezeigt, daß man auch auf Grund eines Rauch-Nikotingehaltes die Alkaloidwirkung eines Tabaks kraß mißverstehen kann! Später hat sich auch *Pyriki* in mehreren Arbeiten (zum Beispiel [3]) mit dem Thema beschäftigt.

Abb. 1 zeigt, daß es sich dabei durchaus nicht um Spitzfindigkeiten handelt. Cigaretten aus verschiedenen Rohtabaken wurden durch ein Röhrchen abge-

Tabaksorte	mg Nikotin pro Gramm Tabak	Schicksal des Nikotins beim Rauchen (% des im verrauchten Tabak enthaltenen Nikotins)					pH des Rauches
		Nebenstrom verflüchtigt oder pyrolysiert	Hauptstrom				
			Total	im Stummel zurück- gehalten	vom «Speichel» absorbiert	aus- gestoßen	
Virgin Rhod.	14,4	30	70	42	2,5	25	5,0
Virgin USA	13,3	29	71	45	3,1	23	5,2
Maryland USA	10,2	30	70	39	6,0	25	6,1
Paraguay	11,5	6	94	34	13,2	47	7,7
Burley Japan	27,4	16	84	28	11,2	45	8,0

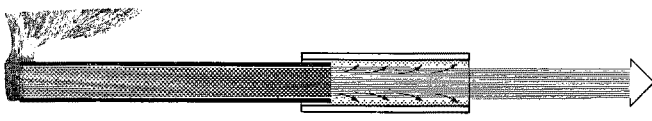


Abb. 1 Prozentuale Verteilung des Tabaknikotins auf seine verschiedenen Vorkommen nach dem Abrauchen. Das Hauptinteresse liegt im Zusammenhang zwischen dem pH-Wert des Rauches und der Nikotinabsorption im Mundspeichel.

raucht, dessen Innenwand von einer gepufferten Flüssigkeit gespült wurde und das so als Mundhöhle-Modell diente (Einzelheiten dazu im methodischen Teil). Unter den angeführten Zahlenbeispielen erzeugen die beiden ersten Tabake *sauern*, die beiden letzten *basischen* Rauch, während die Varietät Maryland eine Zwischenstellung einnimmt. Das Verhalten des Nikotins beim Rauchen erweist sich als stark abhängig vom pH-Wert des Rauches. Am auffälligsten sind die Unterschiede in der «Mundhöhle». Dort nimmt der «Speichel» aus dem basischen Rauch rund viermal mehr Nikotin auf als aus dem sauren Rauch!

Das Nikotin, welches die Mundhöhle passiert hat, wird im Falle von *tiefer* Inhalation zu über 90% in der Lunge aufgenommen (*Borbély* [4]). In diesem Falle geht praktisch das gesamte Rauchnikotin in den Körper des Rauchers über, so daß der Rauch-Nikotiningehalt von sehr sicherer und direkter Aussagekraft ist. Das Inhalieren ist jedoch eine relativ junge und gesundheitlich bedenkliche Gewohnheit; wir gehen hier von der Annahme aus, daß der Rauch nicht inhaliert wird. Im Falle der beiden basischen Tabake ist dies auch kaum möglich, da basischer Rauch im Kehlkopf eine schmerzhaft Reizwirkung ausübt.

Für das Verständnis der Meßwerte sind einige Kenntnisse über Entstehung und Aufbau des Rauches notwendig.

Entstehung des Cigarettenrauches

Im Gegensatz zu einer verbreiteten Meinung ist Cigarettenrauch *kein Verbrennungsprodukt*. Verbrennung führt bei Gegenwart von Sauerstoff und hoher Temperatur zu sauerstoffreichen Abbauprodukten. Eine solche Reaktion erleidet bei der Cigarette nicht der Tabak selbst, sondern nur die *Blattkohle*. Wirkliche Verbrennungsprodukte im Rauch sind deshalb nur Kohlendioxyd und -monoxyd. Die vielen hundert Rauchbestandteile organischer Natur sind in der Hitze bei praktischer Abwesenheit von Sauerstoff entstanden und gliedern sich darum in zwei Hauptgruppen:

1. *Destillationsprodukte*: Stoffe, die, beim Näherrücken der Glutzone aus dem Tabak verdampft, wegdestilliert wurden, ohne eine chemische Veränderung zu erleiden. Dazu gehören alle die Stoffe, welche im Tabak *und* im Rauch gefunden werden, wie z.B. Paraffine, Wachse, Terpene, viele flüchtige Säuren und Basen sowie Aromastoffe aus den verschiedensten Stoffklassen. Das wichtigste Destillationsprodukt ist natürlich das Nikotin – deshalb besonders interessant, weil es seiner beschränkten Flüchtigkeit wegen (Siedepunkt 247° C) stets nur zum größeren Teil destilliert, der Rest aber pyrolysiert wird (s. Abb. 1).

2. *Pyrolyseprodukte*: Stoffe, welche durch zufällige Kombination oder durch Rekombination von Molekültrümmern entstanden sind, welche ihrerseits durch Zerschlagung schwer- und nichtflüchtiger Blattstoffe – vor allem Polysaccharide und Polypeptide – gebildet wurden. Entsprechend dem großen Gewicht

des Zufalls bei solchen Veränderungen umfassen die Pyrolyseprodukte praktisch die gesamte, riesige Stoffauswahl der niedrigmolekularen organischen Chemie.

Was nach Destillation und Pyrolyse zurückbleibt ist praktisch reiner Kohlenstoff, der in den Bereich des angesaugten Sauerstoffes gerät, diesen vollständig bindet und durch die freigemachte Verbrennungswärme weitere Destillation und Pyrolyse veranlaßt.

Es lohnt sich, diese Entstehungsart des Rauches zu betonen, weil dadurch dem verbreiteten Irrtum gesteuert wird, nach welchem eine «vollständigere Verbrennung» den Rauch physiologisch harmlos machen sollte.

Aufbau des Cigarettenrauches

In einem unsichtbaren Medium, der sog. *Gasphase*, schweben als sog. *Teilchenphase* pro Kubikzentimeter Raum etwa 3 Milliarden Tröpfchen von 0,1 bis 1 μ Durchmesser (*Keith* und *Derrick* [5]).

In physikalischer Hinsicht unterscheiden sich die beiden Anteile vor allem in ihrer *Kontaktbereitschaft*. Da in der Gasphase freie Diffusion herrscht, kommen ihre Komponenten im Verlaufe der Fortbewegung des Rauches in Sekundenfrist quantitativ mit den Körpern der Umgebung (Tabakteilchen, Papier, Filterfasern, Mundspeichel usw.) in direkte Berührung. Die Tröpfchen der Teilchenphase verhalten sich demgegenüber sehr träge und gelangen mit der Umgebung erst in wirksamen Kontakt, wenn diese eine besonders große Oberfläche und eine sehr feine Unterteilung des Raumes in kleinste Raumelemente anbietet, wie das bei einem wirksamen Rauchfilter oder auch in der Lunge der Fall ist. In chemischer Hinsicht hat es sich gezeigt, daß die weitaus meisten Rauchbestandteile in irgendeinem Verhältnis auf *beide* Phasen verteilt sind. Nur wenige Stoffe von extrem niedrigen oder hohen Siedepunkten sind praktisch auf eine der beiden Phasen beschränkt. Vom Nikotin befinden sich meist mehr als 99% in der Teilchenphase [6], so daß man zur Nikotinbestimmung im Rauch gewöhnlich nur die kondensierte Teilchenphase analysiert. Man hat jedoch bis vor kurzem die *Empfindlichkeit des Verteilungsgleichgewichtes* weit unterschätzt: Wenn gasförmiges Nikotin durch Absorption an einer geeigneten Oberfläche aus dem Rauch verschwindet, so wird der Verlust sofort durch Verdampfung aus den Teilchen heraus ersetzt und so das gestörte Verteilungsgleichgewicht wieder hergestellt. Das führt zu einem überraschend schnellen Transport von Nikotin aus der Teilchenphase zur Grenzfläche der Umgebung, *ohne* daß die Teilchen diese Grenzfläche direkt zu berühren brauchen. Dieser Transportmechanismus wurde zuerst am Beispiel der Phenole experimentell festgestellt (*Hoffmann* und *Wynder* [7]; *Spears* [8]).

Das Verhalten des Nikotins im Rauch wird entscheidend beeinflußt durch seine Eigenschaft als *Base*. In basischer Umgebung liegt Nikotin in Form neu-

traler Moleküle vor, welche in der Gasphase vorkommen können. In saurer Umgebung ist es protoniert und hat die Form positiver Ionen, die nur in flüssiger oder fester Phase existieren können. Beim Neutralpunkt, $\text{pH} = 7$, liegt das Zahlenverhältnis Moleküle : Ionen bei etwa 1 : 4 (*Vickery* und *Pucher* [9]). Senkung des pH-Wertes bedeutet Vermehrung der Ionen und damit Abnahme der Flüchtigkeit.

Die Verteilung des Nikotins, wie sie in Abb. 1 ersichtlich ist, erklärt sich nun folgendermaßen:

Pyrolyse, resp. Destillation: Aus saurem Tabak wird mehr Nikotin pyrolysiert, weil es weniger flüchtig ist. Es harrt deshalb beim Heranrücken der Glutzone länger aus und wird höheren Temperaturen ausgesetzt.

Zwischen den Rauchzügen wird auch immer etwas Nikotin mit dem Nebenstrom verflüchtigt.

Absorption in der Mundhöhle: Die geringe Oberfläche der Mundhöhle kann nur einen verschwindenden Teil der Rauchtröpfchen zurückhalten. Dagegen ist der Speichel ein wirksames Lösungsmittel für das Nikotin der Gasphase. Via die besprochene Störung und Wiederherstellung des Verteilungsgleichgewichtes vermag nun der Speichel Nikotin aus der Teilchenphase zu entziehen, ohne mit dieser in direkte Berührung zu gelangen. Dieser Effekt nimmt während der kurzen Verweilzeit von etwa 2 Sekunden natürlich um so größeres Ausmaß an, je flüchtiger das Nikotin in den Rauchteilchen ist, d.h. je höher der pH-Wert des Rauches liegt!

Absorption im Zigarettstummel: Unter Stummel ist hier der nichtverbrannte Tabakrest, kein Filter verstanden. An diesem Tabak wird seiner großen Oberfläche wegen ein wesentlicher Teil der Rauchteilchen zurückgehalten. Daneben beeinflussen die Tabakfasern den Rauch auch via seine Gasphase. Man müßte daraus folgern, daß basischer Rauch auch im Stummel mehr Nikotin zurücklassen würde als saurer Rauch. Das Gegenteil ist jedoch der Fall, aus Gründen, auf die später noch eingegangen wird.

Untersuchungsmethoden

Die für unsere Untersuchungen verwendeten Cigaretten wurden auf einer automatischen Cigaretten-Maschine *Molins Mark VIII* hergestellt. (Länge: 70 mm; Durchmesser: 8,3 mm.) Für jeden Tabaktyp wurde das durchschnittliche Cigaretten-gewicht nach vorheriger Konditionierung bei 60% relativer Luftfeuchtigkeit und 20° C bestimmt. Verwendet wurden ausschließlich Cigaretten, die vom Durchschnittsgewicht um weniger als 20 mg abwichen (technische Daten Tabelle 2).

Die Versuchsanordnung beim Abrauchen geht aus den Abb. 3 und 4 hervor. Das Mundstück der Cigarette ist durch eine dünne Latex-Membran («dental dam») luftdicht an den Cigarettenhalter angeschlossen. Eine automatische

Tabelle 2 Technische Daten der untersuchten Cigaretten. Die Brenndauer bezieht sich auf die abgerauchte Länge von 47 mm, bei einer Strömung von 80 ml pro Minute.

Tabaksorte	Mittleres Gewicht mg/Cigarette	Mittlere Brenndauer min/Cigarette	Wassergehalt des Tabaks %
Virgin Rhodesien	1428	10,0	13,0
Virgin USA	1189	9,4	12,2
Maryland USA	948	5,4	11,2
Paraguay	1173	6,9	11,3
Burley Japan	1281	9,6	11,5

Abrauchmaschine, Typ «Cigarette Components CSM 10», gewährleistet reproduzierbare Saugbedingungen. Der frische Rauch passiert vorerst das im Wasserbad auf 37° C temperierte Glasrohr, in dem sich 0,6 ml einer dem Mundspeichel nachgebildeten *Absorptionsflüssigkeit* befindet. Dieser künstliche «Speichel» besteht aus 0,25 M. Phosphatpuffer mit Zusatz von 100 ppm Saponin. Der pH-Wert wurde auf 6,5 eingestellt, was ungefähr dem Durchschnittswert des menschlichen Speichels entspricht.

Nach dem Austritt aus dem Glasrohr passiert der Rauch ein feines Glasfaserfilter («Cambridge Filter») in dem über 99,9% der im Rauch enthaltenen Partikel von 0,3 μ Durchmesser zurückgehalten werden [6]. In diesem auf dem Glasfaserfilter niedergeschlagenen «Rauchkondensat» («Total Particulate Matter») befindet sich unter anderem auch praktisch alles im durchströmenden Rauch enthaltene Nikotin.

Beim *Mundrauchen* (ohne Inhalation) wird der Rauch in den Mund eingesaugt, verweilt dort für 1 bis 2 Sekunden in Kontakt mit der feuchten Mundoberfläche und wird dann wieder ausgestoßen. Zwischen zwei Rauchzügen erfolgt eine Spülung der Mundoberfläche durch Erneuerung des Speichels.

Das Ausmaß der Oberfläche der Mundhöhle wie auch deren Spülung zwischen zwei aufeinanderfolgenden Rauchzügen ist wohl stark individuellen Schwankungen ausgesetzt und schwer meßbar. Um in unseren Versuchen trotzdem die beiden Faktoren zu berücksichtigen, haben wir das Rohr mit der Pufferlösung durch einen Vibrator (50 Schwingungen pro Sekunde) bewegt. Dadurch wird die Oberfläche des künstlichen «Speichels» stark vergrößert (Wellenbildung) und außerdem fortwährend erneuert.

Eine weitere Schwierigkeit liegt darin, daß das Einsaugen und Ausstoßen des Rauches, wie es beim natürlichen Rauchen erfolgt, maschinell nur sehr schwer nachzuahmen ist. Bei den üblichen maschinellen Abrauchverfahren verweilt immer eine dem Totvolumen der Absorptionsapparatur entsprechende

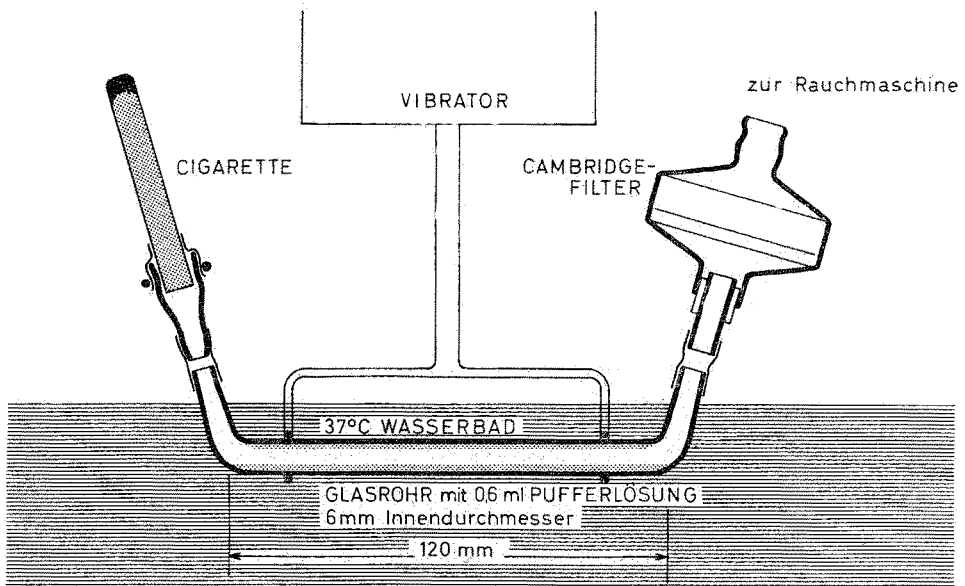


Abb. 3 Schematische Darstellung der Versuchsanordnung beim Abrauchen.

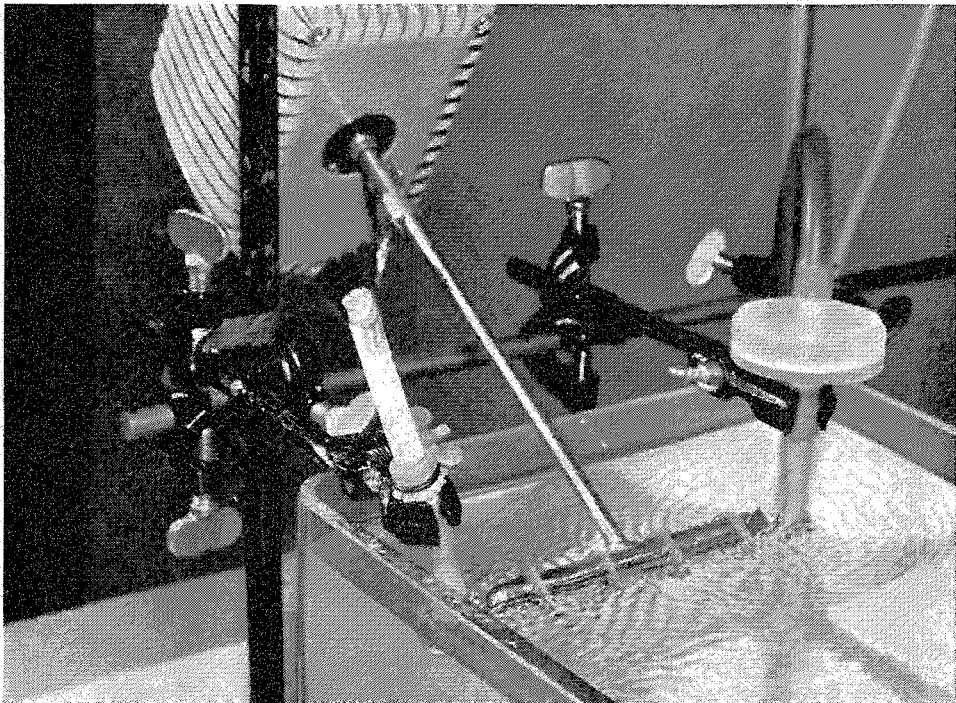


Abb. 4 Ansicht der Versuchsapparatur beim Abrauchen. Links die brennende Cigarette; in der Bildmitte das im Wasserbad eingetauchte und durch den Vibrator bewegte Glasrohr; rechts der Cambridge-Filter und die Saugverbindung zur Rauchmaschine.

Menge Rauch für die Dauer des Zugintervalls in Kontakt mit dem absorbierenden Medium. Da für die vorliegenden Versuche aber gerade die Dauer des zwischen Rauch und «Speichel» bestehenden Kontaktes von ausschlaggebender Bedeutung ist, haben wir auf das *Intermittieren* der Rauchzüge verzichtet und statt dessen im «*Dauerzug*» geraucht, bei einer Durchflußmenge von 80 ml pro Minute. Die Größe des Glasröhrchens wurde so gewählt, daß bei der angegebenen Durchflußmenge der Rauch sich während 2 Sekunden mit der Flüssigkeitsoberfläche in Kontakt befand. Diese Art des Abrauchens verhindert u. a. auch ein übermäßiges «*Altern*» des Rauches nach dem Austritt aus dem Cigarettenende (*Keith* und *Derrick* [5]). Wie aus der hellgelblichen Farbe der Absorptionsflüssigkeit zu schließen ist, erfolgt kein nennenswerter Niederschlag von Rauchpartikeln im Röhrchen, so daß die in der Flüssigkeit vorliegende Alkaloidmenge praktisch ausschließlich als aus der Gasphase absorbiert betrachtet werden kann.

Alle Cigaretten wurden auf eine Stummellänge von 23 mm abgeraucht. Anschließend wurden der Stummel, der künstliche «Speichel» und das Glasfaserfilter mit Salzsäure angesäuert und die «*total alkaloids*» (als Nikotin) nach Wasserdampf-Destillation auf spektrophotometrischem Wege bestimmt (*Laurene* und *Harrell* [10]). An einer Vergleichsserie von Cigaretten wurde das ursprünglich im verrauchten Tabak enthaltene Nikotin bestimmt. Die vom Tabakstummel zurückgehaltene Nikotinmenge ergibt sich aus der Differenz zwischen der im berauchten Stummel bestimmten Menge und der ursprünglich im unberauchten Stummel vorhandenen. Die pH-Werte des Rauches der einzelnen Tabaktypen wurden nach der von *Grob* [11] beschriebenen Methode ermittelt.

Die *Reproduzierbarkeit* der Messungen ist naturgemäß am besten beim Glasfaserfilter und bei der Absorptionsflüssigkeit. Dagegen ist die Bestimmung am Stummel weniger genau, einerseits weil kleinere Abweichungen bei der Stummellänge unvermeidlich sind, andererseits weil die im unbeladenen Stummel vorliegende Nikotinmenge an einer Parallelprobe bestimmt wird und deshalb die zwar geringen, aber immerhin bestehenden Unterschiede von Cigarette zu Cigarette als zusätzliche Fehlerquelle in Betracht fallen. Bei der Berechnung des Nikotinverlustes schließlich muß in Betracht gezogen werden, daß sich die Fehler aller übrigen Bestimmungen summieren. Da die im «Speichel» absorbierte Nikotinmenge stark abhängig ist von der Flüssigkeitsoberfläche und der Dauer des Kontaktes, müssen vor allem die Durchflußgeschwindigkeit des Rauches und die Vibration des Glasrohres möglichst genau reproduziert werden.

Resultate und Diskussion

Wie aus Abb. 1 und Tabelle 5 hervorgeht, bestehen beachtliche Unterschiede zwischen den einzelnen Tabaksorten im Hinblick auf die aus dem Rauch in den

Tabelle 5 Nikotinmengen («total alkaloids») pro Cigarette. Mittelwerte aus drei Bestimmungen an je einer Cigarette. In den beiden letzten Kolonnen sind auch die drei Einzelmessungen angeführt. (Prozentuale Verteilung siehe Fig. 1).

Tabaksorte	Im ver- rauchten Tabak mg	Verlust Hitze und Nebenstrom mg	Im Tabak- stummel absorbiert mg	Im «Speichel» absorbiert mg	Im Rauch- kondensat mg
Virgin Rhodesien	13,8	4,2	5,8	0,32 0,33 0,40 <u>0,35</u>	3,46 3,66 3,23 <u>3,45</u>
Virgin USA	10,6	3,1	4,8	0,33 0,28 0,38 <u>0,33</u>	2,51 2,15 2,60 <u>2,42</u>
Maryland USA	6,7	2,0	2,6	0,40 0,42 0,38 <u>0,40</u>	1,74 1,91 1,40 <u>1,68</u>
Paraguay	9,1	0,55	3,1	1,21 1,08 1,32 <u>1,20</u>	4,54 3,98 4,17 <u>4,23</u>
Burley Japan	23,8	3,7	6,6	2,56 2,12 3,34 <u>2,67</u>	11,03 10,24 11,20 <u>10,82</u>

«Speichel» übertretende Nikotinmenge. Dieser Unterschied zeigt sich nicht nur in den absolut gemessenen Nikotinmengen, sondern auch im prozentualen Anteil, bezogen auf den aus der Cigarette austretenden Rauch oder auf das ursprünglich im Tabak enthaltene Nikotin. Von der insgesamt im Rauch aus der Cigarette austretenden Nikotinmenge wird bei niedrigem Rauch-pH (heller Virgin) nur rund ein Zehntel vom «Speichel» aufgenommen, bei alkalischer Reaktion des Rauches (Paraguay, japanischer Burley) dagegen rund ein Fünftel. Der traditionell in der Schweiz sehr beliebte Marylandtabak nimmt eine Mittelstellung ein. Wenn auch andere Faktoren den Dampfdruck und damit die «Absorbierbarkeit» des Nikotins durch ein gepuffertes Medium beeinflussen können, so haben wir andererseits bei allen bisher durchgeführten Untersuchungen die ausgeprägte Abhängigkeit vom Rauch-pH bestätigt gefunden.

Schon vor Jahren hat *Wenusch* [2] auf Grund ganz andersartiger Messungen den vom Raucher aufgenommenen Anteil des Tabaknikotins beim Mundrauchen von «sauren» Cigaretten auf 2 bis 5% geschätzt. Die in unserem Modellversuch gefundenen Werte für Virgin (Abb. 1) stimmen verblüffend damit überein.

Bei der Interpretation der Versuchsergebnisse muß selbstverständlich die Tatsache berücksichtigt werden, daß zwischen den von uns gewählten Abrauchbedingungen und dem natürlichen (intermittierenden) Rauchen vor allem folgende Unterschiede bestehen:

1. Infolge des Fehlens der Rauchpausen kann beim Dauerzug praktisch kein Nikotinverlust im Nebenstromrauch auftreten.
2. Die Strömungsgeschwindigkeit ist beim Dauerzug konstant und entspricht einer Durchflußmenge von $1\frac{1}{3}$ ml pro Sekunde. Beim intermittierenden Rauchen wird normalerweise innert 2 Sekunden ein Volumen von 35 bis 40 ml angesaugt, bei 1 oder 2 Zügen pro Minute. Die Strömungsgeschwindigkeit ist also während eines Zuges 15mal höher als beim Dauerzug, was zur Folge hat, daß die Glutzonentemperatur stärkeren Schwankungen unterworfen ist und höhere Maximaltemperaturen erreicht werden. Es sind daher höhere Verluste durch Hitze zu erwarten.

Eine größere Strömungsgeschwindigkeit muß aber auch die Absorption durch den Tabakstummel vermindern.

Tatsächlich stellten wir fest, daß beim intermittierenden Rauchen ein wesentlich höherer Anteil des im verbrannten Tabak enthaltenen Nikotins verlorengeht und daß die vom Tabakstummel absorbierte Menge bedeutend geringer ist. Die insgesamt im Hauptstromrauch aus der Cigarette austretende Nikotinmenge ist ebenfalls etwas geringer. Dagegen konnten wir die für die untersuchten Tabaksorten charakteristischen Unterschiede im physikalisch-chemischen Verhalten des Nikotins im Rauch auch beim intermittierenden Abrauchen feststellen. Die quantitative Erfassung dieser Unterschiede ist allerdings beim intermittierenden Rauchen mit größeren Schwierigkeiten verbunden.

Bekanntlich ist es schwierig, in Mischungen mit *Pyridin* und seinen Derivaten das *Nikotin* allein zu bestimmen. Währenddem im Tabak und im Gesamt Rauch das Problem meist von geringer Bedeutung ist, befürchteten wir in unserem Falle starke Störungen. Infolge der viel höheren Flüchtigkeit des Pyridins müßte sein Anteil an der vom «Speichel» absorbierten Mischung wesentlich ansteigen. Wir haben aus diesem Grunde die Zusammensetzung der photometrisch bestimmten Fraktion – der sogenannten «total alkaloids» – gaschromatographisch untersucht. Verwendet wurden Kapillarkolonnen mit von uns synthetisiertem «coating liquid», worüber separat berichtet wird (*Grob* [12]). Abb. 6 zeigt ein entsprechendes Gaschromatogramm.

Keiner der untersuchten Tabake lieferte sicher meßbare Mengen von Nebenalkaloiden in der vom «Speichel» absorbierten Fraktion. Das Verhältnis von Pyridin zu seinen einfachen Derivaten – Methyl-, Dimethyl-, Aethyl-Pyridine und andere – zeigte keine großen Schwankungen. Sehr verschieden war dagegen das Verhältnis der gesamten Pyridinfraktion zur Nikotinmenge, wie aus nachstehender Übersicht hervorgeht.

Tabaksorte	Verhältnis Pyridin und Pyridinderivate: Nikotin
Virgin Rhodesien.....	1,1 : 1
Virgin USA	0,25 : 1
Maryland USA.....	0,48 : 1
Paraguay	0,08 : 1
Burley Japan	0,10 : 1

Das Nikotin kann demnach nicht nur leichter aus alkalisch reagierendem Rauch absorbiert werden, sondern die absorbierte Mischung ist zudem im allgemeinen weniger mit Pyridin und Pyridinderivaten verunreinigt. Zu diesem Umstand gesellt sich noch die Tatsache, daß der alkalische Rauch einen größeren Anteil des Tabaknikotins enthält, da einerseits im Tabakstummel weniger Nikotin zurückgehalten wird, andererseits der Verlust durch Hitze und Nebenstrom eher geringer ist.

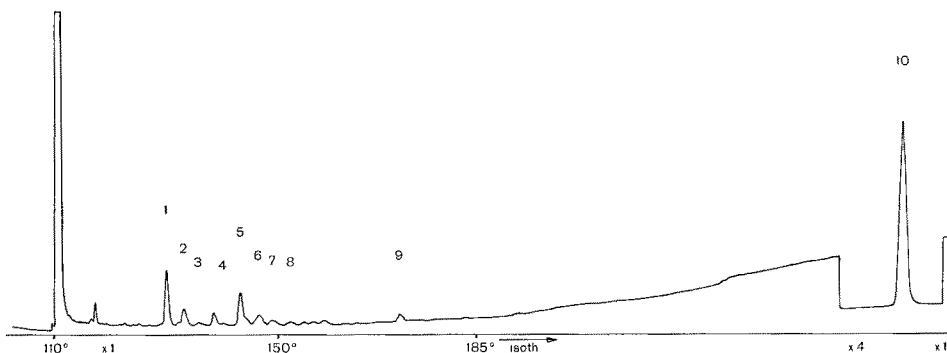


Abb. 6 Gaschromatogramm der im «Speichel» absorbierten Basen aus dem Rauch von japanischem Burley. Kolonne: 50 m/0,5 mm Ø, stationäre Phase: Polyäthylenimin; Trägergas: Stickstoff; Detektor: Flammenionisation. Identifizierte Komponenten: 1. Pyridin, 2. 2-Methylpyridin, 3. 2,6-Dimethylpyridin, 4. 2-Aethylpyridin, 5. 3-Methylpyridin, 6. 3-Aethylpyridin, 7. 2,4-Dimethylpyridin, 8. 2,3-Dimethylpyridin, 9. 3-Cyanopyridin, 10. Nikotin.

Unsere Feststellung, daß bei niedrigerem pH-Wert einerseits ein höherer Anteil des Tabaknikotins verlorengeht, und andererseits der im Tabakstummel absorbierte Anteil ebenfalls größer ist als bei höherem pH, läßt sich folgendermaßen erklären:

Im sauer reagierenden Tabak wird das Nikotin infolge seines geringeren Dampfdruckes stärker festgehalten, wird also erst bei höherer Temperatur in den Rauch übergehen. Einerseits bewirkt dies eine vermehrte Anreicherung im Tabakstummel, andererseits leistet die für den Übergang in den Rauch benötigte höhere Temperatur aber auch einem vermehrten Hitzezerfall Vorschub. Dadurch würde auch ein höherer Anteil der Pyridinfraktion im Rauch begünstigt.

Wesentlich einfacher liegen die Verhältnisse, wenn an Stelle des Tabakstummels ein künstliches, konstantes Filtermaterial tritt (*Lipp* [13]).

Herrn A. Cossy danken wir für die Durchführung der Nikotinbestimmungen.

Literatur

- [1] *Wenusch A.*: Z. Untersuch. Lebensmittel. 73, 176–185 (1937).
- [2] *Wenusch A.*: Der Tabakrauch. Arthur Geist Verlag, Bremen 1939. (Vergriffen, freundlicherweise von Dr. H. Kuhn, Wien, überlassen.)
- [3] *Pyriki C.*: Ber. Inst. Tabakforsch. Dresden 2, 127–141 (1955).
- [4] *Borbély F.*: Z. Präventivmedizin, Sonderheft: Die Toxikologie des Tabaks 14 (1962).
- [5] *Keith C.H.* und *J.C. Derrick*: Tob. Sci. 5, 84–91 (1961).
- [6] *Wartman W.B.*, *E.C. Cogbill* und *E.S. Harlow*: Anal. Chem. 31, 1705–1709 (1959).
- [7] *Hoffmann D.* und *E.L. Wynder*: J. Nat. Cancer Inst. 30, 67 (1963) (deutsch in Beitr. zur Tabakforschung 2, 51–66 (1963)).
- [8] *Spears A.*: Tob. Sci. VII, 76–80 (1963).
- [9] *Vickery H.B.* und *G.W. Pucher*: J. Biol. Chem. 84, 233–241 (1929).
- [10] *Laurene A.H.* und *T.G. Harrell*: Anal. Chem. 30, 1800 (1958).
- [11] *Grob K.*: Beitr. z. Tabakforsch. 97–100 (1961).
- [12] *Grob K.*: J. of Gas Chromatog. (im Druck).
- [13] *Lipp G.*: Vortrag Groupe *Fumée du Coresta*, Paris, 20. Juni 1963.

Der Wärmeschutz nach DIN 4108 und seine Auswirkung auf das Raumklima in Wohnungen

Von *W. Schüle*¹⁾

Zusammenfassung

Sinn und Zweck der wärmeschutztechnischen Bedingungen der DIN 4108 ist es, die Voraussetzungen zu schaffen für behagliche und damit hygienisch einwandfreie Wohn- und Arbeitsräume. Dies wird bei Einhaltung der Vorschriften im großen und ganzen auch erreicht, doch müssen bei der geplanten Neufassung dieses Normblattes noch einige Gesichtspunkte berücksichtigt werden, die in dem z.Z. geltenden Blatt nicht oder nur ungenügend behandelt sind. Dies ist vor allem die Frage der Fußwärme sowie die der Fenstergröße.

Résumé

Le but des recommandations DIN 4108 concernant la technologie de l'isolement calorique en matière de construction est d'assurer un climat confortable et hygiénique dans les locaux d'habitation et de travail. L'auteur estime que les recommandations en question permettront en général d'atteindre ce but. Cependant, il reste encore quelques problèmes à étudier – tels que le confort thermique en fonction des planchers ou en fonction des fenêtres – et qui devront être introduits dans une future nouvelle édition de ces recommandations.

Im Normblatt 4108 «Wärmeschutz im Hochbau» sind die wärmeschutztechnischen Anforderungen niedergelegt, die an Wände, Decken und Dächer von Räumen zum dauernden Aufenthalt von Menschen gestellt werden. Im folgenden sollen die Gesichtspunkte und die Wege kurz besprochen werden, die zu einer Festlegung wärmeschutztechnischer Anforderungen an Bauteile führen

¹⁾ Adresse: Dr. ing. Walter Schüle, Institut für technische Physik der Fraunhofer-Gesellschaft, Königsstraße 70–74, Stuttgart-Degerloch.