

## Schwermetalle in Tabaken und in Tabakrauch II: Spurenelemente Cadmium, Blei, Kupfer, Kobalt und Nickel in österreichischen Zigaretten und deren Rauchkondensaten und Rauchgasen\*

von

Alfred Nitsch, Kurt Kalcher,  
Herbert Greschonig und Reinhold Pietsch

Institut für Analytische Chemie  
Karl-Franzens Universität  
Graz, Österreich

### ZUSAMMENFASSUNG

In 14 verschiedenen österreichischen Filterzigaretten wurden die Spurenmetalle Cadmium (Cd), Blei (Pb), Kupfer (Cu), Kobalt (Co) und Nickel (Ni) bestimmt. Die Tabake zeigen überraschend gute Übereinstimmung in den Metallgehalten, so daß relativ signifikante Mittelwerte berechnet werden konnten. Dieselben Elemente wurden auch im Hauptstrom der Zigaretten bestimmt, wobei die Gas- und Partikelphasen getrennt untersucht wurden. Aufgrund ebenfalls gemachter Asche- und Stummelanalysen konnten der Nebenstromanteil sowie die Transferraten für die verschiedenen Fraktionen berechnet werden. Eine Einteilung in schwere und leichte Zigaretten bezüglich Schwermetalle war wegen weitgehender Ähnlichkeiten der Analysenergebnisse nicht möglich.

### SUMMARY

The trace metals cadmium, lead, copper, cobalt and nickel have been analyzed in 14 different Austrian filter cigaret-

tes. The results show a good conformity thus allowing the calculation of a characteristic mean value. The same metals were analyzed separately in the gas and particle phase. From this data and the results obtained from butt and ash analysis, the sidestream concentrations and the transfer rates for both fractions could be evaluated. A classification into light and heavy cigarettes on the basis of heavy metal contents could not be made due to the similarity of the results.

### RESUME

La teneur en cadmium, plomb, cuivre, cobalt et nickel a été analysée dans 14 cigarettes filtres autrichiennes différentes. Les résultats obtenus sont d'une bonne conformité et permettent l'obtention de valeurs moyennes significatives. La présence de ces métaux a également été quantifiée dans la fumée du courant principal en considérant séparément la phase gazeuse et la phase particulaire. L'examen des teneurs en ces métaux des cendres et des mégots permettait d'évaluer leur quantité dans la fumée du courant secondaire de même que leur taux de transfert dans les fractions différentes. La similitude des valeurs obtenues ne permet pas de les classer en cigarettes lourdes et légères d'après leur contenu en métaux lourds.

\* Eingegangen: 21. November 1988 – angenommen: 17 Oktober 1989

## 1. EINLEITUNG

Zigaretten haben als Genußmittel enorme Bedeutung in unserer heutigen Gesellschaft erlangt. Natürlich erfolgt, genau wie bei der Nahrungsaufnahme, durch starkes Rauchen eine gewisse Schwermetallzufuhr, welche den Mittelpunkt vieler Studien bildet. Für nichtösterreichische Rauchwaren liegen bereits umfassende Untersuchungen vor (1–24). Um österreichische Zigaretten in diesen Vergleich mit einzubeziehen, wurde in der vorliegenden Arbeit eine Querschnittsuntersuchung über das Marktangebot durchgeführt. Ausgesucht wurden 14 gängige Filtersorten, die sicherlich als repräsentativ für den Rauchkonsum gelten können.

Für die vorliegende Studie wurde eine Auswahl an Schwermetallen getroffen, die sowohl essentielle (Kupfer, Kobalt, Nickel) als auch nichtessentielle (Cadmium, Blei) Spurenelemente enthielt. Auf Cadmium wurde besonderer Wert gelegt, da dieses Metall von Tabakpflanzen angereichert wird (1, 2, 25, 26). Weiterhin erlaubt die getroffene Auswahl eine Simultanbestimmung der in Betracht kommenden Elemente mit Hilfe der Inversvoltammetrie, so daß mit vernünftigen Arbeitsaufwand ein Maximum an Information erhalten werden kann. Die Zigaretten wurden zunächst in ihren Komponenten Tabak, Papier und Filter auf diese Spurenelemente analysiert; in weiterer Folge wurden in den durch das Abrauchen erhaltenen Fraktionen ebenfalls die Gehalte bestimmt, so daß Transfers der einzelnen Metalle errechnet werden konnten.

Beim Rauchvorgang besteht der Massetransport von der Zigarette weg aus zwei Flüssen: dem Haupt- und dem Nebenstrom. Ersterer repräsentiert den Rauch- und Gasanteil, der durch das Mundstück die Zigarette verläßt und in den Rachenraum des Rauchers gelangt; die zweite Komponente umfaßt diejenigen Fraktionen, die von der Glutzone der Rauchwaren in die Umgebung entweichen. Letztere ist direkt schwer zu fassen, deswegen wird der Nebenstrom als Differenz der anderen Anteile (Hauptstrom, Stummel, Asche) zum Gesamtgehalt errechnet.

Jeder Strom umfaßt zwei Bestandteile: die Partikelphase (fest, flüssig) und die Gasphase. Für eine eingehendere Studie ist es daher unerlässlich, diese beiden Faktoren getrennt zu untersuchen. Hierfür sind hauptsächlich zwei Methoden in Anwendung: Filtration fester Teilchen aus dem Gasstrom mit Cambridgefiltern (Glasfaserfilter) sowie Präzipitation partikulärer Anteile mittels eines Hochspannungsfeldes (elektrostatischer Filter). Wegen des Wegfalles der Verstopfungsgefahr und der hohen Effizienz wurde letzteres Verfahren zur Abtrennung der Teilchenkomponente ausgewählt. Für die Gasphase schien eine Waschflasche mit verdünnter Perchlorsäure, durch die der Gasstrom über eine Fritte geführt wurde, ausreichend.

Zur Abschätzung von Transferraten – dies ist der prozentuale Anteil vom Gesamtgehalt, der in eine untersuchte Fraktion gelangt – wurde der Gehalt in Asche und Stummel ebenfalls bestimmt.

## 2. EXPERIMENTELLER TEIL

### *Reagenzien*

Wasser wurde in einer Quarzdestille zweifach destilliert und zusätzlich mit einer Reinstwasseranlage (Nanopure, Barnstedt) aufbereitet. Säuren und Ammoniak waren vom Reinheitsgrad suprapur (Merck). Der Ammoniak-Ammonchloridpuffer bestand aus 5 ml HCl c. und 8 ml NH<sub>3</sub> c., aufgefüllt auf 20 ml. Dimethylglyoxim besaß den Reinheitsgrad p. a. und wurde in einer Konzentration von 0,1 M in Ethanol gelöst. Standardlösungen wurden in Konzentrationen von 1000 ppm, bezogen auf das Metallion, hergestellt. Daraus wurden Standards geringerer Gehalte durch Verdünnen bereitet.

### *Konditionierung der Zigaretten*

Die Zigaretten wurden mindestens eine Woche bei einer konstanten Luftfeuchtigkeit von 62 % in einem Exsikkator mit gesättigter Ammonnitratlösung konditioniert. Der Wassergehalt wurde durch 24stündiges Gefriertrocknen unter Beheizung der Probe auf 30 °C bestimmt.

### *Abrauchen von Zigaretten*

Die verwendete Rauchmaschine wurde an anderer Stelle schon ausführlich beschrieben (27, 28). Die Bedingungen entsprachen der Deutschen Industrienorm (29). Demzufolge wurde eine Zugfrequenz von einem Zug pro Minute bei einer Zugdauer von zwei Sekunden und einem Zugvolumen von 35 ml gewählt. Die Einstecktiefe in das Mundstück betrug 9 mm. Die Asche wurde mit einer Teflonrinne, die direkt unter der Zigarette plaziert wurde, aufgefangen. Der Abbruch des Rauchvorganges erfolgte manuell bei Erreichen der geforderten Stummellänge (mindestens 23 mm, mindestens Filterlänge + 8 mm), die mittels Visiereinrichtung bestimmt wurde (28). Der Stummel wurde sodann mit 0,03 ml Wasser abgedämpft und im Aufschlußtiegel aus Quarz gewogen, wobei 20 mg vom Gesamtgewicht abgezogen wurden (ca. 10 mg Wasser verdampfen beim Löschvorgang). Danach wurde mit dem Säuregemisch für den Aufschluß versetzt. Die Asche wurde ebenfalls gewogen und in einen Aufschlußtiegel überführt, wobei Verspritzen durch Reaktion der gebildeten Karbonate mit der Aufschlußsäure vermieden werden mußte. Zur Bestimmung der Schwermetalle in der Gas- und Partikelphase wurden die Fraktionen von fünf Zigaretten gesammelt, die nacheinander in der Rauchmaschine abgeraucht wurden. Das Kondensat des Elektrofilters wurde mit heißer Salpetersäure losgelöst und nach Abspülen und Entfernen des Innenteils mit Perchlorsäure versetzt. Der Naßaufschluß wurde direkt im Außenteil der Rauchfalle durchgeführt (27). Der Innenteil des Gasabsorbers wurde ebenso mit Salpetersäure gespült und entfernt; der Aufschluß erfolgte wiederum nach Zugabe von Perchlorsäure in der Quarzhülse (27).

## Aufschlußmethoden

Zum Aufschluß der Tabake wurden ca. 300 mg bis 400 mg in Quarzriegeln mit etwa 6 ml Säuregemisch versetzt, welches aus 5+1 Salpeter- und Perchlorsäure bestand. Zunächst wurde mäßig auf etwa 80 °C erhitzt, um Übersäumen zu vermeiden. Dann wurde allmählich die Temperatur weiter gesteigert, bis nach der Salpetersäureoxidation der Perchlorsäureaufschluß einsetzte. Schließlich wurde das Aufschlußgut langsam und vollständig eingedampft. Mit Zigarettenfiltern und -papieren wurde analog verfahren, wobei der vollständige Filter bzw. das Papier einer Zigarette aufgeschlossen wurden. Bei Zigarettenfiltern, die eine braune Färbung aufwiesen, wurden 100 µl Schwefelsäure zur Vervollständigung der Oxidation zugesetzt. Die Aufschlüsse der einzelnen Abrauchfraktionen erfolgten in den entsprechenden Quarzgefäßen mit demselben Säuregemisch von 5+1 Salpeter- und Perchlorsäure und wurden analog den Tabakaufschlüssen durchgeführt. Die trockenen Aufschlußrückstände wurden in 20 ml Wasser gelöst und der Messung zugeführt.

## Meßmethoden

Die Untersuchungslösung wurde mit 20 µl Salzsäure als Leitelektrolyt versetzt und vor der Messung durch Spülen mit Reinstickstoff von gelöstem Sauerstoff befreit. Die Elemente Cadmium, Blei und Kupfer wurden mit anodischer differentieller Pulsinversvoltammetrie (DPASV – Differential Pulse Anodic Stripping Voltammetry) bestimmt; dabei werden die Metalle als Amalgame an einer Quecksilberelektrode angereichert und der Reoxidationsstrom registriert. Als Meßgerät diente ein Polarograph PAR 264A, als Meßzelle eine selbstgebaute Plexigläseinheit (30) mit einer hängenden Quecksilbertropfenelektrode EA 290-2 (Metrohm), einer gesättigten Kalomelelektrode (SCE – Saturated Calomel Electrode) als

Referenz- und einem Platindraht als Hilfselektrode. Die Anreicherungszeit betrug je nach Schwermetallgehalt 10 bis 90 Sekunden bei  $-0,8$  V vs. SCE. Das Endpotential lag bei 0,1 V vs. SCE bei einer Potentialänderung von 5 mV/s und einer Pulshöhe von 50 mV.

Nach der Cadmium-, Blei- und Kupfermessung wurden Cobalt und Nickel durch Anreicherung als Dimethylglyoximkomplexe an der Quecksilberelektrodenoberfläche und nachfolgender Reduktion zum Metall bestimmt (DPCSV – Differential Pulse Cathodic Stripping Voltammetry). Wegen der Empfindlichkeit der Meßmethode wurden 2 ml der sauren Untersuchungslösung auf 20 ml verdünnt und mit Stickstoff von Sauerstoff befreit, mit 0,5 ml Ammoniak-Ammonchloridpuffer sowie 0,05 ml 0,1 M Dimethylglyoximlösung versetzt. Die Anreicherung erfolgte bei  $-0,7$  V vs. SCE für 10 bis 60 Sekunden je nach Konzentration. Die Messung wurde wiederum im differentiellen Pulsmodus, allerdings in kathodische Richtung, ausgeführt. Der Potentialbereich erstreckte sich von  $-0,7$  bis  $-1,3$  V vs. SCE mit denselben Parametern wie oben erwähnt. Um gleichmäßige Ergebnisse zu gewährleisten, wurde der Quecksilbertropfen vor der Anreicherungsphase bei  $-1,3$  V vs. SCE für 20 Sekunden konditioniert.

Die Mengenermittlung erfolgte in allen Fällen mit der Standardadditionsmethode, wobei jeweils zwei innere Standards zugesetzt wurden. Die Peakhöhen wurden durch Tangentenfit bestimmt. Die Messungen wurden wiederholt durchgeführt, wodurch die Analysenfehler durchwegs unter 5 % lagen. Mittelwerte wurden aus drei Analysen gebildet; bei Streuungen von mehr als 30 % wurden zusätzliche Proben analysiert.

## 3. ERGEBNISSE

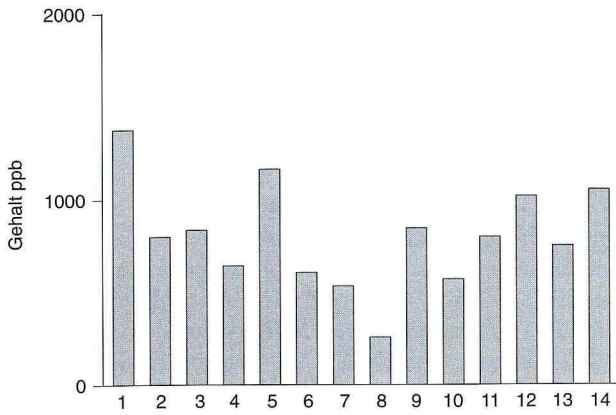
Die Analyseergebnisse für die Tabake der untersuchten Zigaretten sind in Tabelle 1 zusammengefaßt. Übersichtshalber wurden die Nikotin- und Kondensatwerte, wie sie

Tabelle 1.

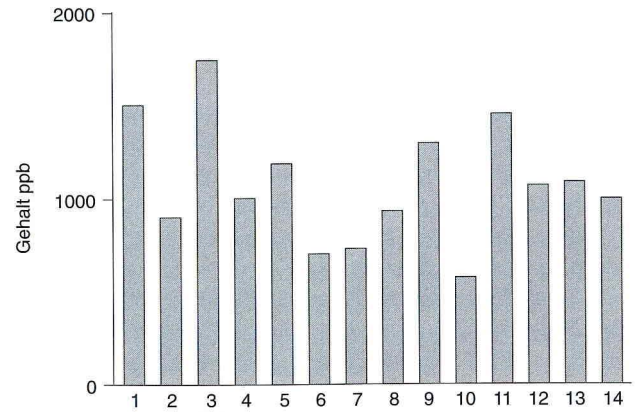
Schwermetalle in Tabaken österreichischer Filterzigaretten. Angaben in ppb; durchschnittliche Massen sowie Kondensat und Nikotin in mg pro Zigarette.

Nr.	Cadmium	Blei	Kupfer	Kobalt	Nickel	Masse	Kondensat	Nikotin
1	1380	1510	22390	328	2650	715.8	14	0.7
2	780	890	17030	260	2520	726.8	9	0.7
3	830	1740	15690	230	1700	759.5	15	0.9
4	630	990	28510	530	2700	744.4	14	0.8
5	1160	1180	16480	240	2200	754.7	13	0.7
6	600	690	23240	490	2300	779.6	14	0.7
7	530	720	15650	420	1990	717.9	9	0.7
8	260	910	10360	260	2040	901.7	9	0.7
9	830	1280	8280	276	1860	919.8	12	0.6
10	560	560	34460	390	2120	722.6	10	0.5
11	790	1430	13150	380	2210	727.3	8	0.3
12	1010	1050	13280	260	2650	716.7	12	0.8
13	750	1070	19470	370	3310	756.9	14	1.0
14	1050	980	21380	250	2460	767.1	5	0.2

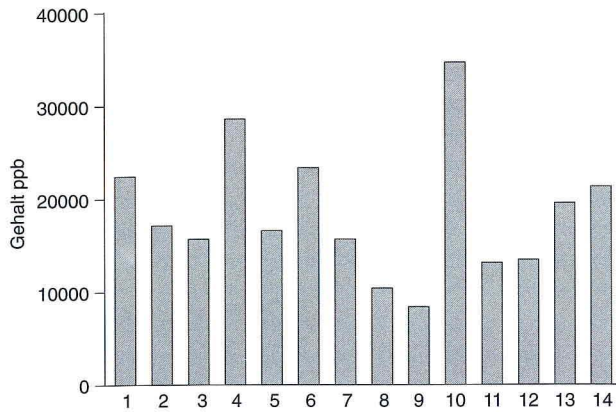
**Abbildung 1.**  
Cadmiumgehalt der Tabake.



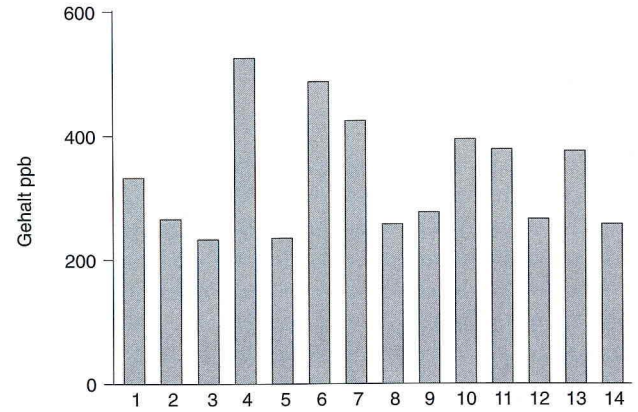
**Abbildung 2.**  
Bleigehalt der Tabake.



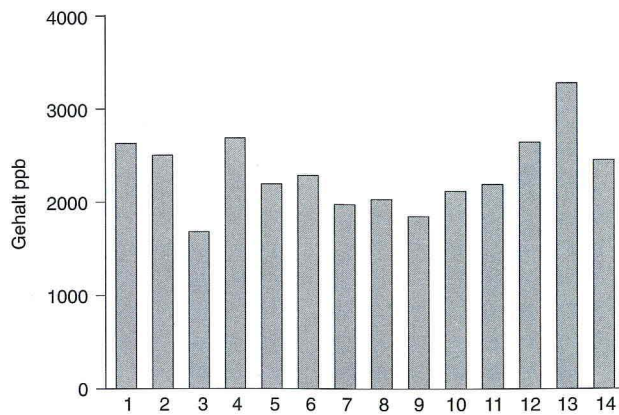
**Abbildung 3.**  
Kupfergehalt der Tabake.



**Abbildung 4.**  
Kobaltgehalt der Tabake.



**Abbildung 5.**  
Nickelgehalt der Tabake.



auf den Packungen angegeben sind, mit aufgelistet. Zum direkten Vergleich sind die Konzentrationen in Form von Balkendiagrammen graphisch in Abbildung 1 bis 5 dargestellt. Die Schwermetallgehalte der Papiere sowie Filter finden sich in den Tabellen 2 und 3. In den Tabellen 4 bis 8 sind die Analyseergebnisse für die einzelnen Abbrauchfraktionen aufgelistet. Die Konzentrationen sind in  $\mu\text{g}/\text{kg}$  (= ppb; 1000 ppb = 1 ppm) aufgeführt, die Angaben für die Ströme in ng pro Zigarette, da die Konzentrationsangaben (in ppb) vor allem bei Gas- und Nebenstromgehalten nicht ohne weiteres möglich sind. Die Analyseergebnisse zeigten natürlich, wie alle biologischen Proben, sowohl für die Zigarettenkomponenten wie auch für die Abbrauchfraktionen größere nicht-methodische Streuungen, die auf verschiedene herkunftsbedingte (verschie-

dene Zulieferorte, Pflanzenalter usw.) und produktionsbedingte (verschiedene Chargen, uneinheitliche Tabake und Stopfungsdichten usw.) Schwankungen zurückzuführen sind. Auf Homogenisation, welche Gehaltsunterschiede der einzelnen Tabakteilchen etwas nivellieren würde, wurde bewusst verzichtet, da der Kontakt mit den dazu erforderlichen Apparateteilchen zu starken Verfälschungen durch Kontamination führen kann. Daher stellen die Resultate Mittelwerte aus mindestens 3 Einzelwerten dar. Analysen darüber hinaus wurden solange wiederholt, bis die Variationskoeffizienten (relative mittlere Standardabweichung bezogen auf den Mittelwert) durchweg unter 10 % lagen, was für eine statistische Aussage innerhalb der Serie untersuchter Zigaretten signifikant erschien. Die charakteristischen Durchschnittswerte für

**Tabelle 2.**

**Schwermetallgehalte im Zigarettenpapier österreichischer Filterzigaretten.** Angaben in ppb. Durchschnittliche Masse in mg pro Zigarette.

Nr.	Masse	Cadmium	Blei	Kupfer	Kobalt	Nickel
1	39.4	730	850	7100	820	6980
2	35.6	110	2780	30670	32	1090
3	38.2	80	1490	16610	280	500
4	39.9	610	1040	6480	160	4290
5	34.8	150	3140	26050	240	1000
6	40.3	660	4110	68640	70	2230
7	40.1	360	220	6160	10	860
8	52.0	550	2880	27700	360	1130
9	48.1	790	650	12100	390	1190
10	39.4	90	1540	176000	200	610
11	38.7	240	1000	459900	570	1100
12	38.3	70	1320	25100	40	1610
13	39.5	80	750	14420	30	1070
14	39.7	160	800	27230	350	540

**Tabelle 3.**

**Schwermetallgehalte in Filtern österreichischer Zigaretten.** Angaben in ppb. Durchschnittliche Masse in mg/Zigarette.

Nr.	Masse	Cadmium	Blei	Kupfer	Kobalt	Nickel
1	160.4	50	311	1440	10	567
2	198.1	3	47	12440	40	634
3	166.0	2	63	2920	35	1260
4	173.9	34	620	5515	31	1135
5	179.8	38	281	1950	108	2610
6	178.6	25	227	3750	32	1154
7	188.2	45	126	38000	66	244
8	193.7	13	120	2565	48	121
9	196.1	116	733	76000	108	1252
10	188.2	124	188	3245	42	448
11	205.4	32	108	4260	36	587
12	164.0	197	392	6760	19	807
13	176.7	1	126	2120	19	318
14	162.6	2	181	2330	394	135

**Tabelle 4.**

**Cadmiumgehalt der Rauchfraktionen.** HS = Hauptstrom, NS = Nebenstrom, ‡ = Extreme bei der Mittelwertbildung unberücksichtigt.

Nr.	Partikel- anteil HS (ng/Zigarette)	Gas HS (ng/Zigarette)	NS (ng/Zigarette)	Asche ppb	Stummel		mittlere Zugzahl
					ppb	mg	
1	80	31	753	844	314	210	7.9
2	73	22	331	790	278	320	8.1
3	61	7	440	930	267	220	7.7
4	79	2	261	1423	92	350	8.7
5	71	3	678	1075	274	190	8.1
6	52	5	320	1380	133	300	7.7
7	43	2	283	717	65	220	7.7
8	66	2	44	828	213	240	10.1
9	116	4	395	1808	262	310	11.0
10	85	1	165	1526	196	300	7.5
11	85	2	248	2087	205	340	7.3
12	75	1	497	866	340	330	7.4
13	79	3	356	1055	165	280	8.6
14	45	1	66	2504	450	300	6.5
Durchschnitts- Zigarette ‡	63	3	343	1097	263	279	

**Tabelle 5.**

**Bleigehalt der Abrauchfraktionen.\***

Nr.	Partikel- anteil HS (ng/Zigarette)	Gas HS (ng/Zigarette)	NS (ng/Zigarette)	Asche ppb	Stummel ppb
2	46	60	177	4320	512
3	43	60	664	5502	1116
4	47	37	215	5082	391
5	69	41	344	3474	1674
6	21	19	253	5133	476
7	48	30	141	3331	255
8	47	30	160	5997	132
9	41	23	269	7528	209
10	45	25	82	3561	191
11	40	24	186	8169	338
12	83	28	66	5560	731
13	68	30	72	6880	556
14	27	6	66	6957	547
Durchschnitts- Zigarette ‡	52	41	197	5256	622

\* Abkürzungen siehe Tabelle 4.

**Tabelle 6.**  
**Kupfergehalt der Rauchfraktionen.\***

Nr.	Partikel- anteil HS (ng/Zigarette)	Gas HS (ng/Zigarette)	NS (ng/Zigarette)	Asche ppb	Stummel ppb
1	2327	1003	1303	72830	17540
2	227	90	3991	88300	16360
3	303	57	520	10560	7273
4	199	83	8828	105920	11300
5	254	13	3542	78690	19040
6	282	157	1979	260850	11670
7	233	89	5715	83090	26190
8	51	24	798	24700	30870
9	727	39	1869	72280	36450
10	91	18	11917	183300	18000
11	106	14	2913	188300	24120
12	27	19	3697	64640	9660
13	29	18	3331	130730	7590
14	25	18	4369	107140	16740
Durchschnitts- Zigarette ‡	177	54	2586	76530	16459

\* Abkürzungen siehe Tabelle 4.

**Tabelle 7.**  
**Kobaltgehalt der Rauchfraktionen.\***

Nr.	Partikel- anteil HS (ng/Zigarette)	Gas HS (ng/Zigarette)	NS (ng/Zigarette)	Asche ppb	Stummel ppb
1	9	5	151	704	117
2	7	1	63	1247	126
3	2	< 1	3	1575	327
4	1	1	243	1056	185
5	2	< 1	38	1520	237
6	1	10	143	3012	177
7	1	1	130	1697	202
8	1	1	28	1210	341
9	1	< 1	34	1728	128
10	1	2	209	346	197
11	2	1	112	1523	147
12	1	< 1	50	875	216
13	1	1	83	1914	192
14	2	1	152	830	177
Durchschnitts- Zigarette ‡	1	1	100	1221	208

\* Abkürzungen siehe Tabelle 4.

**Tabelle 8.**  
**Nickelgehalt der Rauchfraktionen.\***

Nr.	Partikel- anteil HS (ng/Zigarette)	Gas HS (ng/Zigarette)	NS (ng/Zigarette)	Asche ppb	Stummel ppb
1	48	57	1267	5199	1450
2	1	8	525	9947	2302
3	12	9	134	11207	2509
4	8	21	423	12909	2249
5	27	8	681	10595	3238
6	14	18	689	16970	1162
7	11	6	577	7754	1262
8	6	10	689	7297	1361
9	3	4	386	10316	1006
10	6	16	420	7511	1946
11	7	7	453	8566	1558
12	5	4	440	12340	1942
13	18	10	972	15037	1549
14	9	3	447	10876	2053
Durchschnitts- Zigarette ‡	10	10	620	9756	1666

\* Abkürzungen siehe Tabelle 4.

**Tabelle 9.**  
**Charakteristische Durchschnittswerte für österreichische Filterzigaretten.** + extralange Zigaretten ausgenommen, ‡ Extreme bei der Mittelwertbildung nicht berücksichtigt.

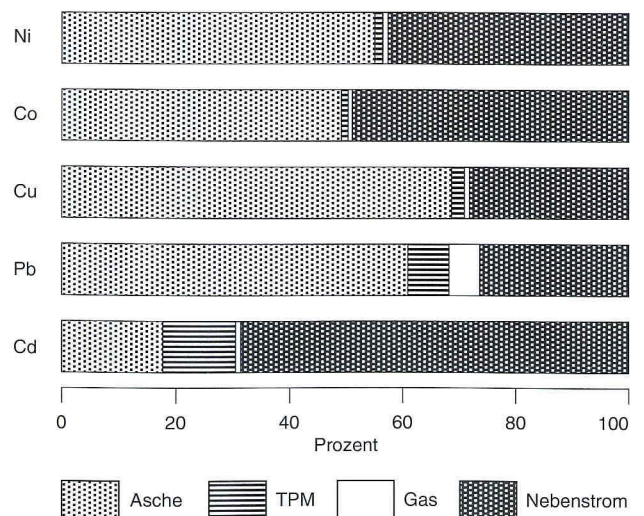
Gesamtmasse	963.1 mg/Zigarette +
Tabakmasse	743.6 mg/Zigarette +
Filtermasse	180.8 mg Zigarette
Papiermasse	38.7 mg/Zigarette +
Feuchtigkeit	10 Prozent
Gesamtlänge	82 mm +
Filterlänge	26 mm
Gesamt-Cadmium	570 ng/Zigarette +‡
Gesamt-Blei	934 ng/Zigarette +‡
Gesamt-Kupfer	13610 ng/Zigarette +‡
Gesamt-Kobalt	257 ng/Zigarette +‡
Gesamt-Nickel	1890 ng/Zigarette +‡
Tabak-Cadmium	740 ppb ‡
Tabak-Blei	1110 ppb ‡
Tabak-Kupfer	16280 ppb ‡
Tabak-Kobalt	322 ppb ‡
Tabak-Nickel	2330 ppb ‡

österreichische Filterzigaretten sind in Tabelle 9 zusammengefaßt. Die Transferraten finden sich in den Tabellen 10 und 11. Sie wurden aus den wieder aufgefundenen Massen bezogen auf die insgesamt vorhandene Masse an Schwermetall in Prozent errechnet. Tabelle 12 gibt effektive Transferraten wieder, die den wieder aufgefundenen Bruchteil auf den beim Rauchvorgang effektiv umgesetzten Anteil (entsprechend der abgebrannten Tabak- und Papiermasse) beziehen:

$$TR_{eff} = \frac{a}{g-st} \cdot 100,$$

wo *a* die Masse des Schwermetalls in der jeweiligen Fraktion, *g* die Gesamtmasse in der Zigarette und *st* die Masse im Stummel bedeuten. Da sich innerhalb der analytischen Gegebenheiten keine ausgeprägte Filterwirkung für Schwermetalle feststellen ließ – eine relativ große Stummelmasse mit hohem Metallgehalt nimmt eine wesentlich geringere Masse an Kondensat mit niedrigem Gehalt auf; daher waren die zusätzlichen im Stummel aufgefundenen Anteile sehr klein und innerhalb der Streuungen der Stummelanalysen nicht charakteristisch – konnte obige Formel ohne weiteres angewendet werden. Abbildung 6 zeigt die so ermittelten effektiven Raten

**Abbildung 6.**  
**Graphische Darstellung der effektiven Transferraten einer österreichischen Durchschnittszigarette für die untersuchten Schwermetalle Cadmium, Blei, Kupfer, Kobalt und Nickel.**





**Tabelle 10.**

**Transferraten von Cadmium, Blei und Kupfer in die Ströme.** Angaben in %.\*

Nr.	Cadmium			Blei			Kupfer		
	Partikel-anteil	Gas	NS	Partikel-anteil	Gas	NS	Partikel-anteil	Gas	NS
1	7.8	3.0	73.4	5.2	12.8	13.5	14.1	6.1	7.9
2	12.7	3.9	57.9	6.0	7.9	23.3	1.4	0.6	25.0
3	9.6	0.9	69.6	3.1	2.7	47.8	2.3	0.4	4.0
4	15.8	0.4	52.2	5.3	4.2	24.3	0.9	0.4	39.3
5	7.9	0.3	76.4	6.5	3.9	33.3	1.9	0.7	25.9
6	10.5	0.9	64.0	2.8	2.5	34.0	1.3	0.7	9.2
7	10.7	0.5	70.6	8.7	5.4	25.7	1.3	0.5	30.7
8	25.1	0.8	16.6	4.8	3.0	16.0	0.4	0.2	7.1
9	14.0	0.5	47.8	3.1	1.7	19.9	3.1	0.2	8.1
10	19.5	0.7	38.0	9.0	4.9	16.3	0.3	0.1	36.7
11	14.4	0.3	41.8	3.6	2.2	16.8	0.4	0.1	10.3
12	9.9	0.1	65.8	9.5	3.2	7.6	0.2	0.2	26.7
13	14.0	0.5	62.9	7.9	3.5	8.4	0.2	0.1	21.2
14	5.5	0.2	53.6	3.3	0.7	8.1	0.1	0.1	24.5
Durchschnitts-Zigarette ‡	11.0	0.5	60.2	5.6	4.4	21.1	1.3	0.4	19.0

\* Abkürzungen siehe Tabelle 4.

**Tabelle 11.**

**Transferraten von Kobalt und Nickel in die Ströme.** Angaben in %.\*

Nr.	Kobalt			Nickel		
	Partikel-anteil	Gas	NS	Partikel-anteil	Gas	NS
1	3.3	1.9	56.2	2.1	2.5	56.0
2	3.3	0.3	31.2	0.4	0.4	26.3
3	1.0	0.1	1.4	0.8	0.6	8.8
4	0.2	0.1	60.3	0.3	0.9	17.7
5	0.9	0.2	18.7	1.3	0.4	31.5
6	0.3	2.7	36.8	0.7	0.9	33.0
7	0.3	0.4	41.1	0.7	0.4	38.2
8	0.3	0.2	10.7	0.3	0.5	36.9
9	0.2	0.2	11.6	0.1	0.2	19.2
10	0.2	0.7	69.9	0.3	1.0	25.6
11	0.7	0.4	37.1	0.4	0.4	25.6
12	0.3	0.1	25.8	0.2	0.2	21.0
13	0.3	0.2	29.0	0.7	0.4	37.3
14	0.6	0.3	55.7	0.5	0.1	23.2
Durchschnitts-Zigarette ‡	0.5	0.3	39.0	0.5	0.5	32.8

\* Abkürzungen siehe Tabelle 4.

graphisch für den Durchschnitt. Vergleiche mit Daten nichtösterreichischer Autoren finden sich in den Tabellen 13 bis 16.

**Tabelle 12.**

**Effektive Transferraten der Schwermetalle (in %) einer Durchschnittszigarette bezogen auf real umgesetzte Zigarettenanteile (Gesamtzigarette ohne Stummel).\***

Fraktion	Cadmium	Blei	Kupfer	Kobalt	Nickel
Partikel-anteil	12.6	7.0	1.9	0.6	0.7
Gas	0.6	5.5	0.6	0.4	0.7
HS	13.2	12.5	2.5	1.0	1.4
NS	68.8	26.3	28.4	49.5	43.1
Asche	18.0	61.2	69.1	49.5	55.5

\* Abkürzungen siehe Tabelle 4.

#### 4. DISKUSSION

##### Zigarettenanalysen

Schon der Cadmiumgehalt in Tabaken österreichischer Filterzigaretten zeigt, daß mit wenigen Ausnahmen die Ergebnisse für die verschiedenen Zigarettenarten sehr einheitlich ausfallen (Abbildung 1). Als charakteristischer Mittelwert ergibt sich ein Gehalt von etwa 0,74 ppm Cadmium. Vergleicht man ihn mit Untersuchungen anderer Autoren, so fügt er sich gut in deren Ergebnisse (Tabelle 13), wobei er eher im unteren Bereich angesiedelt ist. Dies ist auch nicht besonders überraschend, da durch das übliche Vermischen von einheimischen und importierten Sorten (Blending) ein gewisser Nivellierungseffekt auftritt. Der Gehalt wird so hauptsächlich von zwei Faktoren geprägt: Einerseits bestimmt der Anteil an

**Tabelle 13.**

**Durchschnittliche Metallgehalte von Komponenten nichtösterreichischer Zigaretten.** AAS = Atomabsorptionsspektrometrie, NAA = Neutronenaktivierungsanalyse, SQP = Square-wave-Polarographie, COL = kolorimetrisch nach Saltzmann, ASV = anodische Strippingvoltammetrie, RFA = Röntgenfluoreszenzspektroskopie. k.A. = keine Angabe, ¥ keine Angabe über den Feuchtigkeitszustand des Tabaks.

	Cadmium	Blei	Kupfer	Kobalt	Nickel	Konzentration	Methode	Land	Referenz
Tabak	1.31	3.30	21.7	-	-	ppm ¥	AAS	BRD	1
Tabak	1.02	-	-	-	-	ppm ¥	SQP	BRD	2
Tabak	1.17	-	-	-	-	ppm	AAS	BRD	3
Tabak	1.60	3.28	18.8	-	-	µg/Zigarette ¥	SQP	DDR	4
Tabak	1.40	2.56	-	-	2.34	µg/Zigarette ¥	AAS	BRD	5
Tabak	2.60	1.56	-	-	-	µg/Zigarette ¥	ASV	YU	6
Tabak	1.17	2.34	-	-	2.70	ppm	k.A.	BRD	7
Tabak	1.44	-	-	-	-	µg/Zigarette ¥	AAS	BRD	8
Tabak	1.99	-	-	-	-	ppm ¥	AAS	CH	9
Tabak	1.14	-	-	-	-	µg/Zigarette ¥	COL	USA	10
Tabak	1.66	14.72	-	-	5.62	ppm	AAS	GB	11
Tabak	0.43	0.48	-	-	-	ppm	AAS	NZ	12
Tabak	1.00	6.24	-	-	0.26	ppm	AAS	I	13
Tabak	0.35	0.36	-	-	-	ppm ¥	AAS	IND	14
Tabak	1.93	-	-	-	7.55	µg/Zigarette ¥	AAS	USA	15
Tabak	0.70	1.30	9.2	-	-	ppm ¥	AAS	SF	16
Tabak	2.02	-	17.0	-	-	ppm	NAA	YU	17
Tabak	-	3.80	30.0	-	2.60	ppm ¥	RFA	IND	18
Tabak	-	-	-	0.41	4.84	ppm ¥	NAA	ET	19
Tabak	-	-	-	0.46	5.46	µg/Zigarette ¥	NAA	ET	20
Tabak	-	-	-	0.99	-	ppm ¥	NAA	IND	21
Tabak	-	-	-	0.77	-	ppm ¥	NAA	TR	22
Tabak	-	-	-	0.21	-	ppm	NAA	IR	23
Tabak	-	-	-	0.84	-	ppm	NAA	USA	24
Papier	7	1330	-	-	-	ppb	AAS	NZ	12
Papier	< 1	8200	60000	-	-	ppb	AAS	SF	16
Papier	-	-	-	190	< 4000	ppb	NAA	ET	20
Papier	-	-	-	12.9	-	ppm	NAA	IR	23
Papier	-	-	-	770	-	ppb	NAA	USA	24
Filter	3	30	100	-	-	ppb	AAS	SF	16
Filter	-	-	-	71	< 5000	ppb	NAA	ET	20

Tabak aus belasteten Anbaugeländen den generellen Gehalt an Schwermetallen; andererseits muß natürlich auch berücksichtigt werden, daß verschiedene Teile der Tabakpflanze unterschiedlichen Gehalt aufweisen, der zusätzlich noch mit dem Alter variieren kann. So fanden WAGNER UND YEARGON (31), daß die Cadmiumkonzentration der Tabakblätter mit ihrem Alter zunimmt, innerhalb der Pflanze also von unten nach oben abnimmt. Dies läßt sich gut mit der Existenz eines Cadmiumbindenden Enzyms erklären (32), welches weitaus größere Spezifität zu Cadmium aufweist, als die sonst in der Natur verbreiteten und für den Schwermetalltransport verantwortlichen Metallothioneine. Zusätzlich muß auch der Produktionsprozeß als mögliche Schwermetallquelle in Betracht gezogen werden. Daher ist auch leicht verständlich, daß die Analyseergebnisse gewisse Schwankungsbreiten aufweisen, da nicht alle Zigaretten völlig identische Tabake hinsichtlich Teilchengröße, Homogenität, Pflanzenherkunft und Alter beinhalten. Beim Vergleich der Cadmiumgehalte ausländischer Tabake fallen die niedrigen

Werte der neuseeländischen und indischen Zigaretten auf. Wahrscheinlich stammt hier der Hauptanteil des Tabaks aus unbelasteten, industriearmen Gegenden.

Ähnlich wie Cadmium zeigt auch Blei (Abbildung 2) ein sehr einheitliches Verhalten. Die Werte streuen mit relativ geringen Abweichungen um einen Mittelwert von etwa 1,11 ppm. Im internationalen Vergleich liegt dieser Durchschnittsgehalt eher im unteren Bereich und läßt sich mit Einbeziehung der Cadmiumanalysen durch Tabake aus relativ unbelasteten Gegenden erklären. Auffallend sind auch wiederum die sehr niedrigen Bleikonzentrationen indischer und neuseeländischer Zigaretten, die das Erwähnte unterstreichen. Die hier gefundenen Werte für österreichische Tabake demonstrieren auch wiederum das ausgeprägte Akkumulationsverhalten der Pflanze für das Schwermetall Cadmium. Während die natürlichen Bleigehalte biologischer Proben meistens ein vielfaches von Cadmium darstellen, sind sie hier nur geringfügig höher.

Wesentlich größere Schwankungen als Cadmium und

**Tabelle 14.**

**Cadmium-, Blei- und Nickelgehalt im Rauch nichtösterreichischer Zigaretten im Vergleich.** AAS = Atomabsorptionsspektroskopie, SV = Strippingvoltammetrie, SQP = Square-wave-Polarographie; F = Filter, N = filterlos; TPM = Partikelanteil (total particulate matter), ☒ diese Arbeit. \*

Fraktion	Methode	Cadmium		Blei		Nickel		Referenz
		ng/Zigarette	% Transfer	ng/Zigarette	% Transfer	ng/Zigarette	% Transfer	
TPM/F	AAS	50	4.7	–	–	–	–	2
TPM/F	AAS	41	4.7	85	1.4	4	0.4	13
TPM/N	AAS	53	6.1	–	–	–	–	2
TPM/N	AAS	62	6.7	34	0.6	20	1.8	13
TPM	AAS	147	5.7	243	–	35	–	5
TPM	SV	240	9.4	120	7.5	–	–	6
TPM	AAS	82	6.0	–	–	–	–	11
TPM	AAS	20	5.7	90	–	–	–	16
Gas	AAS	30	1.2	–	–	190	–	5
Gas/N	AAS	< 0.01	–	0.06	< 0.01	< 0.05	–	13
Gas/F	AAS	< 0.01	–	0.006	< 0.01	< 0.05	–	13
HS	AAS	100	7.0	–	–	20	0.4	15
HS	SQP	55	1.8	340	–	–	–	4
TPM	SV	63	11.0	52	5.6	10	0.5	☒
Gas	SV	3	0.5	41	4.4	10	0.5	☒
HS	SV	66	11.5	93	10.0	20	1.0	☒
NS	SV	343	60.2	197	21.1	620	32.8	☒

\* Sonstige Abkürzungen siehe Tabelle 4.

**Tabelle 15.**

**Kupfer- und Kobaltgehalt der Rauchfraktionen verglichen mit nichtösterreichischen Zigaretten.\***

Fraktion	Methode	Kupfer		Kobalt		Referenz
		ng/Zigarette	% Transfer	ng/Zigarette	% Transfer	
Gesamt	SQP	52	–	–	–	4
TPM	AAS	20	–	–	–	16
TPM	NAA	–	–	0.14	0.7	23
TPM	SV	177	1.3	1	0.5	☒
Gas	SV	54	0.4	1	0.3	☒
Gesamt	SV	231	1.7	2	0.8	☒
NS	SV	2586	19.0	100	39.0	☒

\* Abkürzungen siehe Tabelle 4, 13 und 14.

**Tabelle 16.**

**Vergleich der Rauchfraktionen Stummel und Asche mit nichtösterreichischen Zigaretten. ¶ Angaben in ppb.**

Fraktion	Methode	Cadmium ng/Zigarette	Blei ng/Zigarette	Kupfer ng/Zigarette	Kobalt ng/Zigarette	Nickel ng/Zigarette	Referenz
Stummel	AAS	410	840	–	–	1140	5
Stummel	SV	320	730	–	–	–	6
Stummel	COL	170	–	–	–	–	10
Stummel	AAS	670	–	–	–	2640	15
Asche	SV	450	1750	10280	–	–	4
Asche	COL	180	–	–	–	–	10
Asche	AAS	480	–	–	–	4270	15
Asche ¶	AAS	700	6200	56800	–	–	16
Asche	NAA	–	–	–	460	4600	20
Asche ¶	NAA	–	–	–	2750	27800	33
Asche	SV	90	459	6275	100	800	☒
Stummel	SV	71	185	4518	56	450	☒

\* Abkürzungen siehe Tabelle 13 und 14.

Blei zeigt Kupfer (Abbildung 3), aber auch hier ergibt sich ein repräsentatives Mittel von 16,28 ppm. Der internationale Vergleich spricht wiederum für Tabake aus eher unbelasteten Gebieten. Auch Kupfer scheint sich in der Pflanze nicht gleichmäßig zu verteilen (25), die Konzentration nimmt von der Wurzel zur Blüte hin zu, so daß die Blattauswahl bei der Tabakverarbeitung mitentscheidend für den Gehalt ist. Kobalt zeigt mit einer Ausnahme ebenfalls sehr kohärentes Verhalten mit relativ geringen Schwankungen um einen charakteristischen Wert von 0,32 ppm. Ähnliches gilt für Nickel, hier sogar noch ausgeprägter. Als mittlerer Gehalt an Nickel errechnet sich eine Konzentration von 2,33 ppm. Das Verhältnis Kobalt:Nickel entspricht dem natürlichen zu erwartenden Vorkommen und zeigt keine Akkumulationstendenz der Tabakpflanze für diese Metalle. Kobalt und Nickel erregten auch deshalb das Interesse bei Rauchuntersuchungen, weil sie zur Carbonylbildung befähigt sind, die bei den Verhältnissen während des Zigarettenrauchens durchaus eintreten könnte (33). Tatsächlich aber scheinen diese Verbindungen nur in Spuren gebildet zu werden (34).

Sehr große Schwankungen, vor allem im Kupfergehalt, zeigen die Papier- und Filterkomponenten der österreichischen Zigaretten (Tabelle 2 und 3). Dies dürfte vor allem auf Produktionsprozesse zurückzuführen sein. Übereinstimmend mit den Untersuchungen anderer Autoren sind die Schwermetallanteile im Filter wesentlich geringer als in Tabak und Papier. Für den Gesamtschwermetallgehalt einer Zigarette ist natürlich der Beitrag durch Filter und Papier nur von zweitrangiger Bedeutung, da entweder der Gewichtsanteil gering ist (Papier) oder die Komponente nach dem Rauchen unverbrannt verworfen wird (Filter).

Für österreichische Filterzigaretten ergeben sich in Tabelle 9 angeführten Durchschnittswerte. Der Gehalt an Cadmium, Blei, Kupfer, Kobalt und Nickel deutet darauf hin, daß der Hauptanteil der verwendeten Tabake eher aus industriell wenig belasteten Gebieten stammt.

#### *Rauchgas- und Partikelanalysen*

Cadmium zeigt in seinen Partikelkonzentrationen recht einheitliches Verhalten (Tabelle 4). Bis auf wenige Ausnahmen sind die Abweichungen von einem Mittelwert von etwa 63 ng pro Zigarette relativ gering.

In der Gasfraktion zeigt vor allem der erste Zigarettentyp Erhöhung gegenüber dem Durchschnitt; er repräsentiert eine relativ naturbelassene, schwere Zigarette, die dementsprechend auch in der Gasphase einen größeren Anteil an Cadmium besitzt. Ähnliche Verhältnisse liegen bei Blei und bei Kupfer sowie im geringeren Ausmaß bei Kobalt und Nickel (Tabelle 5 bis 8) vor. Wiederum ist der Metallgehalt in der Gasphase beim ersten Zigarettentyp etwas größer als im Durchschnitt. Eine Einteilung in schwere und leichte Zigaretten bezüglich Schwermetalle läßt sich aber nicht ohne weiteres treffen. Man könnte bestenfalls von den untersuchten Sorten die erste als

„schwerer“ als die anderen bezeichnen; ansonsten ist das Verhalten eher undifferenziert. Als Fazit muß überdies nochmals erwähnt werden, daß eine signifikante Filterwirkung für Schwermetalle bei den untersuchten Zigarettentypen nicht beobachtet werden konnte. Dies vor allem deswegen, weil überhaupt nur ein kleiner Bruchteil der Gesamtmenge in den Hauptstrom gelangt, von dem wiederum nur ein kleiner Anteil retiniert wird.

Die in Tabelle 14 und 15 aufgelisteten Daten für nicht-österreichische Zigaretten zeigen, daß die hier erhaltenen Werte durchaus in vergleichbaren Größenordnungen liegen. Vereinzelt größere Abweichungen beruhen sicherlich auf der Verschiedenartigkeit der einzelnen Tabake, Untersuchungsmethoden und Aufschlüsse.

Zur Beschreibung der dynamischen Vorgänge während des Rauchens sind vor allem die Verfrachtung der Schwermetalle in die einzelnen Rauchfraktionen interessant. Die Transferrate beschreibt den prozentualen Anteil, der von der Gesamtmenge in die einzelne Phase übergeht. In diesem Zusammenhang scheinen die Zigarettenstummel keine besondere Rolle zu spielen, da sie keine signifikante Zunahme durch den Rauchprozeß erfahren, weil der zurückgehaltene Anteil innerhalb der Schwankungsbreiten der Stummelanalysen durch seinen geringen Anteil keine merkliche Erhöhung bringt. Aus diesem Grund sind auch effektive Transferraten errechnet worden, die nur den wirklich umgesetzten Zigarettenanteil einbeziehen und auf dem Gesamtgehalt vermindert um den Stummelgehalt basieren (Tabelle 12, Abbildung 6).

Für Cadmium ergibt sich ein Transfer von 11 % in die Partikelphase, bezogen auf eine durchschnittliche Zigarette. Berücksichtigt man nur diejenigen Fraktionen, die während des Rauchvorganges gebildet werden (Haupt- und Nebenstrom, Asche), im Vergleich zur wirklich umgesetzten Zigarette (Gesamtzigarette ohne Stummel), so beträgt der effektive Transfer 12,6 % (Tabelle 12). Hieraus kann geschlossen werden, daß Cadmium ein gut partikelgängiges Schwermetall ist, da in wenigen Milligramm Kondensat ein Achtel der Gesamtmenge zu finden ist. In diesem Verhalten hebt es sich signifikant von den anderen untersuchten Spurenelementen, vor allem von Kupfer, Kobalt und Nickel ab. Die Ursache dürfte hauptsächlich in den physikochemischen Unterschieden der Reaktionsprodukte zu finden sein, Cadmium stellt elementar das flüchtigste der untersuchten Metalle dar; weiterhin sublimiert das Oxid bei höheren Temperaturen, welches sich dann bevorzugt auf die Partikel niederschlagen könnte. Dies wird durch die Tatsache unterstrichen, daß der Großteil des Metalles (über zwei Drittel) sich nicht, wie erwartet, in der Asche findet, sondern im Nebenstrom. Schon aufgrund dessen muß ein anderer Transportmechanismus zusätzlich angenommen werden. Während vor allem die Elemente Blei und Kupfer vornehmlich (als Oxide) in der Asche verbleiben und wahrscheinlich auch als solche Partikel in den Nebenstrom gerissen werden, scheint für Cadmium auch die gasförmige Verflüchtigung mit anschließender Kondensation eine Rolle zu spielen. Hingegen dürfte für Kobalt und Nickel die Bildung gasförmiger Produkte vor allem unter Glimmbedingungen (geringere Temperatur und Sauer-

stoffzufuhr) für einen höheren Anteil im Nebenstrom verantwortlich sein. Zu den Nebenstromdaten ist grundsätzlich zu bemerken, daß hier einerseits, aufgrund der Ermittlung aus der Differenz der einzelnen Abbrauchfraktionen zum Gesamtgehalt, auch größere Schwankungen in den Ergebnissen durch Summation auftreten. Andererseits ist aber auch die Qualität des Zigarettenabbrands durch Parameter wie Stopfungsdichte, Papierimprägnierung, Fehlluftzufuhr durch Klimazonen usw. mitverantwortlich für den oft sehr unterschiedlichen Transfer in den Nebenstrom.

Blei zeigt einen effektiven Gesamthauptstromtransfer sehr ähnlich dem Cadmium. Allerdings entfällt hier fast die Hälfte auf gasförmige Produkte, was gut mit der Tatsache in Einklang zu bringen ist, daß Blei sehr stabile Organometallverbindungen (beispielsweise Tetraethylblei) bilden kann. Dies ist bei den chemischen Verhältnissen einer Quasi-Flamme (u. a. auch Radikalreaktionen) durchaus denkbar. Allerdings müssen derartige Produkte vornehmlich unter energischeren Bedingungen entstehen (Zugphase – höhere Temperatur und Sauerstoffkonvektion), da der Nebenstromtransfer weit unter denen von Cadmium, Kupfer und Nickel liegt. Damit unterscheidet sich Blei im wesentlichen durch einen signifikant erhöhten Transfer in die Gasphase des Hauptstromes, der sonst unter einem Prozent liegt. Der ebenfalls verstärkte Transport in die Partikelfraktion (TPM) dürfte damit ursächlich zusammenhängen; aller Wahrscheinlichkeit nach ist er nicht auf größere Flüchtigkeit der Oxide zurückzuführen (nur etwa 26,3 % werden in den Nebenstrom verfrachtet!), sondern auf teilweise Zersetzung dieser gasförmigen Bestandteile und Bildung von Partikeln. Im übrigen gleicht Blei sehr dem Kupfer, wobei beim effektiven Aschetransfer der Mehranteil des Hauptstromes fehlt. Kupfer zeigt im Vergleich zu Kobalt und Nickel einen geringfügig erhöhten Mehranteil in der Partikelphase (effektiv 1,9 %); Ursache dafür ist wahrscheinlich die doch vorhandene Flüchtigkeit gewisser Kupfersalze, vor allem des Chlorids. Der effektive Transfer in die Asche liegt mit fast 70 % etwas höher als bei Blei sowie Kobalt und Nickel. Kobalt und Nickel verhalten sich, wie erwartet, einander sehr ähnlich. Alle effektiven Transfers liegen in vergleichbaren Größenordnungen. Gas- und Partikelphase zeigen nur geringe Gehalte und unterstützen somit nicht Ansichten, daß größere Mengen Carbonylverbindungen entstehen und als solche erhalten bleiben (33, 34). Allerdings spricht, wie oben schon angedeutet, der im Vergleich zu Blei und Kupfer größere Transfer in den Nebenstrom für die Bildung gasförmiger Verbindungen unter milderer Bedingungen (Passivphase des Rauchens), eventuell gefolgt von Zersetzung. Eindeutige Erklärungen können sicherlich nur weitere Detailstudien liefern. Abschließend läßt sich folgendes feststellen: Der Transfer in die Partikelphase ist normalerweise gering und liegt unter 1% (dadurch sind Zunahmen der Stummelgehalte durch Filterwirkung neben der Schwankungsbreite für biologische Analysenergebnisse üblicherweise kaum feststellbar). Erhöhungen darüber hinaus sind durch unterschiedliche Flüchtigkeiten einzelner Fraktionen oder Verbindungen erklärbar. Kobalt und Nickel verhalten

sich durchschnittlich, Cadmium fällt besonders heraus. In die Gasphase des Hauptstromes werden ebenfalls wesentlich weniger als 1% verfrachtet; eine Ausnahme bildet das Blei, das signifikante Erhöhungen aufweist. Im Gesamthauptstrom finden sich 1% bis 2% der Schwermetallanteile wieder, bei Cadmium und Blei etwa zehnmal mehr. In den Nebenstrom gelangen etwa 25 % bis 50 % des effektiven Gesamtgehaltes, von Cadmium an die 70 %. Dementsprechend verbleiben in der Asche etwa 50 % bis 70 % des Spurenmetallanteiles mit Ausnahme des Cadmium, von dem sich nur etwa ein Sechstel hier wiederfindet.

## 5. LITERATUR

1. Müller, G.: Schwermetallgehalte (Cd, Zn, Pb, Cu, Cr) im Tabak häufig in der BR Deutschland gerauchter Zigaretten; Chem. Ztg. 103 (1979) 133–137.
2. Schmidt, J., E. Fischbach und F. Burkart: Cadmium-Untersuchungen im Bereich von Umwelt-, Boden- und Sorteneinflüssen bei Tabak sowie der Cadmium-Übergang in den Zigarettenrauch; Z. Lebensm. Unters. Forsch. 180 (1985) 306–311.
3. Müller, G.: Cadmium im Tabak häufig in der BRD gerauchter Zigaretten 1978 und 1985: ein Vergleich; Chem. Ztg. 109 (1985) 291–292.
4. Franzke, Ch., G. Ruik und M. Schmidt: Untersuchungen zum Schwermetallgehalt von Tabakwaren und Tabakrauch; Nahrung 21 (1977) 417–428.
5. Szadowski, D., H. Schultze, K. H. Schaller und G. Lehnert: Zur ökologischen Bedeutung des Schwermetallgehaltes von Zigaretten; Arch. Hyg. 153 (1969) 1–8.
6. Ivinčič, N., L. Tomič, V. Simeon: Cadmium and Lead in Cigarettes and in Smoke Condensate; Arch. Hig. Rada Toksikol. 36 (1985) 157–164.
7. Otteneder, H.: Schwermetall- und Pestizidrückstände in Tabak und Rauchkondensat handelsüblicher Zigaretten; Lebensmittelchem. Gericht. Chem. 37 (1983) 88–101.
8. Unterhalt, B. und U. Pindur: Zum Cadmiumgehalt von Tabak; Z. Lebensm. Unters. Forsch. 150 (1972) 99–100.
9. Windemann, H. und U. Müller: Die Bestimmung von Cadmium in Tabak mittels Atomabsorptionsspektroskopie; Mitt. Gebiete Lebensm. Hyg. 66 (1975) 64–73.
10. Nandi, M., D. Slone, H. Jick und S. Shapiro: Cadmium Content of Cigarettes; Lancet (1969) 1329–1330.
11. Westcott, D. T. und D. Spincer: The cadmium, nickel and lead content of tobacco and cigarette smoke; Beitr. Tabakforsch. 7 (1974) 217.
12. Brooks, R. R. und J. M. Trow: Lead and cadmium content of some New Zealand and overseas cigarettes; New Zealand J. Sci. 22 (1979) 289–291.

13. Perinelli, M. A. und N. Carugno: Determination of trace metals in cigarette smoke by flameless atom absorption spectrometry; *Beitr. Tabakforsch. Int.* 9 (1978) 214–217
14. Murty, K. S. N., J. C. Tjell und N. C. Gopalachari: Lead and Cadmium content of Indian flue-cured tobacco; *Plant Soil* 95 (1986) 281–284.
15. Menden, E. E., J. U. Elia, L. W. Michael und G. H. Petering: Distribution of cadmium and nickel of tobacco during cigarette smoking; *Environm. Sci. Technol.* 6 (1972) 830–832.
16. Mussalo-Rauhamaa, H., S. S. Salmela, A. Leppänen und H. Pyysalo: Cigarettes as a source of some trace and heavy metals and pesticides in man; *Env. Health.* 41 (1986) 49–55.
17. Dermelj, M., V. Ravnik, A. R. Byrne und A. Vakselj: Trace heavy metals in various Yugoslav tobaccos; *Mikrochim. Acta I* (1978) 261–270.
18. Mishra, U. C., G. N. Shaik und S. Sadasivam: Trace elements in tobacco and tobacco smoke by X-ray fluorescence technique; *J. Radioanal. Nucl. Chem.* 102 (1986) 27–35.
19. Iskander, F. Y.: Egyptian and foreign cigarettes II. Determination of trace elements in tobacco ash and wrapping paper; *J. Radioanal. Nucl. Chem.* 97 (1986) 107–112.
20. Iskander, F. Y.: Neutron activation analysis of an Egyptian cigarette and its ash; *J. Radioanal. Nucl. Chem.* 89 (1985) 511–518.
21. Mishra, U. C. und G. N. Shaik: Determination of trace element concentrations of Indian cigarette tobacco by instrumental neutron activation analysis; *J. Radioanal. Chem.* 78 (1983) 385–390.
22. Gülovali, M. C. und G. Gündüz: Trace elements in Turkish tobacco determined by instrumental neutron activation analysis; *J. Radioanal. Chem.* 78 (1983) 189–198.
23. Abedinzadeh, Z., M. Razeghi und B. Parsa: Neutron activation analysis of an Iranian cigarette and its smoke; *J. Radioanal. Chem.* 35 (1977) 373–376.
24. Nadkarni, R. A. und P. D. Ehmann: Determination of trace elements in tobacco products by neutron activation analysis; *Proc. of the Tobacco and Health Workshop, Conference Report 1, Feb. 1969*, pp. 47–57
25. Ruick, G. und M. Schmidt: Zum Verhalten der Elemente Kupfer, Blei, Cadmium und Zink in Tabakpflanzen; *Nahrung* 25 (1981) 617–623.
26. Schenker, D.: Betrachtungen zum Cadmiumgehalt von Tabakerzeugnissen; *Forum Städte-Hygiene* 35 (1984) 17–18.
27. Kalcher, K., A. Nitsch, R. Pietsch und C. Jorde: Schwermetalle in Tabaken und Tabakrauch I. Eine kompakte Laborrauchmaschine zum Abrauchen von Zigaretten und Zigarren; *Fresenius Z. Anal. Chem.* 332 (1988) 17–21.
28. Jorde, C., A. Planitzer, K. Kalcher, A. Nitsch und R. Pietsch: Digitally controlled timing devices – a simple smoking machine; *Computers & Chemistry* 14 (1990) 1–28.
29. DIN 10240: Untersuchungen von Tabak und Tabakerzeugnissen – Maschinelles Abrauchen von Zigaretten und Bestimmung des Rauchkondensates; Teil 1: Anforderungen an eine analytische Rauchmaschine (Apr. 1978); Teil 2: Abrauchverfahren (Feb. 1982); Teil 3: Bestimmung des Rohkondensats und des nikotinfreien, trockenen Rauchkondensats (Apr. 1978); Teil 4: Zusätzliche Bedingungen für kanalspezifisch ventilierte Zigaretten (Apr. 1985). – DIN 10244: Untersuchungen von Tabak und Tabakerzeugnissen – Klima zum Konditionieren und Prüfen (Okt. 1983).
30. Kalcher, K.: A compact electrode assembly for voltammetric measurements with solid electrodes; *Fresenius Z. Anal. Chem.* 323 (1986) 238–240.
31. Wagner, G. J. und R. Yeargon: Variation of cadmium accumulation potential and tissue distribution of cadmium in tobacco; *Plant Physiol.* 82 (1986) 274–279.
32. Reese, R. N. und G. J. Wagner: Properties of tobacco (*nicotiana tabacum*) cadmium binding peptide(s); *Biochem. J.* 241 (1987) 641–647
33. Stahly, M. und E. W. Lard: Further considerations of metal carbonyls in tobacco smoke; *Chem. Ind.* (1977) 85–86.
34. Alexander, A. J., P. C. Goggin und M. Cooke: A Fourier-transform infrared spectrometric study of the pyrosynthesis of nickel-tetracarbonyl and iron-pentacarbonyl by combustion of tobacco; *Anal. Chim. Acta* 151 (1983) 1–12.

*Anschrift der Verfasser:*

*Institut für Analytische Chemie  
Karl-Franzens-Universität Graz  
Universitätsplatz 1  
A-8010 Graz*