



---

Gesellschaft für  
Reaktorsicherheit (GRS) mbH

---

## Untersuchungen zur Radioökologie des Tabaks

H. Biesold und R. Kroll



---

GRS - 53



---

Gesellschaft für  
Reaktorsicherheit (GRS) mbH

---

## Untersuchungen zur Radioökologie des Tabaks

Harald Biesold und  
Reinhard Kroll

---

GRS - 53 (Juni 1983)  
ISBN 3 - 923875 - 01 - 0

Anmerkung:

Dieser Bericht ist von der GRS im Auftrag des Bundesministers des Innern erstellt worden. Er ist inhaltsgleich mit dem Auftragsbericht GRS-A-743 (September 1982). Die darin enthaltenen Arbeitsergebnisse müssen nicht mit der Auffassung des Auftraggebers übereinstimmen.

Reinhard Kroll war 1981 vorübergehend als wissenschaftlicher Mitarbeiter in der GRS beschäftigt.

---

Deskriptoren/Keywords

Biologie - Expositionspfad - Pflanze - Radioökologie - Standort - Strahlenexposition - Tabak - Transferfaktoren Boden/Tabakblatt - Übergangswerte Tabak/Hauptstromkondensat

## Kurzfassung

Die Emission radioaktiver Stoffe mit der Fortluft und dem Abwasser aus kerntechnischen Anlagen kann zu einer Kontamination von Tabakpflanzen führen, die über den Expositionspfad Tabakrauchen eine Strahlenexposition beim Raucher hervorrufen kann. In dem vorliegenden Bericht wurden die ökologischen Parameter aus Standort- und Literaturuntersuchungen zusammengestellt, die zur Ermittlung der Strahlenexpositionen benötigt werden.

In einer Modellrechnung werden am Beispiel der aerosolförmigen Ableitungen mit der Fortluft eines modernen Kernkraftwerks mit Druckwasserreaktor die potentiellen Strahlenexpositionen durch Tabakrauchen denjenigen durch Inhalation radioaktiver Aerosole aus der bodennahen Luft und Ingestion kontaminierter Nahrungsmittel gegenübergestellt. Dabei werden die Strahlenexpositionen durch Tabakrauchen zu

$$< 0,1 \cdot 10^{-5} \text{ Sv/a}$$

---

berechnet. Diese liegen somit weit unter den potentiellen Strahlenexpositionen über Ingestionspfade und sind vergleichbar mit den Strahlendosen, die durch Inhalation radioaktiver Aerosole aus der bodennahen Luft hervorgerufen werden.

## Abstract

The emission of radioactive substances with the effluents and the exhaust air of nuclear installations may result in the contamination of tobacco plants. This in turn may - via the exposure pathway "tobacco smoking" - cause a radiation exposure to smoking people. In the present paper, ecological parameters from site and literature investigations are listed which are necessary for the determination of the degrees of exposure to radiation.

Using a model calculation, based on the airborne aerosol type releases of a nuclear PWR power plant, the potential radiation exposures by tobacco smoking are compared to those by inhala-

tion of radioactive aerosols from the air near the ground and by ingestion of contaminated foodstuff. According to this calculation, the radiation exposures by tobacco smoking amount to less than

$$0.1 \cdot 10^{-5} \text{ Sv/a.}$$

This means they are far below the potential radiation exposures via the ingestion paths. Therefore, they are comparable only to those radiation doses that result from the inhalation of radioactive aerosols as contained in air near the ground.

---

I N H A L T

	Seite
1. Einleitung . . . . .	1
2. Monographie . . . . .	2
2.1    Allgemeine Morphologie und Systematik von Nicotiana tabacum . . . . .	2
2.2    Verbreitung und Abstammung . . . . .	4
2.3    Kultivation unter landwirtschaftlichen Bedingungen . . . . .	4
2.3.1    Aussaat . . . . .	6
2.3.2    Entwicklung der Setzlinge zu erntefähigen Pflanzen . . . . .	7
2.3.3    Pflegemaßnahmen . . . . .	7
2.4    Ernte . . . . .	8
2.5    Trocknung . . . . .	9
2.6    Fermentation . . . . .	10
2.7    Fruchtfolge . . . . .	11
2.8    Ernteerträge und Anbauflächen . . . . .	11
3. Nährstoffaufnahme . . . . .	15
3.1    Transfer und Gehalt von Polonium-210, Blei-210 und Plutonium in der Tabakpflanze und Zigarette . . . . .	19
3.2    Gehalt von Strontium, Strontium-90, Cäsium und Cäsium-137 in Tabakpflanzen . . . . .	23
3.3    Transfer von Strontium-90 und Cäsium-137 aus dem Boden über die Wurzel in das Ta- bakblatt . . . . .	25
4. Elementübergang vom Tabak in das Rauchkondensat . .	28
5. Verbrauch von Tabakwaren und Rauchgewohnheiten . .	32

	Seite
6. Potentielle Strahlenexposition über den Inhalationspfad Tabakrauchen . . . . .	33
6.1 Modellannahmen zur Emissionsquellstärke und Nuklidzusammensetzung sowie zu den Ausbreitungsverhältnissen . . . . .	35
6.2 Ablagerung und Anreicherung radioaktiver Stoffe in Tabakblättern . . . . .	36
6.3 Aufnahme radioaktiver Stoffe über das Wurzelsystem . . . . .	36
6.4 Übergang von Elementen in das Hauptstromkondensat . . . . .	37
6.5 Kritische Bevölkerungsgruppe . . . . .	38
6.6 Ergebnisse zum Expositionspfad Tabakrauchen	38
Schrifttum . . . . .	44

---

BILDER UND TABELLEN

	Seite
Bild 1: Tabakpflanze mit Erntegutstufen . . . . .	3
Bild 2: Nährstoffentzug (kg/ha) Trockengewicht der Sorte Badischer Geudertheimer für das Erntegut . . . . .	16
Bild 3: Nährstoffentzug (kg/ha) Trockengewicht des Erntegutes der Sorte Badischer Burley . . . . .	16
Bild 4: Nährstoffentzug (kg/ha) Trockengewicht des Erntegutes der Sorte Virgin D . . . . .	17
Bild 5: Erträge an Trockengewicht für die Pflanzenteile Erntegut, Stengel und Wurzel der Sorte Badischer Geudertheimer im Verlauf der Wachstumsstade auf dem Felde . . . . .	18
Bild 6: Erträge an Trockengewicht für die Pflanzenteile Erntegut, Stengel und Wurzel der Sorte Badischer Burley E im Verlauf der Wachstumsstade auf dem Felde . . . . .	18
Bild 7: Erträge an Trockengewicht für die Pflanzenteile Erntegut, Stengel und Wurzel der Sorte Virgin D über die Wachstumsstade auf dem Felde . . . . .	19
<hr/>	
Tab. 1: Einfluß der Beregnung auf den Tabakertrag (dt/ha) in Forchheim für den Zeitraum 1971 bis 1981 . . . . .	5
Tab. 2: Erntetermine in Tagen nach dem Auspflanzen der Setzlinge auf dem Feld . . . . .	9
Tab. 3: Anbauflächen und Erträge aus dem Tabakanbau in der Bundesrepublik Deutschland . . . . .	12
Tab. 4: Zusammenstellung über die Anzahl der Tabakbaugemeinden, der tabakbauenden Betriebe, zollamtlich festgestellte Anbaufläche und durchschnittliche Anbaufläche je Betrieb für das Anbau-Erntejahr 1980 . . . . .	13
Tab. 5: Anbauflächen und Erträge verschiedener Tabaksorten in der Bundesrepublik Deutschland	14
Tab. 6: Transferfaktoren Boden/Tabakwaren für Polonium für verschiedene Tabakprodukte aus Indien . . . . .	21
Tab. 7: Transferfaktoren Boden/Vegetation für Poloniumdioxid für den eßbaren Teil verschiedener Kulturpflanzen . . . . .	22



	Seite
Tab. 8: Ergebnisse der Radioaktivitätsuntersuchungen inländisch erworbener Tabakproben auf Cs-137 und Sr-90 . . . . .	24
Tab. 9: Cs-137- und Sr-90-Aktivität in Tabakblättern . . . . .	25
Tab. 10: Ergebnisse standortspezifischer Untersuchungen zum Transfer von Sr-90 und Cs-137 in Tabakblättern . . . . .	27
Tab. 11: Anforderungen an das maschinelle Abrauchen von Zigaretten nach DIN 10 240 . . . . .	29
Tab. 12: Übergangswerte Zigarette - Hauptstromkondensat . . . . .	31
Tab. 13: Eingekaufte Mengen (Stück je Haushalt und Monat) Tabakwaren ausgewählter Haushaltstypen . . . . .	34
Tab. 14: Spektrale Zusammensetzung aerosolförmiger Ableitungen für Druckwasserreaktoren . . . . .	36
Tab. 15: Transferfaktoren zur Ermittlung der Aktivitätskonzentration in Tabakblättern für einzelne Elemente . . . . .	37
Tab. 16: Übergangsfaktoren Zigarette - Hauptstromkondensat zur Berechnung der potentiellen Strahlenexposition über den Expositionspfad Tabakrauchen . . . . .	37
Tab. 17: Atemrate und Konsumgewohnheiten . . . . .	38
Tab. 18: Transferfaktoren zur Ermittlung der Aktivitätskonzentration in landwirtschaftlichen Nutzpflanzen für verschiedene Elemente . . . . .	39
Tab. 19: Transferfaktoren zur Ermittlung der Aktivitätskonzentration in Milch und Rindfleisch für einzelne Elemente . . . . .	39
Tab. 20: Jährliche Dosis an einem Modellstandort mit Druckwasserreaktor für die Ableitung radioaktiver Stoffe mit der Fortluft . . . . .	40
Tab. 21: Jährliche Dosis ( $10^{-5}$ Sv) von Erwachsenen durch den Verzehr kontaminierter Nahrungsmittel und Inhalation von Tabakrauch . . . . .	41
Tab. 22: Ökologische Parameter zur Ermittlung von Strahlenexpositionen durch Tabakrauchen (Zigaretten) . . . . .	42

## 1. EINLEITUNG

Mit Schreiben vom 30. März 1981, AZ RS II 4 - 510 322/13, beauftragte der Bundesminister des Innern (BMI) die Gesellschaft für Reaktorsicherheit (GRS) mbH im Rahmen des Strahlenschutzvertrages St.Sch. 670, u.a. den Transfer von Radionukliden aus dem Boden über die Wurzel in das Tabakblatt sowie den Übergang von Radionukliden aus dem Zigarettentabak in den Rauch zu untersuchen.

Der Tabakanbau hat für bestimmte Gebiete in Nord- und Süddeutschland eine nicht geringe wirtschaftliche Bedeutung. Da diese Sonderkultur regional begrenzt angebaut wird, ist die Ermittlung potentieller Strahlenexpositionen über den Expositionspfad "Tabakrauchen" durch die Ableitung radioaktiver Stoffe mit der Fortluft und dem Abwasser aus kerntechnischen Anlagen nur für bestimmte Standorte relevant. Der landwirtschaftliche Anbau, die Physiologie und Verarbeitung der Tabakpflanze sowie der Konsumweg (Rauchen) unterscheiden sich gravierend von den sonst betrachteten Expositionspfaden über Nahrungsketten.

In dem vorliegenden Bericht sind die wesentlichen Anbau- und Kulturbedingungen und ökologischen Parameter zum Tabakanbau, wie er in der Bundesrepublik Deutschland betrieben wird, zusammengetragen. Darüber hinaus wurden Berichte der nationalen und internationalen Literatur im Hinblick auf Anreicherung von Radionukliden im Tabakblatt und Übergang von Elementen vom Tabakblatt ins Hauptstromkondensat ausgewertet.

Eine Liste der wichtigsten ökologischen Parameter zur Berechnung potentieller Strahlenexpositionen durch Inhalation von Tabakrauch ist in Anlehnung an das Radioökologiemodell des BMI /BMI 79/ in der Zusammenfassung aufgeführt.

In der abschließenden Modellrechnung werden die potentiellen Strahlenexpositionen über den Expositionspfad Tabakrauchen ermittelt und den Strahlenexpositionen durch Inhalation radioak-

tiver Aerosole aus der bodennahen Luft und durch Ingestion über Nahrungsketten gegenübergestellt.

## 2. MONOGRAPHIE

### 2.1 Allgemeine Morphologie und Systematik von Nicotiana tabacum

Die Gattung Nicotiana gehört zu der Familie der Solanaceae (Nachtschattengewächse) und ist somit ein enger Verwandter anderer bedeutender Nutzpflanzen wie Solanum tuberosum (Kartoffel) oder Lycopersicum esculentum (Tomate).

#### ● Systematische Stellung

Klasse:	Dicotyledonae (zweikeimblättrige Pflanzen)
Unterklasse:	Asteridae (Asterngewächse)
Ordnung:	Tubiflorae (Röhrenblüter)
Familie:	Solanaceae (Nachtschattengewächse)
Gattung:	Nicotiana
Art:	Nicotiana tabacum L.

#### ● Verwandte Arten der gleichen Familie

Atropa belladonna:	Tollkirsche
Datura stramonium:	Stechapfel
Hyoscyamus niger:	Bilsenkraut
Capsicum annuum:	Paprika
Lycopersicum esculentum:	Tomate
Solanum tuberosum:	Kartoffel
Solanum melongena:	Aubergine

Als annuelle (einjährige) Pflanze kann Nicotiana tabacum außerordentliche Größen erreichen (Gigas-Formen 4 bis 5 m). Die durchschnittliche Höhe der Pflanzen, die Handelstabak liefern, beträgt je nach Sorte 0,75 bis 3 m. Wenn die Pflanze ausgewachsen ist, trägt sie etwa 20 bis 30 sproßbürtige wechselständige Blätter, die als Erntegut besonderen Klassifikationen unterliegen.

Je nach Insertionshöhe am Sproß werden Gruppen, Sandblätter, Hauptgut und Obergut unterschieden (Bild 1). Die Blätter sind auffallend groß (bis zu 80 cm lang) und besitzen eine klebrige Oberfläche, die auf das Sekret zahlreicher Drüsenhaarzellen in der Epidermis zurückzuführen ist.

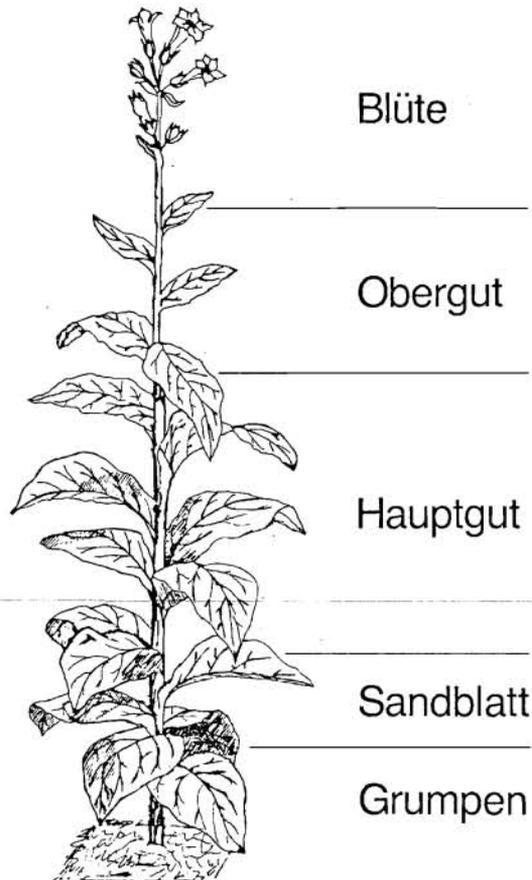


Bild 1:

Tabakpflanze mit Erntegutstufen

Die junge Pflanze entwickelt eine Pfahlwurzel, die durch das agrarkulturell bedingte Umsetzen meist abgerissen und durch ein Geflecht von Seitenwurzeln ersetzt wird. In einer sproßendständigen Rispe sind die rot-rosafarbenen Blüten zusammengefaßt, deren Bauplan das typische Solanaceenmuster zeigt: radiär, fünfstrahlig, verwachsene Kronblätter, die eine Röhre bilden. Die 2fächrigen Samenkapseln enthalten je 2000 bis 5000 Samen, von denen etwa 10 000 ein Gewicht von 1 g haben /BRÜ 77/.

## 2.2 Verbreitung und Abstammung

Als Wildformen der Gattung *Nicotiana* sind etwa 60 Arten bekannt, deren meisten Vertreter in den tropisch-subtropischen Regionen der Neuen Welt zu finden sind. Wie bei vielen anderen Kulturpflanzen ist es äußerst schwierig, die Entwicklung der Wildform zur Zuchtform zurückzuverfolgen. Nach dem Stand der Wissenschaft muß *Nicotiana tabacum* als ein Bastard aus den Wildarten *Nicotiana tomentosiformis* und *Nicotiana glauca* angesehen werden. Die Hybridisierung (amphidiploid) wird deutlich in der doppelten Chromosomenzahl  $2n = 48$ . Geographisch läßt sich der Ort der Entstehung dieser Kulturpflanze auf den Nordwesten Argentinien festlegen /BRÜ 77/.

## 2.3 Kultivation unter landwirtschaftlichen Bedingungen

Nach Einführung der Tabakpflanze in Europa mußte aufgrund der großen Nachfrage nach Tabakerzeugnissen die Produktion von Tabak unter landwirtschaftlich ökonomischen Aspekten in Angriff genommen werden. Dies setzt die Kenntnis der ökologischen Bedingungen für das optimale Wachstum der Tabakpflanze voraus.

### ● Klimatische Bedingungen

Obwohl die Tabakpflanze eine typische Tropenpflanze ist, kann sie sich doch sehr verschiedenartigen Klimagebieten anpassen. So wird die Wärme liebende Pflanze in Gebieten von  $60^{\circ}$  nördlich bis zu  $40^{\circ}$  südlich angebaut. In den tropischen Klimagebieten beträgt die Entwicklungsdauer etwa 2 Monate, in den kühleren Klimagebieten verlängert sich diese auf etwa 5 Monate. Die durchschnittlichen Regenmengen in den Sommermonaten sind für das Wachstum des Tabaks von ausschlaggebender Bedeutung.

Tabelle 1 /SCH 82/ weist aus, daß hohe Erträge nur in Jahren erreicht werden, in denen die Niederschläge während der Som-

Tab. 1:

Einfluß der Beregnung auf den Tabakertrag (dt/ha) in Forchheim für den Zeitraum 1971 bis 1981

	1971	1972	1973	1974	1975	1976	1977	1978	1979	1980	1981	Mittel
Ohne Beregnung	24,3	27,2	32,8	32,0	27,9	27,4	23,3	16,7	27,7	24,7	29,5	26,7
Mit Beregnung	28,9	27,2	32,8	32,0	27,9	36,6	25,8	16,7	34,9	24,7	29,9	28,9
Differenz	4,6	-	-	-	-	9,2	2,5	-	7,2	-	0,4	2,2
Beregnung [mm]	40	40	40	60	60	225	100	20	100	-	60	70

monatliche hohe Werte erreichen. In heißen Trockenjahren (hier z.B. 1976, 1979) mit geringen Niederschlägen können gute Erträge nur mit Hilfe zusätzlicher Beregnung erzielt werden.

#### ● Boden

Die Struktur des Bodens sollte feinkörnig und gut durchlüftet sein. Sandboden oder sandige Lehme eignen sich besonders für den Anbau von Tabakpflanzen. Das Wasserhaltevermögen muß gut ausgeprägt sein. Als günstiger pH-Bereich erwiesen sich Werte zwischen 5 und 6, wobei für Zigarrentabake auch schwach alkalische Böden genutzt werden /BRÜ 77/.

Außerordentliche Bedeutung für die Tabakwirtschaft hat die Züchtung einer kaum übersehbaren Menge an Tabaksorten. Allgemein bekannt sind traditionelle Sorten wie Virginia-, Kentucky-, Burley-, Orient-, Sumatra-, Brasil- und Havanna-Tabake, deren unterschiedliche Qualitätscharakteristika nicht nur auf gezielte genetische Veränderungen zurückgeführt werden, sondern hauptsächlich die Folge unterschiedlicher Anbau-, Pflege-, Dünge-, Trocknungs- und Aufarbeitungsmethoden sind. Auch hier haben Klima- und Bodenverhältnisse eine entscheidende Bedeutung.

#### 2.3.1 Aussaat

Die klimatischen Verhältnisse in den Tabakanbaugebieten der Bundesrepublik Deutschland fordern die aufwendige Anbaumethode der Setzlingswirtschaft, da zur Zeit der Aussaat Mitte März noch durchaus mit Frösten zu rechnen ist. In speziellen Frühbeeten bzw. Unterglasanlagen werden die Keimlinge bis Mitte Mai herangezogen. Die Jungpflanzen haben dann das Rosettenstadium erreicht und stehen kurz vor Beginn des Längenwachstums. Neben dem entscheidenden Vorteil einer Kompensation von Klimaschwankungen erlaubt die Setzlingswirtschaft eine optimale Feldbewirtschaftung hinsichtlich der Stückzahlen, kontrollier-

ter Pflanzabstände, Vorauswahl erfolgversprechender Jungpflanzen, Pflegemaßnahmen und Sortenspezifikation. Die Setzlingswirtschaft hat sich weltweit gegen alle anderen Anbaumethoden durchgesetzt, da eine kontrollierte Felderbewirtschaftung in agrarökonomischer Hinsicht nicht zu übertreffen ist.

### 2.3.2 Entwicklung der Setzlinge zu erntefähigen Pflanzen

Die Jungpflanzen werden Mitte Mai ins Freiland gesetzt. Nach 47 Tagen erreichen die Setzlinge etwa Kniehöhe. Die Gruppen - bodennahe Blätter - (Bild 1) kommen nach etwa 66 Tagen zur Ernte. Die wertvollen Sandblätter, die hauptsächlich als Zigarrendeckblätter benutzt werden, können nach 79 Tagen geerntet werden. Die Hauptmasse des Erntegutes, das Haupt- und Obergut, ist nach 93 Tagen ausgereift. Diese Termine gelten für die Sorte "Badischer Geudertheimer", wie sie in der Landesanstalt für Pflanzenbau und Tabakforschung Forchheim in Baden gepflanzt wird. Klimatische Bedingungen und sortenspezifische Erfordernisse lassen Abweichungen von einigen Tagen zu. Festgestellt werden kann, daß der Tabak mit der sehr kurzen Vegetationsdauer im Freiland von etwa 100 Tagen - nimmt man die Keimlingsentwicklung dazu, etwa von 160 Tagen - auskommt.

### 2.3.3 Pflegemaßnahmen

Als hochgezüchtete Nutzpflanze fordert die Tabakpflanze folgende unerläßliche Pflegemaßnahmen:

- Zur Durchlüftung des Bodens und zur Unkrautvernichtung soll mehrmals gelockert werden, etwa 3- bis 4mal /FRA 75/. Chemische Unkrautvernichtung hat sich eingebürgert.
- Um den Blattertrag zu maximieren sowie den besonderen Qualitätsansprüchen gerecht zu werden, werden die Pflanzen kurz vor der Entfaltung der Infloreszenzen geköpft. Dieses Köpfen hat die Ausbildung von Seitentrieben (sog. Geizen) zur Folge, die wiederum mechanisch gekappt werden (Entgeizen).



Mit verschiedenen Hemmstoffen und Pflanzenhormonen (z.B. IES) wird darüber hinaus versucht, die Geize an ihrer Ausbildung zu hindern /FRA 75/. Der Einfluß des Köpfens und Entgeizens auf Qualität und Ertrag des Tabaks wird ausführlich in /MAN 80/ untersucht.

Der Tabak ist die Pflanze mit der stärksten Reproduktionskraft. Das heißt, aus einem Samen von 0,1 mg wächst innerhalb einer Vegetationsperiode eine Pflanze mit einem Frischgewicht von etwa 2 kg heran, d.h. eine Gewichtszunahme um den Faktor 20 000 000 /SCH 80/. Das bedeutet, daß die Pflanze einen großen Bedarf an Nährstoffen hat, die sie dem Boden entzieht. Das betrifft vor allem Makronährstoffe wie Stickstoff, Schwefel, Phosphor, Kalium, Kalzium, Magnesium und viele Spurenelemente. Durch eine ausgewogene Düngung müssen die Defizite im Boden ausgeglichen werden. Außerordentlich wichtig ist außerdem die Düngung und die Verfügbarkeit der Nährstoffe für die Qualität des Tabaks, z.B. beeinflußt Kalium die Glimmfähigkeit des Tabaks, Kalzium reguliert die Aschenfarbe (wichtig bei Zigarren ist die rein weiße Aschenfarbe). Zu hohe Stickstoffgaben verschlechtern den Geschmack. Andererseits tritt bei Stickstoffmangel ein höherer Zuckergehalt auf, der für manche Sorten eine Qualitätseinbuße darstellt, z.B. bei Kentucky.

#### 2.4 Ernte

Die Tabakernte erfolgt grundsätzlich in Handarbeit. Die Blätter werden einzeln abgebrochen, wobei sie entsprechend ihrem Reifegrad von unten nach oben gepflückt werden. Die verschiedenen Erntestufen erfolgen bei sortentypischem Reifegrad in folgender Reihenfolge /SCH 80a/:

- |                        |               |
|------------------------|---------------|
| 1. a) Gruppen, lose    | 1 - 2 Blätter |
| b) Gruppen, gebüschelt | 3 Blätter     |
| 2. Sandblatt           | 4 - 5 Blätter |
| 3. Hauptgut            | 6 - 7 Blätter |
| 4. Obergut             | 3 - 4 Blätter |

In Tabelle 2 /SCH 80b/ sind die Erntetermine nach dem Auspflanzen der Setzlinge auf dem Feld und die Zahl der erntefähigen Blätter für die Sorten "Badischer Geudertheimer", "Badischer Burley E" und "Virgin SCR" zusammengestellt (siehe auch Bilder 2 bis 7).

Tab. 2:

Erntetermine in Tagen nach dem Auspflanzen der Setzlinge auf dem Feld

Sorte	Gruppen [d]	Sandblatt [d]	Haupt- und Obergut [d]	Zahl der erntefähigen Blätter
Badischer Geudertheimer	66	79	93	18 - 20
Badischer Burley E	66	79	93	18 - 20
Virgin SCR	71	83	94	16 - 18

## 2.5 Trocknung

Nach dem Ausbrechen werden die Blätter zunächst getrocknet, was durch Auffädeln und anschließendes Aufhängen im Freien oder Schuppen geschieht. Man unterscheidet zwischen einer Lufttrocknung und einer Heißlufttrocknung. Die Lufttrocknung erfolgt im Trockenschuppen (z.B. Jalousienschuppen), wobei der Trocknungsprozeß unter Lichtabschirmung und kontrollierten Temperatur- und Luftfeuchtigkeitsbedingungen abläuft. Der Wassergehalt der erntefrischen Blätter beträgt 85 - 90 % und wird durch die Trocknung auf 18 - 28 % reduziert. Während dieser Trocknungsphase kommt es zu einer Vergilbung der Blätter, die bei Abschluß der Trocknungsperiode eine gelbe bis braune Farbe angenommen haben.

Bei der Heißlufttrocknung wird der Trocknungsprozeß durch Warmluft gesteuert. In Heißluftkammern wird bei zunächst niedrigen Temperaturen von etwa 65 - 75 °C die Trocknung vorgenommen. Mit diesem Verfahren ist es möglich, den gesamten Trocknungsvorgang in 4 - 7 Tagen zu beenden, während bei der Lufttrocknung mit einer Dauer von 4 - 10 Wochen gerechnet werden muß /GEI 80, SCH. 80b/.

## 2.6 Fermentation

Nach der Trocknung wird das Erntegut gelagert. Dabei werden die Tabakblätter auf einer Grundfläche von ca. 15 - 18 m<sup>2</sup> Büschel für Büschel in Quer- und Längslage bis zu einer Höhe von 3 m als Fermentationsstock aufgeschichtet. Dadurch wird ein Fermentierungsprozeß eingeleitet, bei dem unter Mitwirkung eigener und von Mikroorganismen stammender Enzyme die im Blatt enthaltenen Kohlenhydrate abgebaut werden (Stärke → Zucker). Gleichzeitig findet eine durch Proteasen bewirkte Umwandlung von Eiweißkörpern statt. Damit verbunden ist ein gewisser Verlust an Zitronen- und Äpfelsäure, der die Brennfähigkeit des Tabaks herabsetzt.

Bei der Fermentation wird Wärme frei. Da höhere Temperaturen jedoch die Struktur des Tabaks verschlechtern, wurden spezifische, auf die jeweilige Sorte ausgerichtete Fermentierungsverfahren entwickelt, bei denen neben den biochemischen Abläufen auch der Grad der Erhitzung genau kontrolliert wird.

Bei der Naturfermentation erwärmt sich der Fermentationsstock auf 55 - 60 °C. Je nach Verwendungszweck der Blätter werden die Stöcke vier- bis sechsmal umgesetzt, so daß der Tabak mindestens vier "Wärmen" erhält.

Die Kammerfermentation wird für Tabake angewendet, die unter den Bedingungen der Naturfermentation nicht genügend Wärme entwickeln oder von ihrer Beschaffenheit her einer besonderen Behandlung bedürfen. Die Fermentationskammer ist ein hermetisch abgeschlossener Raum, in dem warme und mit Dampf angereicherte

Luft (ca. 90 % relative Luftfeuchtigkeit) mittels Ventilatoren umgewälzt wird. Temperatur und Luftfeuchtigkeit werden automatisch gesteuert. Unter diesen Bedingungen wird beim Tabak die volle Fermentation erreicht.

Nach beendeter Natur- bzw. Kammerfermentation beginnt die Kühlbehandlung zum natürlichen Auftrocknen der Tabake. Der Tabak wird dazu in gut belüfteten Räumen gelagert. Bis der Tabak weniger als 16 % Feuchtigkeit hat, vergehen 8 bis 14 Monate /GEI 80, SCH 80b, BUN o.J., FRO 73/.

## 2.7 Fruchtfolge

Tabak ist unter den klimatischen Bedingungen der Bundesrepublik grundsätzlich als eine mit sich selbst verträgliche Kulturart zu betrachten. Es wird aber eine weitgestellte Fruchtfolge eingehalten, bei der Anbauabstände von 3 bis 6 Jahren üblich sind. Als Vorfrüchte sind Getreidearten gut geeignet, demgegenüber sollten keine dem Tabak verwandten Arten, wie z.B. Kartoffeln, unmittelbar vor Tabak angebaut werden. Tabak gilt als eine gute Vorfrucht, da er einen unkrautfreien und gelockerten Acker hinterläßt /GEI 80, SCH 80b/.

## 2.8 Ernteerträge und Anbauflächen

In Tabelle 3 sind nach /BME 80/ die Produktionsparameter für das Anbaugesbiet der Bundesrepublik Deutschland angegeben. Es werden drei Tabaksorten angebaut, bei denen es verschiedene Neuzüchtungen und Versuchssorten gibt. "Badischer Geudertheimer" ist ein dunkler Tabak mit einem narbigen Blatt und mäßigem Nikotingehalt. Beim "Badischen Burley" handelt es sich um einen hellen Tabak mit feinem, narbigem Blatt und niedrigem Nikotingehalt. Auffallend beim "Virgin D" ist die helle bis goldgelbe Farbe. Das Blatt ist etwas glatt, meist zart und körperhaft. Der Nikotingehalt ist äußerst gering.

Tab. 3:

Anbauflächen und Erträge aus dem Tabakanbau in der Bundesrepublik Deutschland

Jahr	Anbaufläche [ha]	Ertrag gesamt [t]	Ertrag [dt/ha]
1975	3833	8937	23,3
1976	3912	9995	25,5
1977	3762	8787	23,4
1978	3592	7639	21,3
1979	3391	8535	25,2

Geudertheimer Tabake werden in Baden-Württemberg und Rheinland-Pfalz, in Gebieten mit bindigen Böden und im Durchschnitt höheren Niederschlagsmengen angebaut. "Badischen Burley" findet man im nordbadischen Teil Baden-Württembergs, in Rheinland-Pfalz (Vorderpfalz), in Bayern (Schwabacher und Fürth-Erlanger Anbau-gebiet) und in Hessen, jeweils Regionen mit sandigen Böden und lehmigen Sandböden. "Virgin D" wird auf leichtem Boden in Niedersachsen, Schleswig-Holstein, Bayern und Nordrhein-Westfalen angebaut. Tabelle 4 gibt eine Zusammenstellung nach Bundesländern über die Anzahl der Tabakgemeinden, Betriebe und Anbauflächen für das Anbau-Erntejahr 1980 /BUN 82/.

Eine Übersicht der Anbauflächen und Erträge der genannten Tabaksorten zeigt Tabelle 5 /BUN o.J./. Aus den hieraus genannten Daten ist zu ersehen, daß der Tabakanbau in der Bundesrepublik Deutschland in den letzten Jahren rückläufig ist. Als Hauptgrund dafür ist anzunehmen, daß neben den Betrieben, die sich hauptsächlich dieser Spezialkultur widmen, zahlreiche Nebenerwerbsbetriebe Tabak anbauen. Letztere haben in den vergangenen Jahren den meist auf kleinen Flächen betriebenen Tabakanbau aufgegeben. Diese Tendenz hält zur Zeit noch an /BUN o.J./.

Die Tabakernte (Tabelle 3) in der Bundesrepublik Deutschland ist, im Vergleich zur Welt-Tabakproduktion, verschwindend ge-

Tab. 4:

Zusammenstellung über die Anzahl der Tabakbaugemeinden, der tabakbauenden Betriebe, zollamtlich festgestellte Anbaufläche und durchschnittliche Anbaufläche je Betrieb für das Anbau-Erntejahr 1980

Tabakpflanzenverband	Anzahl der Tabakbaugemeinden	Anzahl der tabakbauenden Betriebe	Festgestellte Anbaufläche [ha]	Durchschnittliche Anbaufläche je Betrieb [ha]
Baden-Württemberg	170	1 645	1 496,50	0,91
Rheinland-Pfalz	47	1 552	1 303,17	0,84
Franken	36	256	289,33	1,13
Hessen	4	18	16,25	0,90
Rheinland	3	12	29,40	2,45
Niedersachsen	1	4	2,00	0,50
Nordwestdeutschland	12	16	85,75	5,36
Schleswig-Holstein	4	28	149,50	5,34
Nordrhein-Westfalen	1	1	1,50	1,50
Landesanstalt Forchheim		1	2,37	2,37
Bundesgebiet	278	3 533	3 375,77	0,96

Tab. 5:

Anbauflächen und Erträge verschiedener Tabaksorten in der Bundesrepublik Deutschland

Tabaksorte	Anbaufläche in ha		Erträge in t	
	1973	1977	1973	1977
Badischer Geudertheimer	1 945	1 718	6 788	4 149
Badischer Burley	1 669	1 701	4 588	4 003
Virgin D	322	341	542	629
Andere	-	2	-	6
Insgesamt	3 936	3 762	11 918	8 787

ring, wie die Produktionszahlen der größten Tabakproduzenten der Welt nach /FOC 78/ zeigen:

	<u>Mio. t</u>
Welternte 1977 (Roh-Tabak):	5,62
davon u.a.	
Volksrepublik China	1,0
USA	0,877
Indien	0,414
Brasilien	0,352
Sowjetunion	0,328
Türkei	0,223
Japan	0,169
Bundesrepublik Deutschland	0,008

Allerdings belegen Vergleiche der Hektarertragsleistungen mit den führenden tabakproduzierenden Ländern, daß in der Bundesrepublik Deutschland ein moderner, ertragsoptimierter Tabakanbau betrieben wird /FRA 75, BME 80/:

	<u>dt/ha</u>
Bundesrepublik Deutschland (1979)	25,2
Kanada	25,3
USA	23,5
Volksrepublik Polen	15,9
Volksrepublik China	11,7
UdSSR	11,3
Griechenland	9,5
Indien	7,9
Türkei	4,5

Da in der Bundesrepublik Deutschland der Tabakkonsum erheblich über der inländischen Produktion liegt, mußten 1978 0,156 Mio. t Tabak eingeführt werden. Allerdings existieren auf dem deutschen Zigarettenmarkt einige Handelsmarken, die einen Anteil an deutschem Tabak bis zu 40 % enthalten.

---

### 3. NÄHRSTOFFAUFNAHME

Über den zeitlichen Verlauf der Nährstoffaufnahme geben für die Nährstoffe N, P, Ca, K und Mg die Abbildungen 2 - 4 ausführliche Informationen. Hier sind die Nährstoffe im Erntegut der Sorten Badischer Geudertheimer, Badischer Burley und Virgin D nach /SCH 80b/ dargestellt. Die Aufnahme in die Blätter während der Zeiteinheit hat danach für die Nährstoffe N, P, Ca, K und Mg zwischen dem 45. und 65. Tag ein Maximum. Das Maximum der Gesamtmenge der in die Blätter aufgenommenen Nährstoffe wird dabei für N, P, K zwischen dem 60. und 65. Tag erreicht, während der Ca-Gehalt für alle Tabaksorten bis zum letzten Erntetermin (Haupt-, Obergut 93. bis 95. Tag) in den Blättern weiter ansteigt. Ein solches Verhalten läßt sich für Kalium nicht beobachten: Beim Badischen Geudertheimer, Badischen Burley und Virgin D wird der maximale K-Gehalt des Erntegutes am 80. Tag erreicht, bis zur Sandblatt-Oberguternte (93. bis 95. Tag) nimmt jedoch der K-Gehalt in den Blättern deutlich ab. Eine deutliche Abnahme läßt sich auch für die Elemente N, P und Mg aufzeigen.



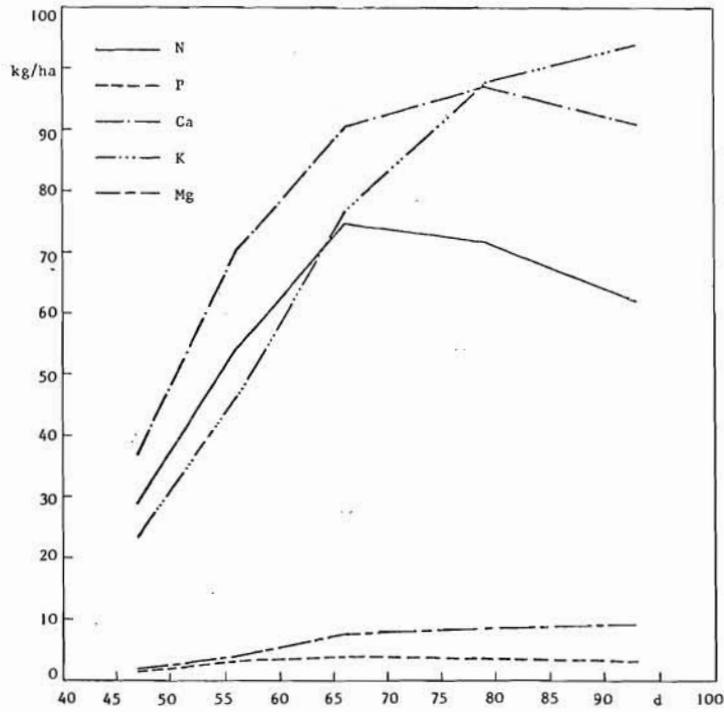


Bild 2:

Nährstoffentzug (kg/ha) Trockengewicht der Sorte Badischer Geudertheimer für das Erntegut

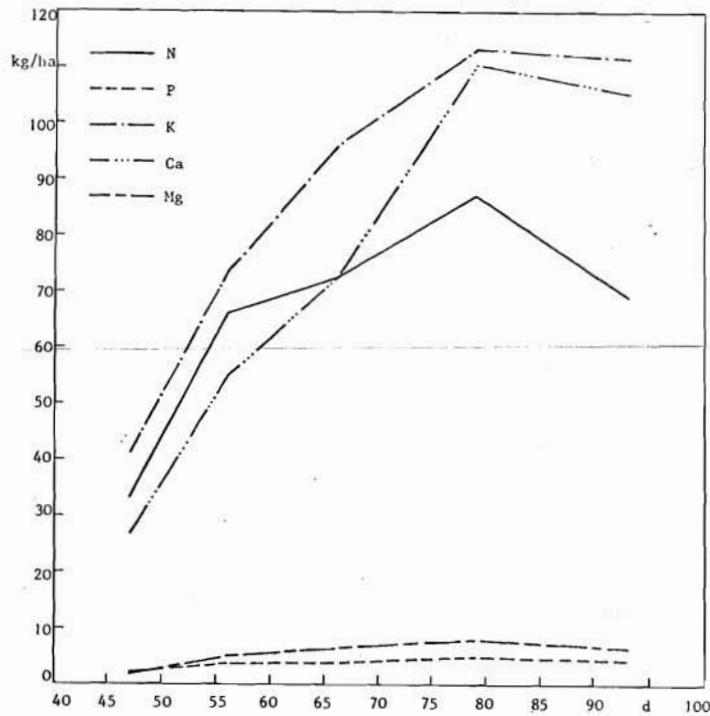


Bild 3:

Nährstoffentzug (kg/ha) Trockengewicht des Erntegutes der Sorte Badischer Burley

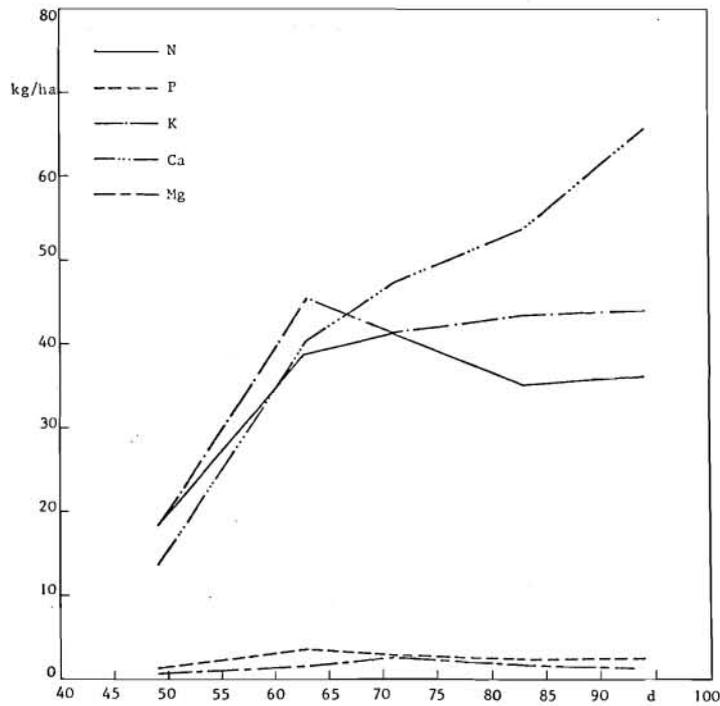
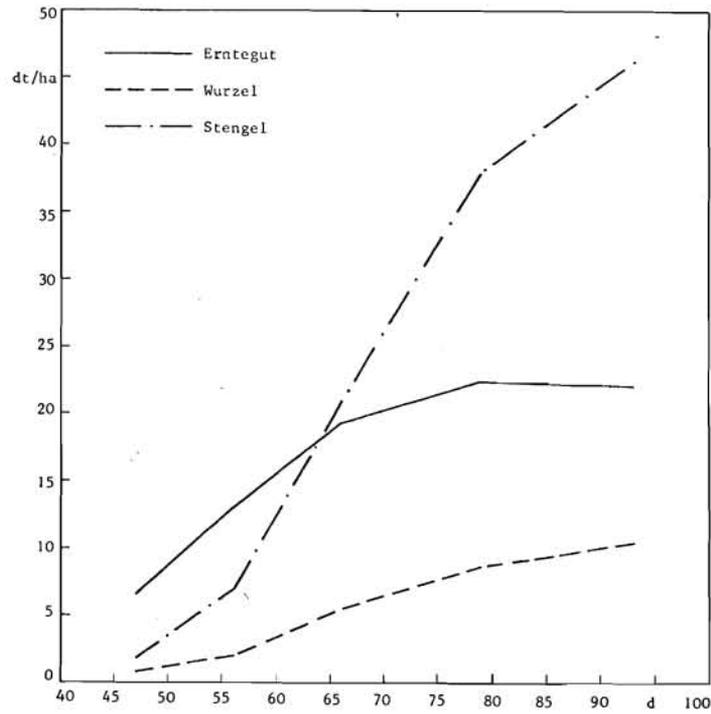


Bild 4:

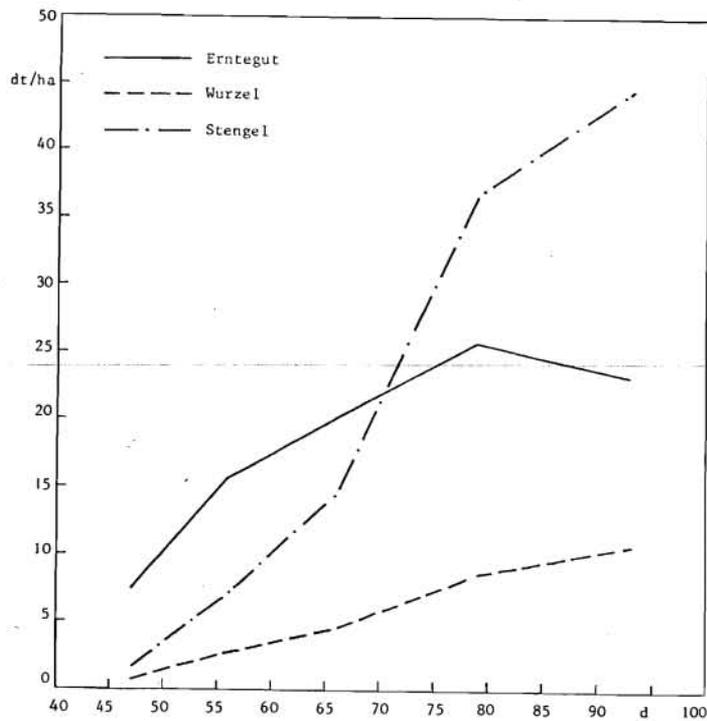
Nährstoffentzug (kg/ha) Trockengewicht  
des Erntegutes der Sorte Virgin D

In den Abbildungen 5 - 7 /SCH 80b/ sind die Erträge, getrennt für Erntegut, Stengel und Wurzel, über die Wachstumsstade auf dem Felde für die Sorten Badischer Geudertheimer, Badischer Burley und Virgin D aufgeführt. Ein Vergleich mit den Abbildungen 2 - 4 zeigt deutlich, daß das Maximum der Trockensubstanzbildung zeitlich später liegt als das Maximum der Nährstoffaufnahme. Die Nährstoffaufnahme eilt also der Trockensubstanzbildung deutlich voraus. Der Ertrag an Gesamt-Trockensubstanz der Tabakpflanze steigt bis zur Sandblatt-Oberguternte weiter an. Der Blattzuwachs ist nach den Abbildungen 5 und 6 für die Sorten Badischer Geudertheimer und Badischer Burley bis zur Sandblatt-Ernte ausgebildet, während beim Virgin der Blattzuwachs bei der Grumpenernte endet (Bild 7). Ein stetiger deutlicher Anstieg erfolgt dagegen bei allen drei Sorten im Bereich der Wurzeln und der oberirdischen Pflanzenteile (Stengel, Blütenstände und Geizen), der im Falle des Köpfens und Entgeizens den Haupt- und Obergutblättern zugute kommt /SCH 80b, MAN 80/.



**Bild 5:**

Erträge an Trockengewicht für die Pflanzenteile Erntegut, Stengel und Wurzel der Sorte Badischer Geudertheimer im Verlauf der Wachstumsstade auf dem Felde



**Bild 6:**

Erträge an Trockengewicht für die Pflanzenteile Erntegut, Stengel und Wurzel der Sorte Badischer Burley E im Verlauf der Wachstumsstade auf dem Felde

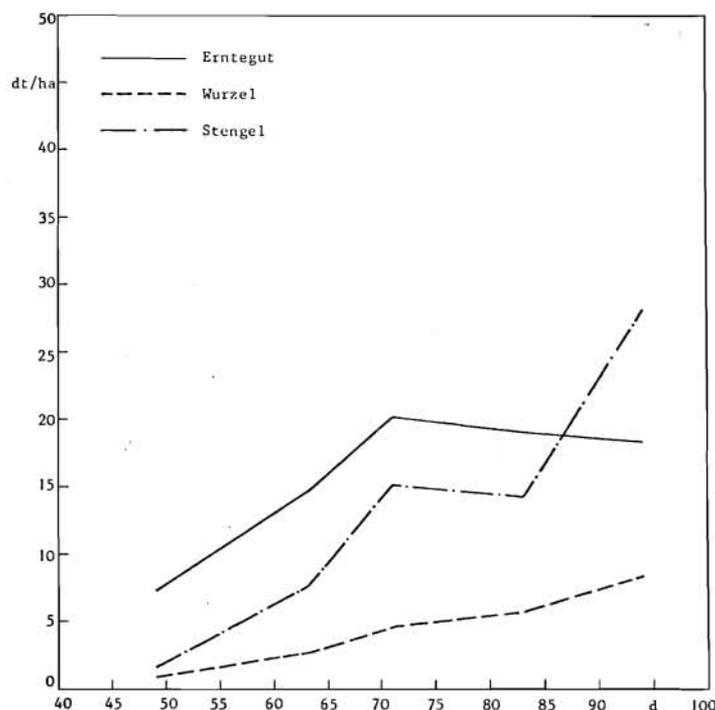


Bild 7:

Erträge an Trockengewicht für die Pflanzenteile Erntegut, Stengel und Wurzel der Sorte Virgin D über die Wachstumstage auf dem Felde

### 3.1 Transfer und Gehalt von Polonium-210, Blei-210 und Plutonium in der Tabakpflanze und Zigarette

Auswertungen der internationalen Literatur haben ergeben, daß die Anreicherung von radioaktiven Stoffen in der Tabakpflanze bisher nicht systematisch untersucht worden ist. Eine Ausnahme bilden die Radionuklide Po-210 und Pb-210. Verschiedene Autoren haben im Lungengewebe von Rauchern höhere Konzentrationen an Po-210 nachgewiesen als in dem von Nichtrauchern /LIT 65/. An diesen Ergebnissen entzündete sich eine Diskussion über die mögliche Rolle der Alpha-Strahlung des Po-210 als ein Initiator des Bronchial-Karzinoms.

In /ATH 72/ wurde die Aufnahme und Verteilung von Po-210 und Pb-210 in Tabakpflanzen untersucht. Da die Versuchspflanzen in Hydrokultur angezogen wurden, sind realistische Transferfakto-

ren Boden/Pflanze aus den Ergebnissen nicht ableitbar. Wichtige Aussagen können den Daten aber hinsichtlich der Verteilung des Po-210 und Pb-210 über die Gesamtpflanze entnommen werden: Der größte Teil der eingebrachten Radionuklide wird in der Wurzel angereichert, nur ein Bruchteil wird in die Blätter weitertransportiert. Innerhalb der verschiedenen Blattstufen (Bild 1) findet nach /ATH 72/ die größte Akkumulation in den älteren Blättern statt. Dieser ausgeprägte acropetale Gradient soll am Beispiel der Sorte Virginia Gold nach /ATH 72/ verdeutlicht werden:

Po-210-Gehalt (Bq/g Tr.G. <sup>1)</sup> )	
1. Blattpaar	42,8
10. Blattpaar	6,5

Die Größe des Transferfaktors Tabakpflanze/Boden für Pb-210 und Po-210 ist nach den uns vorliegenden Unterlagen umstritten. Während Tso /TSO 66a/ in Gewächshaus- und Feldversuchen aufzuzeigen versucht, daß der größere Anteil des Po-210 über die Wurzel aus dem Boden aufgenommen wird, behauptet Francis /FRA 68/, daß praktisch der gesamte Po-Gehalt der Tabakpflanze über den Regen durch "washout" der Pflanze zugeführt wird.

In /SIN 76/ werden die Polonium-Gehalte in Tabakwaren aus Indien und den USA miteinander verglichen. Dabei zeigt sich, daß die verschiedenen Tabakwaren aus Indien einen 10- bis 15mal kleineren Gehalt an Po-210 aufweisen als die entsprechenden aus den USA. Die Autoren führen dies darauf zurück, daß die indischen Böden, verglichen mit denen der USA, einen höheren pH-Wert aufweisen und dadurch weniger Po-210 in die Pflanze transferiert wird.

Aus den Angaben zum Po-Gehalt im Boden und in den Tabakwaren Indiens lassen sich orientierende Werte für den Transferfaktor errechnen (Tabelle 6 /SIN 76/).

<sup>1)</sup> Tr. G. = Trockengewicht

Tab. 6:

Transferfaktoren Boden/Tabakwaren für Polonium für verschiedene Tabakprodukte aus Indien

Po-210-Transferfaktor (Bq/g Tabakwaren / Bq/g Boden)	
Zigarette	0,3
Stumpen	0,2
Kleine Zigarren	0,17
Größere Zigarren	0,01

Für amerikanische Tabakwaren muß nach Angaben in /SIN 76/ mit noch größeren Transferfaktoren gerechnet werden. Es werden jedoch keine Abschätzungen zur potentiellen oberflächlichen Kontamination durch "fallout", auf die in /FRA 68/ hingewiesen wurde, durchgeführt. Deshalb sollte die Problematik der Aufnahme von Po-210 und Pb-210 über die Wurzel in die Tabakpflanze an anderer Stelle untersucht werden.

In /WAT 70/ wurden Transferfaktoren Pflanze/Boden für Poloniumdioxid für eine Reihe von Kulturpflanzen bestimmt. Die Versuche wurden in Töpfen im Gewächshaus durchgeführt, wobei eine alkalische Braunerde als Kulturboden diente. Die für den eßbaren Teil der Pflanzen angegebenen Faktoren sind bedeutend kleiner als die für Tabak abgeleiteten Werte (s.o.), wie Tabelle 7 zeigt. In /BMI 79/ wird für Polonium ein Transferfaktor Boden/Vegetation von  $9,0 \cdot 10^{-3}$  Bq/kg Pflanzen Fr.G.<sup>1)</sup> / Bq/kg Boden Tr.G. genannt.

In die Jahresberichte "Umweltradioaktivität und Strahlenbelastung" für die Jahre 1977 und 1978 sind erstmalig Messungen von Tabakproben auf Pu-238 und Pu-239/240 sowie U-238 einbezogen worden. Während für die Berichtsjahre 1977 und 1978 keine Pu-238-Aktivität nachgewiesen werden konnte, betrug die Pu-239/240-Aktivität in den Tabakblättern

0,08 bzw. 0,11 Bq/g Tr.G.

<sup>1)</sup> Fr.G. = Frischgewicht

Tab. 7:

Transferfaktoren Boden/Vegetation für Poloniumdioxid für den eßbaren Teil verschiedener Kulturpflanzen

Pflanze	Transferfaktor
	$\frac{\text{Bq Po-210/g Pflanze Fr.G.}}{\text{Bq Po-210/g Boden Tr.G.}}$
Sellerie	$2,9 \cdot 10^{-5}$
Mais	$3,5 \cdot 10^{-6}$
Zwiebeln	$5,1 \cdot 10^{-5}$
Erbsen	$3,5 \cdot 10^{-5}$
Kartoffeln	$6,2 \cdot 10^{-4}$
Rettich	$5,8 \cdot 10^{-4}$
Spinat	$8,0 \cdot 10^{-4}$
Tomaten	$1,2 \cdot 10^{-6}$
Weizen	$9,0 \cdot 10^{-6}$

Diese Werte sind höher als die Werte, die für Grünkohl im gleichen Berichtszeitraum angegeben werden:

1977: Pu-239 2,2 (-3) Bq/g Fr.G. (Mittelwert)

1978: Pu-239/240 7,4 (-4) Bq  $\pm$  5,2 (-4) Bq/g Fr.G. (Mittelwert, Probenort Leopoldshafen)

Dabei ist zu beachten, daß die Werte für Tabak auf Pflanzentrockengewicht bezogen sind. Rauchfertiger Zigarettentabak hat einen Wassergehalt von 10 - 15 % /SCH 80b/. Für rauchfertigen Tabak würde sich somit ein Wert im Bereich von

0,07 - 0,09 Bq/g

ergeben.

In /BMI 80, 81/ werden keine Pu-239/240-Aktivitäten in den Böden dieser Kulturpflanzen ausgewiesen, so daß Überlegungen über die Pfade der Kontamination (Luft - Boden) Spekulation wären.

### 3.2 Gehalt von Strontium, Strontium-90, Cäsium und Cäsium-137 in Tabakpflanzen

Die Aufnahme von Strontium und Cäsium in die Tabakblätter spielt für die Praxis des intensiven landwirtschaftlichen Anbaus keine Rolle. Nach Tso /TSO 66b/ wurde bereits 1897 Strontium in Tabakpflanzen nachgewiesen. Blühender Tabak hat nach einer späteren Arbeit (1921) einen relativ hohen Gehalt an Strontium, verglichen mit nichtblühenden Pflanzen /TSO 66b/. Tso zitiert eigene, nicht veröffentlichte Untersuchungen amerikanischer Tabaksorten der Jahre 1956 bis 1963, die aufgrund des "fallout" der Atombombenversuche steigende Sr-90-Gehalte aufwiesen: Für das Jahr 1963 wird als höchster Wert für Connecticut-Zigarrendeckblätter ein Wert von 0,18 Bq/g Sr-90 genannt. In den zitierten Publikationen werden keine Angaben zum Sr- bzw. Sr-90-Gehalt im Boden gemacht.

Voss u.a. /VOS 60/ haben Handelszigaretten auf den Gehalt an verschiedenen Elementen, u.a. Strontium, untersucht. Da die Zigarettenproben im Handel erworben wurden, können die Autoren keine Angaben zum Sr-Gehalt der Böden der Herkunftsländer machen. Den - verglichen mit anderen Pflanzen - hohen Sr-Gehalt in den verschiedenen Tabakmischungen (19 - 500 ppm, Ø 195 ppm) führten die Autoren auf mögliche Umweltkontamination zurück.

Brown /BRO 64/ bestimmte in Tabakblättern den Sr-90- und Ca-Gehalt getrennt nach Mittelrippe und Blattspreite (Lamina) und fand, daß der Sr-90-Gehalt in der Blattspreite etwa doppelt so hoch war wie der in der Mittelrippe. Auch hier werden keine Angaben zum Sr-90-Gehalt des Bodens gemacht.

Im Rahmen eines Forschungsvorhabens zur Bestimmung der Transferate von Strontium und Cäsium vom Tabak in den Rauch (Kapi-



tel 4) wurden einige Zigaretten- und Zigarrentabake auf ihren Gehalt an Sr-90 und Cs-137 untersucht. In Tabelle 8 /FIS 81/ sind die Ergebnisse der Untersuchungen zusammengefaßt. Die Tabake hatten einen mittleren Wassergehalt von 12 - 13 %.

Tab. 8:

Ergebnisse der Radioaktivitätsuntersuchungen inländisch erworbener Tabakproben auf Cs-137 und Sr-90

Tabakproben	Radioaktivität Bq/kg	
	Cs-137	Sr-90
<p>Probe A:</p> <p>Sorte: Badischer Burley E, Jahrgang 1980, fermentiert, Schneidegut Mischung Gruppen, Sandblatt, Haupt- und Obergut (entrippt), Herkunft: Rheinstetten-Forchheim</p>	1,84	33,4
<p>Probe B:</p> <p>Etwa 1 Monat vor der Untersuchung im Juni 1981 aus der Produktion von zwei Hauptmarken des Handels mit den höchsten Anteilen an deutschen Tabaken entnommen (Ernte etwa 1-2 Jahre früher)</p>	2,3	28,8
<p>Probe C:</p> <p>Sorte: Badischer Geudertheimer, Jahrgang 1980, fermentiert, Zigarrengut (Mischung Sandblatt, Hauptgut, entrippt) Herkunft: Rheinstetten-Forchheim</p>	1,6	26,0
<p>Probe D:</p> <p>Durchschnittsqualität des deutschen Marktes für das Jahr 1976, Einheitszigarre E 76</p>	2,8	27,3

Diese Werte stimmen recht gut mit den Ergebnissen überein, die im Rahmen standortspezifischer Untersuchungen der GRS von der LUFA Augustenberg ermittelt wurden (Tabelle 9 /LUF 80/).

Ein Vergleich mit den Aktivitätsgehalten in Weidevegetation aus dem gleichen Untersuchungsgebiet zeigt, daß die Sr-90-Ge-

halte im Tabak-Sandblatt etwa 2mal größer sind als die in Weidevegetation. Die Größenordnung dieser Werte wird auch durch Untersuchungen von Tabakblättern aus anderen Anbaugebieten bestätigt.

Tab. 9:

Cs-137- und Sr-90-Aktivität in Tabakblättern

Probenort	Tabak Erntestufe	Radioaktivität [Bq/kg]	
		Cs-137	Sr-90
Weisweil	Hauptgut	1,5	11,1
	Sandblatt	1,1	19,8
Forchheim	Hauptgut	1,5	7,1
	Sandblatt	1,5	21,6

---

### 3.3 Transfer von Strontium-90 und Cäsium-137 aus dem Boden über die Wurzel in das Tabakblatt

Angaben über die Größe des Transfers der Radionuklide Sr-90 und Cs-137 über die Wurzeln in die Tabakpflanze sind nur sehr beschränkt verfügbar. Aus der internationalen Literatur liegen uns nur zwei Publikationen vor, denen Transferfaktoren Boden - Tabakblatt entnommen werden können.

---

Andersen /AND 67/ untersuchte die Aufnahme von Sr-89 und Cs-137 in Tabak der Sorte "Virginia", die in Topfkultur angezogen wurde. Als Kulturboden diente ein lehmiger Sand aus der Gegend von Lille Valby. Die Vegetationsdauer wird mit 63 Tagen angegeben. Aus den Ergebnissen können folgende Transferfaktoren (fe) abgeleitet werden:

$$\begin{array}{ll} \text{fe Cs-137} & 9 \cdot 10^{-2} \quad ^1) \\ \text{fe Sr-90} & 16,9 \quad ^1) \end{array}$$

---

<sup>1)</sup>  $\frac{\text{Bq/g Tr.G. Blatt}}{\text{Bq/g Tr.G. Boden}}$

In /LAN 64/ wird für den Transferfaktor von Cs-137 und Sr-90 in Tabakblätter (Hauptgut) folgender funktionaler Zusammenhang zwischen austauschbarem Ca-Gehalt (Ca) des Kulturbodens und dem Transferfaktor  $f_e$  genannt:

$$\begin{array}{ll} \text{Cs-137} & f_e = 0,057 (\text{Ca})^{-0,4} \\ \text{Sr-90} & f_e = 12,3 (\text{Ca})^{-0,63} \end{array}$$

(Ca-Gehalt in g/kg)

Die angegebenen Gleichungen basieren nicht auf Experimenten mit Tabakpflanzen, sondern sind Untersuchungen mit Kartoffelkraut entnommen, die aufgrund der Zugehörigkeit zur gleichen botanischen Familie der Nachtschattengewächse (Solanaceae) den Autoren übertragbar erschienen.

Der Kulturboden der Tabakpflanzen in /AND 67/ enthielt 0,88 g Ca/kg Boden. Danach ergeben sich nach obigen Gleichungen für Tabakblätter Transferfaktoren für

---

$$\begin{array}{l} \text{Cs-137 zu } f_e = 0,06 \frac{(\text{Bq/Pfl. Tr.G.})}{(\text{Bq/Boden Tr.G.})} \\ \text{Sr-90 zu } f_e = 13,3 \frac{(\text{Bq/Pfl. Tr.G.})}{(\text{Bq/Boden Tr.G.})} \end{array}$$

Die so errechneten Werte stimmen recht gut mit den von Andersen /AND 67/ experimentell für Tabak ermittelten Ergebnissen überein.

---

Die in /AND 67/ genannten Transferfaktoren und die nach /LAN 64/ für mittlere Bodenverhältnisse ableitbaren Transferfaktoren in Tabakblätter sind speziell für Sr-90 erheblich höher als die Werte, die in /BMI 79/ für die entsprechenden Elemente angegeben werden. Im Rahmen der Erstellung eines radioökologischen Gutachtens wurden daher für die Sonderkultur Tabak standortbezogene Transferfaktoren ermittelt. Die Ergebnisse der Untersuchungen sind in Tabelle 10 aufgelistet /LUF 80/.

Die Werte für Cs-137 liegen in einem Bereich, der durchaus auch für andere Vegetationsformen ermittelt worden ist. Anders ist

Tab. 10:

Ergebnisse standortspezifischer Untersuchungen zum Transfer von Sr-90 und Cs-137 in Tabakblättern

Meßstelle	Radionuklid	Erntestufe	Transferfaktor $\frac{(\text{Bq/kg Tabak Tr.S.})}{(\text{Bq/kg Boden Tr.S.})}$
Weisweil	Sr-90	Hauptgut	19,9
		Sandblatt	35,6
Forchheim	Sr-90	Hauptgut	9,6
		Sandblatt	29,2
Weisweil	Cs-137	Hauptgut	0,18
		Sandblatt	0,14
Forchheim	Cs-137	Hauptgut	0,10
		Sandblatt	0,10

es für das Radionuklid Sr-90: Die standortspezifischen Messungen bestätigen die Größenordnung, die in /AND 67/ genannt und nach /LAN 64/ zu erwarten ist. Da die Untersuchungen in /LUF 80/ getrennt für die Erntestufen Sandblatt und Hauptgut durchgeführt wurden, zeigt sich deutlich, daß die Aufnahme von Strontium in die älteren Blätter größer ist als in die jüngeren. Dies korrespondiert mit den Aufnahmezeiten des Kalziums in die Blätter (Abschnitt 2.4), wo gezeigt werden kann, daß das einmal in die Blätter transportierte Kalzium in eine immobile Form überführt wird und für das weitere Wachstum der Pflanze nicht mehr zur Verfügung steht. Demgegenüber sind die Transferfaktoren für Cs-137 in Hauptgut und Sandblatt praktisch gleich. Auch diese Beobachtung läßt sich durch das Verhalten des chemisch äquivalenten Elementes K (Kapitel 3, Bild 5) über die Vegetationsperiode der Tabakpflanze erklären: In die Blätter transportiertes Kalium verbleibt nicht dort, sondern steht nach Bedarf für das weitere Stengel- und Blattwachstum der Pflanze zur Verfügung.

#### 4. ELEMENTÜBERGANG VOM TABAK IN DAS RAUCHKONDENSAT

In der Glutzone der Zigarette, Zigarre oder Pfeife werden infolge des Luftstroms durch den Sog am Mundstück Temperaturen von 850 bis 920 °C /TON 57/ erzeugt. Dabei wird organisches und anorganisches Material thermisch zersetzt und gerät gasförmig in die dahinterliegende Destillationszone, wo es sich mit Wasserdampf vermischt und durch Abkühlung ein Aerosol bildet. Ein Teil der Aerosole schlägt sich mit abnehmender Temperatur im Restteil der Zigarette, der Kondensationszone, nieder. Mit fortschreitendem Abbrand der Zigarette, Zigarre oder Pfeife erhöht sich somit die Konzentration der Stoffe im Hauptstrom, da das Kondensat erneut abdestilliert und in Aerosolform übergeführt wird /MEY 77/. Ein Übertrag fester Teilchen in den Rauch findet nach /COG 57/ nicht statt, da der nicht verbrannte Teil der Zigarette und selbst noch der kurze Stummel am Ende des Rauchvorganges als wirkungsvolles Rückhaltesystem fungieren.

---

Zur Berechnung potentieller Strahlenexposition durch Inhalation von Rauch, wobei die Blätter der Tabakpflanzen durch radioaktive Ableitungen mit der Fortluft oder dem Abwasser kerntechnischer Anlagen kontaminiert wurden, müssen die Übergangsfaktoren für die Radionuklide vom Tabak in das Hauptstromkondensat bekannt sein.

---

Untersuchungen zum Transfer Tabak-Kondensat sind für eine Reihe von organischen und anorganischen Verbindungen durchgeführt worden /JOH 59/. Nach /COG 57/ werden von den Metallverbindungen vor allem die Chloridverbindungen in den Rauch überführt, die bereits weit unterhalb ihres Siedepunktes flüchtig sind.

Zur Bestimmung der Übergangsfaktoren  $T_{TK}$  werden die Zigaretten in Abrauchmaschinen maschinell abgeraucht, mit der das Verhaltensmuster eines Rauchers bezüglich Zugfrequenz, -dauer und -volumen u.a.m. gesteuert werden kann. In der Bundesrepublik Deutschland sind die Verfahren und Methoden zur Untersuchung von Tabak und Tabakerzeugnissen in DIN 10 240 mit den Abschnitten

- Teil I: Maschinelles Abrauchen von Zigaretten und Bestimmung des Rauchkondensats - Anforderung an eine Rauchmaschine
- Teil II: Abrauchverfahren
- Teil III: Bestimmung des Rohkondensats und des nikotinfreien trockenen Rauchkondensats

geregelt. Nach DIN 10 240 werden z.B. die Nikotin-(N) und Kondensat-(K)Gehalte in Tabakwaren ermittelt, die auf den Steuerbänderolen jeder Packung ausgewiesen werden müssen. Wichtige Bestimmungen für das Abrauchen von Zigaretten sind nach DIN 10 240 u.a. in Tabelle 11 festgehalten. Für das Abrauchen einer Zigarette werden 8 - 10 Züge gerechnet.

Tab. 11:

Anforderungen an das maschinelle Abrauchen von Zigaretten nach DIN 10 240

Zugintervall:	1 Zug/min
Zugdauer:	2 s
Zugvolumen:	35 ml
Zugprofil:	glockenförmig
Stummellänge:	23 mm (ohne Filter), bei Filterzigaretten nicht weniger als Filterlänge plus 8 mm oder Be- legpapier plus 3 mm

Zur Bestimmung von Transferraten Tabak-Kondensat werden die zu untersuchenden Verbindungen oder Elemente in der Zigarette (A) und im zugehörigen Hauptstromkondensat (B) gemessen; der prozentuale Übergangswert ( $T_{TK}$ ) ergibt sich zu

$$T_{TK} = \left(\frac{B}{A}\right) \cdot 100.$$

Übergangswerte für radioaktive Stoffe sind nach den uns vorliegenden Publikationen bisher lediglich für "natürliche Radioak-

tivität", hauptsächlich Kalium-40 /RUN 61/ und Polonium-210 /HAR 78/, ermittelt worden.

In /RUN 61/ wurden drei verschiedene Zigarettenmarken amerikanischer und kanadischer Herstellerfirmen auf natürliche Radioaktivität - K 40 - untersucht. Das Abrauchverfahren entspricht im wesentlichen dem in DIN 10 240 festgelegten Verfahren. Es ergaben sich Übergangswerte im Bereich von 0,41 - 0,75 %; der größte Teil der Aktivität (ca. 90 %) konnte in der Zigarettenasche nachgewiesen werden, ein geringer Anteil verblieb im Stummel. Nach diesen Untersuchungen gelangten 3 - 10 % der Aktivität in das Nebenstromkondensat. In /HAR 78/ wurden die Ergebnisse von Untersuchungen verschiedener Autoren zum Transfer von Po-210 in den Rauch zusammengefaßt. Danach geht Po-210 quantitativ in das Hauptstromkondensat über: Die Übergangswerte liegen im Bereich von 6,8 - 30 %.

Während in /JOH 59/ und /JON 68/ nur qualitative Angaben über das Auftreten verschiedener Mineralstoffe in der Asche bzw. im Kondensat gemacht werden, sind in /COG 57, NAD 70a und b, ABE 77/ für eine Reihe von Elementen die Transferfaktoren  $T_{TK}$  Tabak-Rauchkondensat mit amerikanischen und iranischen Zigaretten experimentell ermittelt worden. Auch in diesen Untersuchungen werden die Zigaretten nach Bedingungen abgeraucht, die in wichtigen Teilen DIN 10 240 entsprechen. Da Übergangswerte Tabak-Rauchkondensat für Plutonium bisher nicht gemessen worden sind, finden die vorliegenden Ergebnisse für einige Lanthanide und Thorium als dem Plutonium chemisch verwandte Elemente Berücksichtigung.

Im Jahre 1981 wurden in der Landesanstalt für Pflanzenanbau und Tabakforschung Forchheim Abrauchversuche mit deutschen Marktzigaretten durchgeführt /SCH 82/. Mit 11 verschiedenen Tabakmischungen wurden die Transferfaktoren Tabak-Rauchkondensat für Kalium, Kalzium, Strontium und einige Schwermetalle bestimmt, wobei Zigaretten mit und ohne Filter getrennt untersucht wurden. Abgeraucht wurde nach den DIN-Vorschriften 10 240 mit der Abrauchmaschine RM 20 mit elektrostatischer Kondensat-

abscheidung. Für die Elementanalyse wurde das Rauchkondensat (Hauptstrom) von  $3 \cdot 20 = 60$  Zigaretten verwandt. Infolge des sehr niedrigen Cs-Gehaltes der Tabake (0,16 - 0,46 ppm) und des sehr geringen Rauchüberganges konnte das Element in der vorliegenden Kondensatmenge von jeweils 60 Zigaretten nicht nachgewiesen werden. Die Übergangswerte  $T_{TK}$  für die hier besonders relevanten Elemente sind in Tabelle 12 zusammengefaßt.

Tab. 12:  
Übergangswerte Zigarette - Hauptstromkondensat

Element	Übergangswert $T_{TK}$ Zigarette - Hauptstromkondensat	Schrifttum
Cs	1,27 1,4	/NAD 70a/ /ABE 77/
Sr	0,014 - 0,040 <sup>1)</sup> 0,012 - 0,054 <sup>2)</sup>	/SCH 82/ /SCH 82/
Co	0,68 0,87 <sup>1)</sup> 4,20 <sup>2)</sup> 0,5	/ABE 77/ /NAD 70a/ /NAD 70a/ /NAD 70b/
La	0,15 0,16 3,8 <sup>1)</sup> 11,0 <sup>2)</sup>	/ABE 77/ /NAD 70b/ /NAD 70a/ /NAD 70a/
Ce	0,30	/ABE 77/
Sm	0,10	/ABE 77/
Eu	0,88	/ABE 77/
Tb	0,41	/ABE 77/
Th	0,39	/ABE 77/

<sup>1)</sup> Filterzigarette

<sup>2)</sup> Strangzigarette

Im Gegensatz zu den vielen Schwermetallen, deren Übergangswerte  $T_{TK}$  deutlich größer als 1 % sind, zeichnen sich die Alkali- und Erdalkalimetalle durch kleine Übergangsfaktoren Tabak - Rauchkondensat aus. Dies gilt insbesondere für die Erdalkali-



metalle, für die Werte im Bereich  $< 0,001 - 0,13$  % gemessen wurden. Die Werte für Strontium liegen dabei für Zigaretten mit und ohne Filter im Bereich von  $0,01 - 0,05$  % /SCH 82/.

Deutlich höher liegen die entsprechenden Werte für die Alkali-metalle: Der Wertebereich für die Transferfaktoren  $T_{TK}$  umfaßt  $0,09 - 1,4$  %, wobei die höchsten Übergangsfaktoren für Cäsium mit  $1,27$  % und  $1,4$  % von Nadkarni /NAD 70b/ und Abedinzadeh /ABE 77/ bestimmt wurden. Dies gilt auch für die Lanthaniden sowie Thorium, für die Werte im Bereich  $0,10 - 0,88$  % gemessen wurden. Erheblich größere Werte werden von Nadkarni /NAD 70a/ für Lanthan angegeben:  $3,8$  % für Filterzigaretten und sogar  $11$  % für filterlose Zigaretten. Auch der Übergangswert für Kobalt weicht gegenüber den Ergebnissen anderer Studien in dieser Publikation stark ab. Der Grund für die doch erheblichen Differenzen ist anhand der Beschreibung der experimentellen Bedingungen in /NAD 70a/ nicht erklärbar.

---

## 5. VERBRAUCH VON TABAKWAREN UND RAUCHGEWOHNHEITEN

Das Geschmacksbild der wichtigsten Tabakwaren (Zigarette, Zigarre/Zigarillo, Rauchtobak) wird durch eine Mischung der verschiedensten Tabaksorten bzw. Herkünfte und Ernten erzielt. Der gegenwärtige Verbrauchergeschmack wird wesentlich von der amerikanischen Geschmacksrichtung geprägt (American Blend). Diese American Blend hat eine Zusammensetzung, die etwa  $53$  % Virginia-Tabak,  $33$  % Burley-Tabak, maximal  $5$  % Maryland-Tabak und bis zu  $10$  % Orient-Tabak enthält /FRA 75/.

Das Mischungsverhältnis der Tabake verschiedener Provenienzen von Markenzigaretten unterliegt dem Betriebsgeheimnis der Herstellerfirma. So ist für bestimmte Zigaretten, z.B. Schwarzer Typ, die in der Bundesrepublik Deutschland hergestellt werden, lediglich bekannt, daß der Anteil deutscher Tabake (spez. Geudertheimer, Badischer Virgin, Burley) maximal  $40$  % betragen kann.

Von der Bevölkerung der Bundesrepublik Deutschland zählen Personen der Altersgruppe 15 Jahre und älter zu den potentiellen Verbrauchern von Tabakwaren. Der Anteil der Raucher wird in /GRU 79/ mit 38 % angegeben, was bei einer Bevölkerung von ca. 49,8 Mio. Einwohnern (1979) /STA 81/ einer Personenzahl von 18,9 Mio. entspricht. Im Jahr 1979 wurden nach /STA 81/ 124 521 Mio. Stück Zigaretten verbraucht. Somit entfielen auf jeden Raucher 6 590 Zigaretten/Jahr bzw. 18 Zigaretten/Tag.

Nach Untersuchungen in /ERB 79/ nimmt der Anteil der Frauen in der Gruppe der Raucher in den letzten Jahren signifikant zu: Während im Jahr 1975 der Anteil 39 % betrug, steigerte sich dieser bis zum Jahr 1979 auf 43 %.

Der Anteil der männlichen Raucher, deren Zigarettenkonsum mehr als 20 Stück pro Tag beträgt, liegt bei ca. 33 %, bei den weiblichen Rauchern nur bei ca. 18 %. In der Gruppe der Raucher mit einem täglichen Konsum zwischen 10 und 20 Zigaretten sind Männer und Frauen mit 47 % bzw. 43 % etwa gleich stark vertreten. Demgegenüber ist die Gruppe der Frauen, die weniger als 10 Zigaretten pro Tag rauchen, mit ca. 40 % etwa doppelt so hoch wie diejenige der Männer, deren Anteil hier ca. 20 % beträgt /GRU 79/. 29 % der männlichen Raucher bevorzugen Strangzigaretten (filterlose Zigaretten), während > 90 % der Raucherinnen Filterzigaretten rauchen.

Auskunft über die monatlich eingekauften Mengen Tabakwaren von Haushalten mit unterschiedlichem Einkommen gibt Tabelle 13. Danach werden die meisten Zigaretten in Haushalten mit mittlerem Einkommen gekauft /BME 80/.

## 6. POTENTIELLE STRAHLENEXPOSITION ÜBER DEN INHALATIONSPFAD TABAKRAUCHEN

In der näheren Umgebung kerntechnischer Anlagen angebaute Tabakpflanzen können durch die Ableitung radioaktiver Stoffe mit der Fortluft und dem Abwasser kontaminiert werden. Die Kontamination der Tabakblätter erfolgt dabei im wesentlichen durch

Tab. 13:

Eingekaufte Mengen (Stück je Haushalt und Monat) Tabakwaren ausgewählter Haushaltstypen

Ware	Haushaltstyp 1			Haushaltstyp 2			Haushaltstyp 3		
	1977	1978	1979	1977	1978	1979	1977	1978	1979
Zigarren (Stück)	9	8	4	3	3	3	4	4	3
Zigaretten (Stück)	78	83	91	142	149	144	104	122	125

Haushaltstyp 1: 2-Personen-Haushalte von Renten- und Sozialhilfeempfängern mit geringem Einkommen, überwiegend ältere Ehepaare in Gemeinden mit 5000 und mehr Einwohnern. Das monatliche Haushaltsbruttoeinkommen sollte 1979 unter 1 450 DM liegen.

Haushaltstyp 2: 4-Personen-Arbeitnehmerhaushalte mit mittlerem Einkommen des Haushaltsvorstandes. Ehepaare mit 2 Kindern, davon mindestens 1 Kind unter 15 Jahren, in Gemeinden mit 20 000 und mehr Einwohnern. Der Haushaltsvorstand soll als Angestellter oder Arbeiter tätig und alleiniger Einkommensbezieher sein. Sein monatliches Bruttoarbeitseinkommen sollte 1979 zwischen 2 100 und 3 150 DM liegen.

Haushaltstyp 3: 4-Personen-Haushalte von Beamten und Angestellten mit höherem Einkommen, wie Typ 2. Der Haushaltsvorstand soll der Hauptverdiener in der Familie sein. 1979 sollte das monatliche Haushaltsbruttoeinkommen zwischen 4 000 und 5 400 DM betragen, davon allein das Bruttoarbeitseinkommen des Haushaltsvorstandes mindestens 3 700 DM.

- direkte Ablagerung (fallout und washout) und Adsorption aus der Luft sowie
- Transfer über das Wurzelsystem und Verteilung über die Leitungsbahnen in die Pflanze.

Nachfolgend werden am Beispiel der aerosolförmigen radioaktiven Ableitungen mit der Fortluft eines Kernkraftwerkes mit Druckwasserreaktor die potentiellen Strahlenexpositionen durch Inhalation von Tabakrauch berechnet, denen die Expositionen durch Inhalation radioaktiver Aerosole aus der bodennahen Luft und durch Ingestion kontaminierter Nahrungsmittel gegenübergestellt werden.

#### 6.1 Modellannahmen zur Emissionsquellenstärke und Nuklidzusammensetzung sowie zu den Ausbreitungsverhältnissen

Für die Ableitung radioaktiver Stoffe mit der Fortluft werden für moderne Kernkraftwerke mit Druckwasserreaktor im allgemeinen neben den Edelgasen folgende Werte beantragt:

Aerosole (HWZ $\geq$ 8 d)	$3,7 \cdot 10^{10}$ Bq/a
J-131 <sup>1)</sup>	$0,9 \cdot 10^{10}$ Bq/a

Dabei wird nach /BMI 79/ die in Tabelle 14 angeführte spektrale Zusammensetzung der Aerosole berücksichtigt.

Als Langzeitausbreitungsfaktor wird ein Wert von  $3 \cdot 10^{-7}$  s/m<sup>3</sup> angenommen, der mittlere Ausbreitungsverhältnisse gut repräsentiert. Zur Ermittlung der Ablagerung radioaktiver Stoffe durch Niederschlag wurde der Langzeit-Washoutfaktor nach /BMI 79/ bestimmt, wonach bei einer mittleren Windgeschwindigkeit von  $u = 3,6$  m/s ein Niederschlag von 200 mm/a in Hauptausbreitungsrichtung unterstellt wird.

<sup>1)</sup> Für den Expositionspfad Tabakrauchen spielt das Radionuklid J-131 wegen der langen Zeit zwischen Ernte der Tabakblätter und Konsum (> 12 Monate) praktisch keine Rolle.

Nuklid	Anteil
Co-58	0,25
Co-60	0,35
Cs-134	0,10
Cs-137	0,25
Ce-144	0,04
Sr-90	0,01
Pu-239/240	0,0001

Tab. 14:

Spektrale Zusammensetzung aerosolförmiger Ableitungen für Druckwasserreaktoren

## 6.2 Ablagerung und Anreicherung radioaktiver Stoffe in Tabakblättern

Zur Ermittlung radioaktiver Stoffe, die auf Tabakblättern abgelagert werden, wird von der Annahme ausgegangen, daß die Ablagerungseigenschaften von Aerosolen auf Tabakblätter ähnlich denen für Weidegräser sind /BMI 79/. Durch Ernte, Trocknung, Fermentation und industrielle Verarbeitung geht keine Aktivität verloren. Die Zeit zwischen Ernte und Konsum der Zigaretten wird mit 12 Monaten bewertet. Die Ertragsdichte wurde nach den Untersuchungen in Abschnitt 2.8 mit  $0,25 \text{ kg/m}^2$  Trockenmasse berücksichtigt (siehe Tab. 3).

## 6.3 Aufnahme radioaktiver Stoffe über das Wurzelsystem

In Abschnitt 3.1 wurden ausführlich die Transfervorgänge Boden/Tabakblatt behandelt. Danach reichert die Tabakpflanze besonders stark das Radionuklid Sr-90 in den Blättern an. Für die vorliegende Modellrechnung wurden die in Tabelle 15 aufgeführten Werte verwendet.

Tab. 15:

Transferfaktoren zur Ermittlung der Aktivitätskonzentration in Tabakblättern für einzelne Elemente

Element	Transferfaktor Bq/kg Tabak (Tr.G.) : Bq/kg Boden (Tr.G.)
Co	9,4 (-2) <sup>1)</sup>
Sr	2,0 (+1)
Cs	2,0 (-1)
Ce	7,0 (-1)
Pu	2,5 (-3)

<sup>1)</sup> Schreibweise 9,4 (-2)  $\hat{=}$  9,4  $\cdot$  10<sup>-2</sup>

#### 6.4 Übergang von Elementen in das Hauptstromkondensat

Der Übergang von Elementen im Tabak in das Hauptstromkondensat ist in Kapitel 4 ausführlich beschrieben worden. In Tabelle 16 sind die Übergangsfaktoren Tabak-Kondensat aufgeführt, die der vorliegenden Vergleichsrechnung zugrunde gelegt wurden. Zur Festlegung des Übergangsfaktors Tabak-Rauchkondensat für Plutonium wurden Werte chemisch verwandter Elemente herangezogen.

Tab. 16:

Übergangsfaktoren Zigarette - Hauptstromkondensat zur Berechnung der potentiellen Strahlenexposition über den Expositionspfad Tabakrauchen

Element	Übergangswert Tabak-Rauchkondensat [%]
Sr	0,05
Cs	1,5
Co	5,0
Ce	1,0
Pu	10,0

### 6.5 Kritische Bevölkerungsgruppe

Für den Expositionspfad Tabakrauchen ist ein Erwachsener Mitglied der kritischen Bevölkerungsgruppe. Die mittleren Verbrauchswerte für Raucher betragen nach /GRU 79/ ca. 18 Zigaretten/Tag. Hier wird ein männlicher Erwachsener untersucht, der als starker Raucher 60 Zigaretten/Tag der Geschmacksrichtung "Schwarzer Typ" mit einem Anteil von 40 % deutscher Tabake raucht. Die Atemrate und die übrigen Konsumgewohnheiten sind in Tabelle 17 nach /BMI 79/ zusammengefaßt.

Tab. 17:

Atemrate und Konsumgewohnheiten

Expositionspfad	Erwachsener
● Inhalation	
Atemrate	2,32 (-4) m <sup>3</sup> /s
Zigaretten	60 St./d
● Ingestion	
Milch und Milchprodukte	330 kg/a
Blattgemüse	42 kg/a
Pflanzliche Produkte	420 kg/a
Rindfleisch	150 kg/a

### 6.6 Ergebnisse zum Expositionspfad Tabakrauchen

Die Berechnung der potentiellen Strahlenexposition durch Tabakrauchen infolge der Ableitung radioaktiver Stoffe mit der Fortluft aus einem Kernkraftwerk (DWR) erfolgt unter Verwendung der in den vorangehenden Abschnitten angeführten Voraussetzungen über die Emissionsquellstärke, Ausbreitungsbedingungen, Nuklidzusammensetzung aerosolförmiger Ableitungen und radioökologischer Parameter. Diese sind für die zu Vergleichszwecken ermittelten potentiellen Strahlenexpositionen über Ingestionspfade in den Tabellen 18 und 19 aufgelistet.

Tab. 18:

Transferfaktoren zur Ermittlung der Aktivitätskonzentration in landwirtschaftlichen Nutzpflanzen für verschiedene Elemente

Element	Transferfaktor Bq/kg Fr.G. : Bq/kg Tr.G. Boden für die landwirtschaftlichen Nutzpflanzen		
	Weidevegetation	Blattgemüse	Gemüse (Rest)
Co	9,4 (-3)	9,4 (-3)	9,4 (-3)
Sr	1,35	1,5	0,6
J	2,0 (-2)	2,0 (-2)	2,0 (-2)
Cs	3,2 (-1)	3,0 (-2)	2,4 (-2)
Ce	8,0 (-3)	2,4 (-3)	6,0 (-3)
Pu	2,5 (-4)	2,5 (-4)	2,5 (-4)

Tab. 19:

Transferfaktoren zur Ermittlung der Aktivitätskonzentration in Milch und Rindfleisch für einzelne Elemente

Element	Transferfaktor	
	Milch Bq/l : Bq/d Aufnahme	Rindfleisch Bq/kg : Bq/d Aufnahme
Co	1,0 (-3)	1,0 (-2)
Sr	2,0 (-3)	6,0 (-4)
J	2,0 (-2)	2,9 (-3)
Cs	4,0 (-2)	4,0 (-3)
Ce	1,2 (-3)	1,2 (-3)
Pu	5,0 (-3)	1,4 (-5)

Die höheren Transferfaktoren Boden-Vegetation für die Radionuklide Sr-90 und Cs-139, verglichen mit den in /BMI 79/ empfohlenen Werten, rühren daher, daß man standortbezogene Messungen berücksichtigt hat, an denen auch Untersuchungen zum Tabak durchgeführt wurden.



Die potentiellen Strahlenexpositionen durch Tabakrauchen sind in den Tabellen 20 und 21 aufgeführt. Die Strahlendosen durch Inhalation von Zigarettenrauch liegen für alle Körperorgane bei

$$< 0,1 \cdot 10^{-5} \text{ Sv/a.}$$

Demgegenüber verursachen die Ingestionspfade höhere Strahlenexpositionen: von  $0,3 \cdot 10^{-5}$  Sv/a für die Niere bis  $11 \cdot 10^{-5}$  Sv/a für das Organ Schilddrüse. Die Inhalationsdosen liegen für eine Reihe von Organen in der gleichen Größenordnung wie die potentiellen Strahlenexpositionen durch das Tabakrauchen (Tabelle 20).

Tab. 20:

Jährliche Dosis an einem Modellstandort mit Druckwasserreaktor für die Ableitung radioaktiver Stoffe mit der Fortluft

Körperorgan	Expositionspfad	Dosis ( $10^{-5} \text{ Sv}^1$ )/a)
Ganzkörper	Inhalation	6 (-3) <sup>2)</sup>
	Ingestion	1,3
	Tabakrauchen	2 (-3)
Knochen	Inhalation	7 (-2)
	Ingestion	6,1
	Tabakrauchen	6 (-2)
Leber	Inhalation	2 (-2)
	Ingestion	2,6
	Tabakrauchen	8 (-3)
Niere	Inhalation	9 (-3)
	Ingestion	8 (-1)
	Tabakrauchen	5 (-3)
Lunge	Inhalation	4 (-2)
	Ingestion	3 (-1)
	Tabakrauchen	1 (-2)
Magen-Darm-Trakt	Inhalation	8 (-3)
	Ingestion	1,3
	Tabakrauchen	6 (-4)
Schilddrüse	Inhalation	2 (-1)
	Ingestion	11
	Tabakrauchen	3 (-4)

<sup>1)</sup>  $10^{-5} \text{ Sv} = 1 \text{ mrem}$

<sup>2)</sup> Schreibweise 6 (-3)  $\hat{=} 6 \cdot 10^{-3}$

Tab. 21:  
 Jährliche Dosis ( $10^{-5}$  Sv) von Erwachsenen durch den Verzehr kontaminierter Nahrungsmittel und Inhalation von Tabakrauch

Körperorgan	Expositionspfad - Ingestion von						Inhalation von Tabakrauch
	Fleisch	Milch	Blattgemüse	Pflanzliche Produkte			
Ganzkörper	4 (-1)	4 (-1)	7 (-2)	4 (-1)			2 (-3)
Knochen	1,2	1,3	6 (-1)	3,0			6 (-2)
Leber	1,2	1,1	4 (-2)	3 (-1)			8 (-3)
Niere	4 (-1)	3 (-1)	2 (-2)	1 (-1)			5 (-3)
Lunge	1 (-1)	1 (-1)	1 (-2)	8 (-2)			1 (-2)
Magen-Darm-Trakt	5 (-1)	4 (-1)	5 (-2)	3 (-1)			6 (-4)
Schilddrüse	4,1	3,2	6 (-1)	3,1			3 (-4)

Vergleiche mit den Einzelbeiträgen der verschiedenen Ingestionspfade in Tabelle 21 zeigen, daß über alle Ingestionspfade für alle Organe die potentiellen Strahlenexpositionen durch Ingestion zum Teil erheblich größer sind als durch Tabakrauchen.

Die Addition der über den Expositionspfad Tabakrauchen ermittelten Strahlenexpositionen zu den Ingestionsdosen führt nur zu geringfügig höheren Strahlenexpositionen, so daß in der Regel davon ausgegangen werden kann, daß die potentiellen Strah-

Tab. 22:

Ökologische Parameter zur Ermittlung von Strahlenexpositionen durch Tabakrauchen (Zigaretten)

Parameter	Wert
Bewuchsdichte, Blätter (Trockenmasse)	0,25 kg/m <sup>2</sup>
Wachstumstage auf dem Feld	100 d
Beregnungsrate während der Vegetationsperiode	200 l/m <sup>2</sup>
Zeit zwischen Ernte und Konsum	12 - 24 Monate
Tabakgehalt einer Zigarette	1 g
Wassergehalt rauchfertigen Tabaks	12 %
Anteil deutscher Tabake an Handelszigaretten	max. 40 %
Transferfaktor Tabakblatt (Hauptgut) - Boden für	
• Sr	20 <sup>1)</sup>
• Cs	0,2 <sup>1)</sup>
Übergangswert T <sub>TK</sub> Zigarette - Hauptstromkondensat für	
• Sr	0,05 %
• Cs	1,5 %
• Co	5,0 %
• Ce	1,0 %
• Pu	10,0 %
Zigarettenverbrauch (mittl.)	20 St./d
Multiplikator für kritische Bevölkerungsgruppe	3

<sup>1)</sup> Dimension:  $\frac{\text{Bq/kg Pfl. Tr.G.}}{\text{Bq/kg Boden Tr.G.}}$

lenexpositionen durch die Ableitung radioaktiver Stoffe mit der Fortluft aus kerntechnischen Anlagen für die hier untersuchten Bedingungen über terrestrische Nahrungsketten für Raucher und Nichtraucher praktisch gleich sind. Diese Schlußfolgerung gilt trotz des extrem hohen Transferfaktors Boden/Tabakblatt für Sr-90.

In Tabelle 22 sind die tabakspezifischen ökologischen Parameter, die zur Ermittlung der Strahlenexposition durch Tabakrauchen (Zigaretten) verwendet wurden, summarisch zusammengefaßt.

Schrifttum

- /ABE 77/ Abedinzadeh, Z., et al.:  
Neutron Activation Analysis of an Iranian Cigarette  
and its Smoke  
Journal of Radioanalytical Chemistry 35 (1977),  
S. 373/6
- /AND 67/ Andersen, A.J.:  
Investigations on the Plant Uptake of Fission Pro-  
ducts from Contaminated Soils; I. Inference of Plant  
Species and Soil Types on the Uptake of Radioactive  
Strontium and Caesium  
Risö Report No. 170, Nov. 1967
- /ATH 72/ Athalye, V.V., und K.B. Mistry:  
Uptake and Distribution of Polonium-210 and Lead-210  
in Tobacco Plants  
Radiation Botany 12 (1972), S. 421/5
- 
- /BME 80/ Bundesministerium für Ernährung, Landwirtschaft und  
Forsten:  
Statistisches Jahrbuch über Ernährung, Landwirt-  
schaft und Forsten der Bundesrepublik Deutschland  
1980
- /BMI 79/ Der Bundesminister des Innern:  
Allgemeine Berechnungsgrundlage für die Strahlenex-  
position bei radioaktiven Ableitungen mit der Abluft  
oder in Oberflächengewässer (Richtlinie zu § 45  
StrlSchV)  
Gemeinsames Ministerialblatt, 30. Jg., Nr. 21 vom  
15.8.1979
- 
- /BMI 80/ Der Bundesminister des Innern:  
Umweltradioaktivität und Strahlenbelastung - Jahres-  
bericht 1977  
Bonn, 1980

- /BMI 81/ Der Bundesminister des Innern:  
Umweltradioaktivität und Strahlenbelastung - Jahres-  
bericht 1978  
Bonn, 1981
- /BRO 64/ Brown, J.R.:  
The Strontium-90 Content of Canadian Tobacco Sam-  
ples  
Med. Serv. Journal Canada, Bd. 20 (1964), S. 613/5
- /BRÜ 77/ Brücher, H.:  
Tropische Nutzpflanzen  
Springer-Verlag, Berlin, Heidelberg, New York, 1977
- /BUN 82/ Bundesverband deutscher Tabakpflanzer:  
Persönliche Mitteilung, Schwetzingen, 5.2.1982
- /BUN o.J./ Bundesverband deutscher Tabakpflanzer:  
Deutscher Tabak, was ist das?  
Schwetzingen, o.J.
- /COG 57/ Cogbill, E.C., und M.E. Hobbs:  
Transfer of Metallic Constituents of Cigarettes to  
the Main-Stream-Smoke  
Tobacco Science 1 (1957), S. 68/78
- /ERB 79/ Erben, R.:  
Adult Smoking - Patterns and Trends  
Proc. Fourth World Conf. on Smoking and Health,  
Stockholm, 1979
- /FIS 81/ Fischer, E.:  
in Bundesforschungsanstalt für Ernährung, Karlsruhe,  
Persönliche Mitteilung vom 26.8.1981
- /FOC 78/ Fochler-Hanke:  
Der Fischer Weltalmanach 1979  
Fischer Verlag, Frankfurt/M., 1978

- /FRA 68/ Francis, C.W., G. Chesters und W.H. Erhardt:  
Polonium Entry into Plants  
Environmental Science Technology 2 (1968), S. 690/5
- /FRA 75/ Franke, G.:  
Nutzpflanzen der Tropen und Subtropen  
S. Hirzel Verlag, Leipzig, 1975
- /FRO 73/ Frohne, D., und V. Jensen:  
Systematik des Pflanzenreiches  
Fischer Verlag, Stuttgart, 1973
- /GEI 80/ Geisler, G.:  
Pflanzenbau - Biologische Grundlagen und Technik  
der Pflanzenproduktion  
Parey-Verlag, Berlin und Hamburg, 1980
- /GRU 79/ Gruner + Jahr:  

---

---

Informationen über den Markt für Zigaretten  
Marketing Service, Hamburg, 1979
- /HAR 78/ Harley, N.H., und B.S. Cohen:  
Polonium in Tobacco  
in: Radioactivity in Consumer Products, A. Moghissi  
(ed.), NUREG-CP-0001, 1978
- /JOH 59/ Johnstone, R.A.W., und J.R. Plimmer:  

---

Constituents of Tobacco and Tobacco Smoke  
Chem. Rev. 59 (1959), S. 885/936
- /JON 68/ Jones, R.M., W.F. Kuhn und C. Varsel:  
Sparks Source Mass Spectrographic - Analysis of  
Tobacco Ash  

---

Analytical Chemistry 40 (1968), S. 10/3
- /LAN 64/ Lane, W.B., J.D. Sartor und C.F. Miller:  
Plant Uptake of Radioelements from Soil  
Stanford Res. Institute, March 1964

- /LIT 65/ Little, J.B., E.P. Radford jr., H.L. McCombs und V.R. Hunt:  
Distribution of Polonium-210 in Pulmonary Tissues of Cigarette Smokers  
New Engl. J. Med. 273 (1965), S. 1343/51
- /LUF 80/ Landwirtschaftliche Untersuchungs- und Forschungsanstalt (LUF), Augustenberg:  
Schreiben an Ministerium für Wirtschaft, Mittelstand und Verkehr Baden-Württemberg vom 30.1.1980, Az. I./8.5.1 - Dr. Sch/wa
- /MAN 80/ Manos, G.:  
Einfluß erntetechnischer Maßnahmen auf Ertrag, Qualität und Verminderung bestimmter Inhaltsstoffe bei Tabak  
Diss. Justus-Liebig-Universität, Gießen, 5.8.1980
- 
- /MEY 77/ Meyers Enzyklopädisches Lexikon  
Mannheim, 1977
- /NAD 70a/ Nadkarni, R.A., und W.D. Ehmann:  
Transference Studies of Trace Elements from Cigarette Tobacco into Smoke Condensate, and their Determination by Neutron Activation Analysis  
Proc. Tobacco and Health Conference, Lexington, 1970
- 
- /NAD 70b/ Nadkarni, R.A., und W.D. Ehmann:  
Further Analysis of University of Kentucky Reference and Alkaloid Series Cigarettes by Instrumental Neutron Activation Analysis  
Radiochem. Radioanal. Letters 4/5 (1970), S. 325/35
- 
- /RUN 61/ Runeckles, V.C.:  
Natural Radioactivity in Tobacco and Tobacco Smoke  
Nature 191 (1961), S. 322/5



- /SCH 80a/ Schmidt, J.A.:  
Tabakbau  
in: Faustzahlen für Landwirtschaft und Gartenbau,  
Münster-Hiltrup, 1980, S. 319/24
- /SCH 80b/ Schmidt, J.A.:  
Landesanstalt für Pflanzenbau und Tabakforschung  
Forchheim, Schreiben vom 23.12.1980
- /SCH 82/ Schmidt, J.A.:  
Landesanstalt für Pflanzenbau und Tabakforschung  
Forchheim, Schreiben vom 5.2.1982
- /SIN 76/ Singh, D.R., und S.R. Nilehani:  
Measurement of Polonium in Indian Tobacco  
Health Physics 31 (1976), S. 393/4
- 
- /STA 81/ Statistisches Bundesamt:  
Statistisches Jahrbuch 1981 für die Bundesrepublik  
Deutschland  
Wiesbaden, 1981
- 
- /TON 57/ Toney, G.P., und R.C. Mumpower:  
Measurement of the Combustion Zone Temperature of  
Cigarettes  
Tobacco Science 1 (1957), S. 33/7
- 
- /TSO 66a/ Tso, T.C.:  
Source of Lead-210 and Polonium-210 in Tobacco  
Tobacco Science 153 (1966), S. 880/2
- /TSO 66b/ Tso, T.C.:  
Micro and Secondary Elements in Tobacco  
Bot. Bull. Acad. Sinica 7 (1966), S. 28/63
- 
- /VOS 60/ Voss, R.C., und H. Nicol:  
Metallic Trace Elements in Tobacco  
The Lancet 20 (1960), S. 435/6

/WAT 70/      Watters, R.L., und W.R. Hansen:  
The Hazards Implication of the Transfer of Unsup-  
ported Po-210 from Alkalines Oil to Plants  
Health Physics 18 (1970), S. 409/13