

<b>Zeitschrift:</b>	Mitteilungen aus dem Gebiete der Lebensmitteluntersuchung und Hygiene = Travaux de chimie alimentaire et d'hygiène
<b>Herausgeber:</b>	Bundesamt für Gesundheit
<b>Band:</b>	73 (1982)
<b>Heft:</b>	1
<b>Artikel:</b>	Übergang von ( <sup>1</sup> C)-Aflatoxin B und Metaboliten in Milch bei der Ratte = Passage of ( <sup>1</sup> C)-aflatoxin B and metabolites into rat milk
<b>Autor:</b>	Schroeder, T. / Carden, B.M. / Lüthy, J.
<b>DOI:</b>	<a href="https://doi.org/10.5169/seals-983439">https://doi.org/10.5169/seals-983439</a>

### Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften auf E-Periodica. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Zeitschriften und ist nicht verantwortlich für deren Inhalte. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern beziehungsweise den externen Rechteinhabern. Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen sowie auf Social Media-Kanälen oder Webseiten ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. [Mehr erfahren](#)

### Conditions d'utilisation

L'ETH Library est le fournisseur des revues numérisées. Elle ne détient aucun droit d'auteur sur les revues et n'est pas responsable de leur contenu. En règle générale, les droits sont détenus par les éditeurs ou les détenteurs de droits externes. La reproduction d'images dans des publications imprimées ou en ligne ainsi que sur des canaux de médias sociaux ou des sites web n'est autorisée qu'avec l'accord préalable des détenteurs des droits. [En savoir plus](#)

### Terms of use

The ETH Library is the provider of the digitised journals. It does not own any copyrights to the journals and is not responsible for their content. The rights usually lie with the publishers or the external rights holders. Publishing images in print and online publications, as well as on social media channels or websites, is only permitted with the prior consent of the rights holders. [Find out more](#)

**Download PDF:** 27.01.2026

**ETH-Bibliothek Zürich, E-Periodica, <https://www.e-periodica.ch>**

T. Schroeder, B. M. Carden, J. Lüthy und Ch. Schlatter, Institut für Toxikologie der Eidgenössischen Technischen Hochschule und der Universität Zürich, Schwerzenbach

## Übergang von ( $^{14}\text{C}$ )-Aflatoxin B<sub>1</sub> und Metaboliten in Milch bei der Ratte

Passage of ( $^{14}\text{C}$ )-Aflatoxin B<sub>1</sub> and Metabolites into Rat Milk

### Einleitung

Der Übergang von im Futter vorhandenen Aflatoxinen und deren im Nutztiere entstehenden Metaboliten in die Milch ist Anlaß für zahlreiche Untersuchungen gewesen. Aflatoxin M<sub>1</sub> wurde schon früh (1) als wichtigstes, fluoreszierendes und toxisches Folgeprodukt von Aflatoxin B<sub>1</sub> in der Milch von Ratten (1), Schafen (2), Ziegen (3), Wasserbüffeln (4) und Kühen (5) erkannt und als 9a-Hydroxy-aflatoxin B<sub>1</sub> identifiziert (6). Verschiedene Autoren (7–14) haben die Menge in der Kuhmilch ausgeschiedenes Aflatoxin M<sub>1</sub> mit der Aufnahme von Aflatoxin B<sub>1</sub> im Futter korreliert. Das gefundene Aflatoxin M<sub>1</sub> entspricht 0,1–3% des aufgenommenen Aflatoxin B<sub>1</sub>. Auch mit Hilfe von tritiummarkiertem Aflatoxin B<sub>1</sub> wurde eine Quantifizierung der in die Kuhmilch übergehenden Metaboliten versucht (15). Das gefundene Total aller Ausscheidungen der untersuchten Tiere fällt allerdings mit 15 Prozent in 96 Stunden aus dem Rahmen der bei anderen Spezies gefundenen Werte. Ob dies auf ein tatsächlich anderes Verhalten des Rindes zurückzuführen ist oder ob technische Gründe wie der für austauschmarkiertes Aflatoxin B<sub>1</sub> anderweitig beschriebene Verlust von Tritiumwasser (16) eine Rolle spielen, bleibt unklar. In bezug auf die Bedeutung von Aflatoxin M<sub>1</sub> in der Milch stellen sich die Fragen nach dem Gewicht einzelner freier Metaboliten wie Aflatoxin M<sub>1</sub> in bezug auf den Gesamtgehalt an freien Aflatoxinfolgeprodukten und nach dem Verhältnis letzterer zum makromolekular gebundenen Anteil. Auf beide Fragen kann nur bei Verwendung von markiertem Aflatoxin B<sub>1</sub> eine Antwort gefunden werden, während alle in der Literatur beschriebenen Arbeiten mit einer bereits erwähnten Ausnahme (15) zur Quantifizierung einzig auf die Fluoreszenz des Aflatoxin M<sub>1</sub> abstellt. Da bei fehlender, schwacher oder

durch Begleitsubstanzen unterdrückter Fluoreszenz die Nachweisgrenze ansteigt, kann nur eine minimale, nie aber eine maximal vorhandene Substanzmenge angegeben werden.

Wegen des für Metabolismusuntersuchung an der Milchkuh großen technischen Aufwands entschlossen wir uns, vorerst die Ratte als Modelltier für den Übergang von (<sup>14</sup>C)-Aflatoxin B<sub>1</sub> in die Milch zu verwenden, obschon eine Übertragung auf die Kuh nicht direkt möglich ist.

Die Metabolisierung von Aflatoxin B<sub>1</sub> durch die Ratte ist mehrfach untersucht worden (17–30). Die 24-Stunden-Ausscheidung bei intraperitonealer Applikation beträgt 70–80%, davon erscheinen ein Viertel im Urin und drei Viertel in den Fäzes (18). Bei oraler Applikation werden als Maximalwert 3,3% der Dosis im Plasma gefunden (25). Es fällt auf, daß im Vergleich zu Aflatoxin B<sub>1</sub> (1%) und Aflatoxicol (0,25%) viel weniger Aflatoxin M<sub>1</sub> (< 0,1%) auftritt. Bei intravenöser Applikation werden höhere Plasmaspiegel von rund 15% erreicht, und Aflatoxicol (4%) ist relativ zu Aflatoxin B<sub>1</sub> (5%) eher noch in größerer Menge gefunden worden, doch auch hier fehlt Aflatoxin M<sub>1</sub> (< 0,2%) fast vollständig. In Perfusionsexperimenten an Rattenlebern (24) wurde als einziger plasmagängiger Metabolit Aflatoxin M<sub>1</sub> gefunden, während in der Galle Aflatoxin B<sub>1</sub>, Q<sub>1</sub>, eventuell M<sub>1</sub> und zwei weitere Aflatoxinmetaboliten auftraten. In dieser Arbeit wurde allerdings nicht spezifisch nach Aflatoxicol gesucht. Aflatoxicol besitzt wegen seines verschobenen Absorptionsmaximums (33) eine weit schwächere Fluoreszenz als Aflatoxin B<sub>1</sub> oder M<sub>1</sub> bei Anregung mit Licht von 360 nm. Das aus der chemischen Reduktion von Aflatoxin B<sub>1</sub> erhaltene Diastereomerengemisch ist bei der Ratte halb so karzinogen wie die Ausgangssubstanz (31, 32). In der Forelle tritt nur eines der beiden Isomeren auf (33, 34), nämlich jenes mit S-Konfiguration an C-Atom 1 mit der durch Reduktion der Ketogruppe entstandenen Hydroxylfunktion. Aflatoxicol ist somit in seiner Gefährlichkeit ähnlich wie Aflatoxin B<sub>1</sub> und doch etwas kritischer als Aflatoxin M<sub>1</sub>. Die Ratte, für welche Aflatoxicol als Hauptmetabolit von Aflatoxin B<sub>1</sub> im Plasma beschrieben worden ist, stellt daher ein speziell interessantes Versuchstier dar. Aufgrund der erwähnten Eigenschaften besteht durchaus die Möglichkeit, daß Aflatoxicol als Aflatoxin-B<sub>1</sub>-Metabolit bei früheren Untersuchungen der Erfassung in Milch entgangen sein könnte.

## Versuche und Resultate

### Gewinnung von Rattenmilch

Die Ratten wurden 4–5 Tage vor dem Melken unter leichter Surital-Narkose um die Zitzen herum rasiert. 5 bis maximal 10 Minuten vor dem Melken musste 1,25 Einheiten synthetisches Oxytocin (Syntocinon, Sandoz) intraperitoneal gespritzt werden, damit die Milchfreigabe erfolgte. Ohne die Oxytocingabe ist die Milchausbeute sehr gering, da die natürliche Oxytocinausschüttung bei Störung der Tiere durch äußere Einflüsse und bei Fehlen des Drüsenreizes unterbleiben kann. Unmittelbar vor dem Melken wurde die Zitze mit K-Y-Gelee (IKS Nr. 14657,

Johnson-Johnson AG, Spreitenbach) bestrichen. Zur Gewinnung der Rattenmilch wurde in Anlehnung an eine in einer pharmazeutischen Firma angewandte Methode ein Melkstand konstruiert, der in Abbildung 1 schematisch dargestellt ist. Mittels eines als Zitzenbecher dienenden, aufgeweiteten Polyethylen-schlauchs wurde ein Vakuum von 150–200 Torr an die Zitze angelegt und durch ein Magnetventil alle zwei Sekunden von einem Intervallschalter unterbrochen. Eine Spritzenadel gewährleistete die Belüftung des Zitzenbechers bei unterbrochener Vakuumleitung. Durch das abgebogene Schlauchende gelangen pro Melkung und Ratte 0,5–1 ml Milch in das Auffangröhren.

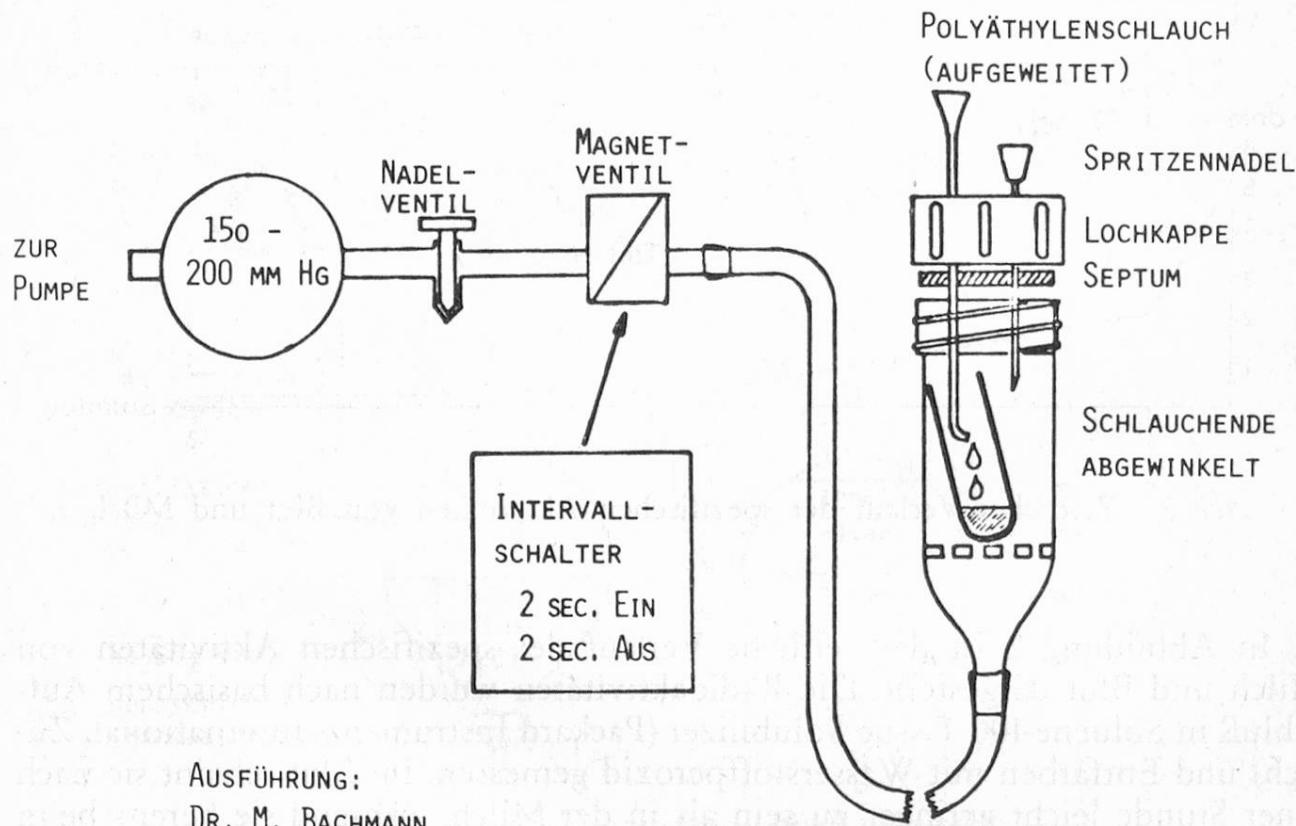


Abb. 1. Rattenmelkapparatur

### Spezifische Aktivitäten von Milch und Blut nach Applikation von $(^{14}\text{C})\text{-Aflatoxin B}_1$

Zur Untersuchung des Übergangs der Radiomarkierung von Aflatoxin B<sub>1</sub> in die Milch und der Verteilung auf verschiedene Metaboliten wurde biosynthetisch nach *Hsieh* und *Mateles* (37) hergestelltes Aflatoxin B<sub>1</sub> in neunprozentiger Ethanollösung mit der Schlundsonde an zwei laktierende Ivanovas Sprague-Dawley-Ratten appliziert. Tier 1 erhielt 1,54  $\mu\text{Ci}$  (14,8  $\mu\text{g}$ ) eine Woche nach dem Werfen, Tier 2 1,94  $\mu\text{Ci}$  (18,7  $\mu\text{g}$ ) nach der zweiten Laktationswoche. Das erste Tier wurde 1, 4, 24 und 48 Stunden nach der Applikation gemolken, das zweite nach 2, 5, 24 und 48 Stunden. Nach dem Melken wurden die Muttertiere zwecks Erhaltung der Milchproduktion zu den Jungen zurückgegeben und eine Stunde vor der

nächsten Melkung wieder entfernt. Blut aus der Schwanzvene konnte aus technischen Gründen nur von Tier 2 gewonnen werden.

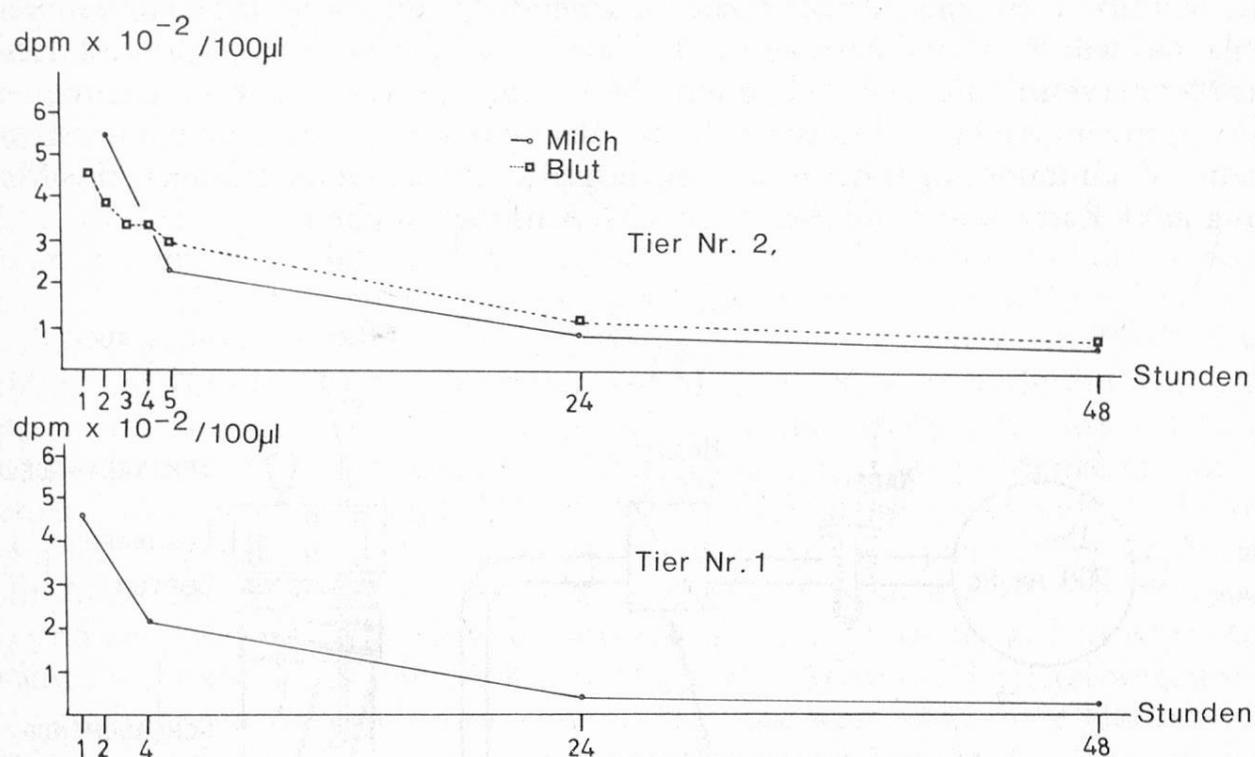


Abb. 2. Zeitlicher Verlauf der spezifischen Aktivitäten von Blut und Milch

In Abbildung 2 ist der zeitliche Verlauf der spezifischen Aktivitäten von Milch und Blut dargestellt. Die Radioaktivitäten wurden nach basischem Aufschluß in Soluene-100 Tissue Solubilizer (Packard Instruments International, Zürich) und Entfärbung mit Wasserstoffperoxid gemessen. Im Blut scheint sie nach einer Stunde leicht geringer zu sein als in der Milch, während sie bereits beim nächsten gemeinsamen Meßpunkt leicht über dem Milchwert liegt. Für beide Kompartimente sind auffallend ähnliche volumenbezogene spezifische Aktivitäten festzustellen und der zeitliche Verlauf ist beinahe parallel. Die Milchkurven beider Tiere zeigen gute Übereinstimmung.

#### Verteilung der Radiomarkierung auf verschiedene Fraktionen

Zur Quantifizierung des proteingebundenen Anteils und einzelner Aflatoxinmetaboliten wurde die Milch nach der in Abbildung 3 gezeigten Methode aufgearbeitet. Nach Zumischen einer Lösung der inaktiven Aflatoxine B<sub>1</sub>, M<sub>1</sub>, B<sub>2a</sub> und Aflatoxicol in zehnprozentigem Ethanol wurde die Milchprobe bei 4 °C über Nacht stehen gelassen, um eventuell reversibel in Proteinkomplexen gebundene Metaboliten herauszuverdünnen. Bei dieser Ethanolkonzentration trat kei-

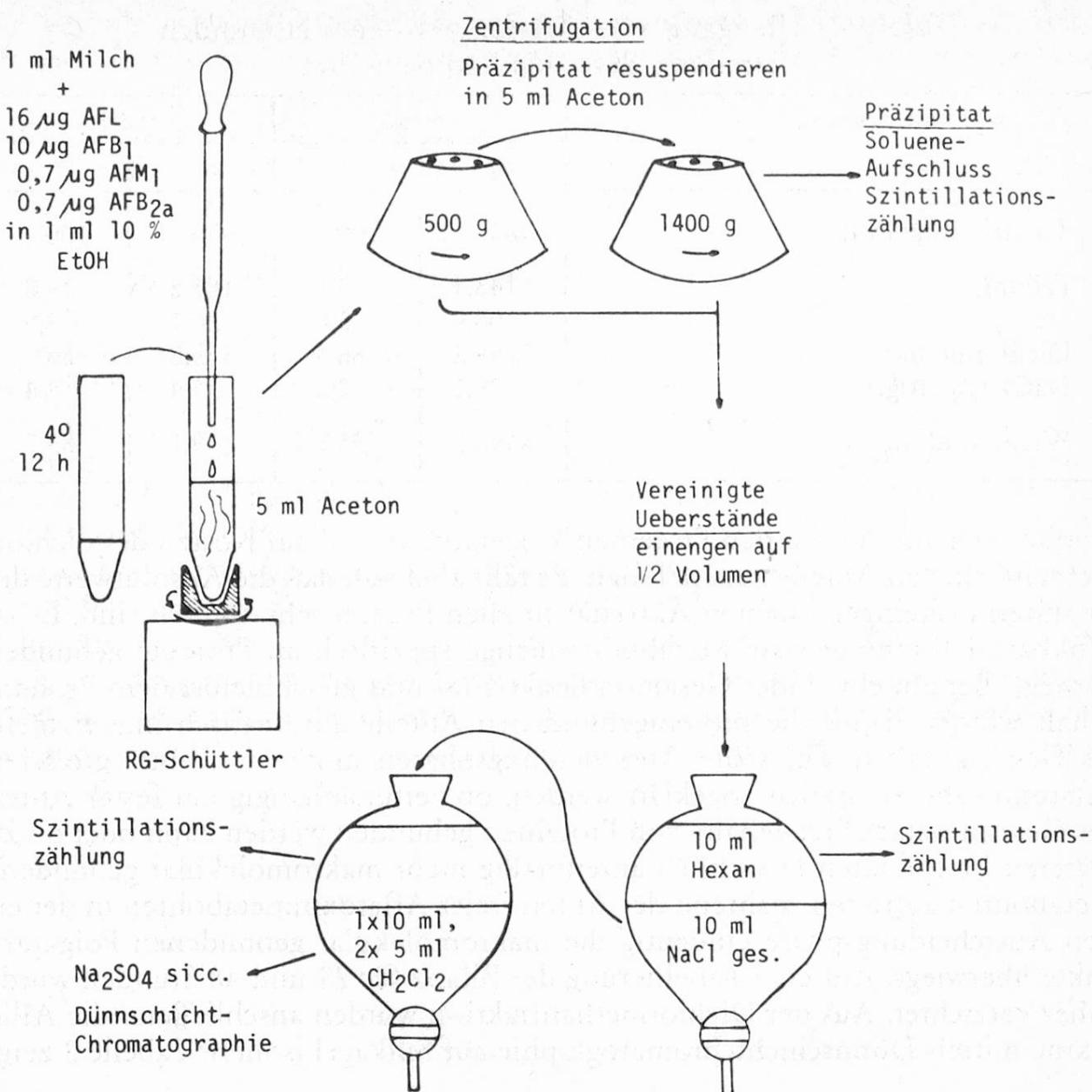


Abb. 3. Aufarbeitungsschema für Rattenmilch

ne ersichtliche Proteinfällung auf. Diese wurde anschließend durch Einröhren in Aceton herbeigeführt. Nach einer ersten Zentrifugation wurde das Proteinsediment mit frischem Aceton einmal gewaschen und erneut zentrifugiert. Der Extrakt wurde nach Abblasen von Aceton im Stickstoffstrom zwischen je 10 Milliliter gesättigte Kochsalzlösung und Hexan verteilt, worauf die entfettete wässrige Phase mit Dichlormethan ausgezogen wurde. Für die nach einer und nach vier Stunden gewonnene Milch von Tier 1 sind die in den verschiedenen Fraktionen vorgefundenen Radioaktivitäten in Tabelle 1 zusammengefasst. Auf die Aufarbeitung der Milch von Tier 2 wurde aus technischen Gründen verzichtet. Zu beiden Zeitpunkten ist nur eine geringe Aktivität in der Hexanfraktion auffindbar, während der Hauptteil im Dichlormethan vorliegt. Die in der Kochsalzlösung vorgefundenen Anteile bleiben ungefähr gleich und sind ebenfalls gering. Nach vier

*Tabelle 1.* Übergang von Aflatoxin B<sub>1</sub> in Rattenmilch  
Verteilung der (<sup>14</sup>C)-Radioaktivität

Zeit nach oraler Applikation	1 Stunde		4 Stunden	
	dpm	%	dpm	%
Totalaktivität Milch	3635	100	979	100
Fällung	143,4	3,8	183,8	18,8
Hexan	108,6	3,0	28,1	2,9
Dichlormethan	3159,2	86,9	573,8	58,6
NaCl (gesättigt)	79,1	2,2	33,4	3,4
Wiederfindung	3490,3	95,9	819,1	83,7

Stunden scheint der mit den Proteinen ausgefällte Anteil auf Kosten des dichlormethanolöslichen Anteils zuzunehmen. Es fällt aber auf, daß die Absolutwerte der gesamten proteingebundenen Aktivität in allen Proben sehr ähnlich sind. Es ist denkbar, daß eine gewisse Metabolitenmenge spezifisch an Proteine gebunden vorliegt. Bei abnehmender Gesamtradioaktivität und gleichbleibendem Protein gehalt würden damit die proteingebundenen Anteile automatisch immer mehr ins Gewicht fallen. Für späte Ausscheidungsphasen müßte mit einer größeren Aflatoxingabe zusätzlich abgeklärt werden, ob zeitunabhängig ein fester Anteil des Gesamtmetabolitengehalts von Proteinen gebunden werden kann oder ob zu späteren Zeitpunkten tatsächlich anteilmäßig mehr makromolekular gebundene Metaboliten auftreten, während der Anteil freier Aflatoxinmetaboliten in der ersten Ausscheidungsphase eindeutig die makromolekular gebundenen Folgeprodukte überwiegt. Auf eine Tabellierung der Bilanz für 24 und 48 Stunden wurde daher verzichtet. Aus der Dichlormethanfraktion wurden anschließend die Aflatoxine mittels Dünnschichtchromatographie auf Silikagel isoliert. Tabelle 2 zeigt

*Tabelle 2.* Erstes Radio-Dünnschichtchromatogramm der dichlormethanolöslichen (<sup>14</sup>C)-AFB<sub>1</sub>-Metaboliten aus Rattenmilch

Zeit nach Applikation	1 Stunde		4 Stunden	
	dpm	%	dpm	%
Total aufgetragen	3032,2	100	551,3	100
Aflatoxicol	46,5	1,5	N.D.	0,2
Aflatoxin B <sub>1</sub>	180,1	5,95	19,4	3,5
Aflatoxin M <sub>1</sub>	2043,8	67,4	378,5	68,7
Aflatoxin B <sub>2a</sub>	85,0	2,8	—	—
Auftragestelle	94,0	3,1	55,5	10,1
Wiederfindung	2473,3	80,75	453,4	82,2

die Verteilung der Radioaktivität auf die verschiedenen Metaboliten im ersten Dünnschichtchromatogramm für die nach einer und nach vier Stunden erhaltene Milch. Die Silikagelplatte (Merck Nr. 5737) wurde aufeinanderfolgend zweimal mit Chloroform-Tetrahydrofuran 9 : 1 und einmal mit Ethylacetat-Aceton-Isopropanol-Wasser 100 : 20 : 6,4 : 0,8 entwickelt. Die bei Bestrahlung mit Licht von 360 nm deutlich sichtbaren, fluoreszierenden Zonen wurden ausgekratzt und zur Desorption in Dichlormethan-Ethanol 2 : 1 eingerührt. Nach dem Filtrieren wurde das Lösungsmittel im Stickstoffstrom eingedampft und durch Dichlormethan ersetzt.

Aflatoxin M<sub>1</sub> stellt mit einem Anteil von beinahe 70% tatsächlich den wichtigsten Metaboliten von Aflatoxin B<sub>1</sub> in der Rattenmilch dar. Die Anwesenheit von mehr als 1,5% Aflatoxicol konnte mit Sicherheit ausgeschlossen werden, obwohl dieses wie bereits erwähnt im Plasma als Hauptmetabolit vorliegen soll. Aflatoxin B<sub>1</sub>, welches nach Wong und Hsieh (25) eine Stunde nach oraler Aufnahme etwa 30% der Plasmaaktivität umfasst, wurde nach einer Stunde zu 5% und nach vier Stunden zu 3,5% bezüglich der ganzen Milchaktivität ebenfalls in der Milch vorgefunden. Aflatoxin B<sub>2a</sub> umfaßte 1,5% und könnte teilweise auch beim Auftragen auf die Silikagelplatte entstanden sein aus Aflatoxin B<sub>1</sub>. Wie auch aus der graphischen Darstellung des Radiodünnschichtchromatogramms (Abb. 4) ersichtlich ist, befindet sich zwischen den beiden apolaren Zonen keine nennenswerte (< 0,15%) Radioaktivität. Zwischen den beiden polaren Aflatoxi-

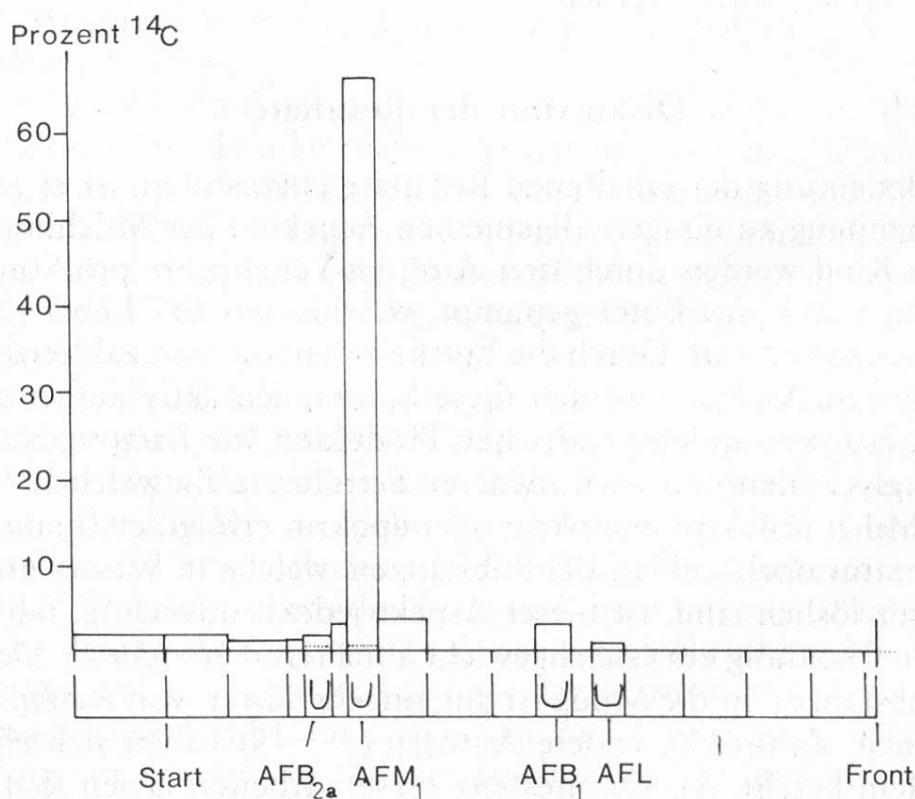


Abb. 4. Radiodünnschichtchromatogramm der dichlormethanlöslichen Anteile (Silikagel, Laufmittel: Chloroform-Tetrahydrofuran 9 : 1; erste Entwicklung. Ethylacetat-Aceton-Isopropanol-Wasser 100 : 20 : 6,4 : 0,8; zweite und dritte Entwicklung)

nen M<sub>1</sub> und B<sub>2a</sub> wurden dagegen 5,6% der auf das Dünnschichtchromatogramm gelangten Aktivität ermittelt. Durch Rechromatographie der desorbierten Isolate konnte deren radiochemische Reinheit bestimmt werden, allerdings wegen der verfügbaren Radioaktivität nur für die nach einer Stunde gewonnene Milch. Die Resultate sind in Tabelle 3 aufgeführt, aus der ebenfalls die verwendeten DC-Systeme entnommen werden können. Die Werte für Aflatoxin B<sub>1</sub> und M<sub>1</sub> konnten

*Tabelle 3.* Rechromatographie der DC-Zonen

Zone	AFL	AFB <sub>1</sub>	AFM <sub>1</sub>	AFB <sub>2a</sub>	Start	System
AFL	N. D.	N. D.	N. D.	N. D.	9,5%	I
AFB <sub>1</sub>	N. D.	81,3%	1,8%	N. D.	17,2%	I
AFM <sub>1</sub>	N. D.	N. D.	93,6%	2,3%	2,6%	II
AFB <sub>2a</sub>	N. D.	N. D.	34,7%	29,7%	35,0%	II

Laufmittelsysteme: I Ethylacetat-Chloroform (3 : 1)

II Ethylacetat-Aceton-Isopropanol-Wasser (100 : 20 : 6,4 : 0,8)

weitgehend bestätigt werden, während Aflatoxin B<sub>2a</sub> eine starke Verunreinigung durch den Hauptmetaboliten aufwies. Die in der Aflatoxicolzone gefundenen 46,5 dpm ergaben nur am Auftragsort eine über dem Hintergrund liegende Aktivität und können somit nicht dem inaktiv in ausreichender Menge vorhandenen Aflatoxicol zugeschrieben werden.

### Diskussion der Resultate

Um die Bedeutung der erhaltenen Resultate einzustufen, ist es zweckmäßig, den Zusammenhang zu einigen allgemeinen Aspekten der Milchbildung herzustellen. Beim Rind werden durch drei Arterien-Venenpaare pro Stunde 300 bis 500 Liter Blut durch das Euter gepumpt, welches aus der Leber via Herz die Milchbausteine heranführt. Durch die Epithelzellen der von zahlreichen Kapillaren umspülten Alveolen werden diese Substanzen aktiv aufgenommen und teilweise umgebaut zu milchspezifischen Produkten wie Lactose, Kasein,  $\alpha$ -Lactalbumin, Triglyceriden und auch niederen Fettsäuren. Zu welchen Anteilen die Abgabe der Milch holokrin, merokrin oder apokrin erfolgt, erscheint bei Durchsicht der Literatur noch unklar. Bei Substanzen, welche in Wasser und Membranen relativ gut löslich sind, ist dieser Aspekt jedoch unwichtig, falls zum Zeitpunkt der Ausscheidung ein Gleichgewicht annähernd erreicht ist. Der Übergang von Fremdsubstanzen in die Milch ist am eingehendsten von *Rasmussen* (38) untersucht worden. Zahlreiche andere Autoren (39–45) haben sich ebenfalls mit diesem Problem befaßt. Als Quintessenz dieser Arbeiten lassen sich die folgenden Aussagen machen:

1. Ionen mit Molekulargewicht grösser als 200 gehen nur durch aktiven Transport in die Milch über. Der ionisierte Anteil von ionisierbaren Substanzen kann

bei Abwesenheit eines Transportsystems die Plasmamilchschanke nicht passieren. Aktiver Transport ist nur für wenige Substanzen wie Aminopyrin, N<sub>4</sub>-acetyl-p-aminohippursäure und N<sub>4</sub>-acetyl-sulphanilamid (45) beschrieben.

2. Nicht ionisierbare Substanzen wie Harnstoff, Ethanol und Chloramphenicol treten *passiv* durch *Diffusion* vom Blut in die Milch oder umgekehrt von der Milch ins Blut über und erreichen bei Gleichgewicht gleiche Konzentrationen in Plasma und Milch. Fettlösliche Substanzen diffundieren durch die Lipidschichten, wasserlösliche durch wassergefüllte Poren. Die obere Auschlußgrenze dürfte aufgrund von Experimenten mit Polyethylenglykolen bei ungefähr 4000 Dalton liegen.

3. Das Konzentrationsverhältnis Milch zu Plasma lässt sich für partiell ionisierte Substanzen nach Erreichen des Gleichgewichtes aus deren pK<sub>s</sub>-Wert und den pH-Werten der beiden Kompartimente voraussagen, da nur die nicht ionisierten Anteile durch die Plasma-Milchschanke durchtreten können. Da die Milch im allgemeinen saurer ist als das Blut, treten Basen in der Milch in größerer, Säuren dagegen in kleinerer Gesamtkonzentration auf als im Blut – die Konzentrationen der ungeladenen Anteile sind aber in Blut und Milch gleich. Am besten untersucht ist die Klasse der Sulfonamide. Tetracycline mit ihren nahe zusammen liegenden pK<sub>s</sub>-Werten zeigen ein von diesem einfachen Diffusionsmodell abweichendes Verhalten.

4. Der Verteilungskoeffizient einer Substanz zwischen wässriger und Lipiddphase bestimmt die Kinetik des Blut-Milch-Übertritts und die Konzentration der Substanz im Milchfett. Schlecht lipidlösliche Substanzen diffundieren im allgemeinen langsamer.

Trotz einer stattlichen Anzahl untersuchter Substanzen kann der Durchtritt durch die Plasmamilchschanke nicht vorausgesagt werden. Bei jedem Versuch darf nicht außer acht gelassen werden, daß Metabolisierungs- und Absorptionskinetik auf der einen Seite, die Durchtrittskinetik an der Plasmamilchschanke auf der anderen die Resultate stark beeinflussen können, wenn nicht durch spezielle Vorkehrungen bei der Applikation ein Gleichgewichtszustand angenähert wird.

Für die neutralen, in Wasser wie auch in organischen Lösungsmitteln löslichen Aflatoxine ist bei Gleichgewicht die gleiche Konzentration in beiden Kompartimenten zu erwarten. Tatsächlich sind die erhaltenen volumenbezogenen spezifischen Radioaktivitäten über den ganzen beobachteten Zeitraum in Blut und Milch sehr ähnlich. Der weitgehend parallele, leicht tiefer liegende Verlauf der Milchaktivität im Vergleich zur Blutaktivität (Tier 2) scheint zu bestätigen, daß kein aktiver Transport durch die Plasmamilchschanke stattfindet. Die Überschneidung der beiden als Zeitfunktion gezeichneten Kurven (Abb. 2) in der frühen Ausscheidungsphase ist möglicherweise darauf zurückzuführen, daß sich an der Plasmamilchschanke das Gleichgewicht nicht vollständig einstellen kann und demzufolge die maximale Milchkonzentration der Metaboliten erst nach der maximalen Blutkonzentration durchlaufen wird. Ebenfalls aufgrund derselben Voraussetzung müßte man aus dem gefundenen Metabolitenmuster den Schluß ziehen, Aflatoxin M<sub>1</sub> sei der Plasmahauptmetabolit von Aflatoxin B<sub>1</sub>, Aflatoxicol dagegen fehle. Diese offensichtliche Diskrepanz zu der Arbeit von

*Wong und Hsieh* ist nicht ohne weiteres erklärbar. Stammunterschiede im Aflatoxinmetabolismus scheinen aufgrund einer weiteren Untersuchung durch die gleichen Autoren (27) als Ursache eher unwahrscheinlich, da in drei verschiedenen Stämmen Aflatoxicol gefunden wurde. *Wong und Hsieh* gewannen ihr Blut aus der vena iugularis, welche im Vergleich zur Milchdrüse ausgehend von der Leber zu einem späteren Zeitpunkt durchlaufen wird. Aflatoxicol wird zumindest in einigen Species im Gegensatz zu Aflatoxin M<sub>1</sub> und anderen Metaboliten nicht im als Mikrosomen sedimentierbaren endoplasmatischen Reticulum, sondern durch lösliche Enzyme im 105 000 g Überstand gebildet (46, 47). Es besteht die Möglichkeit, daß es nach dem Passieren der Milchdrüse gebildet und in der Leber zu Aflatoxin B<sub>1</sub> reoxidiert wird. Eine neuere Arbeit (48) zeigt, daß Aflatoxicol tatsächlich in der Ratte *in vivo* und durch isolierte Primärhepatozyten zu Aflatoxin B<sub>1</sub> reoxidiert werden kann.

Offen ist auch die Frage der Übertragbarkeit der im Rattenversuch erhaltenen Resultate auf das Rind. Sicher ist eine direkte Übertragung nicht möglich, da das Rind als Wiederkäuer nicht zuletzt durch die andere Bakterienflora und die längere Verweildauer im Pansen (47) ein anderes Absorptionsverhalten und zusätzlich eine andere Lebermetabolisierungsrate zeigen dürfte. Der eigentliche Lakationsvorgang ist jedoch bei vielen Säugern ähnlich, so daß grundsätzlich andere Verhältnisse an der Plasmamilchschanke nicht zu erwarten sind. Es ist in diesem Zusammenhang interessant, daß in Kuhmilch ebenfalls Aflatoxin B<sub>1</sub> gefunden wurde (10, 12), wenn auch in geringerer Menge als in der Rattenmilch des vorliegenden Versuchs und nur bei sehr hoher Dosierung.

Es scheint daher aufgrund unserer Resultate nicht abwegig, an der Ratte mit entsprechend geringem Aufwand Aussagen über mögliches Auftreten von im Plasma vorhandenen Metaboliten in der Kuhmilch zu gewinnen. Das verwendete Tiermodell sollte indessen durch parallele Untersuchung der an relevanter Stelle gewonnenen Blutmetaboliten sowie durch einige Parallelversuche in Ratte und Kuh breiter abgestützt werden, um so mehr als sich in jüngster Zeit Hinweise für die Anwesenheit von Aflatoxicol in Kuhmilch ergaben (49). Dadurch würde zusätzlich zur Absicherung des Durchtrittmusters auch die Durchtrittskinetik an der Plasmamilchschanke erfassbar. Auch ohne diese auf pharmakologischen Überlegungen basierenden Verbesserungen beantwortet aber dieser einfache Versuch die beiden gestellten Fragen nach makromolekular gebundenem Metabolitenanteil und nach freiem Aflatoxicol hinreichend.

### Dank

Herrn *M. Lemaire*, Sandoz AG, Basel, und Herrn Dr. *M. Bachmann*, Institut für Toxikologie ETH und Universität Zürich, Scherzenbach, sei herzlich gedankt für wertvolle Hinweise zur Rattenmelkmethode bzw. für die zur Verfügung gestellte Melkapparatur. Weiterer Dank gebührt Herrn Dr. *M. Schällibaum*, Eidg. Versuchsanstalt, Liebefeld, für zahlreiche Anregungen in bezug auf den Übergang von niedermolekularen Substanzen in die Milch.

## Zusammenfassung

Biosynthetisch hergestelltes ( $^{14}\text{C}$ )-Aflatoxin B<sub>1</sub> wurde oral an zwei laktierende Sprague-Dawley-Ratten verabreicht. Die spezifischen Aktivitäten von Milch und Blut nahmen von rund 5000 dpm/ml (1 h) und rund 2000 dpm/ml (4 h) auf rund 1000 dpm/ml nach 24 Stunden ab. Die mit Aceton gefällten Makromoleküle sowie die Wasser-, die Hexan- und die Dichlormethanfraktion enthielten 3,8%, 2,2%, 3,0% bzw. 86,9% der Milchaktivität nach 1 h und 18,8%, 3,4%, 2,9% bzw. 58,6% nach 4 h. Mit Isotopenverdünnung und DC wurden 4 Aflatoxine isoliert. Aflatoxin M<sub>1</sub> umfaßte mit 67,4% (1 h) und 68,4% (4 h) die Hauptaktivität der Dichlormethanfraktion, Aflatoxin B<sub>1</sub> 5,95% (1 h) und 3,5% (4 h). Die nach Rechromatographie in Aflatoxin B<sub>2a</sub> gemessene Radioaktivität entsprach 0,8%, während Aflatoxicol keine Aktivität enthielt. Das Metabolitenmuster in Rattenmilch ist vereinbar mit den von *Unger et al.* (1977) für Plasma aus perfundierten Lebern beobachteten und widerspricht dem von *Wong und Hsieh* (1978) beschriebenen. Reoxidation des vorhandenen Aflatoxicols in der Leber könnte das völlige Fehlen in der Rattenmilch erklären.

## Résumé

De l'aflatoxine B<sub>1</sub> marquée au  $^{14}\text{C}$  par biosynthèse fut appliquée per os à deux rats en lactation. Les activités spécifiques du lait et du sang ont diminué d'à peu près 5000 dpm/ml (1 h) et 2000 dpm/ml (4 h) jusqu'à une valeur de 1000 dpm/ml après 24 h. La partie macromoléculaire précipitée à l'acétone contenait 3,8% (1 h) et 18,8% (4 h), la fraction aqueuse 2,2% (1 h) et 3,4% (4 h), l'extrait à l'hexane 3% (1 h) et 2,9% (4 h) et l'extrait au dichlorométhane 86,9% (1 h) et 58,6% (4 h). Quatre aflatoxines furent isolées par CCM de l'extrait au dichlorométhane. La zone attribuée à l'aflatoxine M<sub>1</sub> contenait 67,4% (1 h) et 68,4% (4 h) de l'activité dans le dichlorométhane, celle de l'aflatoxine B<sub>1</sub> 5,95% (1 h) et 3,5% (4 h). L'aflatoxine B<sub>2a</sub> contenait 0,8% après une deuxième chromatographie et l'aflatoxicol ne contenait plus aucune radioactivité. Le métabolisme de l'aflatoxine B<sub>1</sub> trouvée dans le lait est comparable à celui décrit par *Unger et al.* (1977) pour le plasma obtenu dans la perfusion d'un foie, mais il est contradictoire à celui proposé par *Wong et Hsieh* (1978). Une réoxidation hépatique de l'aflatoxicol pourrait être la raison de l'absence de ce métabolite dans le lait du rat.

## Summary

Two lactating rats were orally administered biosynthetically labelled ( $^{14}\text{C}$ )-aflatoxin B<sub>1</sub>. The specific activities of blood and milk decreased from 5000 dpm/ml (1 h, 2 h) and 2000 dpm/ml (4 h, 5 h) to 1000 dpm/ml at the end of 24 h. The radioactivity found after work-up of milk in the acetone-precipitated macromolecular fraction, the aqueous phase, the hexane and dichloromethane extracts amounted to 3.8%, 2.2%, 3.0% and 86.9%, respectively, after 1 h and 18.8%, 3.4%, 2.9% and 58.6%, respectively, after 4 h. Four aflatoxins were isolated from the dichloromethane-extract by isotope dilution and TLC. Of the total activities in dichloromethane, 67.4% (1 h) and 68.4% (4 h) were desorbed with aflatoxin M<sub>1</sub>, 5.95% (1 h) and 3.5% (4 h) with aflatoxin B<sub>1</sub>. The radioactivity present in AFB<sub>2a</sub> after rechromatography corresponded to 0.8%, while aflatoxicol contained no radioactivity. The metabolite pattern found in rat milk is in agreement with that obtained by *Unger et al.* (1977) in plasma of a

perfused liver, but is contradictory to the finding of aflatoxicol by Wong and Hsieh (1978). Hepatic reoxidation of aflatoxicol could possibly explain the absence of aflatoxicol in rat milk.

### Literatur

1. *de Jongh, H., Vlex, R. O. and van Pelt, J. G.*: Milk of mammals fed an aflatoxin-containing diet. *Nature* **202**, 466–467 (1964).
2. *Nabney, J., Burbage, M. B., Allcroft, R. and Gwyneth, L.*: Metabolism of aflatoxin in sheep: Excretion pattern in the lactating ewe. *Fd. Cosmet. Toxicol.* **5**, 11–17 (1967).
3. *Juszkiewicz, T., Piskorska-Pliszczynska, J. and Cybulski, W.*: Aflatoxins in milk and tissues: Experiments on rabbits and goats. *Zesz. Probl. Postepow Nauk Roln.* **189**, 41–45 (1977).
4. *Yadagiri, B. and Tulpule, P. G.*: Aflatoxin in buffalo milk. *Indian J. Dairy Sci.* **27**, 293–297 (1974).
5. *Van der Linde, J. A., Frens, A. M. and van Esch, G. J.*: Experiments with cows fed groundnut meal containing aflatoxin. *Mycotoxins Foodstuffs, Proc. Symp. Mass. Inst. Technol.* 247–249 (1964).
6. *Holzapfel, C. M., Steyn P. S. and Purchase, I. F. H.*: Isolation and structure of aflatoxins  $M_1$  and  $M_2$ . *Tetrahedron Letters* **25**, 2799–2803 (1966).
7. *Allcroft, R., Roberts, B. A. and Lloyd, M. K.*: Excretion of aflatoxin in a lactating cow. *Fd. Cosmet. Toxicol.* **6**, 619–625 (1968).
8. *Masri, M. S., Garcia, V. C. and Page, J. R.*: The aflatoxin content of milk from cows fed known amounts of aflatoxin. *Vet. Rec.* **84**, 146–147 (1969).
9. *Hoversland, A. S., McKinney, J., Selkirk, R., Cavanagh, G., Pearson, J. and Nelson, D. M.*: Aflatoxin studies with lactating and non-lactating dairy cows. *J. Animal Sci.* **37**, 253–254 (1973).
10. *Kiermeier, F.*: Aflatoxin  $M_1$  excretion in cow's milk depending on the quantity of aflatoxin  $B_1$  ingested. *Milchwissenschaft* **28**, 683–685 (1973).
11. *Lafont, P. and Lafont, J.*: Aflatoxin elimination by cows. *Cah. Nutr. Diet.* **10**, 55–57 (1975).
12. *Pisak, A., Zapletal, O., Jagos, P., Dvorak, R. and Bouda, J.*: Aflatoxin excretion with the milk of dairy cows with experimentally induced aflatoxicosis. *Vet. Med. (Prag)* **23**, 219–224 (1978).
13. *Shreeve, B. J., Patterson, D. S. P. and Roberts, B. A.*: The carry-over of aflatoxin, ochratoxin and zearalenone from naturally contaminated feed to tissues, urine and milk of dairy cows. *Fd. Cosmet. Toxicol.* **17**, 151–152 (1979).
14. *Sieber, R. und Blanc, B.*: Zur Ausscheidung von Aflatoxin  $M_1$  in die Milch und dessen Vorkommen in Milch und Milchprodukten – eine Literaturübersicht. *Mitt. Gebiete Lebensm. Hyg.* **69**, 477–491 (1978).
15. *Polan, C. E., Hayes, J. R. and Campbell, C. T.*: Consumption and fate of aflatoxin  $B_1$  by lactating cows. *J. Agric. Food Chem.* **22**, 635–638 (1974).
16. *Jaggi, W.*: Die kovalente Bindung von Östrogenen und Aflatoxinderivaten an DNS; ein Beitrag zur Untersuchung von schwachen chemischen Karzinogenen. Dissertation Eidgenössische Technische Hochschule Zürich, Nr. 6455 (1979).
17. *Butler, W. H. and Clifford, J. I.*: Extraction of aflatoxin from rat liver. *Nature* **206**, 1045–1046 (1965).
18. *Wogan, G. N., Edwards, G. S. and Shank, R. C.*: Excretion and tissue distribution of radioactivity from aflatoxin  $B_1-^{14}\text{C}$  in rats. *Cancer Res.* **27**, 1729–1736 (1967).

19. Purchase, I. F. H. and Steyn, M.: The Metabolism of aflatoxin B<sub>1</sub> in rats. Brit. J. Cancer **23**, 800–805 (1969).
20. Dann, R. E.: In vivo metabolism of carbon-14-labeled aflatoxins B<sub>1</sub>, B<sub>2</sub> and G<sub>1</sub> in rats. Diss. Ohio State Univ. Columbus, Ohio 1970, Diss. abstr. Int. B **32**(1), 461–462 (1971).
21. Steyn, M., Pitout, M. J. and Purchase, I. F. H.: A comparative study on aflatoxin B<sub>1</sub> metabolism in mice and rats. Brit. J. Cancer **25**, 291–297 (1971).
22. Dann, R. E., Mitscher, L. A. and Couri, D.: The in vivo metabolism of <sup>14</sup>C-labeled aflatoxins B<sub>1</sub>, B<sub>2</sub>, G<sub>1</sub> in rats. Res. Comm. Chem. Pathol. Pharmacol. **3**, 667–675 (1972).
23. Drahms, R. and Gurtoo, H. L.: Metabolism of aflatoxin B<sub>1</sub> to Q<sub>1</sub>, M<sub>1</sub> and P<sub>1</sub> by mouse and rat. Res. Comm. Chem. Pathol. Pharmacol. **15**, 11–20 (1976).
24. Unger, P. D., Mehendale, H. M. and Hayes, W.: Hepatic uptake and disposition of aflatoxin B<sub>1</sub> in isolated perfused rat liver. Toxicol. Appl. Pharmacol. **41**, 523–534 (1977).
25. Wong, Z. A. and Hsieh, D. P. H.: Aflatoxicol: Major metabolite in rat plasma. Science **200**, 325–327 (1978).
26. Hsieh, D. P. H.: Comparative metabolism and toxicokinetics of aflatoxin B<sub>1</sub>: An overview. Toxicol. Appl. Pharmacol. **45**, 272 (1978).
27. Wong, J. J. and Hsieh, D. P. H.: Strain dependent toxicokinetics of aflatoxin B<sub>1</sub> in the rat. Toxicol. Appl. Pharmacol. **45**, 273 (1978).
28. Decad, G. M., Dougherty, K. K., Hsieh, D. P. H. and Byard, J. L.: Comparative metabolism of aflatoxin B<sub>1</sub> in mouse and rat primary hepatocyte cultures. Toxicol. Appl. Pharmacol. **45**, 274 (1978).
29. Wey, C. I., Decad, G. M., Wong, Z. A., Byard, J. L. and Hsieh, D. P. H.: Characterization and mutagenicity of water-soluble conjugates of aflatoxin B<sub>1</sub>. Toxicol. Appl. Pharmacol. **45**, 274 (1978).
30. Wong, Z. A., Rice, D. W. and Hsieh, D. P. H.: Comparative toxicokinetics of AFB<sub>1</sub> in the Rhesus monkey, rat and mouse. Toxicol. Appl. Pharmacol. **45**, 275 (1978).
31. Nixon, J. E., Hendricks, J. D., Pawlowski, N. E., Loveland, P. M. and Sinnhuber, R. O.: Carcinogenicity of aflatoxicol in Fischer 344 rats. J. Natl. Cancer Inst. **66**, 1159–1163 (1981).
32. Schoenhard, G. L., Hendricks, J. D. and Nixon, J. E.: Aflatoxicol-induced carcinoma in rainbow trout (*Salmo gairdneri*) and the effect of cyclopropenoid fatty acids. Cancer Res. **41**, 1011–1014 (1981).
33. Schoenhard, G. L., Lee, D. J., Howell, S. E., Pawłowski, N. E., Libbey, L. M. and Sinnhuber, R. O.: Aflatoxin B<sub>1</sub> metabolism to aflatoxicol and derivatives lethal to *Bacillus subtilis* GSY 1057 by rainbow trout (*Salmo gairdneri*) liver. Cancer Res. **36**, 2040–2045 (1976).
34. Newton, G. M., Pantaleo, N. S., Churchill, F. and Cox, R. H.: Stereo-chemistry of aflatoxicol B. J. Agric. Food Chem. **27**, 1339–1341 (1979).
35. Wogan, G. N. and Paglialunga, S.: Carcinogenicity of synthetic aflatoxin M<sub>1</sub> in rats. Fd. Cosmet. Toxicol. **12**, 381–384 (1974).
36. Canton, J. H., Kroes, R., van Logten, M. J., von Schothorst, M., Stavenutter, J. F. C. and Verhulsdonk, C. A. H.: The carcinogenicity of aflatoxin M<sub>1</sub> in rainbow trout. Fd. Cosmet. Toxicol. **13**, 441–443 (1975).
37. Hsieh, D. P. H. and Mateles, R. I.: Preparation of labeled aflatoxins with high specific activities. Appl. Microbiol. **22**, 79–83 (1971).
38. Rasmussen, F.: Studies on the mammary excretion and absorption of drugs. Carl F. Mørtensen publ., Kopenhagen 1966.
39. Ziv, G.: Practical pharmacokinetic aspects of mastitis therapy. Vet. Med. — Small anim. clinician (2), 277–290; (3), 469–474; (4), 657–670 (1978).

40. Ziv, G. and Sulman, F. G.: Analysis of pharmacokinetic properties of nine tetracycline analogues in dairy cows and ewes. Am J. Vet. Res. **35**, 1197–1201 (1974).
41. Knowles, J. A.: Excretion of drugs in milk – a review. J. Pediatrics **66**, 1068–1082 (1965).
42. Sisodia, C. S. and Stowe, G. M.: The mechanism of drug secretion into bovine milk. Ann. New York Acad. Sci. **111**, 651–661 (1977).
43. Estergreen, V. L., Lin, M. T., Martin, E. L., Moss, G. E., Branen, A. L., Luedcke, L. O. and Shimoda, W.: Distribution of Progesterone and its metabolites in cattle tissues following administration of progesterone-4-<sup>14</sup>C. J. Anim. Sci. **46**, 642–651 (1977).
44. Purdy, R. H., Durocher, C. K., Moore, P. H., Jr. and Rao, N. P.: Analysis of metabolites of progesterone in bovine liver, kidney fat and milk by high performance liquid chromatography. J. Steroid Biochem. **14**, 1307–1315 (1980).
45. Wilson, J. T., Brown, R. D., Cherek, D. R., Dailey, J. W., Hilman, B., Jobe, P. C., Manno, B. R., Redetzki, H. M. and Stewart, J. J.: Drug excretion in human breast milk. Clin. Pharmacokinetics **5**, 1–66 (1980).
46. Patterson, D. S. P. and Roberts, B. A.: In vitro reduction of aflatoxins B<sub>1</sub> and B<sub>2</sub> by soluble avian liver enzymes. Fd. Cosmet. Toxicol. **9**, 829–837 (1971).
47. Engel, G. und Hagemeister, H.: Untersuchungen über den Verbleib von Aflatoxin B<sub>1</sub> im Verdauungstrakt von Kühen. Milchwissenschaft **33**, 21–23 (1978).
48. Wong, Z. A., Decad, G. M., Byard, J. L. and Hsieh, D. P. H.: Conversion of aflatoxicol to aflatoxin B<sub>1</sub> in rats in vivo and in primary hepatocyte culture. Fd. Cosmet. Toxicol. **17**, 481–486 (1979).
49. Trucksess, M. W. and Stoloff, L.: High performance liquid chromatographic determination of aflatoxicol in milk, blood and liver. J. Assoc. Offic. Analyt. Chemists **64**, 1083–1087 (1981).

Dr. Theodor Schroeder  
 Kant. Laboratorium  
 Kannenfeldstraße 2  
 Postfach  
 CH-4012 Basel

Dr. J. Lüthy  
 Prof. Dr. Ch. Schlatter  
 Institut für Toxikologie der  
 ETH und der Universität Zürich  
 Schorenstraße 16  
 CH-8603 Schwerzenbach

P. P. Schmid, J. Lüthy, H. P. Pfirter, H. U. Halter, H. Horber und H. Jucker, Institut für Toxikologie der ETH und der Universität Zürich, Schwerzenbach

## Zur Verwendung von Rapsschrot in der Tiermast: Analytik und Toxikologie einiger Rapsinhaltstoffe

Dieser Kurzvortrag wird in einem nächsten Heft publiziert.

M. R. Besson, Nestlé, La Tour-de-Peilz

## Dosage du phosphore par absorption atomique

Le manuscrit de cette communication ne nous a pas été adressé.