



A4

KERNFORSCHUNGSANLAGE JÜLICH GmbH

Institut für Reaktorwerkstoffe / Heiße Zellen

Computer-Tomographie an MAW-Abfallfässern

R. Duwe
P. Jansen
G. Pott

vorgelegt
bei der EURATOM Arbeitsgruppe

"Hot Cell and Remote Handling Technology"

in

Ispra, 23-24 September 1987

Einleitung

Bevor Abfallfässer mit radioaktivem Waste in einem Endlager eingelagert werden, müssen die relevanten Endlager-Eigenschaften der Abfallgebinde beschrieben werden können. Insbesondere ist der Betreiber des Endlagers interessiert, das Radionuklidinventar des eingelagerten Gebindes zu kennen. Von dem Abfallverursacher wird daher verlangt, den Inhalt eines Abfallgebundes zu deklarieren und zwar sehr detailliert für die einzelnen Radionuklide.

Um die Deklarationen prüfen zu können, ist geplant, stichprobenartig zementierte Abfallgebinde in der KFA zu untersuchen.

Dabei wird zunächst auf zerstörungsfreie Weise die γ -Aktivität sowie deren Verteilung im Abfallfaß ermittelt, bei einigen Fässern sollen zusätzlich Bohrproben zwecks α - und β -Analyse entnommen werden.

Aufgrund dieser Anforderungen wurde in den Heissen Zellen der KFA eine γ -Meßanlage zur Bestimmung der Aktivitätsverteilung in Abfallfässern installiert, wobei erste Erfahrungen mit der Computer-Tomografie gemacht wurden.

1. Prinzip der Computer-Tomografie (CT)

Die CT eignet sich grundsätzlich für zwei Fragestellungen:

1. Bestimmung der Dichteverteilung in einer Faßebene
2. Bestimmung der Aktivitätsverteilung in einer Faßebene

Soll die Dichteverteilung gemessen werden, muß das Faß mit einer konstanten Strahlungsquelle durchleuchtet und abgetastet werden, wobei die jeweilige Schwächung des γ -Strahls die Information ergibt. (Transmissions-Computer-Tomografie (TCT))

Bei der Emissions-Computer-Tomografie (ECT) wird die Eigenstrahlung des Fasses abgetastet und daraus die Verteilung in der Faßebene berechnet. Dabei ist zu beachten, daß die Dichteverteilung bei der ECT in die Berechnung eingeht, d.h. bei großen Dichteunterschieden im Faß (z.B. Hohlräume bzw. Blei in zementierten Abfällen) muß ggf. eine TCT-Messung vor der ECT-Messung erfolgen. Ein weiterer Vorteil der Dichteverteilungsmessung ist darin zu sehen, daß bei einer evtl. Bohrkernentnahme gezielt Inhomogenitäten im Faß untersucht werden können.

2. Meßapparatur

Die Arbeitsweise eines einfachen ECT-Meßplatzes ist in Abb. 1 dargestellt. Mit Hilfe eines Kollimator-Detektor-Systems wird die Strahlungsintensität gemessen, während das Faß quer vor dem Meßsystem vorbeibewegt wird. Anschließend wird das Faß um einen Winkel gedreht und der Verlauf der Strahlung nunmehr aus einer anderen Richtung gemessen. Mit Hilfe eines Computerprogramms ist es nun möglich, den aus verschiedenen Winkeln aufgenommenen Strahlungsverläufen eine bestmöglich angepaßte Strahlungsverteilung in der Meßebene zweidimensional zuzuordnen. Bei einer TCT-Messung wird hinter dem Faß eine entsprechend starke γ -Quelle angebracht, die groß ist gegenüber der Eigenstrahlung des Fasses oder in einem Energiebereich strahlt, der in der Faßstrahlung nicht vorhanden ist, z.B. Sb 124 mit der 1,7 MeV-Linie. Der Meßvorgang ist der gleiche wie bei der ECT.

In Abb. 2 ist der Aufbau der Meßanlage dargestellt. Zur Messung wird das Faß auf einen Drehteller gestellt, der durch Motorantrieb um bestimmte

Winkel verstellt werden kann. Der Drehteller ist wiederum auf einen verschiebbaren Tisch montiert, der ebenfalls motorisch verschoben werden kann und die Querbewegung des Fasses zum Kollimator-Detektor-System erlaubt. Eine Höhenverstellung des Fasses kann nicht kontinuierlich durchgeführt werden, sondern wird in Stufen durch untergelegte Distanzteile erreicht.

Das Kollimatorsystem besteht aus zwei Teilen, einem Bleikollimator mit 1 cm Öffnungsdurchmesser und 15 cm Länge direkt vor dem Faß und einem Kollimator mit einem Öffnungsdurchmesser von 2 cm und einer Länge von 30 cm in der Abschirmwand der Zelle. Als Detektor wurde ein Na-J Scintillationszähler eingesetzt, alternativ kann auch ein Halbleiterdetektor benutzt werden, falls eine höhere Energieauflösung des γ -Spektrums benötigt wird.

Die Impulsverarbeitung erfolgte in einem Vielkanalanalysator, der im Modus "Multichannel Scaling" betrieben wurde, d.h. alle 2 Sekunden wurde der Impuls-Eingang auf einen weiteren Kanal geschaltet. Der Vorschub des Faß-Meßtisches war so eingestellt, daß bei einem 2 Sekundentakt die vorhandenen 4096 Kanäle des Vielkanalanalysators einer Faßverschiebung von 62 cm entsprach.

Der Vielkanalanalysator war über eine Datenleitung mit dem Computersystem des Zentralinstituts für angewandte Mathematik (ZAM) verbunden.

In Zusammenarbeit mit dem ZAM wurde ein auf die Faßmessungen abgestimmtes CT-Programm entwickelt, das auf der Basis der algebraischen Iteration arbeitet. Ein einzelner γ -Meßwert setzt sich dabei aus einer Summe von Einzelaktivitäten zusammen, die in den Bereich des Abtaststrahls fallen. Der Beitrag der jeweiligen Einzelaktivität verringert sich jeweils um den Betrag eines Schwächungsterms, der die Absorption zwischen dem Ort der betrachteten Einzelaktivität und dem Objektrand beschreibt.

$$A(\varphi) = \sum A_i \cdot e^{-\mu l_i} \cdot \left(\frac{l_{DET}}{l_{DET} + l_i} \right)^2$$

$A(\varphi)$ = Meßwert aus einem Aktivitätsverlauf
(dem Winkel zugeordnet)

A_i = Einzelaktivität in der Meßebene

μ = Schwächungskoeffizient

l_i = Entfernung zum Objektrand (Absorptionsstrecke)

l_{DET} = Entfernung Objektrand - Detektor

Die Zusammensetzung der einzelnen Aktivitätsverläufe, Bildrekonstruktion genannt, erfolgt, indem ein imaginäres Bild (z.B. konstante Aktivitätsverteilung) angenommen wird und dieses mit den gemessenen Werten unter Anwendung der Absorptionsberechnung verglichen wird. Mit der daraus berechneten Differenz wird die angenommene Aktivitätsverteilung verändert und ein erneuter Vergleich mit den Meßwerten durchgeführt. Ausgangsbasis weiterer Iterationen mit den jeweiligen Approximationen ist immer das Verteilungsbild der vorhergehenden Iteration. Dieser Vorgang wird wiederholt, bis die Differenzen zwischen zwei Iterationen entsprechend klein sind.

3. Messungen

Um das Verfahren zu testen, wurde zunächst eine ECT-Messung mit einer Testquelle durchgeführt. Diese Quelle bestand aus einem Faßsegment, welches mit bestrahlten Kugelbrennelementen aus dem AVR und inaktiven Grafitkugeln beladen wurde, wie aus Abb. 3 zu entnehmen ist, so daß die Verteilung der Aktivität in der Faßebene bekannt war. Gemessen wurde die γ -Strahlung von Cs 134 und Cs 137 zwischen 600 und 800 keV. In Abb. 4 ist ein typischer Aktivitätsverlauf dargestellt, wie er vom Detektor registriert wird. Im vorliegenden Fall wurden 32 solcher Verläufe aufgenommen, jeweils um 11,25 ° gedreht.

Abb. 5 zeigt das rekonstruierte Verteilungsbild der Kugeln auf dem "Kugeltablett". Das Bild zeigt, daß auch einzelne zentral gelegene Brennelemente erkannt und abgebildet werden. Da Grafit eine ähnliche Absorptionscharakteristik für γ -Strahlen hat -wie Zement-, sind diese Ergebnisse auch auf zementierte Fässer übertragbar, zumindest wenn diese vergleichbare Aktivität enthalten (Bereich 3-5 Ci/BE).

Messungen an MAW-Fässern

Im Rahmen eines Programms zur Messung der Radiolyse in relevanten Abfallfässern wurden von der KfK 6 MAW-Abfallgebinde mit Abfällen aus der Wiederaufarbeitungsanlage für Untersuchungen in der KFA hergestellt. Die Fässer enthielten zementierte Abfälle, wie Brennelement-Strukturteile, Hülsenrest und Feedklärschlamm.

Die Untersuchungen zur Freisetzung von Radiolysegasen und Kr 85 wurden in den Heissen Zellen unter Federführung des ICT durchgeführt. Da sich diese Fässer in den Heissen Zellen befanden, wurde die Gelegenheit benutzt, auch an diesen Abfallgebinden das neu entwickelte Tomografieverfahren zu erproben.

Abb. 6 zeigt ein Bild der Brennelementstrukturteile, wie sie sich vor dem Zementieren im Faß befanden. Es handelt sich um 2 Bündel abgesägter Kühlmittelrohre sowie um Kopf- und Fußteile eines BE. Die Meßebene befand sich in Faßmitte; es wurden aus Zeitgründen nur 8 Messungen (jeweils 45 ° gedreht) durchgeführt, wobei eine Messung etwa 1 Stunde dauerte. Es sei darauf hingewiesen, daß die Meßanlage nicht auf optimal kurze Meßzeiten ausgelegt war, sondern dazu diente, erste Erfahrungen zu sammeln.

Abb. 7 zeigt die acht gemessenen Verläufe, wobei die Hauptaktivität von Co 60 stammt. Aus diesen acht Verläufen wurde der in Abb. 6 gezeigte Querschnitt durch das Faß rekonstruiert. Ein Vergleich mit dem Foto zeigt, daß hauptsächlich die Röhren zur Aktivität beitragen. Dieses ist verständlich, weil sich die Röhren während der Bestrahlung im Neutronenflußmaximum befunden haben, Kopf- und Fußstücke dagegen weniger aktiviert wurden.

In einer weiteren Meßserie wurde versucht, die Dichteverteilung mit Hilfe von TCT an einem von KfK hergestellten Abfallgebinde mit zementiertem Feedklärschlamm zu erproben. Abb. 8 zeigt schematisch das Abfallgebinde. Zufällig lag die Meßebene so, daß eine Bleischeibe, die den Filterbeutel beschwerte, mit erfaßt wurde. Durchstrahlt wurde das Faß mit etwa 500 Ci Co 60.

Abb. 9 zeigt das rekonstruierte Bild. die Dichteverteilung läßt erkennen, daß das kleinere zementierte Faß dezentral in dem 200 l-Rollsickenfaß steht und daß der Bleideckel offenbar schräg geschnitten wurde. Der Versuch zeigt, daß eine Grobunterscheidung von verschiedenen Dichten möglich ist.

Ausblick

Ein Nachteil der bisherigen CT-Anlage in den Heissen Zellen ist die lange Meßzeit, die für die Erstellung eines Querschnittbildes benötigt wird. Sie beträgt z.Zt. etwa einen Tag. Der Grund liegt darin, daß mit nur einem Detektor gearbeitet wurde und die Gesamtanlage nicht auf kurze Meßzeiten ausgelegt wurde.

In einer zweiten Ausbaustufe ist geplant, einen älteren Computer-Tomografen, der bisher im Institut für Medizin betrieben wurde, umzurüsten. Benutzt werden 60 einzelne Detektoren, die über ein Meßdatenerfassungssystem mit dem Großrechner der KFA verbunden werden. Es ist geplant, für die Messungen an einem Faß einen Tag anzusetzen, wobei dann bis zu 25 Schichtaufnahmen hergestellt werden können. Mit Hilfe des Großrechners ist es dann möglich, 3-dimensionale Informationen, insbesondere über Dichteverteilung, zu erhalten. Die Ortsauflösung liegt dabei im cm-Bereich.

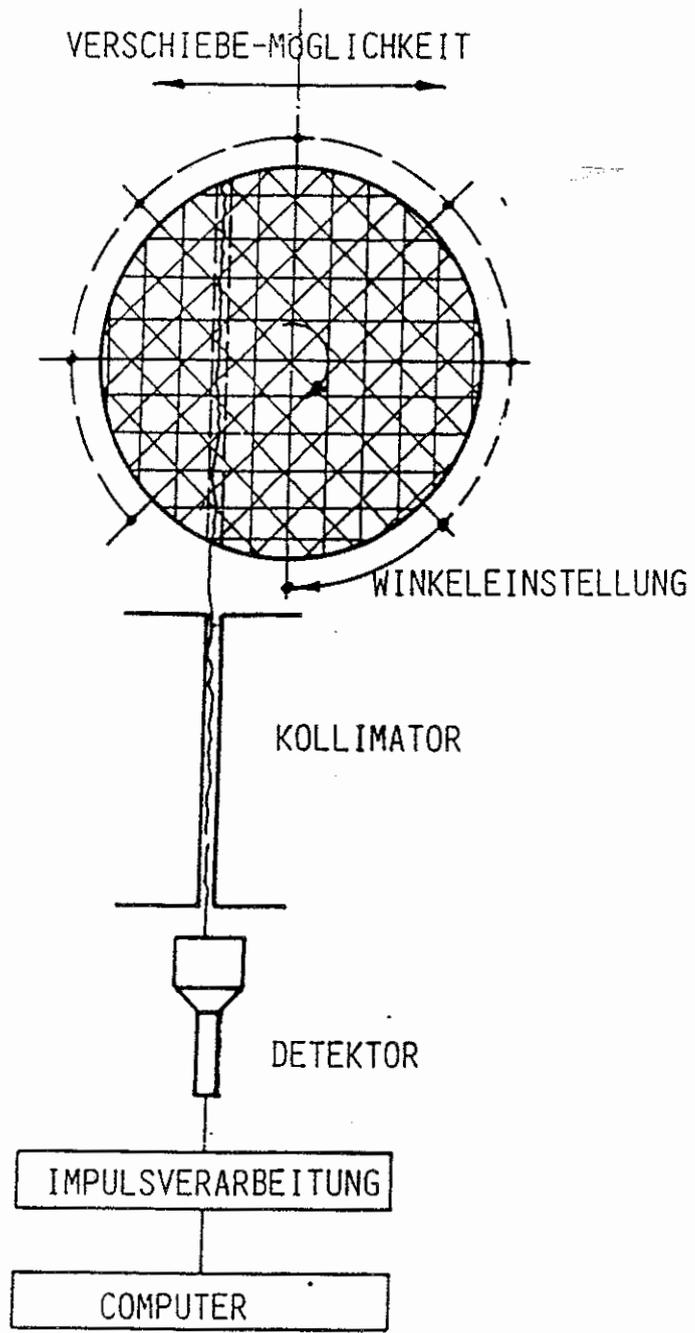


ABB.1 PRINZIPIELLER AUFBAU EINER MESSANLAGE
FÜR COMPUTER-TOMOGRAPHIE

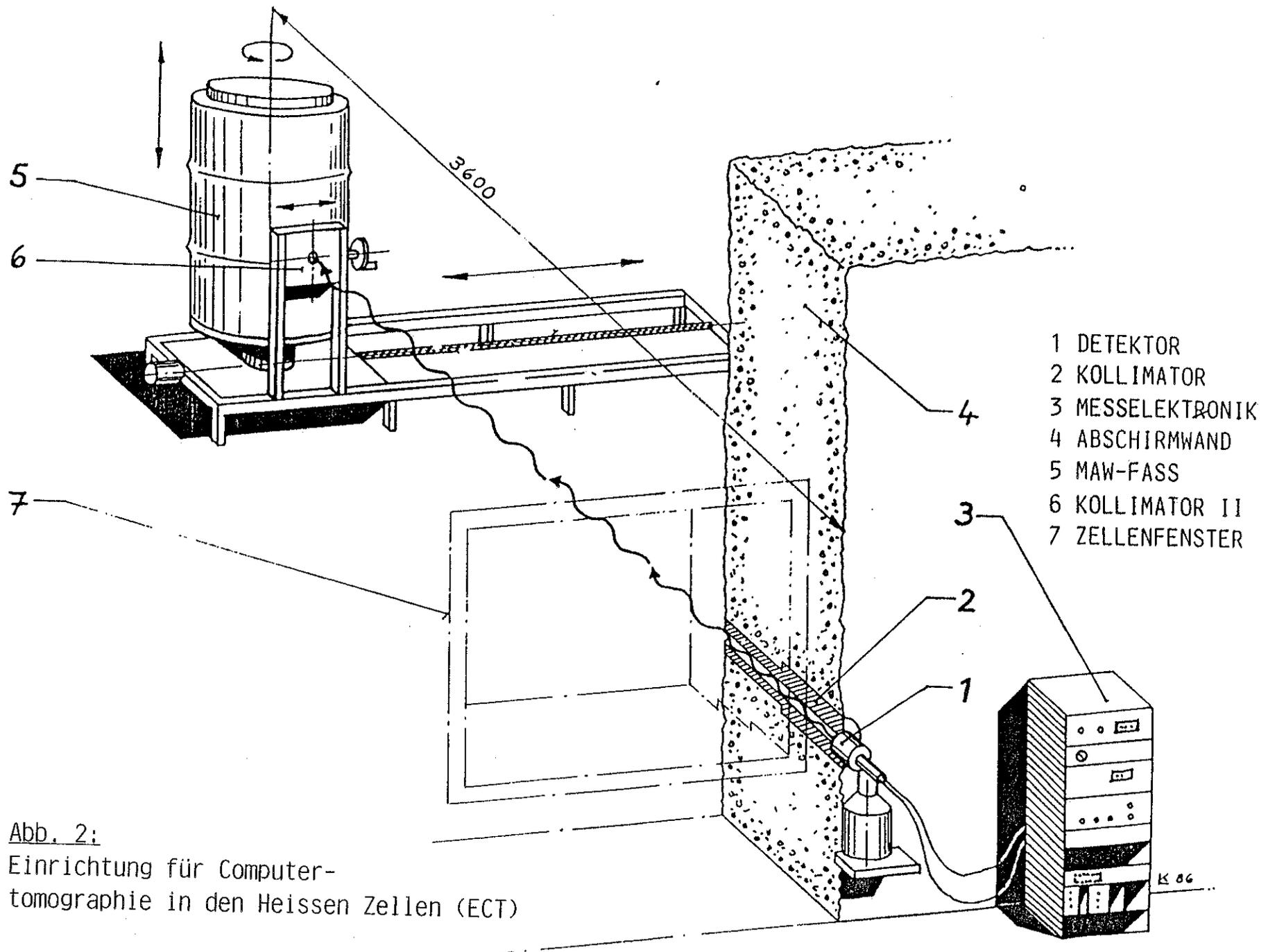


Abb. 2:
 Einrichtung für Computer-
 tomographie in den Heissen Zellen (ECT)

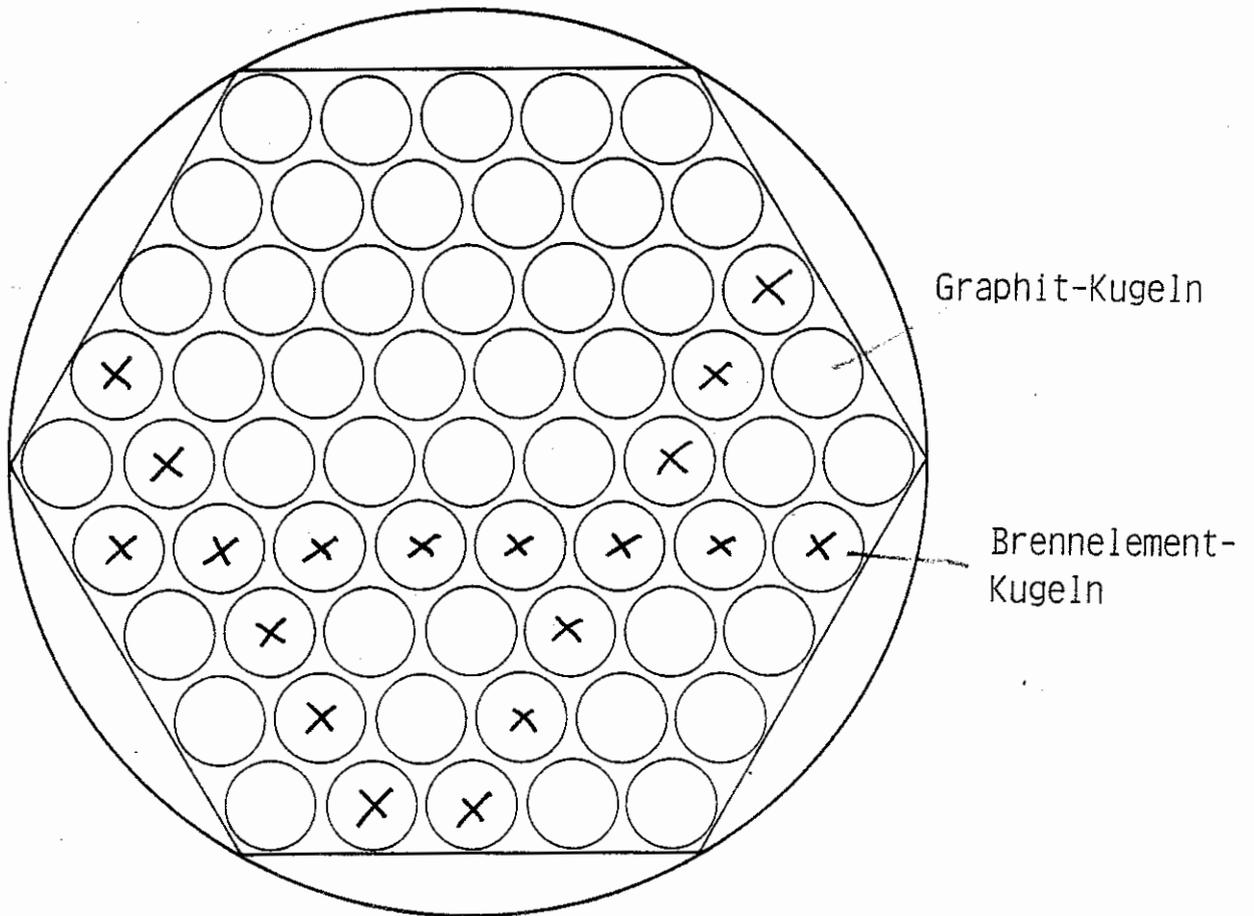


Abb. 3: Testanordnung einer Palette mit Brennelementkugeln

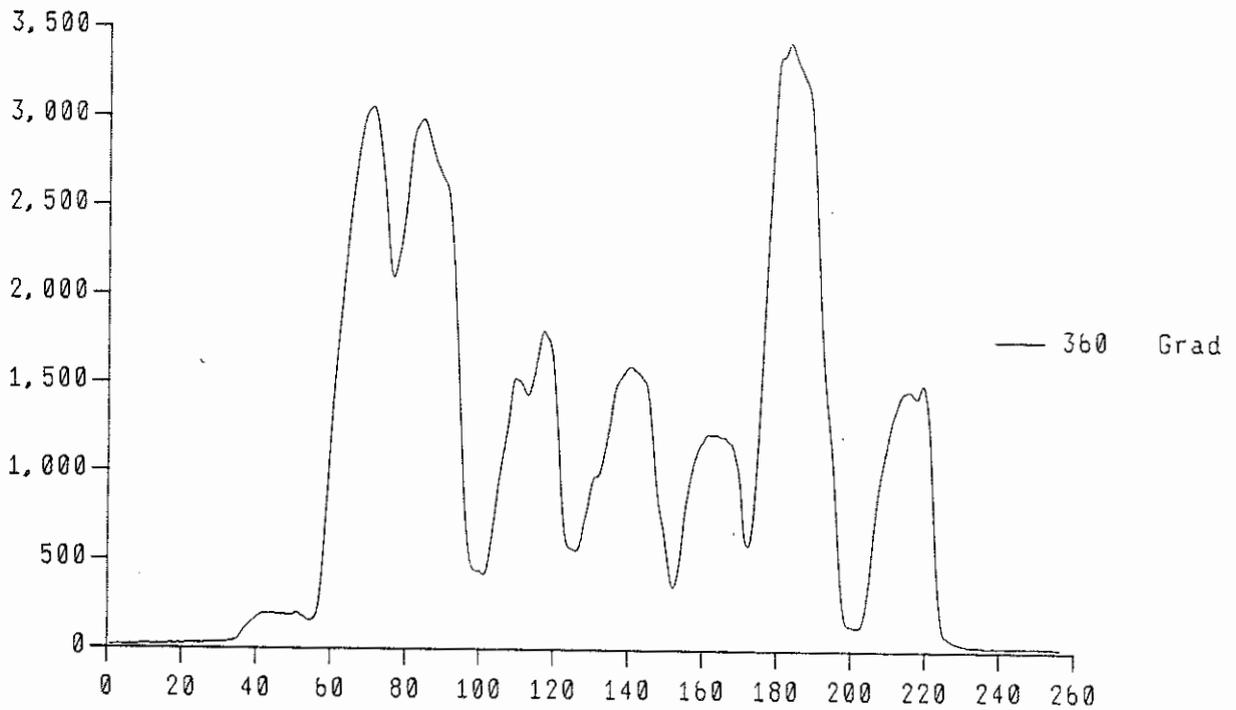
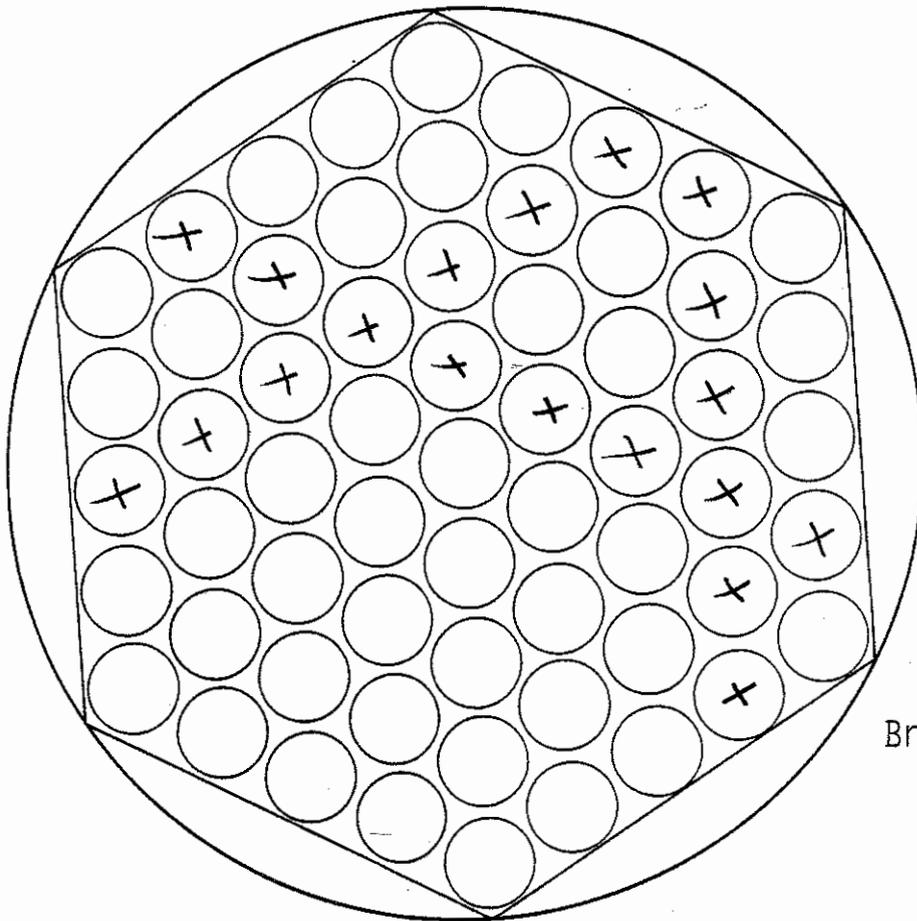
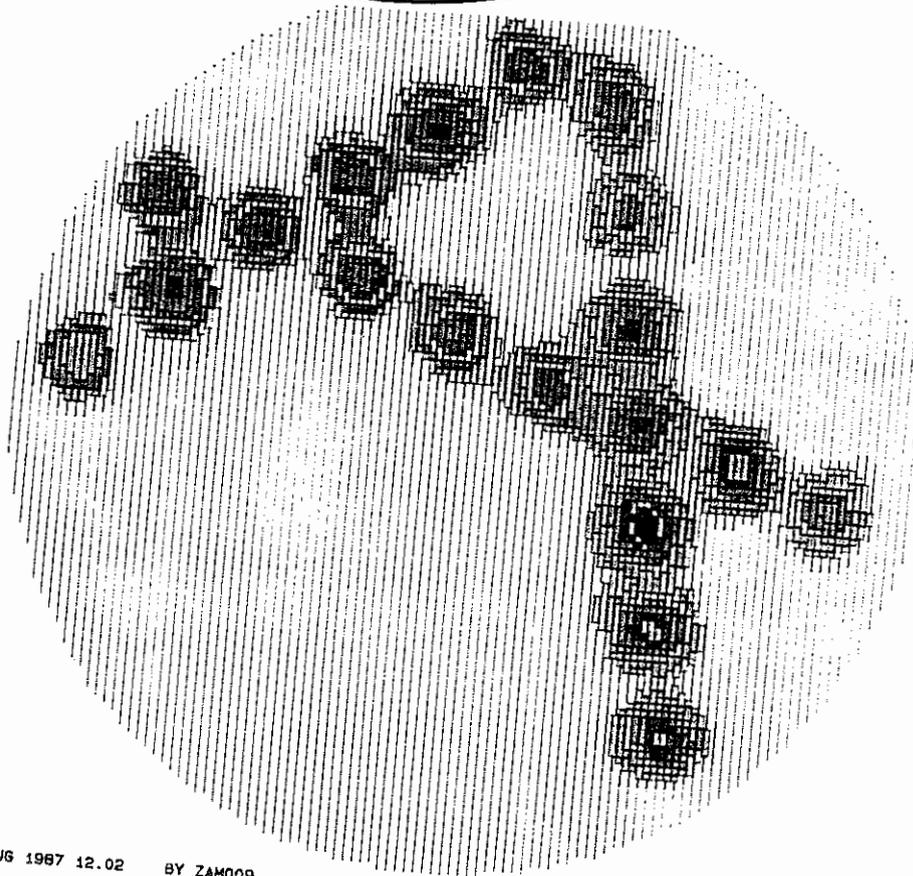


Abb. 4: Emissions Tomographie einer Palette mit Kugelbrennelementen (Anordnung Abb. 3)

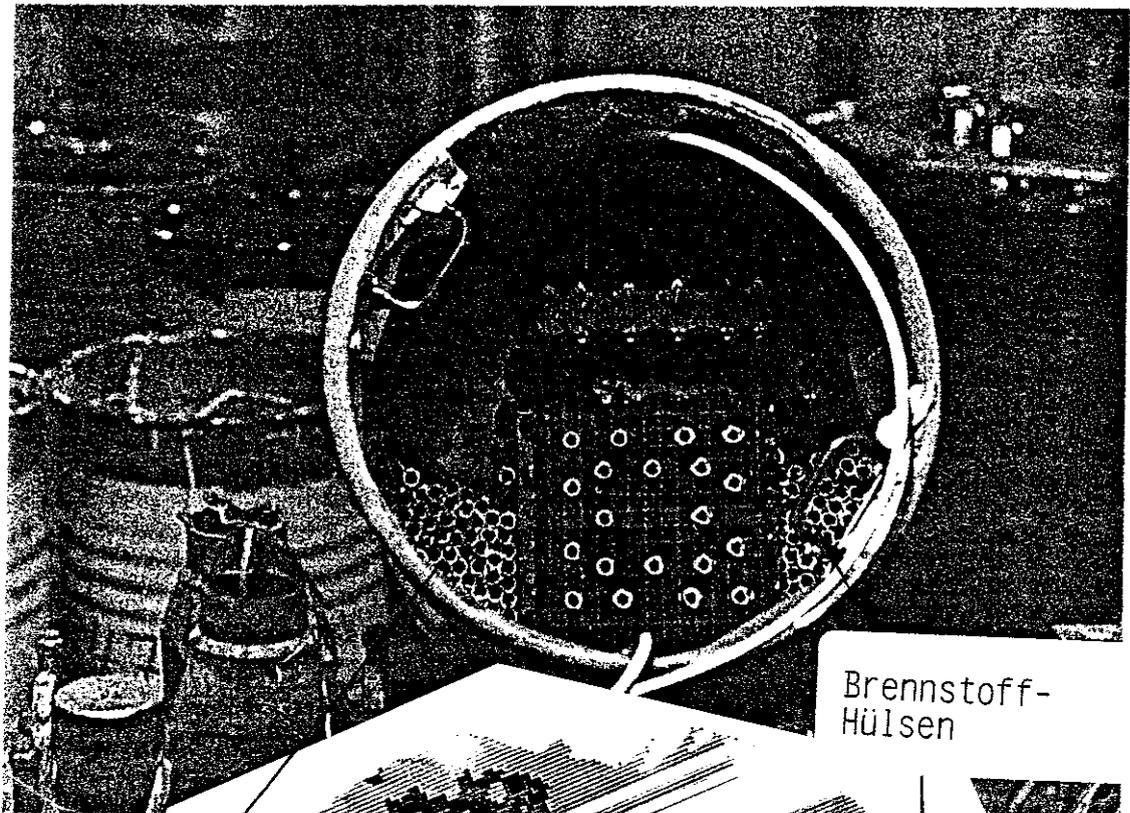


Graphit-Kugel
Brennelement-Kugel



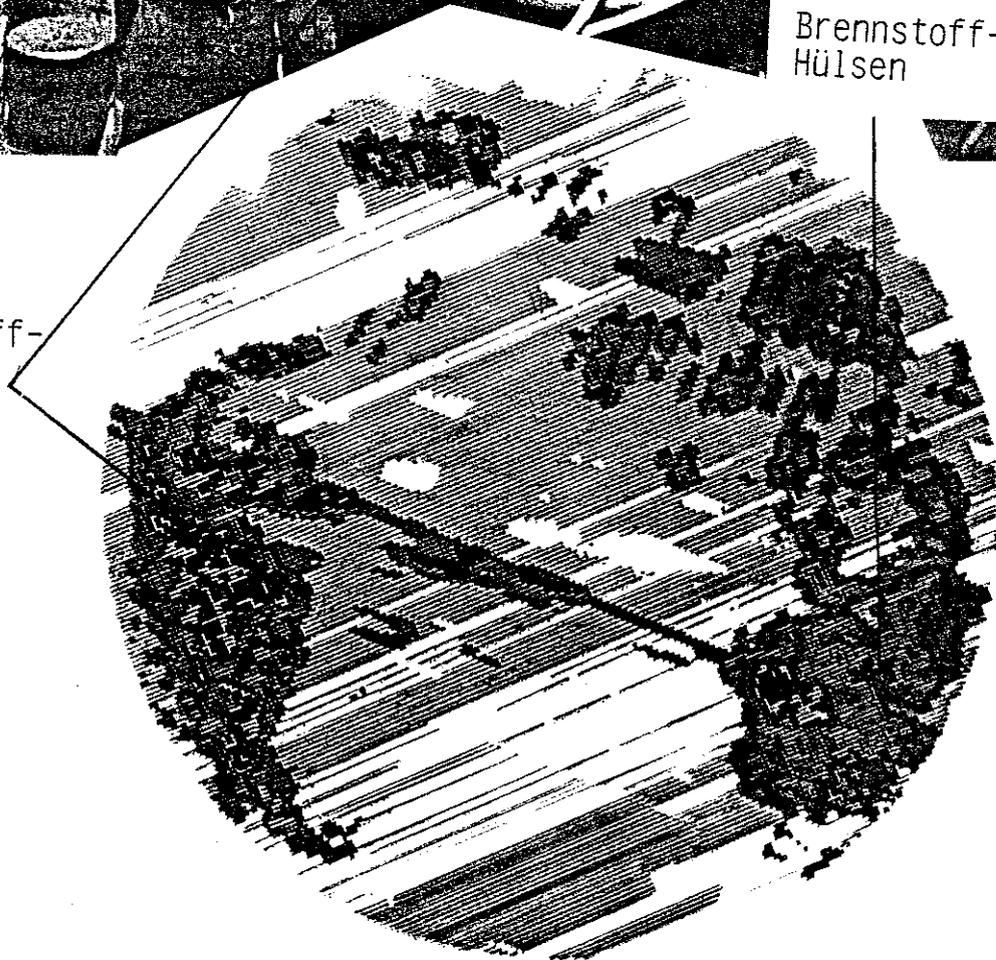
28 AUG 1987 12.02 BY ZAM009

Abb. 5: Rekonstruiertes Bild der Brennelementanordnung durch ECT-Messung



Brennstoff-
Hülsen

Brennstoff-
Hülsen



500x

Abb. 6: Strukturteile in einem Abfallfass und Rekonstruktion durch Computer-Tomographie in einer Ebene

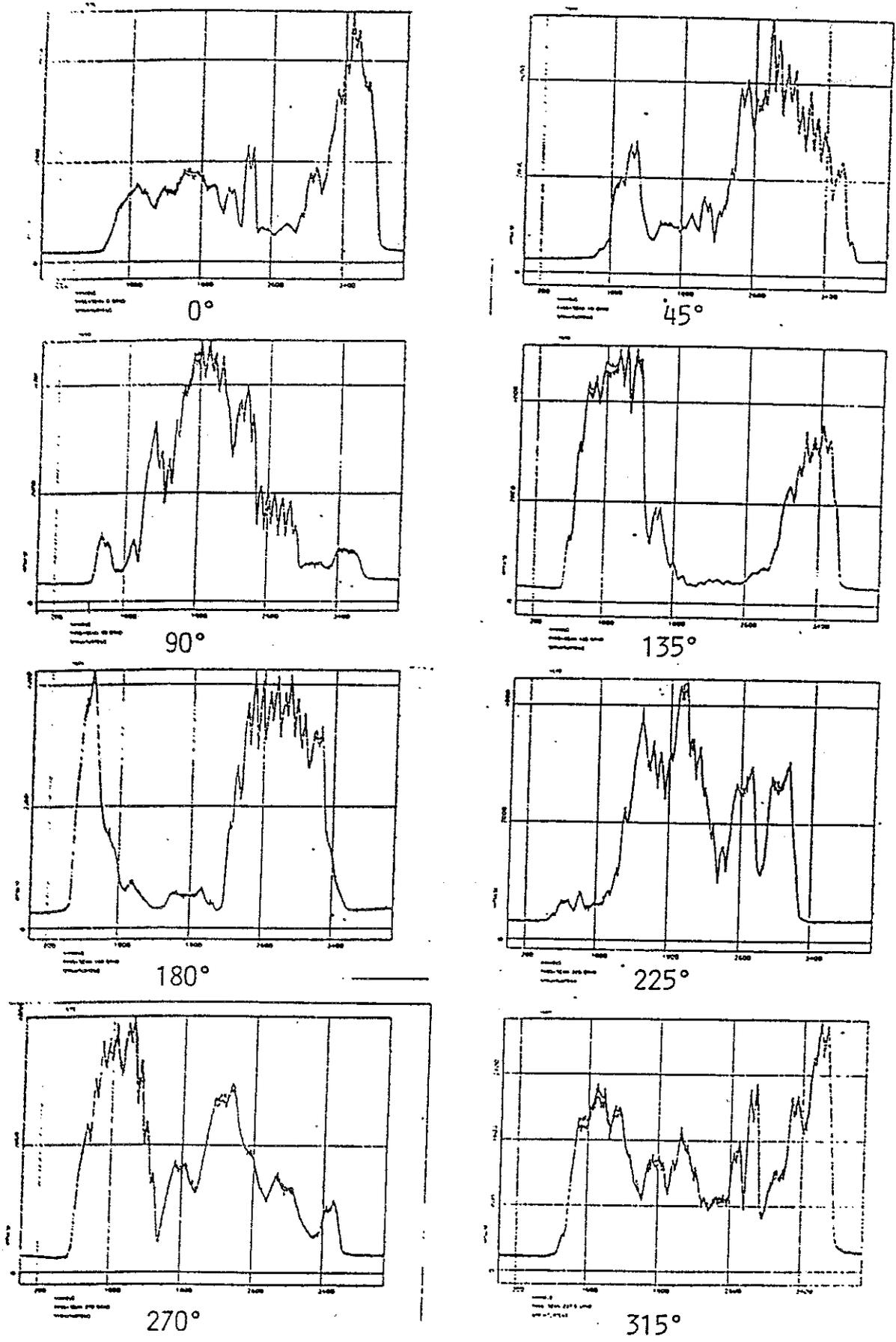


Abb. 7 Aktivitätsverläufe des Strukturteilesfasses (mittl.Fassebene)

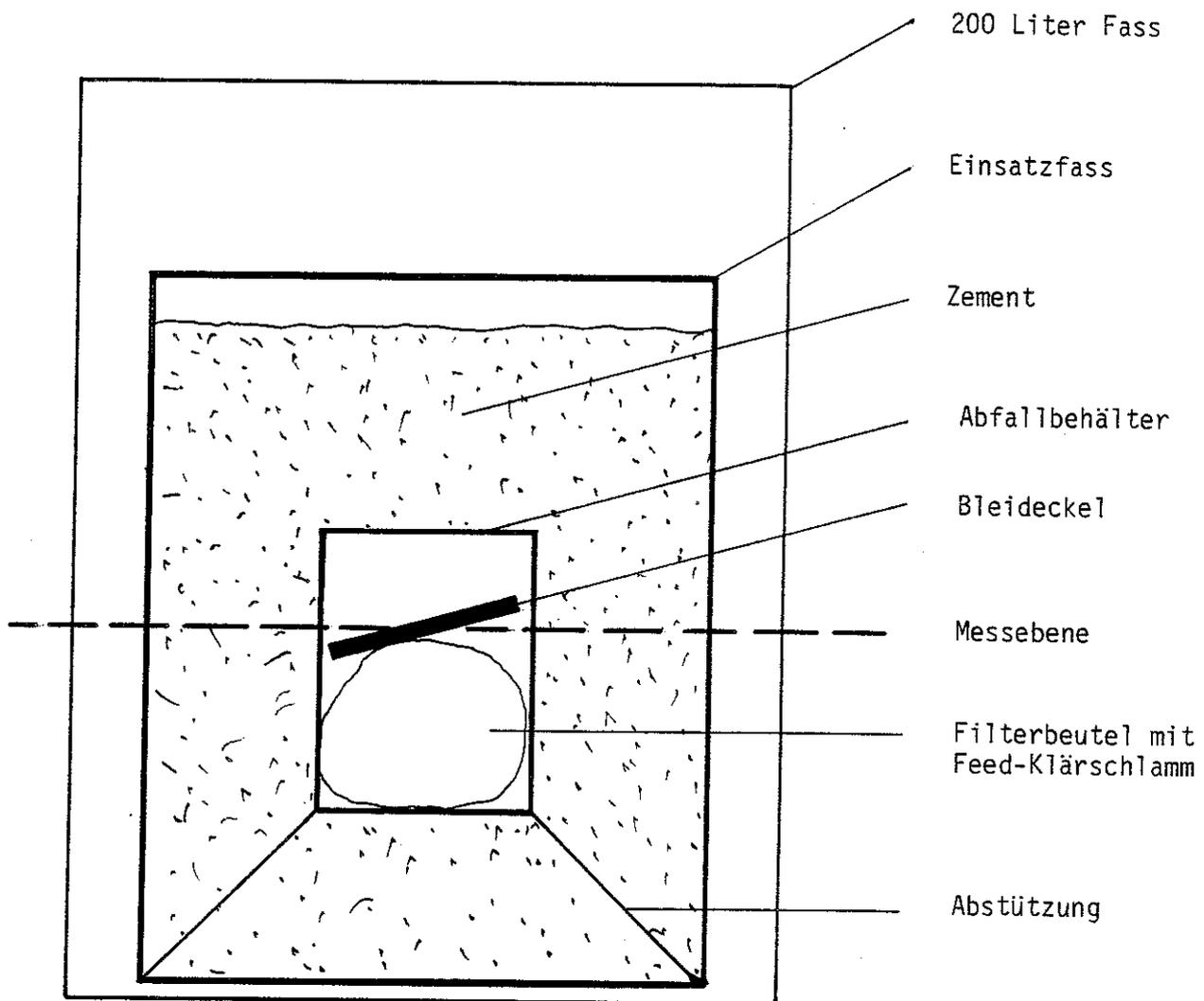


Abb. 8: Abfallgebinde mit Feed-Klärschlamm (schematische Darstellung)

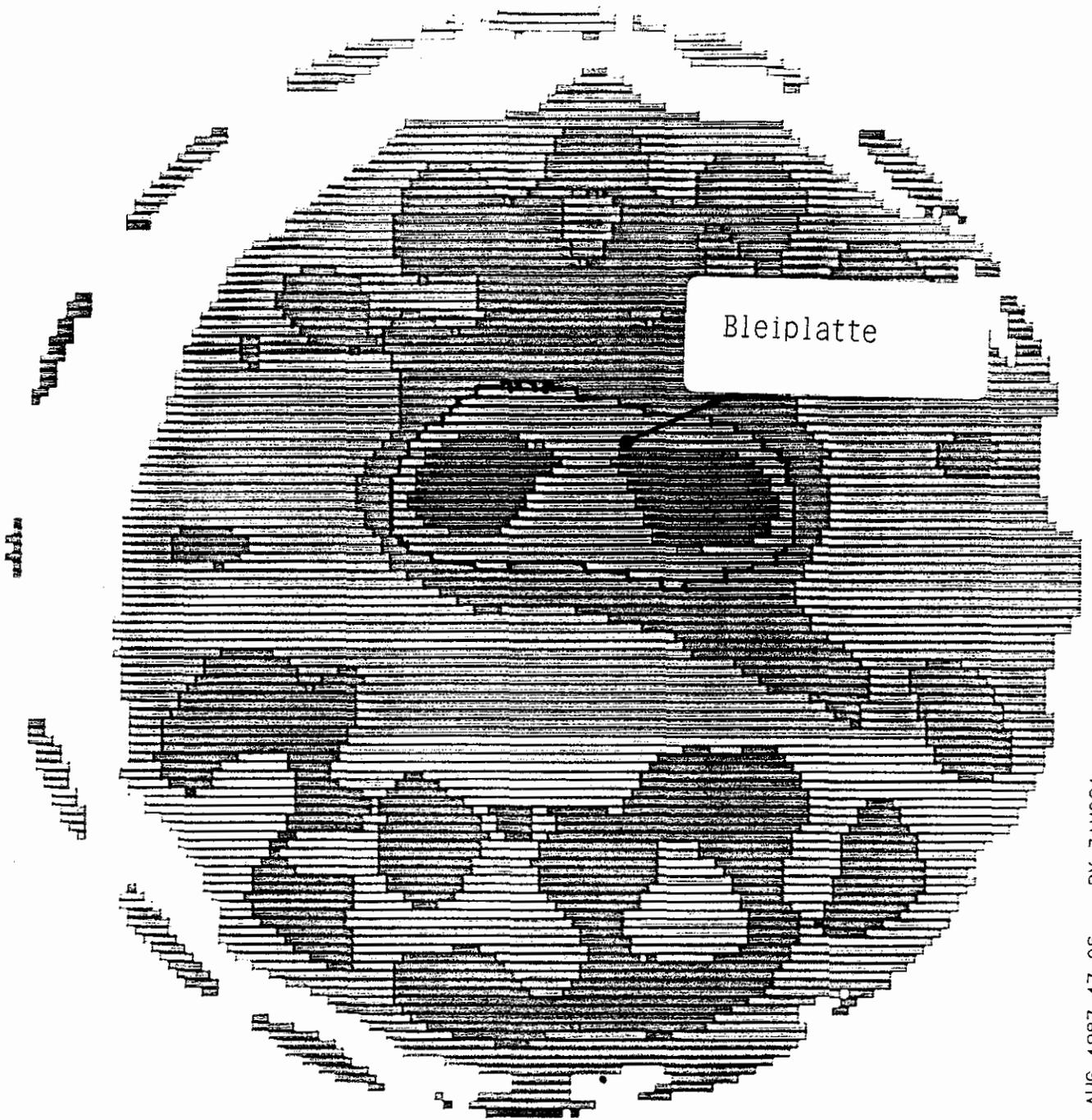


Abb. 9: Transmissions-Computer-Tomographie eines Abfallgebundes mit Bleiplatte (vergl. Abb. 8)