

IPPNW Internationale Ärzte zur Verhütung von Atomkriegen e.V.  
Bürgerinitiative gegen Leukämie in der Elbmarsch e.V.

**Die radioaktive Belastung der Nahumgebung der  
Geesthachter Atomanlagen durch Spaltprodukte und  
Kernbrennstoffe**

Stand der Erkenntnis zur Ursachenaufklärung  
der in der Umgebung der kerntechnischen Anlagen bei Geesthacht  
aufgetretenen Leukämiehäufung

Marschacht, 14.10.2002







**IPPNW Internationale Ärzte zur Verhütung von Atomkriegen e.V.**

**Bürgerinitiative gegen Leukämie in der Elbmarsch e.V.**

Herausgeber

**Die radioaktive Belastung der Nahumgebung der  
Geesthachter Atomanlagen durch Spaltprodukte und  
Kernbrennstoffe**

Stand der Erkenntnis zur Ursachenaufklärung  
der in der Umgebung der kerntechnischen Anlagen bei Geesthacht  
aufgetretenen Leukämiehäufung

Dipl. Ing. Thomas Dersee, Gesellschaft für Strahlenschutz e.V.

Dr. med. Helga Dieckmann, IPPNW, BI, Mitglied der nds. und schleswig-holst. Leukämiekommision

Dr. med. Hayo Dieckmann, IPPNW, Mitglied der niedersächsischen Leukämiekommision

Uwe Harden, MdL, BI, Bürgermeister von Drage

Dipl. Phys. Reinhard Hoppe, Bürgerinitiative gegen Leukämie in der Elbmarsch e.V.

Dr. rer.nat. Sebastian Pflugbeil, Gesellschaft für Strahlenschutz e.V.

Prof. Dr. Inge Schmitz-Feuerhake, BI, Mitglied der schleswig-holst. Leukämiekommision



<b>Inhalt</b>	<b>Seite</b>
<b>Zusammenfassung</b>	1
<b>Die Ausgangslage</b>	3
<b>Aufstau natürlicher Radioaktivität am 12. Sept. 1986 – ein Lügenmärchen</b>	6
a) Anstieg radioaktiver Aerosole am 12.9.86 im Kernkraftwerk	7
b) Anstieg der Betaflächenaktivität am 12.9.86 in Marschacht	7
c) Anstieg von Spaltprodukten nach dem 12.9.86 im Elbsediment bei der GKSS	9
d) Cs 137 im Geesthachter Trinkwasserwerk im 3. Quartal 1986	14
e) Tritium in Jahresringen von Elbmarschbäumen	15
f) Verlegung der KFÜ-Messstation 09 auf dem GKSS-Gelände wegen Brand am Aufstellungsort	17
g) Die Angaben der Aufsichtsbehörde im Lichte neuer Erkenntnisse durch die ARGE PhAM	18
h) Weitere Auswirkungen der radioaktiven Wolke	21
<b>Plutonium und Americium in der Umwelt</b>	22
<b>Plutonium- und Americiumgehalte von Dachbodenstaub der Samtgemeinde Elbmarsch (1996/97)</b>	23
<b>Ergebnisse der Dachstaubuntersuchung der Aufsichtsbehörde</b>	26
<b>Strontium 90 in Dachbodenstaub aus der Elbmarsch</b>	27
<b>Aufklärungsarbeit der Gutachtergruppe ARGE PhAM</b>	30
a) Bestimmung von Abstandsgradienten	30
b) Nuklidspezifische Messungen in Elbmarsch und Elbgeest	32
c) Entdeckung nuklearer Mikrosphären	32
<b>Sphere-Pac-Nuklearbrennstoff und das Prinzip der Inertial-Confinement-Fusion</b>	34
a) Fusionsteil	34
b) Spalt- und Brutmantel	34
c) Lasergepulste Trägheitsfusion	35
d) Beryllium als Neutronenverstärker	35
e) Ausführung der Hybridmikrosphären	35
f) Herstellung von Pac-Kügelchen	37



<b>Analyse der bei Geesthacht aufgefundenen Mikrosphären und Keramikpartikel</b>	39
a) Ergebnisse der ARGE PhAM-Untersuchungen	39
b) Untersuchungen am Institut für Toxikologie, Kiel	43
<b>Bestätigung der ARGE PhAM-Erkenntnisse durch frühere Untersuchungen in der Elbmarsch im Zusammenhang mit dem Leukämieproblem</b>	51
b) Angereichertes Uran in der Elbmarsch	51
c) Nicht natürliches Thorium 232 und Folgeprodukte von Brutprozessen	58
<b>Haben die Befunde bei Geesthacht einen militärischen Hintergrund?</b>	61
<b>Schlussfolgerungen</b>	66
<b>Schriftenverzeichnis</b>	70



## Zusammenfassung

Die bei den Geesthachter Atomanlagen ab 1990 aufgetretene Häufung kindlicher Leukämieerkrankungen ist weltweit einzigartig in ihrer räumlichen und zeitlichen Konzentration. Andere bekannte oder denkbare Verursacher als radioaktive Strahlung konnten durch umfangreiche Untersuchungen von Behörden und den befassten Expertenkommissionen ausgeschlossen werden.

Die zuständige Aufsichtsbehörde, das schleswig-holsteinische Ministerium für Finanzen und Energie, behauptet, dass es keinerlei Hinweise für ungenehmigte Freisetzen radioaktiver Stoffe in die Umwelt gäbe. Die Leukämiekommission des Landes Schleswig-Holstein jedoch kam 1997 zu dem Schluss, dass die Erkrankungen wahrscheinlich durch ionisierende Strahlung erzeugt wurden. Sie stützte sich dabei auf festgestellte Umgebungskontaminationen durch radioaktive Spalt- und Aktivierungsprodukte sowie Ergebnisse der biologischen Dosimetrie an weißen Blutzellen bei Bewohnern der Nahumgebung.

Ausgangspunkt für strahleninduzierte Leukämie ist das rote Knochenmark. Um dem Verdacht nachzugehen, dass in den Körper aufgenommene knochensuchende Alphastrahler wie Plutonium ursächlich sein könnten, ließ die Bürgerinitiative 1997/1998 Untersuchungen in Proben von abgelagertem Dachbodenstaub durchführen. Dabei wurde nicht nur Plutonium sondern auch das Transuran Americium 241 auffällig erhöht gefunden. Genauere Messungen an diesem Material durch ein Krakauer Institut für Kernphysik bestätigten, dass diese Kerntechnik-Produkte nicht durch die übliche Hintergrundbelastung bedingt sein konnten.

Der Ursprung dieser Stoffe konnte im folgenden durch die Untersuchungen der Gutachtergruppe ARGE PhAM<sup>1</sup> weitgehend aufgeklärt werden, die ebenfalls Spaltprodukte und Transurane in der Nahumgebung der Anlagen feststellten. Dabei wurden in Boden- und Dachstaubproben Mikrokügelchen aus Schwermetall entdeckt und als Pac-Kernbrennstoff identifiziert. Diese entstammen einer Entwicklungslinie der Kernforschung aus den 70er und 80er Jahren, mit der man in einer sog. Hybridtechnik die Prinzipien der Energiefreisetzung durch Kernverschmelzung (Fusion) und Kernspaltung kombinieren wollte. Der Vorteil dieser Kombination liegt darin, dass die ausgelösten Kernreaktionen gleichzeitig zur Bildung weiteren Spaltmaterials führen (Brüten) und dass als Ausgangsmaterial die in großen Mengen vorkommenden natürlichen Aktinide Thorium 232 und Uran 238 oder Transurane aus der Wiederaufarbeitung abgebrannter Kernbrennstoffe verwendet werden können.

Aus Umweltproben isolierte Kügelchen und aufgefundenes Hüllmaterial wurden von ARGE PhAM und am Institut für Toxikologie der Universität Kiel untersucht. Es zeigte sich, dass sie Thorium, Uran und Transurane enthalten und zusätzlich die typischen Elemente, die zur Kernfusion und zum Aufbau des Hybridelements gehören.

ARGE PhAM geht davon aus, dass bei Geesthacht Experimente mit diesem Material durchgeführt wurden und es dabei zu einem Unfall kam. Sie haben zwischen dem Areal der GKSS und dem Kernkraftwerk Krümmel einen Bereich ausgemacht, in dem es offenbar vor etlichen Jahren gebrannt hat und der radioaktive Stoffe und auch Kügelchen in besonders hoher Konzentration enthält.

---

<sup>1</sup> Die Untersuchungen der Arbeitsgemeinschaft Physikalische Analytik und Meßtechnik (ARGE PhAM), Weinheim, wurden durchgeführt von Prof. Dr. A. Scharmann, Prof. Dr. R. Brandt, Dr. D. Schalch, Dipl.Ing. H.-W. Gabriel u.a.



Tatsächlich hat es am 12.9.86 ein besonderes Ereignis gegeben, mit dem sich schon die Leukämiekommissionen der Länder Niedersachsen und Schleswig-Holstein befasst hatten. An diesem Tag war eine radioaktive Verseuchung auf dem Gelände des Kernkraftwerks aufgetreten. Betreiber und Aufsichtsbehörde behaupten bis heute, es habe sich um einen Aufstau natürlicher Radioaktivität (Radon) gehandelt. Der vorliegende Bericht belegt, dass diese Interpretation nicht haltbar ist. Vielmehr sind an diesem Tag auch künstliche radioaktive Spaltprodukte freigesetzt worden. Dies ergibt sich unzweifelhaft aus den Daten der behördlichen Routineüberwachung.

Die Umgebungskontamination muss sehr massiv gewesen sein. Dies lässt sich u.a. aus dem Auftreten einer Vielzahl von Spaltprodukten im Elbsediment oberhalb der Abwassereinleitungen für die Nuklearanlagen ableiten. Die signifikante Erhöhung zeigt sich in den Messergebnissen verschiedener Labors nach dem 12.9.86. Die außergewöhnliche Höhe der Kontamination ergibt sich ferner aus dem Auftreten des Spaltprodukts Cäsium 137 im abgeschlossenen Reservoir des Geesthachter Trinkwasserwerks. Außerdem wurden für den Zeitraum 1986 erhöhte Konzentrationen des Spalt- und Aktivierungsproduktes Tritium, das auch für die Kernfusion verwendet wird, sowie andere Betastrahler in Bäumen der Umgebung festgestellt.

Aufsichtsbehörde und Niedersächsisches Landesamt für Ökologie haben öffentlich mitgeteilt, dass es aufgrund eigener Messungen bei Geesthacht keine radioaktiven Kügelchen gäbe. Ihre Misserfolge lassen sich teilweise dadurch erklären, dass der Nachweis von Plutonium nicht an einzelnen intakten Partikeln von 1 mm Größe erfolgen kann, sondern nur an einer aufkonzentrierten Menge von Schwermetall-Kleinstkügelchen mit maximal 0,05 mm Durchmesser. Derartige Untersuchungen wurden von keiner Messstelle in behördlichem Auftrag durchgeführt.

Die erhöhten Konzentrationen an Spaltprodukten und Transuranen in Begleitung von Uran und Thorium zeigen, dass die Freisetzung aufgrund des Unfalls nach einem starken Neutronenfluss erfolgte.

Eine Bestätigung der ARGE PhAM-Befunde liefern frühere - auch behördliche - Bodenuntersuchungen in der Elbmarsch, die im Zusammenhang mit der Leukämieursachenforschung Anfang der neunziger Jahre unternommen wurden. Der Nachweis angereicherten Urans in den Messungen ist nur durch Kerntechnikaktivitäten und ungenehmigte Freisetzungen erklärlich. In diesen Messungen ist bereits die ungewöhnliche Häufung von Thorium dokumentiert, dem Spalt- und Brutmaterial für das Hybridsystem, und seinen radioaktiven Abkömmlingen.

Wahrscheinlich sind nicht alle aufgezeigten Umgebungskontaminationen bei KKK und GKSS auf ein einmaliges Ereignis zurückzuführen. Es ist aber davon auszugehen, dass die am 12.9.86 erfolgte Freisetzung die wesentliche Quelle für die Leukämieinduktion war. Zur Abschätzung des zeitlichen Dosisverlaufs der Bevölkerung müssen weitere Details über den Freisetzungsvorgang, die Art und Menge der Radioaktivität und über den Grad der Zerstörung von Mikrokügelchen ermittelt werden.



## Die Ausgangslage

- *Ab 1990 drastisch erhöhte Leukämierate bei Kindern in der Nahumgebung der Geesthachter Atomanlagen*
- *Aufklärungsbemühungen seit 1992 stärken Strahlenverdacht*

In der Samtgemeinde Elbmarsch, auf der niedersächsischen (südlichen) Seite der Elbe bei Geesthacht gelegen, zeigte sich 1990 und 1991 in kurzer Folge eine extreme Häufung kindlicher Leukämiefälle. Weitere Kinder aus der näheren Umgebung erkrankten in den Jahren 1994 bis 2001 (Di92, Ho97, Sc97a). Die meisten Betroffenen wohnen im Ortsteil Tespe direkt gegenüber von den beiden dort betriebenen kerntechnischen Anlagen (Abb.1).

Die GKSS (Gesellschaft für Kernenergieverwertung in Schiffahrt und Schiffbau) wurde 1956 als Kernforschungsanlage gegründet und hat zwei Forschungsreaktoren betrieben. In den frühen Jahren hat sie das erste und einzige atomgetriebene Frachtschiff der BRD, die „Otto Hahn“ entwickelt und später wieder abgebaut. Darüber hinaus hat sie zahlreiche nukleare Forschungsprojekte experimenteller Art bearbeitet oder sich daran beteiligt. Die Motive der Gründerväter dieser Einrichtung lagen besonders im militärischem Bereich (Ku89).

Das etwa 1,5 km entfernt gelegene Kernkraftwerk Krümmel (KKK) begann 1983 den Probebetrieb und ging im April 1984 an das Netz. Es handelt sich um einen Siedewasserreaktor, der mit 1260 MW elektrischer Leistung der größte der Welt ist.

Der schleswig-holsteinische Minister für Finanzen und Energie mit Zuständigkeit für die Atomaufsicht setzte 1992 eine Fachkommission zur Ursachenaufklärung der Leukämieerkrankungen in der Elbmarsch ein. Das niedersächsische Sozialministerium beauftragte eine bereits bestehende Expertenkommission, sich ebenfalls um die Ursachen der Leukämiehäufung bei Kindern zu kümmern. Zusätzlich wurde auf Anregung des damaligen niedersächsischen Ministerpräsidenten Gerhard Schröder 1994 eine sog. AG Belastungsindikatoren eingerichtet, die die Prüfung der Strahlenhypothese zum Schwerpunkt ihrer Arbeit machen sollte.

Im Laufe der Untersuchungen stellten Mitglieder der Kommissionen anhand der routinemäßigen Radioaktivitätsüberwachung und anhand von Sondermessungen eine Vielzahl von Umweltkontaminationen fest, die mit den genehmigten und bilanzierten, radioaktiven Emissionen der kerntechnischen Anlagen im Widerspruch stehen. Die schleswig-holsteinische Leukämiekommission kam dann 1997 zu dem Schluss, dass die vorliegenden Indizien sehr stark darauf hindeuten, dass die Erkrankungen durch Radioaktivität verursacht wurden (Fa97). Die Aufsichtsbehörde behauptet hingegen bis heute, dass es keinerlei Hinweise auf ungenehmigte Freisetzungen gäbe.

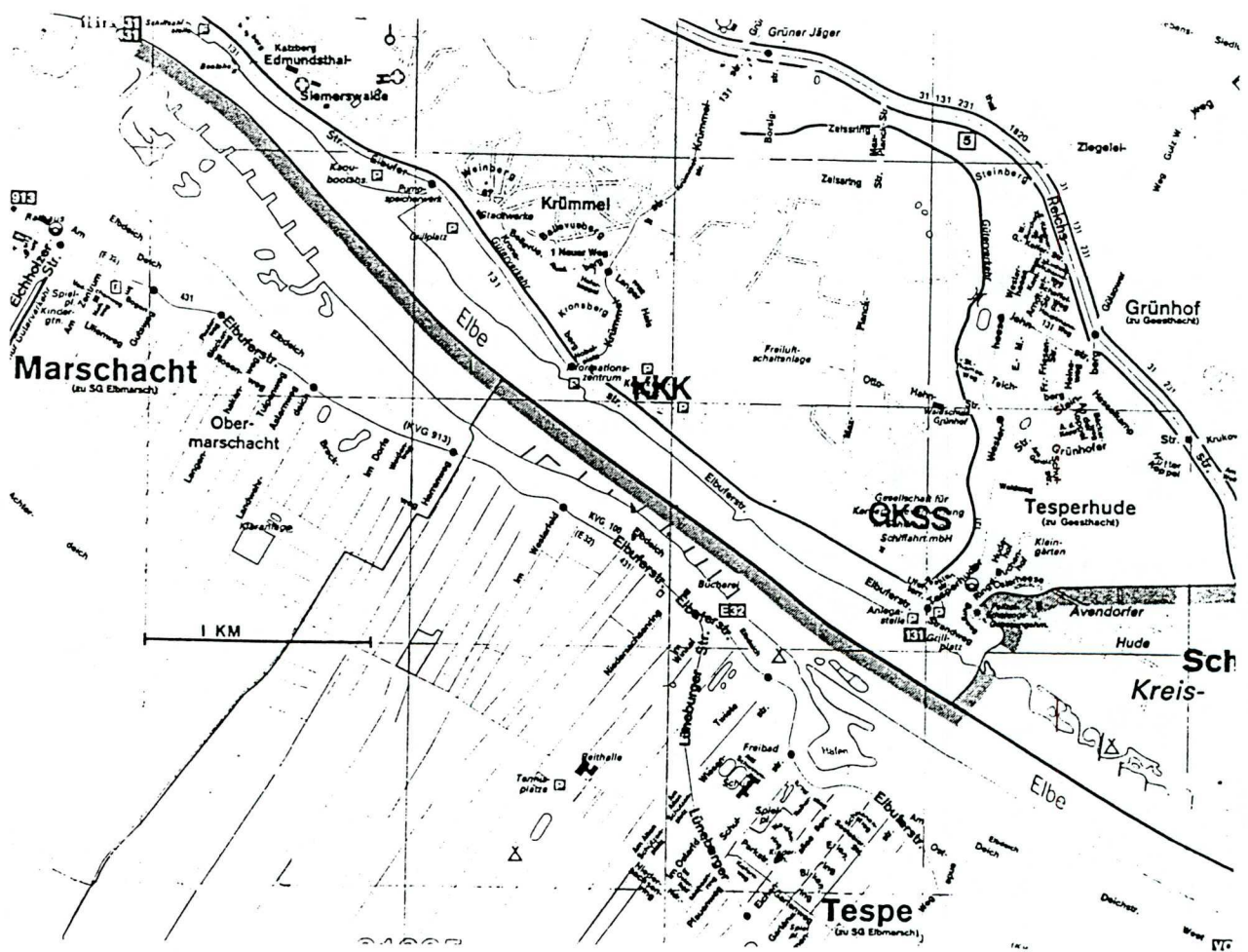
Die bis 1998 vorliegenden Erkenntnisse hatten die Schwäche, dass die in der Umgebung aufgefundenen Spalt- und Aktivierungsprodukte nicht die sehr hohe Leukämierate in der kindlichen Bevölkerung erklären konnten und dass das zugrundeliegende Freisetzungs-Szenario aus diesen Funden nicht ableitbar war.

Mit Hilfe der biologischen Dosimetrie an weißen Blutzellen wurde aber festgestellt, dass die Bevölkerung der Elbmarsch einer erheblichen Strahlenbelastung ausgesetzt war. Die Anzahl dizentrischer Chromosomen (Chromosomenaberrationen) in weißen Blutkörperchen stellt ein sehr verlässliches und empfindliches Maß für die Höhe vorangegangener Bestrahlungen dar. Bereits im Mai 1991 wurden 5 Geschwisterkinder von an Leukämie erkrankten Elbmarschkindern untersucht. Bei ihnen ergab sich eine im Mittel achtfach signifikant erhöhte Rate an



dizentrischen Chromosomen gegenüber der Rate bei unbelasteten Kindern (Da96). In einer späteren Untersuchung an einem größeren Kollektiv von 21 Erwachsenen aus der Elbmarsch, die von der 1991 gegründeten Bürgerinitiative gegen Leukämie in der Elbmarsch finanziert wurde, wurde eine vierfache Erhöhung gegenüber der unbelasteten Kontrolle festgestellt (Sc97b). Insbesondere zeigte sich ein Störungsmuster der Chromosomen, das auf eine Auslösung durch Alphastrahler hinwies.

**Abb.1** Lageplan der Samtgemeinde Elbmarsch und der kerntechnischen Anlagen bei Geesthacht: a) Kernkraftwerk Krümmel (KKK), b) GKSS-Forschungszentrum Geesthacht (Gesellschaft für Kernenergie in Schiffbau und Schifffahrt)



Es bestand daher der Verdacht, dass alphastrahlende Radionuklide wie die typischerweise in Kernreaktoren erzeugten Plutoniumisotope an den Chromosomenveränderungen beteiligt waren. Alphastrahler werden in dem vorgeschriebenen Umgebungsmessprogramm für die kerntechnischen Anlagen nicht systematisch nuklidspezifisch überwacht. Diese Stoffe führen bei Aufnahme über den Atemtrakt zu einer vergleichsweise sehr hohen Strahlenbelastung. Die routinemäßige Radioaktivitätsüberwachung bei kerntechnischen Anlagen erfasst überwiegend leicht messbare Gammastrahlung. Eine Belastung der Umwelt mit alphastrahlenden Nukliden kann sich dadurch der Routineüberwachung entziehen.

In der freien Natur unterliegen radioaktive Kontaminationen vielfältigen Einflüssen (Verdünnungs- und Auswascheffekte). Dadurch kann es schwer sein, länger zurückliegende Einträge einzelner Radionuklide aufzuspüren und zu messen. Deshalb ließ die Bürgerinitiative Messungen in abgelagertem Dachbodenstaub von Wohnhäusern der Samtgemeinde Elbmarsch durchführen – ungestört von nicht näher bekannten Witterungseinflüssen auf die Verteilung der Radionuklide. In den Dachstaubproben wurde nicht nur Plutonium sondern auch das Transuran Americium 241 auffällig erhöht gefunden, das wie Plutonium auf nicht natürliche Weise durch Neutronenbeschuss in Kernspalteinrichtungen gebildet wird (siehe unten).

Durch die Veröffentlichung der Ergebnisse der Dachstaubuntersuchungen und die in diesem Kontext ausgelöste Kampagne gegen die Autorin wurde die Arbeitsgemeinschaft Physikalische Analytik und Meßtechnik (ARGE PhAM), Weinheim, auf das Problem aufmerksam. Die Fachleute der ARGE PhAM erkannten aufgrund langjähriger Erfahrung im Umgang mit Messungen von Umweltradioaktivität sofort, dass die Kritik an den Dachstaubuntersuchungen sachlich nicht begründet war. Das Engagement der ARGE PhAM hat dann im Jahre 2001 die Aufklärungsarbeiten um die entscheidenden Schritte weitergebracht.

Strahlenbedingte Leukämie macht sich erst einige Zeit nach einer Exposition bemerkbar. Das Maximum der Erkrankungen in einem kindlichen Kollektiv tritt etwa 4-5 Jahre nach der Bestrahlung auf. Daher war in den Elbmarschbetrachtungen wegen des schlagartigen Anstiegs 1990/91 der Zeitraum um 1986 besonders verdächtig, in dem sich am 26. April der Tschernobylunfall ereignete. Im Vergleich zu Süddeutschland hatte der Reaktorunfall von Tschernobyl im Großraum Geesthacht aber nur zu einer geringfügigen Radioaktivitätserhöhung geführt.

Am 12. September 1986 gab es ein Ereignis mit Radioaktivitätsfreisetzung, mit dem sich die Leukämiekommissionen vor Jahren beschäftigten. Die Erklärung der Aufsichtsbehörde, es habe an diesem Tage eine ungewöhnliche Ansammlung von natürlicher Radioaktivität gegeben, wurde bereits von der schleswig-holsteinischen Kommission als unsinnig bezeichnet (Fa97). Die wahre Ursache konnte von ihr aber nicht ermittelt werden.

Die Untersuchungen der ARGE PhAM lassen dieses Ereignis in einem neuen Licht erscheinen.



## Aufstau natürlicher Radioaktivität am 12. Sept. 1986 – ein Lügenmärchen

- *Es gab einen Brand*
- *Es wurden Spaltprodukte freigesetzt*
- *Es erschienen Thoriumprodukte nicht natürlichen Ursprungs in der Luft*

Am 12. September 1986 wurden auf dem Gelände des Kernkraftwerks Krümmel Männer in Strahlenschutzanzügen beobachtet, die dort mit Messgeräten umgingen. Die Betreiber erklärten laut Presseberichten, der Schichtleiter habe erhöhte Strahlenwerte innerhalb der Anlage festgestellt und eine sofortige Überprüfung angeordnet. Daraufhin sei eine erhöhte Außenradioaktivität festgestellt worden, die durch die Lüftungsanlage in das KKK angesaugt wurde. Sie sei natürlichen Ursprungs gewesen. Es sei aufgrund einer Windstille und hoher Luftfeuchtigkeit an diesem Freitag zu einem Aufstau von radioaktivem Radon gekommen. Radon ist ein Edelgas, das als Folgeprodukt von Uran und Radium aus dem Boden austritt und dann normalerweise in der Atmosphäre schnell zu harmlosen Konzentrationen verdünnt wird. Radon ist schwerer als Luft.

Archiv Lüneburger Landeszeitung 16.Sept. 1986

# Höhere Strahlung gemessen

jj Krümmel. Ein Meßtrupp des Atomkraftwerks in Krümmel hat eine erhöhte radioaktive Erdstrahlung in der Umgegend des Werkes gemessen. Die höhere Verstrahlung des Isotops Radon sei aber nicht auf einen Störfall im Atomkraftwerk, sondern auf das Wetter zurückzuführen, sagt Johannis Altmeppen, Pressesprecher der Harburger Elektrizitäts-Werke, die Krümmel betreiben.

Ursache sei die hohe Luftfeuchtigkeit und die Windstille am Freitag vergangener Woche gewesen. Vor allem wegen der Windstille sei die ganz normale Radon-Verstrahlung aus der Erde nicht weggetragen worden. Im Werk hätten daraufhin die Meßinstrumente angeschlagen. „Die gemessenen Werte lagen aber weit unterhalb des Grenzwertes“, sagt Altmeppen.

Oberkreisdirektor Klaus Har-

ries, zuständig für den Katastrophenschutz, hat sich auf Grund der Meßdaten mit Bezirks- und Landesregierung in Verbindung gesetzt. Er bestätigt die Erklärung des Werks in Krümmel. Erhöhte Strahlenwerte für Radon wie in Krümmel hätten Meßtrupps also auch in anderen Landesteilen messen können, wären auch dort welche unterwegs gewesen.

Die Erklärungsversion der Betreiber wurde auch von der Aufsichtsbehörde, dem Ministerium für Finanzen und Energie in Kiel (MFE), übernommen. Laut MFE wurde in der Abluft des Kernkraftwerks, die über den 150 m hohen Kamin geht, am 12.9. ab etwa 7.00 Uhr eine Radioaktivitätserhöhung (radioaktive Aerosole) gemessen, die nach wenigen Stunden wieder auf normale Werte zurückging. Es habe sich dann herausgestellt, dass in das Kernkraftwerk aufgrund einer Inversionswetterlage eine außen aufgetretene Radioaktivität angesaugt wurde, eben das aufgestaute Radon.

Aufgrund der Untersuchungen der ARGE PhAM (Ar01a, Ar01b) wurde dieses Ereignis erneut anhand der Daten der routinemäßigen Radioaktivitätsüberwachung untersucht. Die Unterlagen der Betreiber ergeben eindeutige Evidenz für eine Freisetzung nicht natürlicher Radioaktivität.

Die Widerlegung der offiziellen Radon-These stützt sich auf folgende Sachverhalte:

- Anstieg radioaktiver Aerosole am 12.9.86 im Kernkraftwerk
- Anstieg der Betaflächenaktivität am 12.9.86 in Marschacht
- Anstieg von Spaltprodukten im Elbsediment im September 1986
- Cäsium 137-Peak im Geesthachter Trinkwasserwerk im 3. Quartal 1986
- Tritium-Peak in Jahresringen von Elbmarschbäumen
- Verlegung der KFÜ-Messstation 09 auf dem GKSS-Gelände im September 1986 wegen eines Brandes am Aufstellungsort
- Angaben der Aufsichtsbehörde im Kontext der ARGE PhAM-Befunde
- Weitere Auswirkungen der radioaktiven Wolke

#### **a) Anstieg radioaktiver Aerosole am 12.9.86 im Kernkraftwerk**

Der am Morgen des 12.9. im Kernkraftwerk beobachtete Aerosolanstieg wird von der Aufsichtsbehörde als „leicht“ charakterisiert (Mi92, Mi93). Nach Angaben des Kernkraftwerks begann er um 7.30 Uhr und endete gegen 11.30 (Ke93). Der Aerosol-Anstieg war aber offensichtlich so ungewöhnlich, dass er die beschriebenen Maßnahmen (Untersuchung der Anlage intern und außerhalb in Strahlenschutzanzügen) und eine Presseinformation auslöste.

Nach Angaben von Porstendörfer verdünnt sich das aus der Erde austretende Radongas in der Höhe merklich und seine Konzentration sinkt innerhalb von 3 m bereits auf ein Drittel ab (Po93). In 44 m Höhe (Höhe der Außenluftansaugung beim Kernkraftwerk) gab es danach eine Radonkonzentration, die etwa 14.000.000mal geringer gewesen sein muß als die Radonkonzentration am Boden. Daraus kann man ableiten, dass es zu keinem meßbaren Anstieg der Aerosolwerte in Höhe der Zuluftöffnung gekommen sein kann. Wenn der beobachtete Aerosolanstieg im Kernkraftwerk trotzdem von außen kam, so hatte er ganz sicher eine andere Ursache als einen Radonaufstau. Es muß eine Ursache vorgelegen haben, durch die Umgebungsluft in größeren Höhen kontaminiert wurde.

Die Behauptung der Aufsichtsbehörde, durch die Arbeit der Leukämiekommission sei eine umfassende Klärung des Vorfalls vom 12.9.86 erfolgt, trifft nicht zu. Vom Kernkraftwerk wurden Schreiberstreifen der Fortluft- und Raumluftmonitore vorgelegt, um zu demonstrieren, dass sich im KKK kein Störfall ereignet hatte (Ki93). Eine nuklidspezifische Analyse der gasförmigen Abgaben und der Aerosolabgaben in der fraglichen Zeit wurde jedoch nicht vorgelegt.

Die Diskussion beschränkte sich im übrigen auf den Verdacht, die entwichene Radioaktivität stamme aus dem Kernkraftwerk. Fragen an die GKSS bezüglich dieses Zeitraums erfolgten nicht.

#### **b) Anstieg der Betaflächenaktivität am 12.9.86 in Marschacht**

Laut GKSS-Jahresberichten (GK83) wurden je einmal im Jahr an ca. 50 Stellen der Umgebung mit wechselndem Datum Messungen der Gesamt-Beta-Aktivitätsflächenbelegung am Boden vorgenommen (Programmpunkt 4.5 des Betreibers). Es handelt sich um eine Kurzzeitmessung mit einem Oberflächenmonitor.

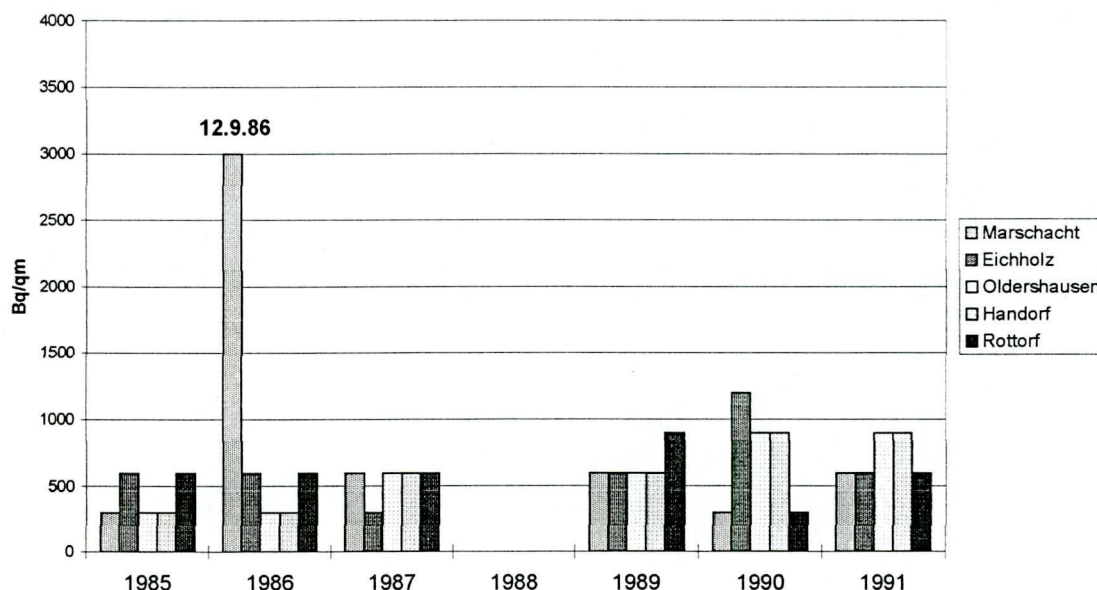


Am 12.9.86 wurden fünf solcher Messungen vorgenommen:

- 1) Messort 13.4 Obermarschacht/Dorf, 3 km westlich von der GKSS; Messung um 9.00 Uhr, Ergebnis  $3000 \text{ Bq/m}^2$ ,
- 2) Messort 12.4 Eichholz, 5,5 km süd-westlich von der GKSS, Ergebnis  $600 \text{ Bq/m}^2$
- 3) Messort 11.4 Oldershausen, 7,5 km süd-westlich von der GKSS, Ergebnis  $300 \text{ Bq/m}^2$
- 4) Messort 10.5 Handorf, 8,5 km süd-westlich von der GKSS, Ergebnis  $300 \text{ Bq/m}^2$
- 5) Messort 10.6 Rottorf, 11 km süd-westlich von der GKSS, Ergebnis  $600 \text{ Bq/m}^2$

Für den nahegelegenen Messort Obermarschacht ist an diesem Tag ein sonst an unbedecktem Erdboden nie erreichter Spitzenwert für den Zeitraum 1983-1991 dokumentiert (Betreibermessung). Nur an Kopfsteinpflaster wurden vereinzelt höhere Werte bestimmt. Im allgemeinen liegen die Werte an den Meßorten bei  $600 \text{ Bq/m}^2$ , in Obermarschacht trat also am 12.9.86 eine etwa 5-fach erhöhte Betakontamination auf, s. Abb.2.

Abb.2 enthält alle Messwerte für die 5 ausgewählten Messorte (1988 gibt es für sie keine Angaben im Jahresbericht).



**Abb.2** Gemessene Betaflächenaktivität durch GKSS an verschiedenen Stationen

Aus der im Ortsteil Obermarschacht beobachteten Flächenkonzentration, die als Neueintrag um 9.00 Uhr morgens also etwa  $2400 \text{ Bq/m}^2$  betrug, lässt sich die Luftkonzentration abschätzen, die dort geherrscht haben muss. Wir nehmen an, dass es an diesem Morgen nicht geregnet hat. Dann ist die Flächenaktivität durch trockene Ablagerung entstanden. Man geht in solchen Fällen davon aus, dass die Ablagerung pro Zeiteinheit  $\dot{A}$  in  $[\text{Bq/m}^2]$  proportional zur herrschenden Aktivitätskonzentration  $C$   $[\text{Bq/m}^3]$  in Bodennähe erfolgt, wobei die Proportionalitätskonstante die Sinkgeschwindigkeit  $v_g$  der radioaktiven Aerosole ist:

$$\dot{A} = v_g C \quad (1)$$

Die Sinkgeschwindigkeit für Aerosole wird nach (Bu92) zu  $v_g = 1,5 \cdot 10^{-3}$  m/s angesetzt. Nach KKK war die radioaktive Wolke seit 7.30 Uhr aufgetreten, so dass sie zum Zeitpunkt der Messung in Obermarschacht 1,5 Stunden lang bestanden hatte. Aus diesen Angaben errechnet sich nach Gleichung (1) eine Luftkonzentration in Obermarschacht von ca. 300 Bq pro Kubikmeter für  $\beta$ -Aerosole.

### c) Anstieg von Spaltprodukten nach dem 12.9.86 im Elbsediment bei der GKSS

Innerhalb genehmigter Grenzen dürfen von GKSS radioaktive Abwässer in die Elbe eingeleitet werden. Zu dem GKSS-Umgebungsüberwachungsprogramm gehören Radioaktivitätsbestimmungen im Elbsediment, die an drei Stellen durchgeführt werden: oberhalb der GKSS, in der Höhe der GKSS und unterhalb der Abwassereinleitstelle bei Flusskilometern 578,6; 579,1 und 579,6.

Der Betreiber (GKSS) misst dort viermal jährlich. Das im Messprogramm vorgeschriebene „unabhängige Institut“ (LUFA Kiel) misst zweimal jährlich (GK83). Die Tabellen 1a-c und die Abb.3 zeigen Cs 137 und andere Spaltprodukte im Elbsediment nach den Messungen des unabhängigen Instituts. Im Jahr 1986 wurde eine Messung am 15.5. durchgeführt - also relativ kurz nach dem Tschernobylunfall Ende April - und eine Messung am 15.9.86. In letzterer zeigt sich ein Anstieg der Spaltproduktkonzentrationen gegenüber dem verbliebenen Tschernobyleintrag um ein Mehrfaches (abgesehen von Ru 103).

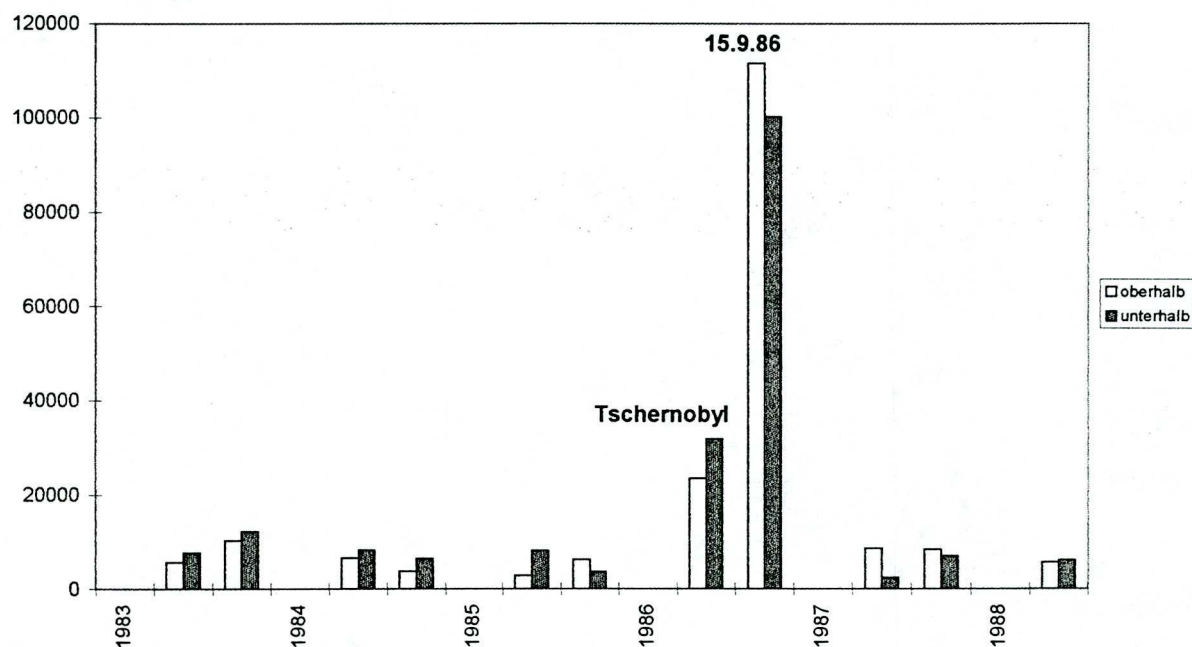
Auch die Messungen des Betreibers zeigen einen Anstieg von Spaltprodukten bei Messungen nach dem 12.9.86: Die Tabellen 1d-f enthalten die Sedimentmessungen des Betreibers (GKSS) an den gleichen Stellen aber zu anderen Zeitpunkten. Im Jahr 1986 erfolgte jeweils eine Messung ebenfalls am 15.5., dann am 21.8., die gegenüber der früheren Messung unauffällig ist, und dann erst wieder am 13.11., in der sich ein starker Anstieg von Spaltprodukten bemerkbar macht.

Maßgeblich für einen Eintrag über den Luftpfad sind die Werte **oberhalb** der GKSS-Einleitstelle, da Sedimente in Höhe der Einleitstelle und darunter durch genehmigte radioaktive Abwässer der GKSS belastet sein können.

Der am 15.9.86 und danach beobachtete Anstieg oberhalb der Einleitstelle ist zu hoch, um durch Meßwertschwankungen erklärt werden zu können. Der Anstieg kann nicht durch labor-spezifische Fehler erklärt werden, weil er sich in den Messungen des Betreibers und des unabhängigen Labors widerspiegelt. Er kann auch nicht durch unterschiedliche Speicherkapazität des Sedimentes erklärt werden, da er unterschiedliche Meßzeitpunkte im September und November betrifft und sich systematisch an den anderen Meßorten auf Höhe und unterhalb der Abwassereinleitstellen wiederholt (s. Abb.3).

Es kann sich daher nur um einen Neueintrag von Spaltprodukten über den Luftpfad handeln, der nach Tab.1d zwischen dem 21.8.86 und dem 15.9.86 erfolgte. Sie lassen sich der am 12.9.86 durch Messung dokumentierten Freisetzung von Betastrahlern widerspruchsfrei zuordnen.





**Abb.3** Spaltprodukt Cs 137 im Elbsediment bei GKSS in **mB/kg**, oberhalb GKSS-Einleitstelle und unterhalb GKSS-Einleitstelle, Messung LUFA Kiel

**Tab.1a/b** Spaltprodukte im Sediment, aus der GKSS-Umgebungsüberwachung  
 Messinstitution LUFA Kiel  
 2 Stichproben pro Jahr in Bq/kg

	Datum	Cs 137	Cs 134	Sb 125	Ru 106	Ru 103	Nb 95	Ce 144
Elbe oberhalb	1983 1.5.	5,7						
GKSS-Einleit-	1.11.	10,3						
stelle	1984 9.5.	6,6						
Strom	15.11.	3,8						
km 578,6	1985 20.6.	2,9						
	31.10.	6,3						
	1986 15.5.	23,4	10,1	<2,9	7,4	25,9	<2,2	<6,4
	15.9.	111,6	50,1	3,6	48,9	23,1	4,2	7,6
	1987 8.4.	8,6	3,2					
	20.8.	8,4	2,8					
	1988 11.4.	5,7	1,5					
	21.10.	62,8	13,5					
	1989 16.3.	13,3	2,2					
	7.9.	14,5	2,2					
	1990 23.3.	31,1	3,4					
	25.10.	39,4	4,7					
	1991 14.3.	39,2	4,3					
	15.8.	0,7	0,3					
	1992 9.4.	0,8	<0,2					
	5.11.	2,4	0,3					
Elbe bei	1983 1.5.	7,7						
GKSS-Einleit-	1.11.	12,3						
stelle	1984 9.5.	8,3						
Strom	15.11.	6,5						
km 579,1	1985 20.6.	8,2						
	31.10.	3,6						
	1986 15.5.	58,1	22,1	3,6	27,2	54,0	10,7	11,5
	15.9.	290,6	133,9	7,3	111,6	59,9	4,3	10,9
	1987 8.4.	310,3	113,2	12,1	127,5	2,6	<1,2	13,8
	20.8.	16,5	5,4	<0,8	<3,1	<0,7		<1,5
	1988 11.4.	74	20					
	21.10.	109	24,8					
	1989 16.3.	32,9	6,3					
	7.9.	128,2	22,8					
	1990 23,3	105,2	14,6					
	25.10.	95,3	10,8					
	1991 14.3.	80,5	10,8					
	15.8.	1,6	0,5					
	1992 9.4.	0,79	<0,3					
	5.11.	46	3,3					

Die leeren Felder in den Nuklidspalten bedeuten Messwerte unterhalb der Nachweisgrenze



**Tab.1c** Spaltprodukte im Sediment aus der GKSS-Umgebungsüberwachung  
 Messinstitution LUFA Kiel  
 2 Stichproben pro Jahr

in Bq/kg

	Datum	Cs 137	Cs 134	Sb 125	Ru 106	Ru 103	Nb 95	Ce 144
Elbe unterhalb	1983 1.5.	6,1						
GKSS-Einleit-	1.11.	0,5						
stelle	1984 9.5.	0,7						
Strom	15.11.	3,5						
km 579,6	1985 20.6.	2,2						
	31.10.	2,9						
	1986 15.5.	31,9	12,2	<2,4	15,0	57,3	<2,8	<5,5
	15.9.	100,2	45,8	2,9	43,5	20,2	2,2	4,7
	1987 8.4.	2,4	0,8					
	20.8.	7,0	2,1					
	1988 11.4.	6,1	1,5					
	21.10.	13,8	3,3					
	1989 16.3.	17,0	3,4					
	7.9.	9,6	1,8					
	1990 23.3.	67,1	9,8					
	25.10.	21,3	2,5					
	1991 14.3.	3,9	0,6					
	15.8.	5,7	1,4					
	1992 9.4.	0,92	<0,2					
	5.11.	3,1	0,4					

**Tab.1d/e** Spaltprodukte im Sediment aus der GKSS-Umgebungsüberwachung  
Messung durch GKSS  
4 Stichproben pro Jahr in Bq/kg

	Datum	Cs 137	Cs 134	Sb 125	Ru 106	Ru 103	Nb 95	Ce 144
Elbe oberhalb	1984 I	4,2						
GKSS-Einleit-	II	8,6						
stelle	III	4,3						
Strom	IV	10						
km 578,6	1985 28.3.	3,5						
	20.6.	1,0						
	29.8.	7,2						
	31.10.	1,8						
	1986 26.3.	<0,3	<0,2	<0,7	<2	<0,3	<0,3	<2
	15.5.	30	15	<1	15	54	0,48	<3
	21.8.	58	27	<2	29	19	10	8,4
	<b>13.11.</b>	<b>410</b>	<b>180</b>	<b>13</b>	<b>170</b>	<b>33</b>	<b>13</b>	<b>20</b>
	1987 2.4.	3,1	1,1	<2	<5	<0,6	<0,6	<3
	11.6.	2,7	0,93					
	20.8.	9,5	2,9					
	12.11.	11	3,4					
	1988 24.3.	2,2	0,55					
	15.6.	9,8	2,3					
	28.10.	35	8,2					
	1989 9.2.	8,6	1,7					
Elbe bei	1984 I	15						
GKSS-Einleit-	II	20						
stelle	III	14						
Strom	IV	11						
km 579,1	1985 28.3.	<0,7						
	20.6.	12						
	29.8.	4,0						
	31.10.	1,7						
	1986 26.3.	6,3	<0,6	<2	<6	<0,9	<0,9	<4
	15.5.	23	11	<1	9,3	27	2,4	<2
	21.8.	380	250	16	240	180	36	43
	<b>13.11.</b>	<b>750</b>	<b>320</b>	<b>21</b>	<b>300</b>	<b>53</b>	<b>26</b>	<b>42</b>
	1987 2.4.	330	130	14	140	2,5	<1	17
	11.6.	6,5	1,8	<1	<3	<0,4		<3
	20.8.	23	5,8					
	12.11.	44	13					
	1988 24.3.	67	18					
	15.6.	40	8,1					
	28.10.	180	41					
	1989 9.2.	230	49					

Die leeren Felder in den Nuklidspalten bedeuten Messwerte unterhalb der Nachweisgrenze

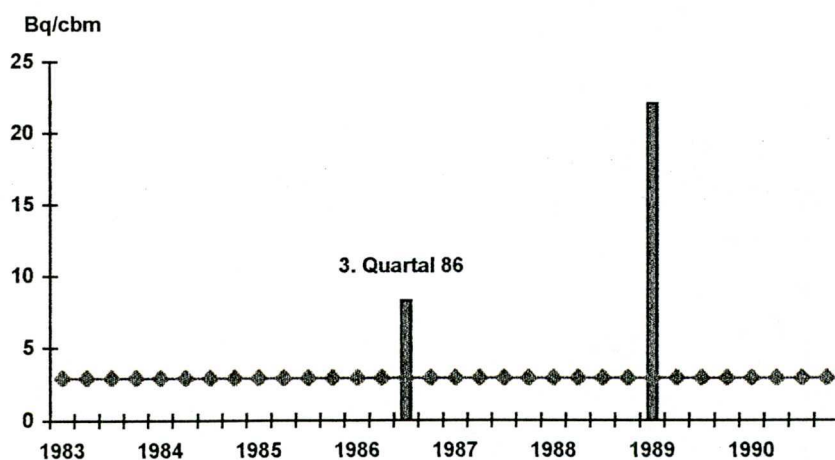


**Tab.1f** Spaltprodukte im Sediment aus der GKSS-Umgebungsüberwachung  
Messung durch GKSS  
4 Stichproben pro Jahr in Bq/kg

	Datum	Cs 137	Cs 134	Sb 125	Ru 106	Ru 103	Nb 95	Ce 144
Elbe unterhalb	1984 I	5,7						
GKSS-Einleit-	II	1,2						
stelle	III	6,3						
Strom	IV	5,9						
km 579,6	1985 28.3.	<0,5						
	20.6.	<0,4						
	29.8.	1,4						
	31.10.	1,4						
	1986 26.3.	4,4	<0,5	<1	<5	<0,7	<0,8	<2
	15.5.	29	16	<1	6,9	33	<0,6	<2
	21.8.	46	21	<1	21	13	2,1	<2
	<b>13.11.</b>	<b>41</b>	<b>17</b>	<b>&lt;1</b>	<b>12</b>	<b>2,8</b>	<b>&lt;0,5</b>	<b>&lt;2</b>
	1987 2.4.	26	0,9	<0,8	<3	<0,3		
	11.6.	3,5	1,2					
	20.8.	5,6	1,9					
	12.11.	11	3,3					
	1988 24.3.	6,1	1,5					
	15.6.	3,4	0,7					
	28.10.	6,5	1,4					
	1989 9.2.	100	19					

**d) Cs 137 im Geesthachter Trinkwasserwerk im 3. Quartal 1986**

Laut KKK-Berichten wurde im 3. Quartal 1986 das Spaltprodukt Cs 137 im Reservoir des Geesthachter Wasserwerks nachgewiesen (Ke86, Ke92), s. Abb.4.



**Abb.4** Spaltprodukt Cs 137 im Wasserwerk Geesthacht  
außer 1986 und 1989 lagen die Messwerte unterhalb der Nachweisgrenze (Linie)

Dieser Befund wurde im Rahmen der Kommissionsarbeit mehrfach diskutiert. Nachdem die Erklärung der Betreiber - Tschernobyl - zu verwerfen war, konnte es sich nur um eine luftgetragene Radioaktivität handeln, die im Zeitraum 30.Juni - 30.Sept. 1986 eingebracht worden war. Die Probennahme erfolgte am 30.9.1986, die Vormessung wurde am 30.6. durchgeführt und hatte wie auch frühere Messungen ein Ergebnis unterhalb der Nachweisgrenze ergeben.)

Herr Dr. Wolter (Aufsichtsbehörde) führte schließlich aus, dass es sich im Falle einer luftgetragenen Radioaktivität um einen „Riesen-Störfall“ gehandelt haben müsse und kam deshalb zu der Erklärung, dass eine nachträgliche Kontamination der Probe im GKSS-Labor erfolgt sei (Mi93), obwohl er dies zunächst eindeutig ausgeschlossen hatte. Das Eindampfgerät sei vorher schon bei anderen Wasserproben eingesetzt worden. Dieses ist jedoch eine nicht belegte Behauptung.

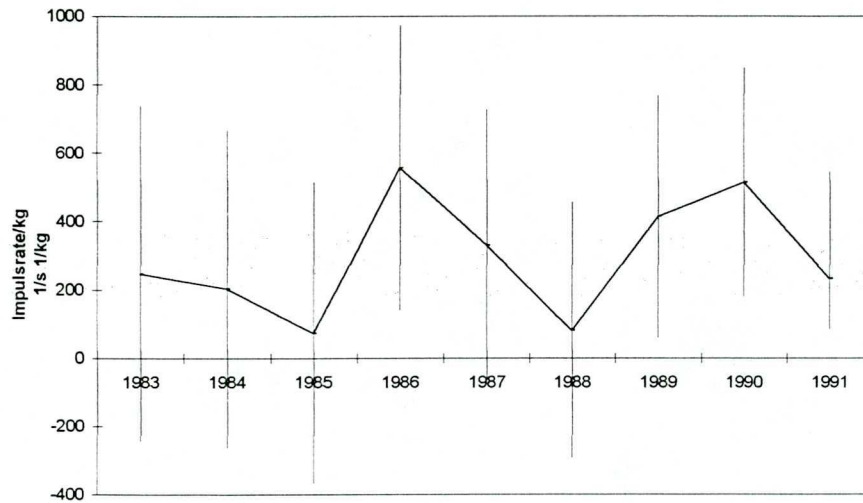
#### **e) Tritium in Jahresringen von Elbmarschbäumen**

Tritium, radioaktiver Wasserstoff, ist ein Aktivierungs- und Spaltprodukt und ein Nuklid, das zur Kernfusion verwendet wird. Es sendet eine Betastrahlung aus und hat eine Halbwertszeit von 12,3 Jahren. Da es durch Kernprozesse vor allem in der Stratosphäre ständig neu gebildet wird, kommt es auch natürlich vor. Durch die oberirdischen Atomtests bis zum Anfang der 60-er Jahre hatte Tritium in der Atmosphäre stark zugenommen und war im folgenden stetig abgesunken. Entsprechend zeigten auch die Pflanzen, die den Wasserstoff aus der Umgebung aufnehmen, einen stetigen Abfall der Tritiumkonzentration seit den 60er Jahren. Der Tschernobylunfall 1986 hat in Deutschland zu keiner messbaren Tritium-Zunahme in der Umwelt geführt.

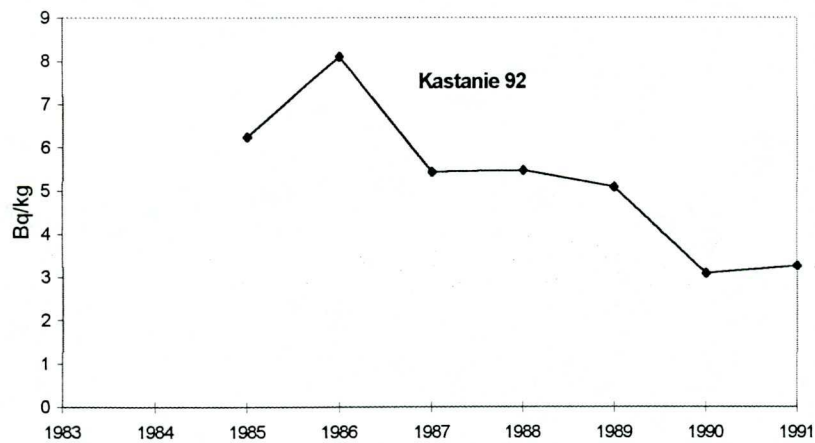
Entgegen dem normalen Verlauf ergaben Messungen in Elbmarschbäumen, die von der Aufsichtsbehörde finanziert wurden, im Vergleich zu Kontrollstandorten starke Erhöhungen der Tritiumkonzentration nach 1984 (Fa97, Sc97b). Die Ergebnisse der Untersuchung, die an verschiedenen Universitätsinstituten blind durchgeführt wurde, d.h. ohne Kenntnis der Herkunft des untersuchten Materials, bestätigten die Ergebnisse eigener Untersuchungen an Elbmarsch-Bäumen

Um den Zeitpunkt der Tritiumemission im Untersuchungsgebiet genauer einzugrenzen, wurden im folgenden verschiedene Messungen an Jahresringen von Bäumen unternommen. Dabei zeigte sich in mehreren Elbmarschbäumen ein signifikanter Anstieg von Tritium im Jahresring 1986, s. Abb.5-8. Alle Messergebnisse sind zerfallskorrigiert aufgetragen, d.h. die Aktivitäten wurden mit der Vorstellung, dass das Tritium im jeweiligen Jahr eingebaut wurde, auf ihren Anfangswert zurückberechnet.

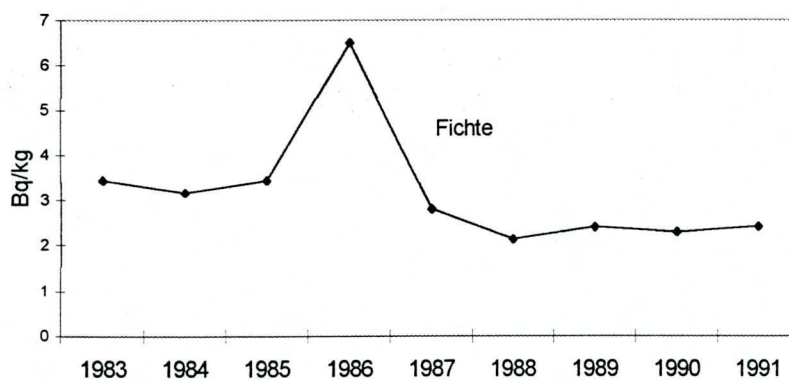




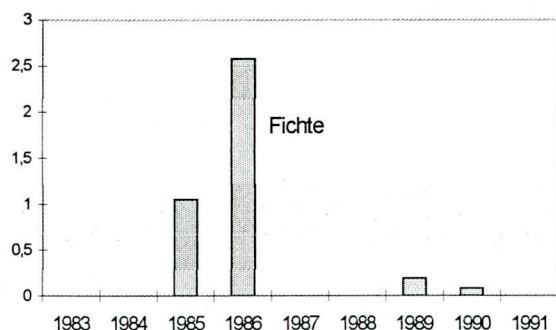
**Abb.5** Tritium in Jahresringen einer Elbmarscheiche, Universität Göttingen 1992 (Re92)



**Abb.6** Tritium in Jahresringen einer Elbmarschkastanie, ca. 600 m süd-süd westlich KKK, Messung im Auftrag der Bürgerinitiative durch ARSENAL Wien (Bu92, Zi92)



**Abb.7** Tritium in Jahresringen einer Elbmarschfichte, Probennahme 1994 durch Bezirksregierung Lüneburg, Messung Universität Bremen (Sc97b)



**Abb.8** Tritium in Jahresringen einer Fichte aus Tespe, gegenüber GKSS  
 Probennahme 1994, Messung Universität München (Sc98b)

Übereinstimmend zeigt sich ein Tritumanstieg für das Jahr 1986. Dieser ist nicht als repräsentativ für die originale Konzentration im Jahr 1986 anzusehen, da zumindest der nicht organisch gebundene Tritiumanteil durch den Stoffwechsel des Baumes wieder abgebaut wird.

Autoradiographische Untersuchungen an Baumringen aus der Elbmarsch, bei denen sich Radioaktivitätseinlagerungen als Flächenbilder darstellen, zeigten ebenfalls Anstiege für den Jahresring 1986 (Bo92, Le93, Sc97b). Man muss davon ausgehen, dass es sich um Betastrahler handelt, die um diese Zeit aufgenommen wurden.

#### **f) Verlegung der KFÜ-Messstation 09 auf dem GKSS-Gelände wg. Brand am Aufstellungsort**

Für die Aufsichtsbehörde in Kiel ist ein von den Betreibern unabhängiges Überwachungssystem der schleswig-holsteinischen Kernkraftwerke (KFÜ) installiert. In der engeren und weiteren Umgebung der Kraftwerke sind mehrere Strahlungsdetektoren angebracht, die kontinuierlich den herrschenden Strahlenpegel über die Gammadosisleistung erfassen sollen. Die Messwerte werden in die Zentrale nach Kiel geleitet und dort durch eine beauftragte Firma (ESN) verwaltet.

Der Wochentag des Radonzwischenfalls am 12.9. war ein Freitag in der 37. Woche des Jahres 1986. Die Station 3/09 der KFÜ (Lokalisation: „GKSS Tesperhude/Institut für Physik“) zeigt ab der 37. Woche einen Ausfall, s. Abb.9. In dem Bericht der Firma ESN mit Auszügen aus der Registrierung heißt es dazu:

Station 3/09	38.-49. KW	ungeplante Stationsverlegung nach Brand am ursprünglichen Aufstellungsort
--------------	------------	---

Weiterhin gibt es einen Anstieg der Messwerte in der 37. Woche bei der Station 3/25 Altenгамme Schule (10 km westlich), der mit „erhöhte Werte durch Gerätestörung“ kommentiert wird.



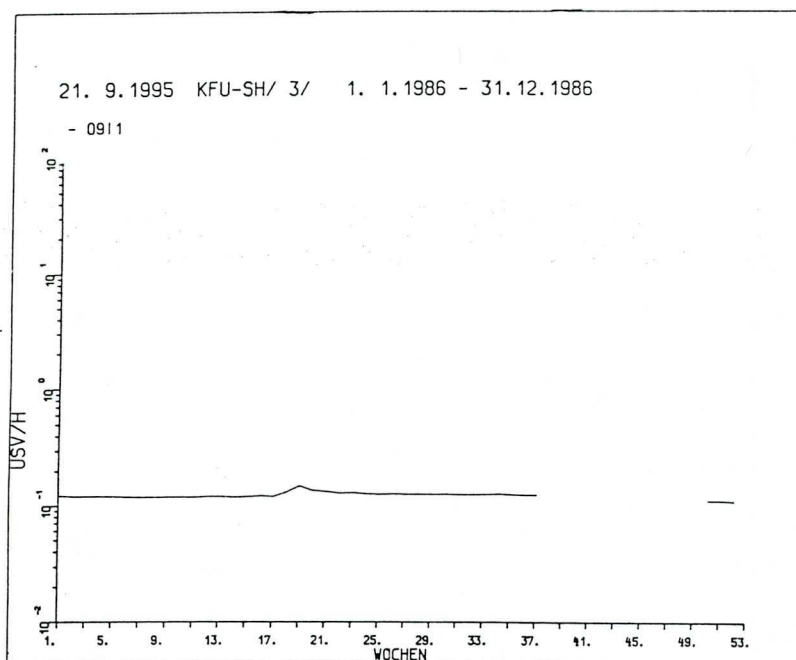


Abb.9 Auszug KKW-Fernüberwachung für Station „GKSS Tesperhude/Institut für Physik“

**g) Die Angaben der Aufsichtsbehörde im Lichte neuer Erkenntnisse durch die ARGE PhAM**

Die Aufsichtsbehörde hat in einem Schreiben vom 14.10.1992 (Mi92) folgende Angaben über die am 12.9.1986 auf dem KKK-Gelände vorgefundene Radioaktivität gemacht, die gammaspektrometrisch - also durch Messung über die nuklidspezifisch ausgesandte Gammastrahlung - ermittelt wurde:

Bi 214 (Wismut 214)	73 Bq/m <sup>3</sup>
Pb 212 (Blei 212)	63 Bq/m <sup>3</sup>
Pb 214 (Blei 214)	40 Bq/m <sup>3</sup>
Ra 224 (Radium 224)	30 Bq/m <sup>3</sup>
Tl 208 (Tallium 208)	80 Bq/m <sup>3</sup>
Summe	<u>286 Bq/m<sup>3</sup></u>

Laut ARGE PhAM geht die Kontamination von Geest und Marsch einher mit aufgefundenen Pac-Mikrosphären und zugehörigen Matrixelementen, die neben Uran als Brutstoff Thorium enthalten, ein auch in der Natur vorkommendes Element (Ar01a, Ar01b). Aus den Angaben des Energieministeriums (MFE) geht hervor, dass tatsächlich Folgeprodukte des Isotops Thorium 232 (Th 232) aufgefunden wurden, das selbst nur sehr unempfindlich mit einem Gammadetektor nachweisbar ist. Die gemessenen Konzentrationen der Einzelnuklide sind jedoch mit einer natürlichen Herkunft nicht vereinbar.

Die Messung der Betreiber soll nach MFE eine Gesamtkonzentration von natürlichem Radon und Folgeprodukten von ca. **500 Bq/m<sup>3</sup>** ergeben haben (Mi92). Die Einzelnuklidkonzentrationen sind in der Tabelle 2 neben den Folgeprodukten der prominenten natürlichen Zerfallsreihen von Uran und Thorium aufgeführt. In ihrer Summe ergeben sie nur eine Konzentration

von 286 Bq/ m<sup>3</sup>, so dass 40 % der aufgetretenen Aktivität unspezifiziert bleiben (Fehlergrenzen für die Messwerte wurden nicht angegeben). Es stellt sich die Frage, um welche Nuklide es sich dabei gehandelt hat.

Die spezifizierten Nuklide können zwar Folgeprodukte von Uran 238 und Thorium 232 sein, passen jedoch in ihrer Zusammensetzung nicht in das Aufstauszenario für Radonisotope. Radium 224 (Tab.2, Spalte 6) dürfte gar nicht vorkommen, denn es ist der fest in der Erdkruste verbleibende Mutterstoff von Radon 220. Radium wird hier jedoch zu 30 (!) Bq/m<sup>3</sup> angegeben. Die anderen gemessenen Stoffe liegen zum Teil viel zu hoch, als dass sie als Radon-Zerfallsprodukte erklärbar wären.

Normalerweise beträgt die Konzentration des Radon 222 in der bodennahen Luft in der Elbmarsch weniger als 10 Bq/m<sup>3</sup>. Seine kurzlebigen Folgeprodukte werden ständig nachgebildet und strahlen im Dauergleichgewicht mit der gleichen Aktivität. Als Feststoffe sinken sie aber zu Boden, so dass sie höchstens in einer Aktivitätskonzentration wie Radon 222 vorgefunden werden können. Eine zehnfache Überschreitung von Durchschnittswerten durch natürliche Fluktuation ist jedoch denkbar, daher bilden die Messwerte für Pb 214 und Bi 214 (Spalte 5) allein betrachtet keinen Widerspruch zu dem behaupteten Sachverhalt.

Das Radon 220 (Spalte 6) kann sich jedoch wegen seiner Kurzlebigkeit (Halbwertszeit 55 Sek.) nicht aufstauen (Po93). Seine Folgeprodukte sinken als Feststoffe ebenfalls ab und werden daher in viel geringerer Aktivitätskonzentration vorgefunden, s. Tabelle 2. Somit zeigt der gemessene Werte für Pb 212 (Spalte 10) eine etwa um den Faktor 60 zu hohe Kontamination. Der Meßwert für das weitere Folgeprodukt Tl 208 liegt mehr als das 200-fache zu hoch. Denn dieses könnte höchstens 36 % der Aktivität von Pb 212 haben, da wegen einer Verzweigung der Zerfallsreihe bei Bi 212 (Spalte 6) das Aktivitätsverhältnis Tl 208/Bi 212 im Gleichgewicht nur 36 % beträgt.

Tatsächlich steht die von der Behörde behauptete Möglichkeit der Ansammlung natürlicher Radioaktivität auch im Widerspruch zu publizierten Messdaten: Porstendörfer und Mitarbeiter haben für die tägliche Schwankung der Muttersubstanz Radon 220 in der bodennahen Außenluft bei Windstille und fehlendem Austausch nicht mehr als einen Faktor 6 an Variation gefunden (Po93).

Da Pb 212 und Tl 208 sowie das genannte Radiumisotop 224 Folgeprodukte von Thorium 232 sind und die ARGE PhAM eine Freisetzung dieses Stoffes in die Umgebung festgestellt hat, liefern die Angaben des MFE eine Bestätigung für das Szenario der Gutachter.

Nach der Kritik an der MFE-Interpretation erklärte Herr Dr. Wolter, Ra 224 sei mit Pb 214 verwechselt worden (Mi93). Dieses ist jedoch auch nicht plausibel, denn Pb 214 hat zwar wie Ra 224 eine Gammalinie im Bereich 241 keV, kann jedoch wegen zweier höherenergetischer Linien sehr genau identifiziert werden. Auch wenn eine solche Verwechslung vorgekommen wäre, so könnten die Widersprüche in bezug auf die Behauptung vom natürlichen Ursprung der Kontamination dennoch nicht aufgelöst werden.



**Tab.2** Häufigste natürliche Zerfallsreihen sowie Angaben des MFE über die auf dem Gelände des Kernkraftwerks Krümmel am 12.9.1986 gemessene Luftkonzentration von Einzelnucliden (Spalten 5 und 10)  
Gemessene Luftaktivitäten der natürlichen Reihen nach Porstendorfer (Po93), Spalten 4 und 9

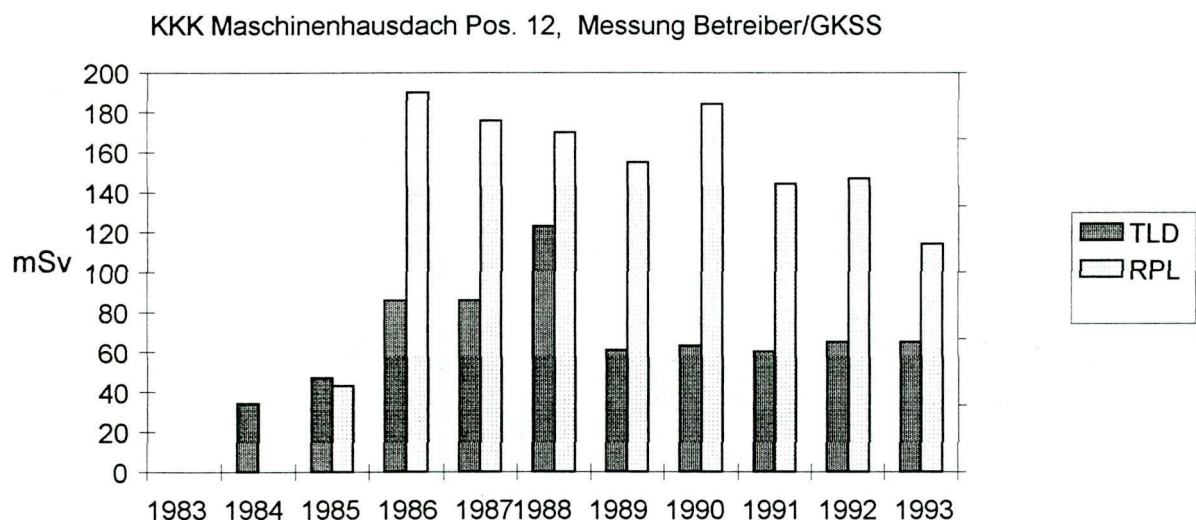
Natürliche Uranreihe 238				Natürliche Thoriumreihe 232					
Nuklid	HWZ	Strahlungsart	Aktivität Bq/m <sup>3</sup> nach Po93	Aktivität Bq/m <sup>3</sup> Messwerte nach MFE am 12.9.86	Nuklid	HWZ	Strahlungsart	Aktivität Bq/m <sup>3</sup> nach Po93	Aktivität Bq/m <sup>3</sup> Messwerte nach MFE am 12.9.86
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
U 238	4,5 10 <sup>9</sup> y	α γ			Th 232	1,4 10 <sup>10</sup> y	α γ		
Th 234	24 d	β γ			Ra 228	6,7 y	β		
Pa 234m	1,2 m	β γ			Ac 228	6,13 h	β γ		
U 234	2,5 10 <sup>5</sup> y	α γ			Th 228	1,9 y	α γ		
Th 230	8,0 10 <sup>4</sup> y	α γ			Ra 224	3,64 d	α γ		30
Ra 226	1622 y	α γ							
<b>Rn 222</b>	3,8 d	α	5 - 50		<b>Rn 220</b>	55 s	α	1 - 200	
Po 218	3,05 m	α	1 - 50		Po 216	0,16 s	α		
Pb 214	26,8 m	β γ	1 - 50	40	Pb 212	10,6 h	β α	0,02-1	63
Bi 214	19,7 m	β	1 - 50	73	Bi 212	60,5 m	β, γ, α	0,01-0,7	
Po 214	1,64 10 <sup>-4</sup> s	α	1 - 50		Po 212	3,04 10 <sup>-7</sup> s	α		
Tl 210	1,3 m	β γ			Tl 208	3,1 m	β γ	< 0,3*	80
Pb 210	22 y	β γ	≤ 10 <sup>-3</sup>		Pb 208	stabil			
Bi 210	5,0 d	β							
Po 210	138 d	α	≤ 0,3 10 <sup>-3</sup>						
Tl 206	4,2 m	β							
Pb 206	stabil								

HWZ Halbwertszeit y Jahre d Tage h Stunden m Minuten s Sekunden  
\*) wegen einer Verzweigung der Zerfallsreihe bei Bi 212 ist die Aktivität von Tl 208 im Gleichgewicht geringer als für Bi 212

#### h) Weitere Auswirkungen der radioaktiven Wolke

Die Betreiber der kerntechnischen Anlagen KKK und GKSS haben auf dem 50 m hohen Maschinenhausdach des Kernkraftwerks ab 1986 an einer Messstelle Nr. 12 eine sehr hohe Jahresdosis mit Festkörperdosimetern gemessen (Abb.10). Dieser Befund war Gegenstand von Diskussionen in den Kommissionen (Hi96) und seine Entstehung blieb ungeklärt, da er nur durch eine unkontrollierte Radioaktivitätsfreisetzung entstanden sein kann.

Die Behauptung der Aufsichtsbehörde, die gemessenen Jahresdosen von fast 200 mSv seien ganz normal und kämen bei anderen Kernkraftwerken auch vor, läßt sich leicht widerlegen (Sc00a), da diese Dosen an sehr weit entfernten Stellen von der Hochdruckturbine entstanden sind, die als die Hauptstrahlenquelle für das Maschinenhaus gilt. Es konnte gezeigt werden, dass die Messwerte keinen Zusammenhang mit der Strahlung der Hochdruckturbine haben (wie es beim Kernkraftwerk Brunsbüttel der Fall ist) und dass sie etwa 15-fach höher liegen, als nach Messungen des TÜV Nord im Maschinenhaus des KKK zu erwarten wäre (TÜ94).



**Abb.10** Jahresmesswerte durch Festkörperdosimeter nach dem Prinzip der Thermolumineszenz (TLD) und mit Phosphatglas (RPL)

GKSS verwendet für diese Messungen Phosphatglas-, KKK verwendet Thermolumineszenzdosimeter (GK83, Ke83). Die Phosphatglasdosimeter (RPL) zeigen ab 1986 eine sehr viel höhere Dosis an als die Thermolumineszenzdosimeter (TLD), bis zu einem Faktor 3. Dieses ist nur durch den Einfluß einer starken  $\beta$ -Strahlungskomponente zu verstehen (durch das größere Absorptionsvolumen der RPL wird ein größeres Signal erzeugt).

Eine  $\beta$ -Strahlung kann aber wegen ihrer geringen Reichweite in Materie die Maschinenhauswände nicht durchdringen. Die  $\beta$ -Strahlung muß also von außen das Maschinenhaus kontaminiert haben. Damit wird angezeigt, dass 1986 eine massive Außenradioaktivität auftrat, die sich auf dem Maschinenhaus niederschlug und in den folgenden Jahren weiter hohe Dosen erzeugte.

Aus dieser Dosismessung läßt sich (grob) die Flächenkontamination mit Betastrahlern abschätzen und daraus die Außenkonzentration der radioaktiven Aerosole. In (Bu89a) wird ein Zusammenhang zwischen Betaflächenkontamination und dadurch erzeugte Dosisleistung an-



gegeben, wenn es sich um Spaltprodukte handelt, wonach durch  $40.000 \text{ Bq/cm}^2$  in etwa 1 Sv pro Tag erzeugt werden.

Wenn man wiederum annimmt, dass die Maschinenhausdosis erzeugt wurde durch eine trockene Ablagerung der Nuklide, die am 12.9.86 für 4 Stunden außen auftraten, und ansetzt, dass etwa 180 mSv im Anfangsjahr 1986 durch die Flächenkontamination erzeugt wurden, ergibt sich dadurch eine

Konzentration in der radioaktiven Wolke von  $9.000 \text{ Bq/m}^3$  an Betastrahlern

### Plutonium und Americium in der Umwelt

- *Fern von kerntechnischen Anlagen entstammen sie fast ausschließlich dem Atombombenfallout der 50er und 60er Jahre*
- *Die Zusammensetzung der Plutonium- und Americiumisotope im Bombenfallout ist bekannt*

Das Transuran-Element Plutonium kommt in der Natur nicht vor. Plutoniumisotope mit den Massenzahlen 238 bis 241 entstehen bei Atombombenexplosionen und im Kernreaktor durch Beschuß von Urankernen und anderen „Brutprodukten“ mit Neutronen. Weitere sog. Transurane, die ebenfalls durch Kernumwandlungen nach Neutronenbeschuss gebildet werden, sind Neptunium (Np), Americium (Am) und Curium (Cm). Alle diese Produkte sind radioaktiv und kommen auch in der Natur nicht vor. Die meisten haben sehr lange Halbwertszeiten und senden Alphastrahlen aus.

Bis heute sind in der Umwelt noch Konzentrationen von Plutonium und Americium messbar, die auf oberirdische Atombombentests bis zum Teststoppabkommen 1963 zurückgehen. Von der Kieler Aufsichtsbehörde wird behauptet, das in der Umgebung von KKK und GKSS aufgefundene Plutonium sei normale Hintergrundbelastung. Der Strahlung von den Atombombentests liegt jedoch eine ganz spezifische Zusammensetzung der verschiedenen Isotope zugrunde, die sich von Einträgen aus anderen Quellen unterscheidet. Je genauer man daher die Anteile der Plutoniumisotope und der anderen Transurane bestimmt, desto sicherer lässt sich die Herkunft ableiten.

Der Tschernobyl-Unfall 1986 hat in Deutschland zu einer vergleichsweise unerheblichen Ablagerung von Transuranen geführt (Bu87).

Identifizierung und Zuordnung ionisierender Strahlung sind messtechnisch am einfachsten für Radionuklide, die eine Gammastrahlung aussenden. Bei solchen Nukliden ist keine chemische Aufbereitung und Abtrennung der Stoffe aus dem Probenmaterial erforderlich. Die genannten Plutoniumisotope und die meisten anderen Transurane senden jedoch keine Gammastrahlung aus. Sie erfordern daher aufwendige radiochemische Analysemethoden.

In dem vorgeschriebenen Überwachungsprogramm für die Umgebung kerntechnischer Anlagen sind deshalb nuklidspezifische Messungen von Plutoniumisotopen und anderen Transuranen nicht vorgesehen.

Im Zusammenhang mit der Leukämieursachforschung hat die Aufsichtsbehörde Angaben über gemessene Plutonium- und Americiumgehalte von 4 Dächern in Deutschland gemacht, wovon zwei aus Nord- und zwei aus Süddeutschland stammen, siehe Tabelle 3 (Bu98, TÜ98).

Tabelle 3 zeigt, dass in reaktorfernen Gegenden (wozu München wegen des Forschungsreaktors Garching nicht unbedingt gehört) Am 241-Gehalte von Dachstaub unterhalb von 1 Bq/kg erwartet werden können.

**Tab.3** Plutoniumisotope und Americium 241 in Dachbodenstaub von 1998  
in Bq/kg, Messungen durch  
BSH Bundesamt für Seeschifffahrt und Hydrographie,  
TÜV Energie und Systeme, München

Probenort	Pu 238	Pu 239/240	Am 241	Cs 137	Labor
20 J. alter Heuboden bei Itzehoe	0,007	0,173	0,084	50,1	BSH
Haus von 1995 in Wedel/Holstein	<0,003	0,056	0,025	5,0	BSH
Dachboden in München			0,81		TÜV
Dachboden bei Bad Wörishofen			0,52		TÜV

#### **Plutonium- und Americiumgehalte von Dachbodenstaub der Samtgemeinde Elbmarsch (1996/1997)**

- *Trotz kleiner Stichprobe zeigt sich eine ungewöhnliche Kontamination*
- *Die Zusammensetzung der Transurane spricht gegen Bombenfallout*

In den Jahren 1996/97 wurde abgelagerter Staub von Dachböden verschiedener älterer Elbmarschhäuser zu Analysezwecken entnommen. In einer screeningmäßigen Voruntersuchung an den Universitäten Bremen und Oldenburg wurde der Staub gammaspektrometrisch untersucht. Auf diese Weise kann das Transuran Americium 241 erkannt werden. In über der Hälfte der 12 Probedächer zeigte sich Am 241 oberhalb der Nachweisgrenze, während es sich in 5 Kontrollhäusern in anderen Gegenden Norddeutschlands nicht nachweisen ließ (Sc98c).

Zusätzlich wurden einzelne Plutoniumanalysen durchgeführt. Die Plutoniumgehalte lagen im Vergleich zu den Am 241-Gehalten zu niedrig, um als Eintrag durch Bombenfallout erklärbar zu sein. Die Ergebnisse wurden als „lokaler Eintrag“ interpretiert. Diese Schlussfolgerung wurde von verschiedenen Vertretern des behördlichen Strahlenschutzes von Bund und Ländern scharf zurückgewiesen, zumeist mit der Begründung, es handele sich um Bombenfallout. Dietze von der Physikalisch-Technischen Bundesanstalt (PTB) Braunschweig vertrat im Gegensatz dazu die Ansicht, das gemessene Plutonium sei überwiegend auf Tschernobyl zurückzuführen (Ph98). Letzteres stand im Widerspruch zu Angaben der deutschen Strahlenschutzkommission (Beraterin des Bundesumweltministers), wonach durch den Reaktorunfall von Tschernobyl keine nennenswerten Plutoniuminträge in Deutschland entstanden sind.

Die meisten Am 241-Messwerte der Elbmarschproben lagen nur wenig oberhalb der Nachweisgrenze. Daher wurden 1999 genauere Messungen durchgeführt, bei denen auch das Plu-



oniumisotop 241 bestimmt wurde, aus dem Am 241 - nach Betazerfall - entsteht. Die Untersuchungen wurden am Henryk Niewodniczanski-Institut für Kernphysik in Krakau durchgeführt. Das Labor ist mit diesen Spezifikationen in der internationalen Literatur ausgewiesen und nimmt zur Qualitätssicherung an Ringversuchen der Internationalen Atomenergie-Organisation teil.

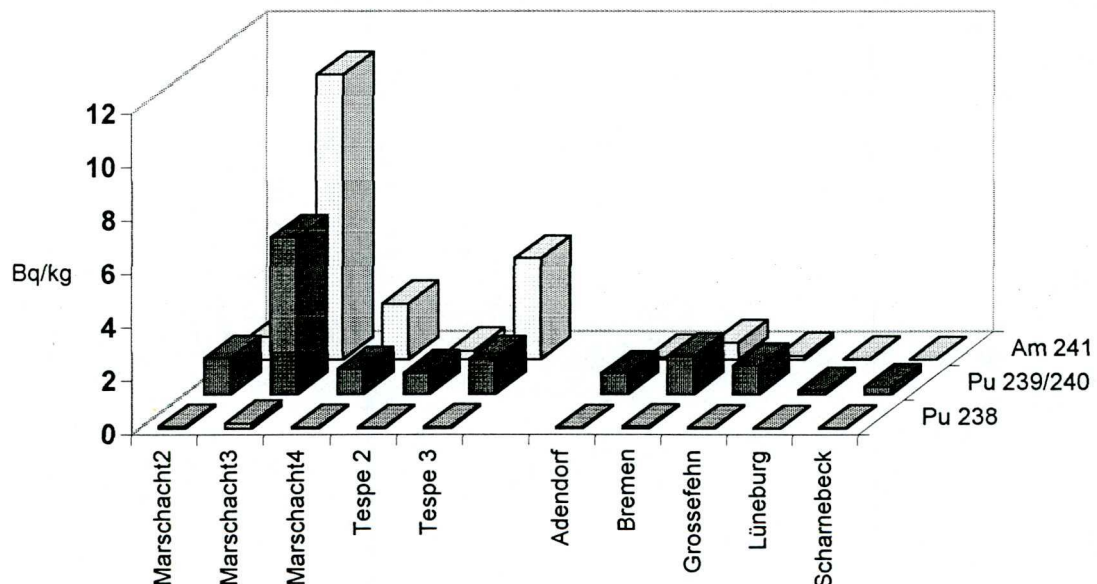
Die Pu 241-Konzentration lag in den Elbmarschproben im Mittel 2,6-fach höher als in den Kontrollhäusern und erreichte einen Spitzenwert von 15,3 Bq/kg in der Probe „Marschacht 3“. Die übrigen Ergebnisse sind in Abb.11 dargestellt:

**Abb.11** Alphastrahlende Transurane in Dachbodenstaub 1998

Meßwerte Krakau

Links: Elbmarsch

Rechts: Vergleichsorte



### Elbmarsch

Die Ortsteile Marschacht und Tespe der Samtgemeinde Elbmarsch sind am südlichen, niedersächsischen Elbufer direkt gegenüber dem Kernkraftwerk Krümmel und der Kernforschungsanlage GKSS mit einer Entfernung zu den Anlagen von bis zu vier Kilometern gelegen (s. Abb.1).

### Vergleichsorte

Außer von den weit entfernten Regionen Bremen (Haus Baujahr 1957) und Grossefehn bei Aurich (Staubalter ca. 10 Jahre) wurde zu Vergleichszwecken Dachbodenstaub aus näher gelegenen Orten gemessen. Der Staub aus Adendorf bei Lüneburg (ca. 14 km entfernt von Krümmel) stammt aus dem Zeitraum nach 1992. Lüneburg (Haus Baujahr 1963) liegt ca. 20

km entfernt und Scharnebeck bei Lüneburg ca. 14 km. Das Alter des Staubes aus Scharnebeck ist nicht bekannt.

In den 5 Elbmarschproben wurde für **Am 241** eine im Durchschnitt 19-fach höhere Konzentration bestimmt als in den Kontrollen (Abb.11). Letztere erreichten in keinem Einzelfall einen Wert oberhalb von 1 Bq/kg, wie auch die oben von der Aufsichtsbehörde genannten 4 weiteren Dachbodenstäube aus München und Itzehoe nicht (Tab.3).

Es bestätigte sich somit die ungewöhnlich hohe Am 241-Kontamination in der Elbmarsch, die von uns als „lokaler Eintrag“ interpretiert worden war. Sie zeigt sich in den Häusern Marschacht 3 und 4 sowie Tespe 3 (Abb.11). Marschacht und Tespe sind auch die Ortsteile der Samtgemeinde Elbmarsch, in denen die meisten Leukämiefälle aufgetreten sind (Sc97a, Sc98a).

Die Abweichung von normalen Verhältnissen zeigt sich bei den gemessenen Transuranen durch ihre Zusammensetzung. Tabelle 4 zeigt verschiedene Nuklidverhältnisse im Vergleich zu Erwartungswerten auf der Basis von Literaturangaben über normale Hintergrundstrahlung. Während die Verhältnisse der Plutoniumisotope in den Spalten 2 und 3 auch für die Elbmarsch unauffällig sind, zeigen die Verhältnisse in Spalte 4 und Spalte 5 starke Abweichungen für die Elbmarsch gegenüber den Erwartungswerten und Kontrollwerten wiederum bei den Häusern Marschacht 3, Marschacht 4 und Tespe 3, wo sie um den Faktor 3-15 höher liegen. Diese Größenunterschiede sind durch Meßfehler nicht erklärbar, sondern sind eine Folge des überhöhten Eintrages von Am 241.

**Tab.4** Verhältnis der Transurane in den Dachstaubproben im Vergleich zu Erwartungswerten durch Bombenfallout im Jahr 1999

Probe	$\frac{Pu238}{Pu239 / 240}$	$\frac{Pu241}{Pu239 / 240}$	$\frac{Am241}{Pu241}$	$\frac{Am241}{Pu239 / 240}$
erwartet bei Bombenfallout	<b>0.03-0.04</b>	<b>ca. 2</b>	<b>0.1-0.2</b>	<b>0.3-0.4</b>
<b>Elbmarsch</b>				
Marschacht 2	0.054	3.4	0.20	0.66
Marschacht 3	0.032	2.6	0.70	1.8
Marschacht 4	0.049	2.7	0.84	2.3
Tespe 2	0.053	4.6	0.09	0.43
Tespe 3	0.049	1.9	1.5	2.9
Mittelwert	0.040	2.8	0.67	<b>1.8</b>
<b>Kontrollorte</b>				
Adendorf	0.053	3.6	0.04	0.13
Bremen	0.054	1.8	0.25	0.46
Grossefehn	0.036	2.2	0.07	0.15
Lüneburg	0.021	<0.7	n.b.*	<0.2
Scharnebeck	0.082	11.4	<0.003	<0.04
Mittelwert	0.049	3.0		<b>0.26</b>

\*) nicht berechenbar



## Ergebnisse der Dachstaubuntersuchung der Aufsichtsbehörde

- *Es wird zu viel Pu 241 gefunden*
- *Die Erklärung durch einen Tschernobylbeitrag führt zu Widersprüchen*

Vom schleswig-holsteinischen Ministerium für Finanzen und Energie (MFE) wurde ebenfalls eine Untersuchung an Dachbodenstaub aus Elbmarsch und von Kontrollorten veranlasst (Mi00). Sie behauptet, dadurch sei die Hypothese eines lokalen Eintrags widerlegt. Ihr Argument ist, dass sich in ihrer Untersuchung die Ergebnisse von Elbmarsch- und Kontrollproben nicht signifikant unterscheiden.

Die gemessenen Plutonium 241-Gehalte sind jedoch so hoch, dass eine Erklärung durch Bombenfallout nicht möglich ist. Dieses Nuklid hat nur eine Halbwertszeit von 14,4 Jahren. Die Aufsichtsbehörde kommt zu dem Schluss, dass es sich um eine Mischung aus vormaligem Bombenfallout und einem „geringfügigen“ Beitrag von Tschernobyl handele. Es fällt auf, dass das beteiligte Universitätslabor jede bewertende Stellungnahme in dem Messbericht vermeidet.

Tabelle 5 enthält alle Ergebnisse der Kieler Untersuchung, in denen Pu 241 über der Nachweisgrenze gefunden wurde, dieses war bei 11 Häusern der Fall. Das im Bombenfallout zu erwartende Isotopenverhältnis Pu 241/Pu 239 im Jahr 1999 wird von der Aufsichtsbehörde korrekt mit  $3,6 \pm 0,7$  angegeben. Die gemessenen Verhältnisse liegen mit 10,2-44,8 aber sehr viel höher (Spalte 4 in Tabelle 5). Der Überschuss an Pu 241 soll also durch Tschernobylfallout erklärt werden.

Der Tschernobyl-Beitrag in den Proben kann aber rechnerisch ermittelt werden. Anhand des Isotops Pu 239 (Spalte 2) ergibt sich mit dem angegebenen Verhältnis von 3,6, dass das zugehörige Pu 241 aus dem Bombenfallout um den Faktor 3,6 größer sein muss (Spalte 5). Der Rest an Pu 241 wäre dann laut Aufsichtsbehörde dem Reaktorunfall von Tschernobyl zuzuordnen (Spalte 7). Diese Reste betragen im Mittel etwa 75 % vom gesamten Pu 241. Danach müsste in der Kieler Serie etwa 75 % des gesamten Pu 241 aus tschernobylbedingten Einträgen resultieren.

Das ist jedoch keineswegs möglich: Nach Messungen der Gesellschaft für Strahlen- und Umweltforschung Ende der achtziger Jahre im Raum München wurde gegenüber dem Bombenfallout der Eintrag an Pu 241 durch Tschernobyl nur um 0,4 % erhöht (Bu89b). Diese zusätzlich zu erwartenden 0,4 % in den Kieler Proben sind in Spalte 6 eingetragen, womit - im Vergleich mit den gemessenen Werten (Spalte 7) - ein Faktor von etwa 800 unerklärt bleibt. Der Autor der Aufsichtsbehörde berichtet, dass für die Beprobung nur solche Dächer ausgesucht wurden, die seit 1958 unverändert blieben, so dass auch Bombenfallout gespeichert wurde.

**Die Interpretation der Aufsichtsbehörde von Ergebnissen eigener Dachbodenstaubuntersuchungen ist somit abwegig, denn sie steht im Widerspruch zu den publizierten Messergebnissen über die Tschernobylkontamination in Deutschland.** Wie Pflugbeil gezeigt hat, spricht auch der Anteil des gemessenen Cs 137 in der Kieler Untersuchung gegen die behauptete Zusammensetzung aus Bomben- und Tschernobylfallout (Pf00).

Die Nuklide Pu 238 und Am 241 wurden - entgegen der Ankündigung des MFE - in der Untersuchung der Aufsichtsbehörde gar nicht bzw. nicht mit ausreichender Genauigkeit bestimmt. Gerade diese Nuklide wären für eine Herkunftsanalyse aber besonders aussagekräftig gewesen.

**Tab. 5** Messwerte mit nachgewiesenem Pu 241-Anteil in der Kieler Serie  
im Vergleich zu Pu 239 (bezogen auf Trockenmasse)

1	2	3	4	5	6	7
Probe	Pu 239 Bq/kg	Pu 241 Bq/kg	<u>Pu 241</u> Pu 239	Anteil Pu 241 Bq/kg		
				Bomben realistisch	Tschernobyl realistisch	„Tschernobyl“ gemessen
4/Tespe 1	0,52	5,8	11,1	1,9	<b>0,0008</b>	3,9
7/Tespe 2	1,44	23,7	16,5	5,2	<b>0,021</b>	18,5
20/Tespe3	0,23	10,3	44,8	0,8	<b>0,003</b>	9,5
14/Tesperhude 2	0,88	9,0	10,2	3,2	<b>0,013</b>	5,8
1/Bergenhusen 1	1,59	26,4	16,6	5,7	<b>0,023</b>	20,7
15/Kating 1	0,82	9,8	12,0	3,0	<b>0,012</b>	6,8
18/Steinberg	0,26	6,3	24,2	0,9	<b>0,004</b>	5,4
21/Kating 4	0,69	12,4	18,0	2,5	<b>0,01</b>	9,9
24/Kropp 3	0,88	10,6	12,0	3,2	<b>0,013</b>	7,4
5/Grabensee	0,73	10,3	14,1	2,6	<b>0,010</b>	7,7
13/Selent 2	0,13	4,8	36,9	0,5	<b>0,002</b>	4,3
Mittel	0,74	11,8	19,7	2,7	<b>0,011</b>	9,1

### Strontium 90 in Dachbodenstaub aus der Elbmarsch

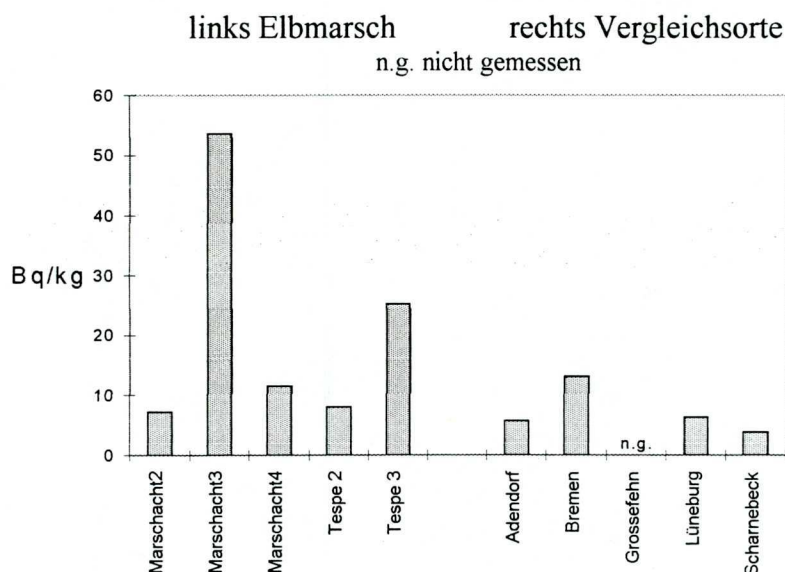
- Die Transurane werden von Spaltprodukten begleitet

In früheren Analysen der Umweltberichte der kerntechnischen Anlagen KKK und GKSS hatte sich neben erhöhten Konzentrationen des Spaltprodukts Cs 137 auch Einträge des Spaltprodukts Strontium 90 (Sr 90) gezeigt, die nicht durch die übliche Umweltkontamination erklärbar sind (Sc96, Sc98a).

Da Sr 90 ein knochensuchendes und damit leukämierelevantes Radionuklid ist, das bei Inkorporation eine wesentlich höhere Dosis liefert als Cs 137, wurde der Dachstaub aus der Elbmarsch von dem Krakauer Labor ebenfalls auf Sr 90 untersucht (Sc00b). Die Ergebnisse sind in Abb. 12 dargestellt.



Abb.12 Sr 90 in Dachbodenstaub 1998

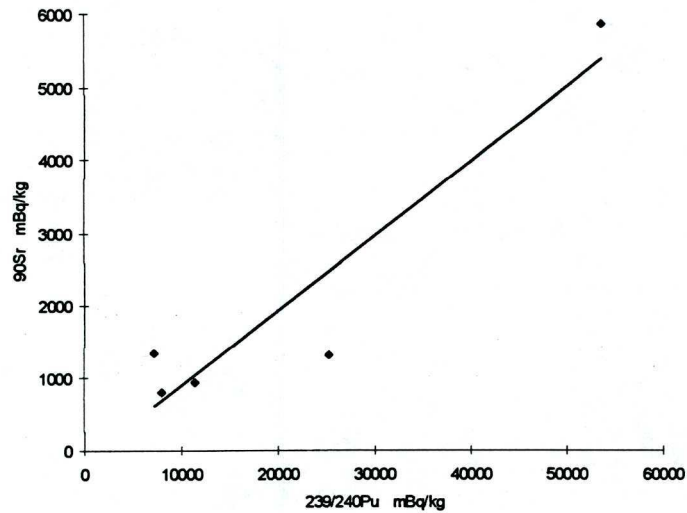
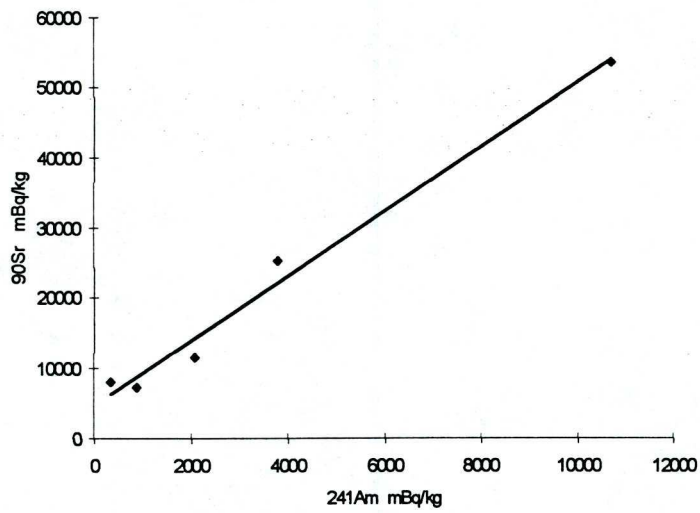


Sr 90 war ebenfalls durch die oberirdischen Atombombentests in die Umwelt gelangt, der Tschernobylunfall hat demgegenüber in Deutschland nur zu einer geringfügigen Erhöhung von etwa 5 % geführt (Bu87).

Bei den Dachstaubmessungen zeigt sich, dass die Sr 90-Konzentration in den Elbmarschhäusern sehr gut mit der Am 241-Konzentration korreliert, s. Abb.13a. Eine vergleichbare Korrelation zu Pu 239/240-Gehalten besteht nicht (Abb.13b). Daraus resultiert, dass der erhöhte Am 241-Eintrag in den Elbmarschhäusern mit einem Eintrag von Sr 90 einherging.

**Die Dachstaubmessungen geben daher einen Hinweis darauf, dass die im Dachstaub angezeigte Freisetzung der Kernbrennstoffe und Transurane in die Elbmarsch von Spaltprodukten begleitet war.**

Abb.13 a) Zusammenhang zwischen Sr 90 und Am 241 in den Elbmarschproben  
b) Zusammenhang zwischen Sr 90 und Pu 239/240 in den Elbmarschproben





## Aufklärungsarbeit der Gutachtergruppe ARGE PhAM

- *Abstandsgradienten bei der Radioaktivitätskonzentration weisen auf die Atomanlagen hin*
- *ARGE PhAM findet Mikrokügelchen aus Pac-Kernbrennstoff*

Die Arbeitsgemeinschaft Physikalische Analytik und Meßtechnik (ARGE PhAM) beteiligt sich seit Ende des Jahres 2000 an der Begutachtung des Elbmarschproblems, nachdem die Aufsichtsbehörde die Ergebnisse ihrer eigenen Dachstaubuntersuchung veröffentlicht hatte (Mi00). In einer ersten Stellungnahme bewertete ARGE PhAM die bis dahin vorliegenden Messungen von Transuranen und die damit im Zusammenhang aufgefundenen Spalt- und Aktivierungsprodukte (Ar00).

Die Gutachter widersprachen der Behauptung des Kieler Ministeriums, dass sich der Einfluss einer kerntechnischen Anlage auf die Radioaktivität in der Elbmarsch nicht nachweisen lasse. Sie wiesen darauf hin, dass sich der Emittent einer Kontamination anhand von Abstandsgradienten bestimmen lässt. Unter Verwendung der Messdaten beider Dachstaubuntersuchungen zeigten sie auf, dass die Konzentration der Plutoniumisotope Pu 239/240 und Pu 241 sowie von Am 241 und Cs 137 bei Annäherung an die kerntechnischen Anlagen (KKK oder GKSS) deutlich zunimmt, wobei der Anstieg für das relativ kurzlebige Isotop Pu 241 (14,4 Jahre) besonders hoch ist.

Eine ähnliche Bewertung der Messdaten unter Verwendung von Abstandsgradienten hatte bereits Herr Dr. Csicsaky (Niedersächsisches Ministerium für Frauen Arbeit und Soziales) vorgenommen (Cs00).

ARGE PhAM widersprach weiterhin der Behauptung der Aufsichtsbehörde, das gemessene Plutonium stamme überwiegend aus Atomwaffen-Fallout mit Beimengungen aus Tschernobyl. Sie wiesen nach, dass sich dieses aus dem Verhältnis der Plutoniumisotope untereinander in der Kieler Messserie nicht ableiten lässt.

### a) Bestimmung von Abstandsgradienten

Da die Erstellung von geeigneten Abstandsmessungen um die Anlagen zur genaueren Ortung der Radioaktivitätsquellen bislang versäumt worden war, führte ARGE PhAM im folgenden ein Messprogramm unter Erfassung der alpha-, beta- und gammastrahlenden Bodenaktivität durch (Ar01a).

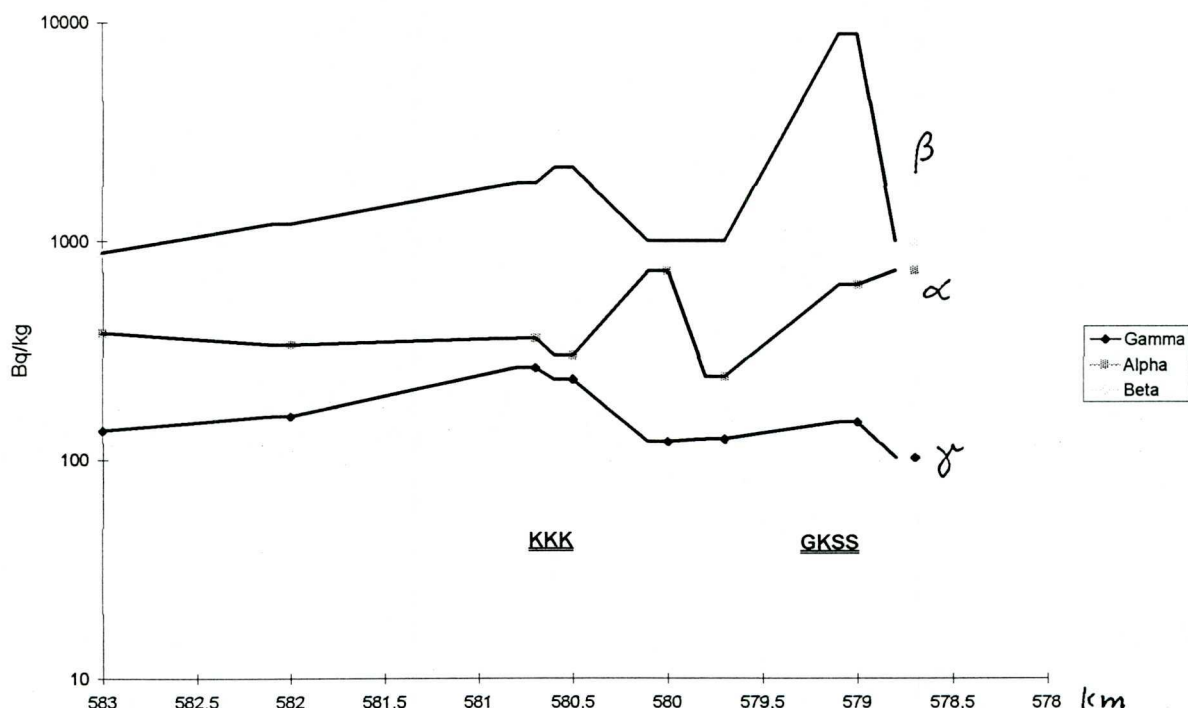
Mit einem einfachen orientierenden Messverfahren wurden die Gesamtalpha-, Beta- und Gammastrahlung von Bodenproben an beiden Seiten der Elbe an 42 Meßpunkten bestimmt. Zur Erfassung lange zurückliegender Kontaminationen (mindestens 15 Jahre) wurden Zonen ohne Erdbewegung (unterhalb von größeren Bäumen) ausgesucht, die zudem außerhalb des Hochwassereinflusses lagen. Die oberste Bodenschicht wurde entfernt, die jüngeren Humus durch herabfallende Blätter enthält. Es wurden Probenmengen jeweils zwischen 0,7 und 1,2 kg entnommen. Dass es sich um Sandboden handelte, wurde anhand des Gehaltes an Kalium über das natürliche Kaliumisotop K 40 überprüft.

Im Rahmen der Probenahme wurde gleichzeitig mit einem Oberflächenmonitor geprüft, ob sich an der entsprechenden Stelle Radioaktivitätsspitzen (Hotspots) ausmachen lassen. In solchen Fällen wurden Sonderproben entnommen (Steine, Beton, Moos, Laub, Erdtiefenprofile).

Zur Gewinnung der Abstandsinformation wurden die entnommenen Sandmengen auf eine Fläche von etwa 30 cm x 30 cm gleichmäßig verteilt und mit Oberflächenmonitoren vermes-

sen. Zur Gammastrahlungserfassung diente ein NaJ-Detektor, kalibriert auf eine Cs 137-Konzentration. Die Messung von Alpha- und Betastrahlung erfolgte mit einem Großflächenzählrohr (AutomessADK), kalibriert mit Americium 241 bzw. Kohlenstoff 14.

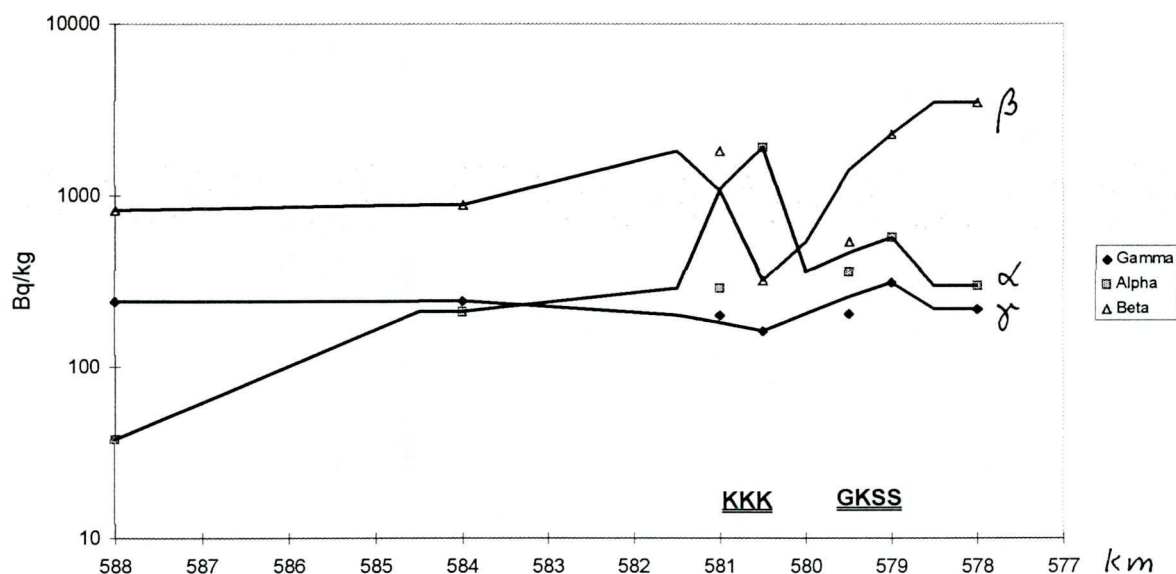
Die Ergebnisse sind in den Abbildungen 14 und 15 dargestellt. Abb. 14 zeigt den Verlauf auf dem nördlichen Elbufer (Geestseite), auf dem auch die Anlagen von KKK und GKSS liegen. Man sieht, dass von Westen kommend die Radioaktivitätsanzeigen auf die Anlagen hin stark zunehmen. Die Gammaaktivität hat in Höhe von KKK ihr Maximum und steigt bei der GKSS noch einmal an. Die Alphaaktivität erreicht zwischen den Anlagen ein Maximum und steigt östlich der GKSS noch an. Die Betaaktivität zeigt in Höhe des KKK ein deutliches Maximum und in Höhe GKSS einen Spitzenwert, der etwa dem 10-fachen Backgroundwert entspricht.



**Abb.14** Verlauf der Radioaktivitätskonzentration auf dem nördlichen Elbufer bei Geesthacht, Elbwanderweg in Richtung NW-SO, bezogen auf festgelegte Flusskilometer der Elbe. Die Lage der kerntechnischen Anlagen KKK und GKSS ist dargestellt.

Abb. 15 zeigt die entsprechenden Radioaktivitätsverläufe auf der gegenüberliegenden Elbseite, der Elbmarsch. Die Gammaaktivität hat in Höhe der GKSS ihr Maximum, die Alphaaktivität ihren sehr hohen Spitzenwert in Höhe von KKK. Hingegen sinkt die Betaaktivität zwischen den Anlagen auf ein Minimum ab, so als ob es Maßnahmen zur Dekontaminierung gegeben hätte.





**Abb.15** Verlauf der Radioaktivitätskonzentration auf dem südlichen Elbufer gegenüber den kerntechnischen Anlagen KKK und GKSS in der Elbmarsch zwischen Flusskilometer 578 und 588, Richtung NW - SO

Insgesamt lassen sich die Verläufe wohl nur durch verschiedene Freisetzungseignisse erklären. Auf jeden Fall widerlegen auch sie die stets wiederholte Behauptung der Aufsichtsbehörde, ein Einfluß der kerntechnischen Anlagen bei Geesthacht auf die Umgebung lasse sich nicht nachweisen.

#### b) Nuklidspezifische Messungen in Elbmarsch und Elbgeest

Am Probenmaterial von 15 Meßorten nördlich und südlich der Elbe wurden gammaspektrometrische Messungen vorgenommen, an 3 Meßorten alphaspektrometrische Messungen. Diese zeigten auf der Geestseite in der Nähe von KKK abgereichertes Uran und Plutonium mit einem niedrigen Isotopenverhältnis von Pu 239/240 zu Pu 238, welches auf MOX (Mischoyd)-Kernbrennstoff hinweist. Ferner wurde dort Americium 243 gefunden, ein künstliches Transuran, s. oben.

Auf der Elbmarschseite ergab sich eine Mischung beider Arten der Geest-Aktivität.

#### c) Entdeckung nuklearer Mikrosphären

Beim näheren Studium von „heißen“ Stellen und Inhomogenitäten im Probenmaterial entdeckte ARGE PhAM radioaktive Mikropartikel in Kugelform mit Durchmessern zwischen 10  $\mu\text{m}$  ( $1 \mu\text{m} = 0,001 \text{ mm}$ ) und 2 mm.

Die Fundorte der Kügelchen zeigt Abb.16.

Von ARGE PhAM wurde eine photographische Dokumentation der Partikel angefertigt (Ga01). Z. Teil wurden elliptisch geformte Partikel festgestellt, die auch in der Umgebung von Hanau aufgefunden wurden. Dort hat die Firma NUKEM bis Ende der achtziger Jahre Sphere-Pac-Brennstoffe aus Uran und Plutonium hergestellt (Ei72, Hu84) sowie keramische Tabletten, die **Fusions-** oder **Brutstoffe** enthielten (Hr86).



MAßSTAB 1:15.000

0 250 500 750 1000 1250 1500

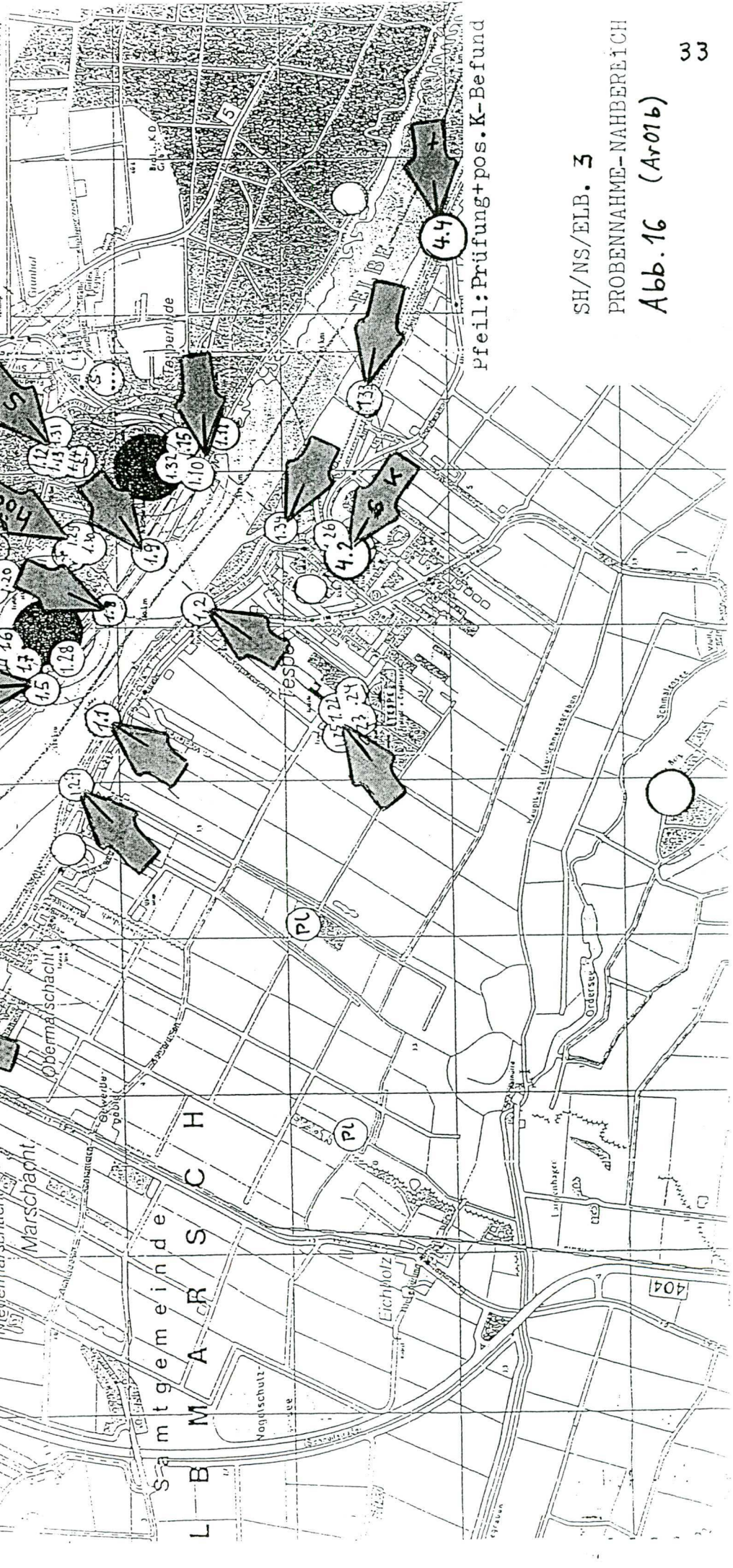
- 1.18
- 1.17
- 1.16
- 1.15
- 1.14
- 1.13
- 1.12
- 1.11
- 1.10
- 1.09
- 1.08
- 1.07
- 1.06
- 1.05
- 1.04
- 1.03
- 1.02
- 1.01
- 1.00
- 0.99
- 0.98
- 0.97
- 0.96
- 0.95
- 0.94
- 0.93
- 0.92
- 0.91
- 0.90
- 0.89
- 0.88
- 0.87
- 0.86
- 0.85
- 0.84
- 0.83
- 0.82
- 0.81
- 0.80
- 0.79
- 0.78
- 0.77
- 0.76
- 0.75
- 0.74
- 0.73
- 0.72
- 0.71
- 0.70
- 0.69
- 0.68
- 0.67
- 0.66
- 0.65
- 0.64
- 0.63
- 0.62
- 0.61
- 0.60
- 0.59
- 0.58
- 0.57
- 0.56
- 0.55
- 0.54
- 0.53
- 0.52
- 0.51
- 0.50
- 0.49
- 0.48
- 0.47
- 0.46
- 0.45
- 0.44
- 0.43
- 0.42
- 0.41
- 0.40
- 0.39
- 0.38
- 0.37
- 0.36
- 0.35
- 0.34
- 0.33
- 0.32
- 0.31
- 0.30
- 0.29
- 0.28
- 0.27
- 0.26
- 0.25
- 0.24
- 0.23
- 0.22
- 0.21
- 0.20
- 0.19
- 0.18
- 0.17
- 0.16
- 0.15
- 0.14
- 0.13
- 0.12
- 0.11
- 0.10
- 0.09
- 0.08
- 0.07
- 0.06
- 0.05
- 0.04
- 0.03
- 0.02
- 0.01
- 0.00

5 Adlige

Heinrichsplatz und Vering

HEINRICHSPHILIPPUS UND VERING 1310 HERRSCHEN SPEICHER

Verzeichnis der in der Karte eingezeichneten Fundamente und Fundamentreste



Pfeil: Prüfung+pos.K-Befund

SH/NS/ELB. 3

PROBENNAHME-NAHBEREICH

Abb. 16 (Ar016)



Aufgefunden wurden weiterhin tritiumhaltige Mikrophiole aus Glas, die zum Fusionsteil gehören, s. unten. Aus den in der Dokumentation erkennbaren Lasereinschüssen lässt sich ableiten, dass hier zur Fusion das Prinzip des laserangeregten „Inertial Confinement“ (Trägheitseinschluss) verwendet wurde.

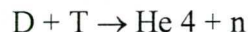
### **Sphere-Pac-Nukleare Brennstoff und das Prinzip der Inertial Confinement Fusion**

- *Wege zur ressourcenschonenden Kerntechnik*
- *Abfallprodukte der Spaltreaktoren sollen sinnvoll genutzt werden*

Die in der Elbmarsch festgestellten Mikrokügelchen enthalten Kernbrennstoffe, die in einer Kugelpackung (sphere-pac) verwendet werden sollen. Sie entstammen vermutlich Experimenten bei Geesthacht, die zur Technik der Hybridreaktoren (kombinierte Fusions- + Spaltreaktoren) gehören. Bei dieser Entwicklungslinie der 70er bis 80er Jahre sollte eine besonders effiziente und ressourcenschonende Technik der Energiefreisetzung eingesetzt werden. Sie sollte erreicht werden durch die Kombination von Kernfusion (Verschmelzung leichter Atomkerne) und Kernspaltung bei gleichzeitiger Erbrütung neuen Spaltmaterials (Be79, O179).

#### **a) Fusionsteil**

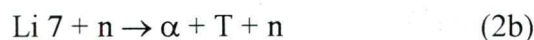
Zur Kernverschmelzung kommen mehrere leichte Stoffe in Frage. Die gängige Version ist die Fusion der Wasserstoffisotope Deuterium (D) und Tritium (T):



Durch die Verschmelzung von einem Deuteriumkern (1 Proton und 2 Neutronen) und einem Tritiumkern (1 Proton und 3 Neutronen) entsteht ein Heliumkern ( $\alpha$ -Teilchen) und ein Neutron (n).

Die Fusion erfordert eine sehr hohe Temperatur bzw. einen sehr hohen Druck. Dafür werden verschiedene Methoden eingesetzt. Beim Trägheitseinschluss erfolgt die Verdichtung der Stoffe durch Implosion, die bei kugel- oder ellipsenförmiger Einhüllung durch Laserbeschuss erreicht werden kann, da durch die Verdampfung der oberflächlichen Schicht der Hülle ein Rückstoß entsteht.

Ein Vorteil der DT-Reaktion ist, dass das Tritium in dieser Konfiguration bei dem vorhandenen Neutronenfluss ständig neu aus Lithium (Li) erbrütet werden kann:



#### **b) Spalt- und Brutmantel**

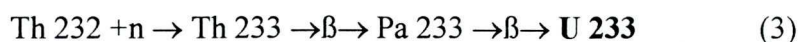
Die Spalt- und Brutzone des Kügelchens (Blanket) muss Stoffe enthalten, die sich einerseits durch die schnellen Neutronen der Fusion gut spalten lassen, wobei wieder Neutronen entstehen, und andererseits durch Aufnahme von Neutronen neue Spaltstoffe bilden („Brüten“). In Frage kommen:

Th 232, U 238 oder abgereichertes Uran, und Transurane wie Am und Cm (Sa80).

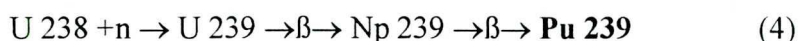
Letztere entstehen in konventionellen Spaltreaktoren. Abgereichertes Uran entsteht bei der Isotopenabtrennung von U 235 für die konventionelle Kernspaltung und Th 232 und U 238 kommen in großen Mengen in der Natur vor.

Der Vorteil bei der Hybridversion ist, dass die Spaltzone „unterkritisch“ sein kann und sich nicht selbst durch Kettenreaktion erhalten muss, weil die Fusionsneutronen zur Verfügung stehen.

Verwendet man Th 232 als Ausgangsmaterial, so wird daraus das gut spaltbare Isotop U 233 erbrütet:



Verwendet man stattdessen oder in Begleitung U 238 als Ausgangsmaterial, entsteht daraus Pu 239, das sehr gut spaltbar ist:



### c) Lasergepulste Trägheitsfusion

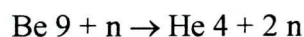
Das Prinzip des Inertial Confinement erfordert einen schichtweisen Aufbau der Brennstofftabletten. Im Innern befindet sich die Fusionszone.

Der Trägheitseinschluss bei der Fusion ist die Alternative zum magnetischen Einschluss. Für die Energieeinstrahlung zur Erreichung der Implosion sind verschiedene Verfahren benutzt worden wie die Bestrahlung mit schnellen Elektronen oder schweren Ionen und eben Laserbestrahlung. Für den Einsatz der letzteren haben wir als Anhaltspunkt bislang nur das Erscheinungsbild des aufgefundenen Materials (Abb.25a). Die Bundesrepublik Deutschland wird jedoch in der Literatur ausdrücklich als Entwicklungsland für die laser- oder elektronenstoßinduzierte Inertial-Confinement-Fusion aufgeführt (St78, We79).

Das Institut für Naturwissenschaftlich-Technische Trendanalysen in Stohl bei Kiel, das von dem Begründer der GKSS, Bagge, eingerichtet wurde, hat sich schon früher mit laserinduzierten Hybridanordnungen in Mikrosphären befasst (Le74). Dieses Institut wurde später der Fraunhofer-Gesellschaft zur Förderung der Angewandten Forschung, die sich u. a. mit Rüstungsforschung beschäftigt, angegliedert (Le75) und nach Euskirchen verlegt.

### d) Beryllium als Neutronenverstärker

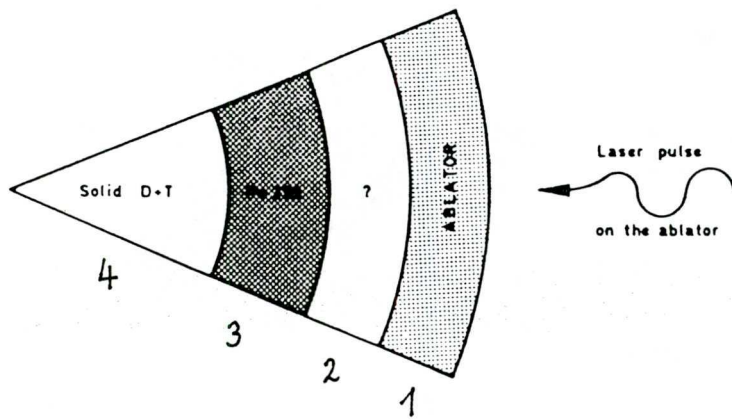
Zur Verbesserung der Neutronenausbeute wird in manchen Ausführungen das Blanket mit Beryllium versehen (Ma81), das pro aufgenommenen Neutrons zwei weitere liefern kann:



### e) Ausführung der Hybridmikrosphären

Größenangaben über Brennstofftabletten für die Hybridversion mit Laseraufheizung finden sich bei Velarde und Mitarbeitern (Ve80), die Gebilde mit Kugelaufbau von 1 mm und 0,47 mm Gesamtdurchmesser untersucht haben, ferner bei LoDato (Lo77) mit ebenfalls 1 mm Durchmesser.



**Abb.17**

Prinzipieller Schichtenaufbau  
der Hybridmikrosphäre  
nach (Ve80)

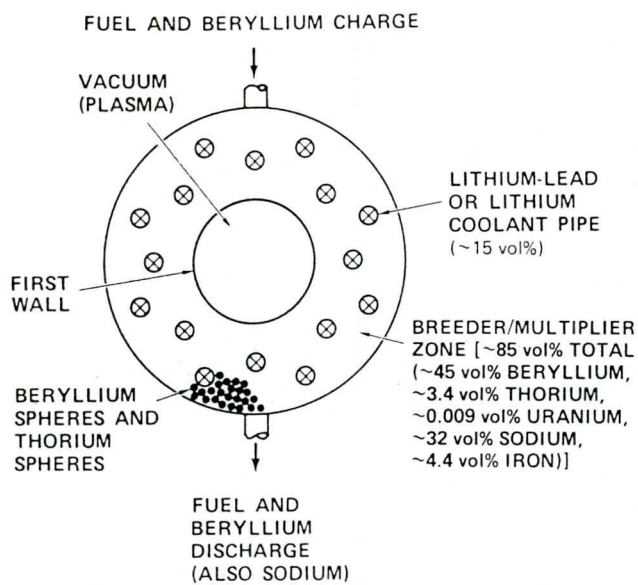
Durchmesser 1 mm oder 0,47 mm

1 Ablator: Verdampfungszone

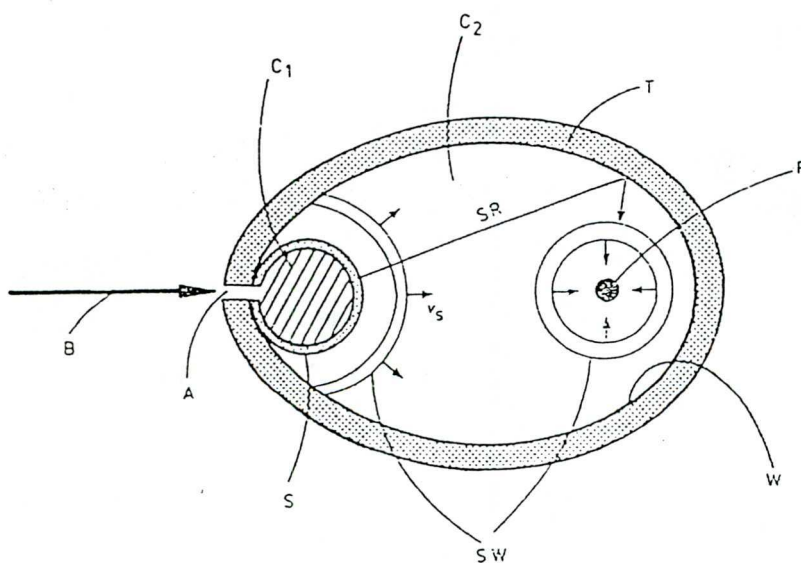
2 Pusher/Tamper

3 Spalt- und Brutzone (Blanket)

4 Fusionszone

**Abb.18**

Ausführung eines Hybridelements  
Blanket mit Kügelchenfüllung und  
Beryllium-Neutronenverstärker  
aus (Ma81)

**Abb.19**

Ellipsoid-Fusionselement für  
Stoßwellenfokussierung nach  
Winterberg

Figure 1. Cross-section through the target assembly. B, beam (laser, electron); A, aperture to let beam pass into cavity  $C_1$  formed by shell S and filled with hydrogen; T, tamp forming egg-shaped cavity  $C_2$  focusing the shock wave SW from the explosion of the hydrogen-filled cavity  $C_1$  and shell S on to the thermonuclear pellet P leading to its implosion and thermonuclear ignition; SR, shock ray.

Die grundsätzliche Anordnung der Schichten in Mikrobrennstoffkugeln zeigt Abb.17. Die Fusionszone im Innern ist von der Blanketschale mit dem Spalt- und Brutmaterial umgeben. Der Laserstrahl trifft auf die äußere Ablatorschicht (4), in der sich Material mit einem niedrigen Atomgewicht befindet, so dass es leicht verdampft werden kann. Darauf folgt die „Pusher“- oder „Tamper“-Schale (3) aus einem schweren Material wie z. B. Gold, die nach innen drücken soll, damit im Zentrum der Kugel ein maximaler Druck entsteht.

Abb.18 zeigt eine Kugelkonfiguration, bei der das Spalt- und Brutmaterial im Blanket seinerseits aus Mikrosphären besteht. Weitere Mikrosphären aus Beryllium dienen als Neutronenvervielfacher.

Während bei den kugelförmigen Brennstoffpillen ein konzentrischer Druckaufbau nach innen erreicht werden soll, hat Winterberg (Wi82), ein früherer GKSS-Mitarbeiter, ein ellipsoidförmiges Fusionselement vorgeschlagen (Abb.19). Es arbeitet nach dem Prinzip einer „Flüstergalerie“, die durch die Laserbestrahlung ausgelöste Stoßwelle soll in dem einem Brennpunkt des Ellipsoids konzentriert und dann in dem zweiten wiederum fokussiert werden. Dieses Konzept wurde von Seifritz im Eidgenössischen Institut für Reaktorforschung ebenfalls weiterverfolgt (Se80).

#### **f) Herstellung von Pac-Kügelchen**

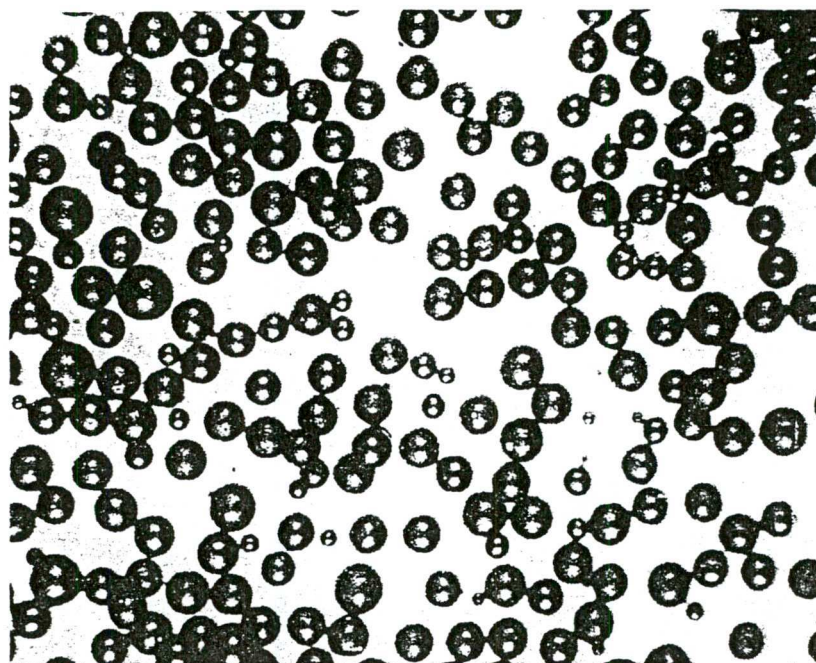
Außer bei NUKEM, die Fabrikationsverfahren für Durchmesser von 50-2500  $\mu\text{m}$  angeben (Hu84), wurden in Deutschland Spherpac-Brennstoffe im Kernforschungszentrum Karlsruhe, Institut für Transurane, hergestellt (La76). Diese Konfiguration des Nuklearbrennstoffs sollte für verschiedene Anwendungszwecke - auch für Leichtwasserrreaktoren und schnelle Brüter - eingesetzt werden.

Abb.20 zeigt Mikrospären aus Uran/Plutonium-Carbid, die im Eidgenössischen Institut für Reaktorforschung in der Schweiz hergestellt und im Reaktor DIDO der Kernforschungsanlage Jülich getestet wurden (Ei76).

Die Produktion der Kügelchen erfolgt nach einem Sol-Gel-Verfahren. Die Spaltstoffe - hier Uran und Plutonium - befinden sich zunächst jeweils in einer Lösung. In einem nächsten Schritt werden sie vermischt und in eine organische Flüssigkeit ausgetropft, in der sie in gel-förmiger Konsistenz stabilisiert und verfestigt werden. Anschließend werden sie durch eine chemische Reaktion gehärtet. Die gehärteten Kugeln werden gewaschen, getrocknet und gesintert. Die Größenseparation erfolgt durch Siebung.

Abb.21 zeigt Spherpac-Kügelchen in verschiedenen Produktionsstadien aus dem Kernforschungszentrum Karlsruhe. Die erhebliche Abnahme des Volumens vom Gel- bis zum Endstadium ist ersichtlich.





Feine Fraktion, Tropfengrösse 200-400  $\mu\text{m}$  (25x)

Abb.20 Spherepac-Brennstoff aus dem Plutonium-Brennstoffprogramm 1976 des EIR, eingesetzt im DIDO-Reaktor (Jülich)

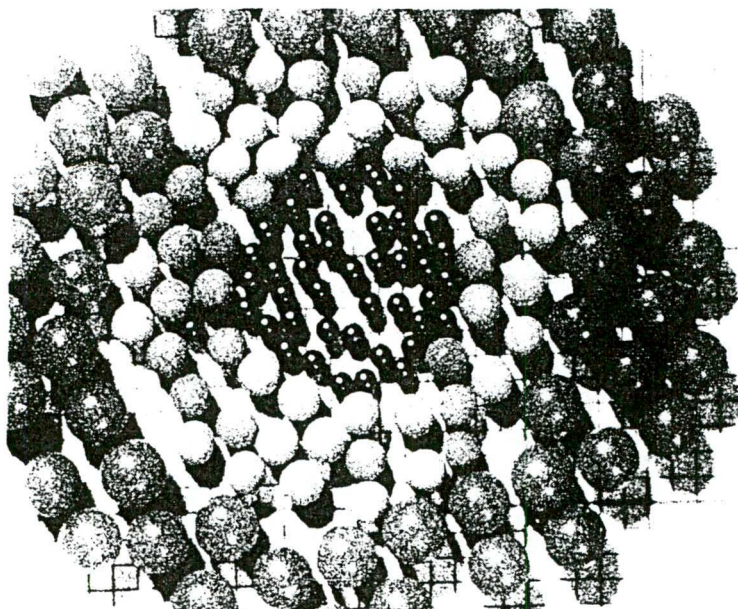


Abb.21 Spherepac-Brennstoff aus U/Pu in verschiedenen Herstellungsstufen aus (La76)  
nach Fällung, Trocknung und Sintern (von innen nach außen)

## Analyse der bei Geesthacht aufgefundenen Mikrosphären und Keramikpartikel

- *Mikrokügelchen zeigen typische Zusammenetzung von Hybridelementen*
- *Intakte Partikel sind nur schwach radioaktiv*

Die Untersucher haben bislang keine konkreten Hinweise auf in der GKSS oder anderweitig im Zusammenhang mit den Geesthachter Atomanlagen durchgeführte Experimente mit Spherepac-Brennstoff erhalten. Um die Zusammensetzung und Herkunft der verschiedenen Partikel aus der Elbmarsch und Elbgeest festzustellen, wurden mehrere Analyseverfahren eingesetzt. Die Untersuchungen erfolgten einerseits durch ARGE PhAM oder wurden durch sie veranlasst, andererseits durch den wissenschaftlichen Geschäftsführer der schleswig-holsteinischen Leukämiekommission, Herrn Priv. Doz. Dr. A.F. Stevenson.

### a) Ergebnisse der ARGE PhAM-Untersuchungen

Die Abb.22-24 zeigen Beispiele der im Auflichtmikroskop erkannten unzerstörten Kugelkörper in verschiedenen Größen (Ga01). Außerdem ist zu sehen, dass die größeren Kügelchen in eine (keramische) Matrix eingebettet sind, so dass es sich dabei offenbar um Teile eines Blankets nach Abb.17/18 handelt, das Spalt- und Brutmaterial enthält.

Zunächst war die Frage, ob sich mittels Radioaktivitätsbestimmungen eine Aussage über die Zusammensetzung machen lässt. In Kügelchen aus Kernbrennstoff, die keinem Fusions/Spaltungs-Experiment ausgesetzt waren, kann man folgende Strahlungen erwarten (Ar02b):

- Die relevanten Kernbrennstoffe (U, Th, Pu, T-Pu) haben in oxidischer Form eine Dichte von ca.  $10 \text{ g/cm}^3$  und in metallischer Form eine Dichte von ca.  $20 \text{ g/cm}^3$ . Daraus folgt eine Masse von 0,002 mg für ein  $50 \text{ }\mu\text{m}$ -Kügelchen (bei 100 % Füllfaktor).
- Ein  $50 \text{ }\mu\text{m}$ -Kügelchen kann entsprechend eine Radioaktivität beinhalten von
 

Th 232	0,008 Bq ( $\alpha$ ) oder
U 238	0,024 Bq ( $\alpha$ )
- Ein  $5 \text{ }\mu\text{m}$ -Kügelchen aus Transuran mit einer Masse von 0.002 mg hat demgegenüber eine Radioaktivität von maximal
 

Pu 239	5 Bq ( $\alpha$ ); 0,001 Bq ( $\gamma$ , 51,6 keV) oder
Pu 241	8000 Bq( $\beta$ ); 0,015 Bq ( $\gamma$ , 148,6 keV)

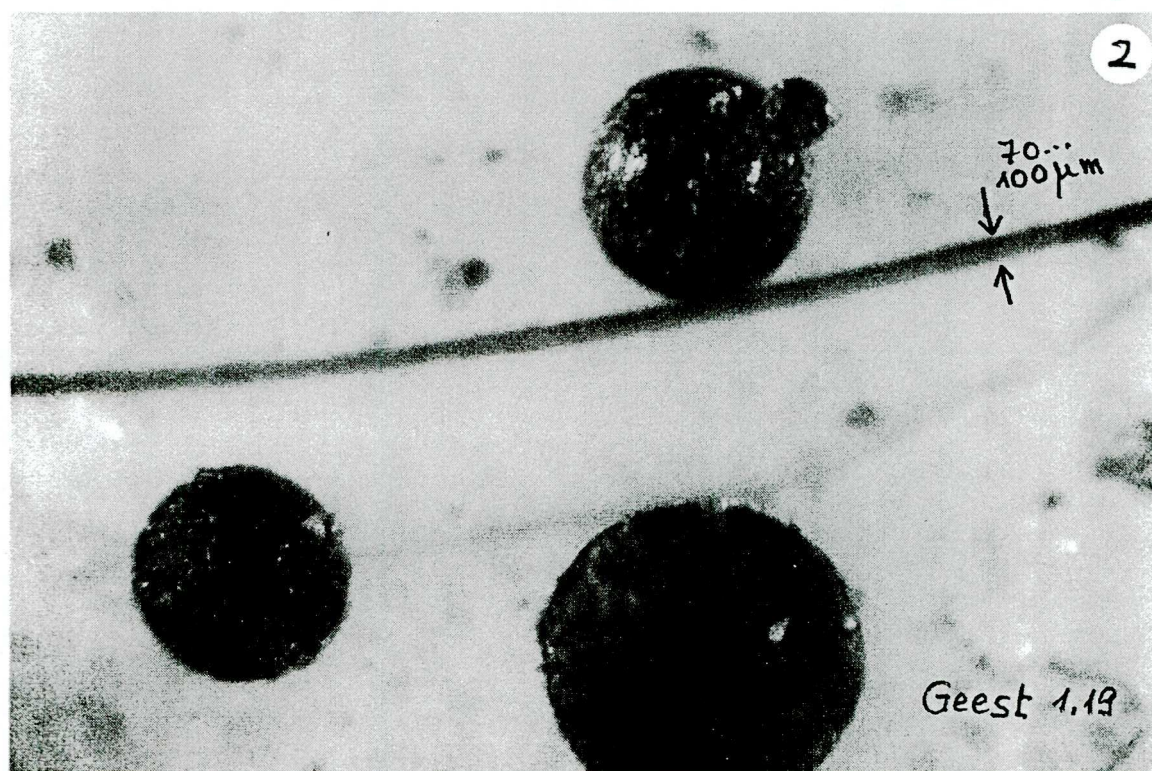
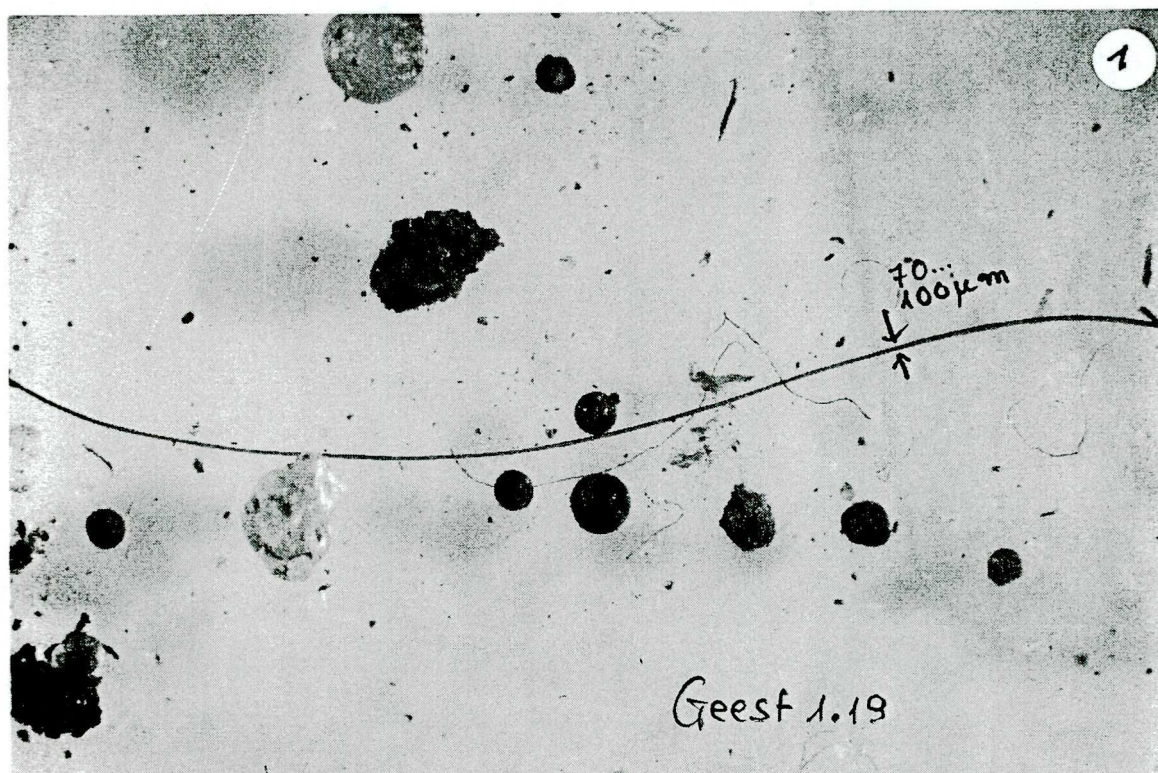
Daher kann man mit Hilfe der Gammaspektrometrie einen Nachweis der Kernbrennstoffe erst ab 1000 Kügelchen erwarten. Alphaspektrometrische Untersuchungen auf Plutonium sind sehr viel empfindlicher möglich, erfordern aber eine aufwendige Probenaufbereitung (Br02b).

Dieses ist offenbar der Grund dafür, dass das Niedersächsische Landesamt für Ökologie keine Kernbrennstoffe in der Elbmarsch festgestellt hat (Ni01a).

ARGE PhAM ist es hingegen gelungen, nach Zerdrückung der isolierten Schwermetallkügelchen eine Alpha- und Betaaktivität zu messen (Ar02b).

Als nicht radioaktive Methode zur Bestimmung der in den Kügelchen enthaltenen Stoffe wurde die Röntgenfluoreszenzanalyse eingesetzt. Damit kann man bei unveränderter Form die Oberfläche untersuchen. An zwei Kügelchen von der Position 1.10 bei Tesperhude (Abb.16) wurden Aluminium, Silizium und Eisen festgestellt. Dieses sind Materialien, die der Pusher/Tamper-Schale (Abb.17) zugeordnet werden können.



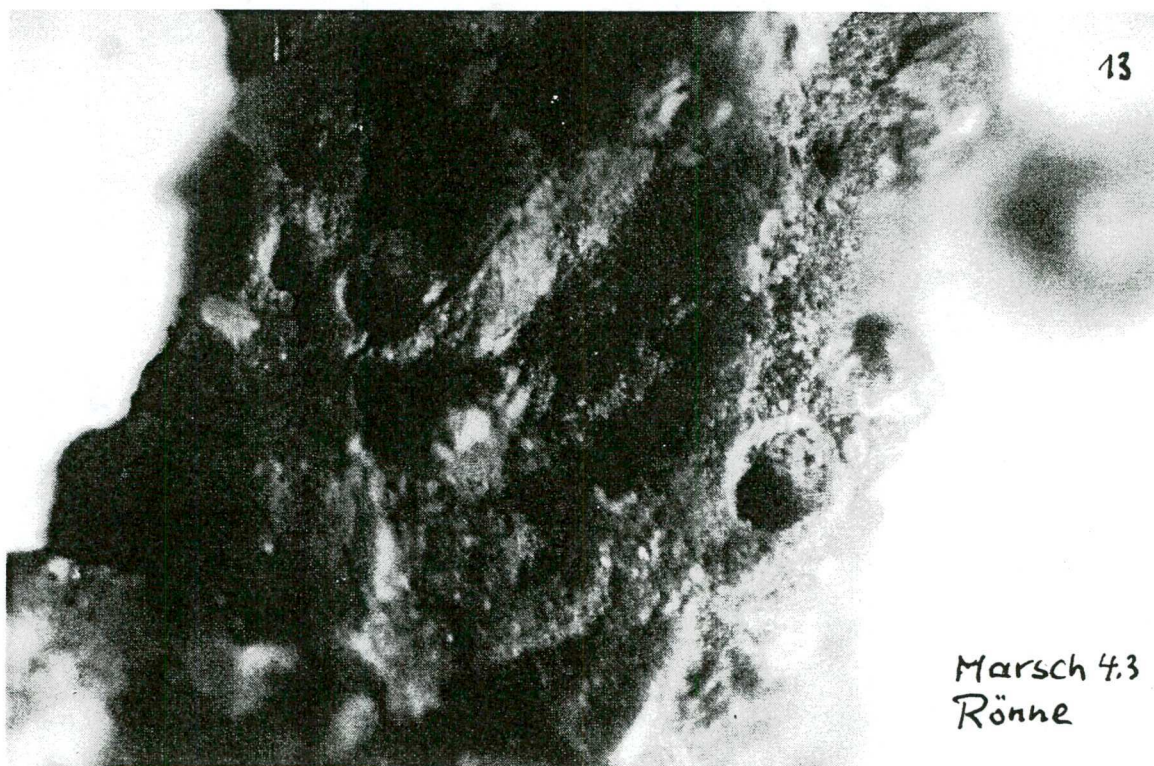
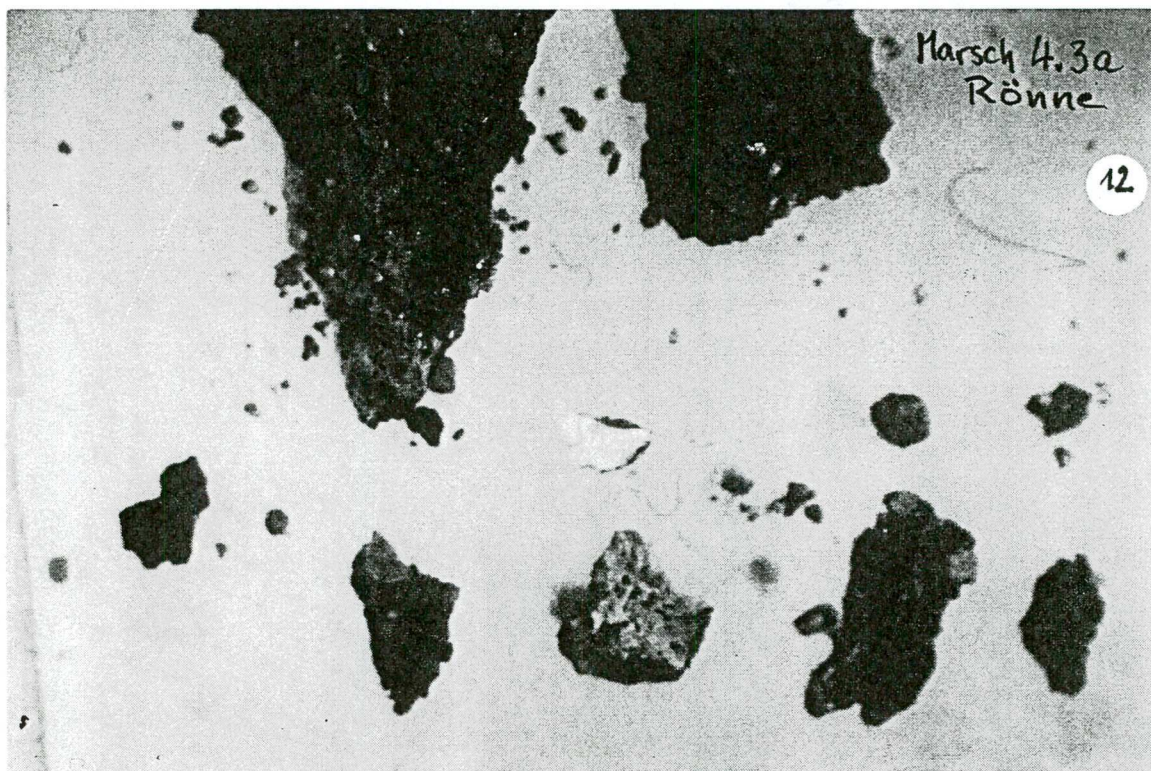


Geest: 1.19: NO von KKK  
Kugelhäufigkeit (KH): 2

- 1 (>60/30g Boden)
- 2 (40-60 /30g)
- 3 (<10/30g)
- 4 (quasi 0)

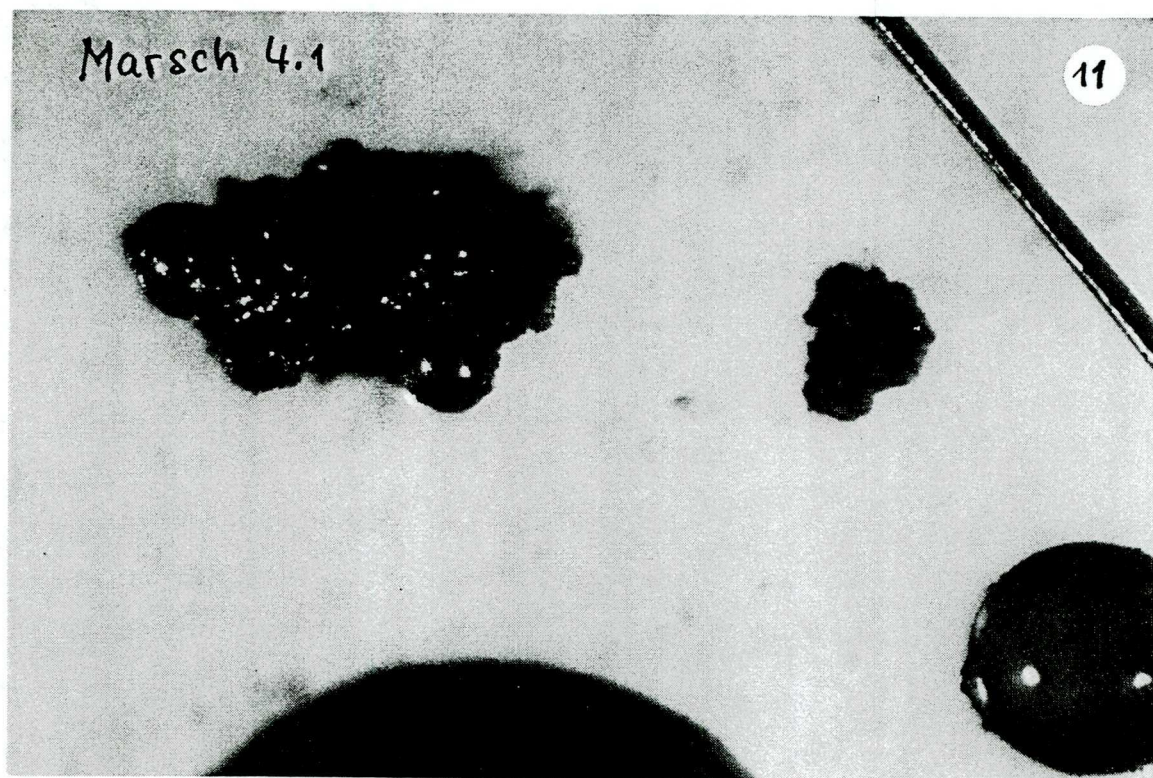
Abb.22





Marsch 4.3a: Rönne (F) Dachrinne  
 KH:3, jedoch sehr hoher Anteil an amorpher Keramik mit  
 Kugelbruch





Marsch 4.1: Marschacht (R ) Dachbodenschmutz nach Abbau eines Reetdaches. KH:2  
Ungesinterter pac-Material (geliert) und Keramik mit Kugeleinschlüssen

Abb.24

Einige der unbehandelten Erdproben wurden massenspektrometrisch analysiert. Dazu muss das Material in ionisierter Form vorliegen. Die Messungen erfolgten im Zentrum für Festkörper-Analytik in Gießen mit Hilfe der Sekundärionen-Massenspektrometrie (SIMS). Für Position 1.30 (Abb.16) - das ist das Areal, in dem ARGE PhAM den 1986 registrierten Brand vermutet - wurden Thorium, Uran und Transurane nachgewiesen (Ar02b). Abb.25 zeigt das Spektrum einer Probe, in dem Massen oberhalb von 239 von den Transuranen Neptunium - Curium und ihrer Oxide stammen. (Das natürlich vorkommende schwerste Element Uran endet bei der Massenzahl 238.)

Außer kugelförmigen Gebilden hat ARGE PhAM in der Elbgeest zwei Ellipsoide aufgefunden (Ar02a), Abb.26 und 27. Diese gleichen der Anordnung, die Winterberg zur Stoßwellenfokussierung angegeben hat (Abb.19)

Die Länge des Ellipsoids nach Abb.26a beträgt etwa 400  $\mu\text{m}$  (= 0,4 mm) und die Schalendicke 40 bis 50  $\mu\text{m}$ . In Abb.26b ist nach ARGE PhAM ein mit Laserstrahl zum Zahnrad zerdrücktes 10  $\mu\text{m}$ -Teilchen aus dem Innern des Ellipsoids zu sehen. Die massenspektrometrische Analyse ergab Th 232 und U 238, des weiteren die leichten Elemente Beryllium (s. oben) und Bor (das als Neutronenabsorber oder aber auch als Fusionselement eingesetzt wird). Hohe Intensitäten zeigten sich für Aluminium, Silizium, Eisen und Barium, womit einerseits das keramische Material plausibel erscheint und andererseits Eisen als Pusherstoff. Auffällig sind nach Angaben des Messlabors die relativ hohen Anteile an Lithium, das für die Tritiumproduktion des Fusionsteils eingesetzt wird, vergl. (2a) und (2b) auf S. 34.

Das in Abb.27a gezeigte Ellipsoid von ca. 0,8 mm Länge ergab eine gleiche Materialzusammensetzung. Abb.27b zeigt eine Öffnung des Ellipsoids, die Hinweise auf eine Innenstruktur gibt.

## **b) Untersuchungen am Institut für Toxikologie, Kiel**

### *Probenahme und Isolierung der Mikrokügelchen*

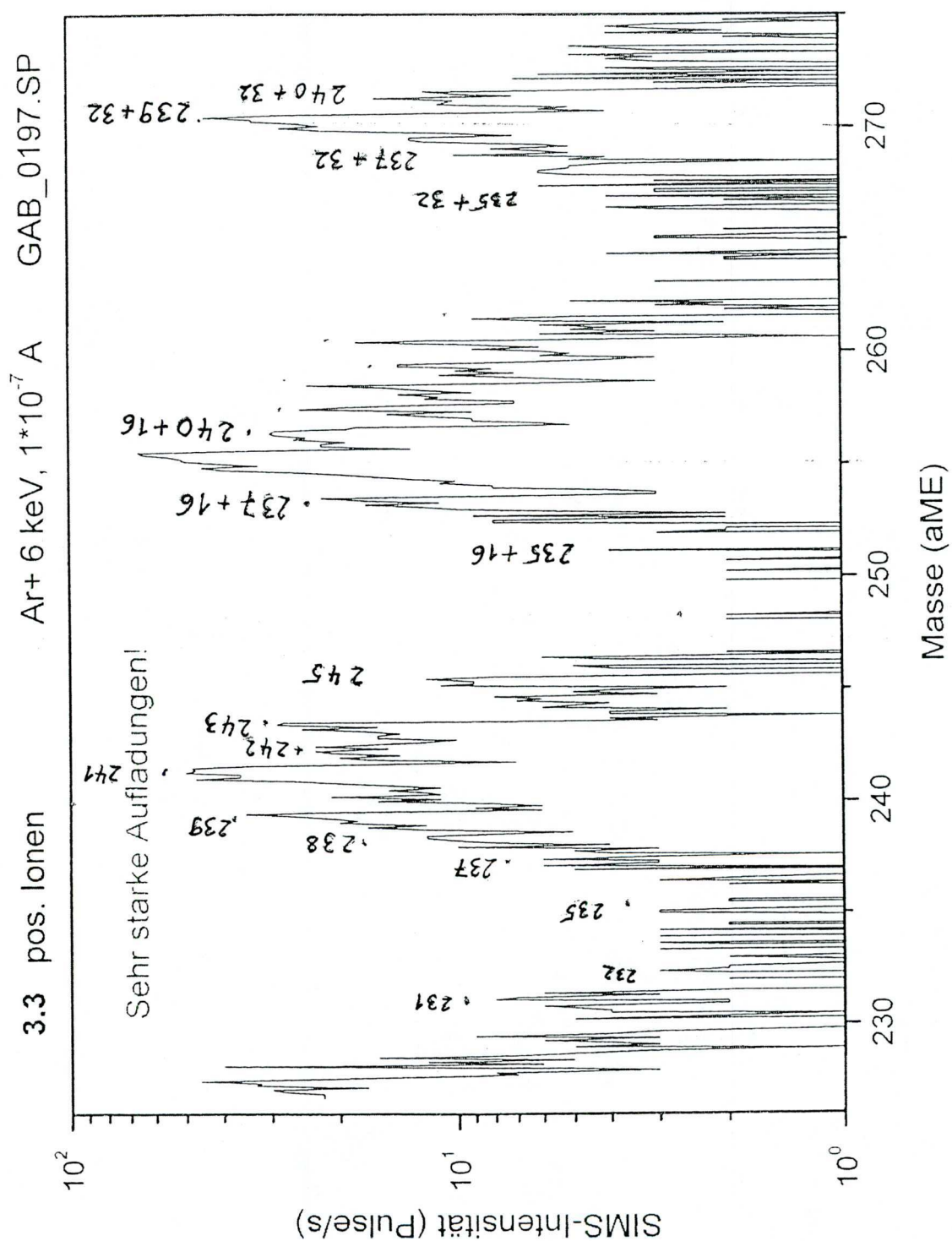
Die Mikrokügelchen wurden aus Bodenproben und Dachbodenstaub isoliert. Die Bodenproben wurden bei 5 bis 15 cm Entnahmetiefe in der Elbgeest (in unmittelbarer Nähe des GKSS-Geländes), am Elbufer (Tespshude), aus dem Stadtteil Wolfgang in Hanau und aus einem Waldstück am Westensee bei Kiel gewonnen. Der Dachbodenstaub entstammte 7 Häusern der Elbmarsch.

Die Bodenproben wurden nach Zugabe von Detergenzien in einem Becher unter fließendem Wasser gewaschen, um sie vom Humus (pflanzliche Teile etc.) zu befreien, und anschließend über Nacht bei 75<sup>0</sup> C getrocknet. Der herausfließenden Überstand wurde filtriert und der Rückstand ebenfalls getrocknet. Die Dachbodenstaubproben wurden gesiebt und die Fraktionen anschließend direkt mikroskopiert.

Das überwiegend sandige Sediment und der Rückstand wurden unter einem Stereomikroskop auf Pac-Mikrokügelchen untersucht. Mikrokügelchen- und „Matrix“- Bruchstücke, die der Beschreibung und Fotodokumentation von ARGE PhAM entsprechen, wurden identifiziert und je nach Größe der Partikel entweder mit Pinzetten oder Wolfram-Nadeln herausgepickt. Die Mikrokügelchen wurden nach ihren Durchmessern in fünf Kategorien zusammengestellt.

In der Bodenprobe vom Standort Westensee wurden keine Mikrokügelchen entdeckt. Die Dachbodenstaubproben zeigten nur in einer Probe (von einem Reetdachhaus) Mikrokügelchen.





**Abb.25** Massenspektrum (SIMS) einer Erdprobe aus dem Geestgebiet höchster Kugeldichte an Pos.1.30.

Es treten Massen der Transurane Neptunium-Curium und ihrer Oxide auf.

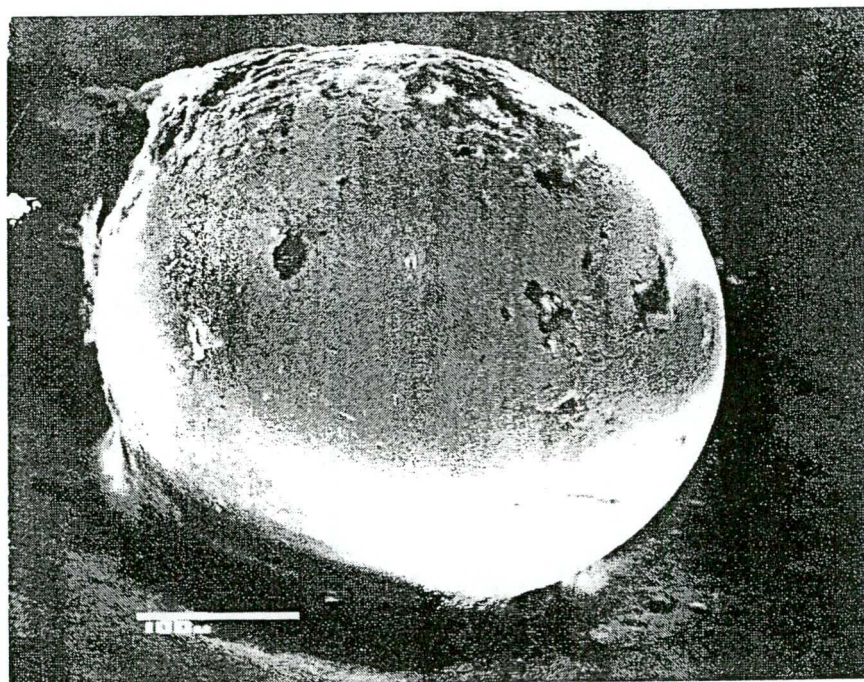


Abb.26

a



b



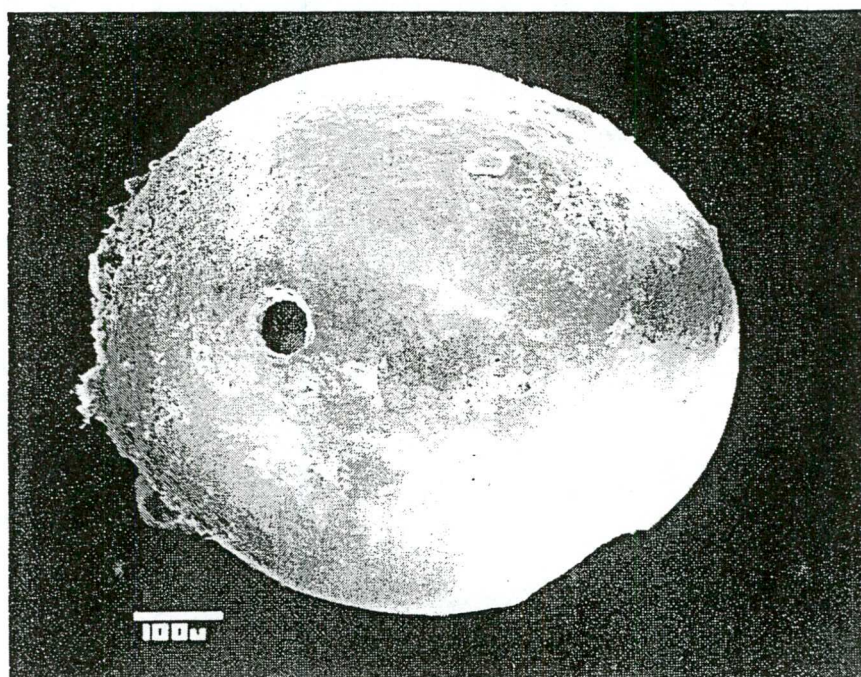
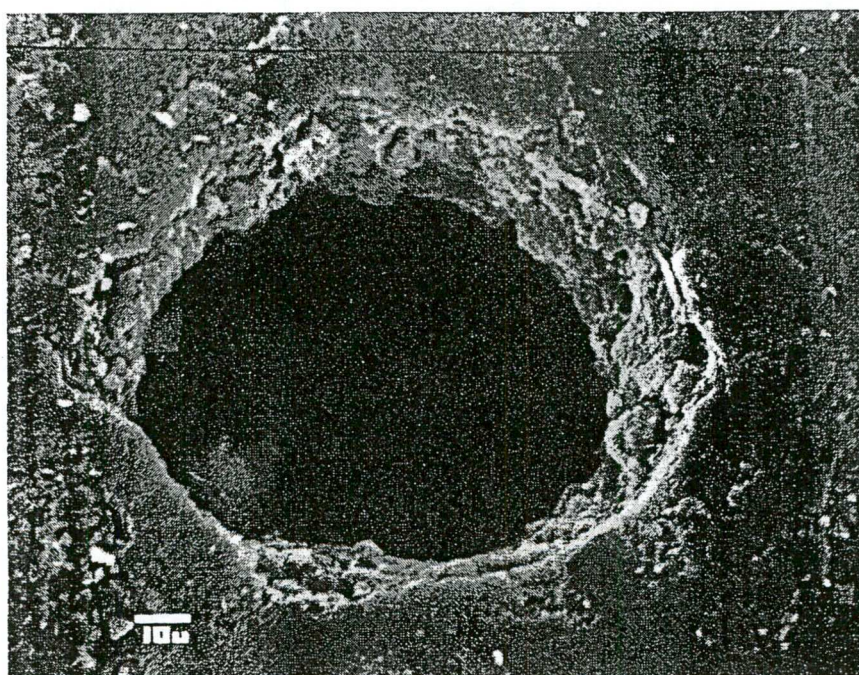


Abb.27

a

Geest 1.10 25.1.01



b

Geest  
1.10 25.1.01



Die isolierten Partikel wurden durch Verwendung eines Stereomikroskops mit Fotoeinrichtung abgebildet. Abb.28a zeigt verschiedene Mikrokügelchen, die sich in Durchmesser, Farbe und Lichtdurchlässigkeit unterscheiden. Einige von ihnen reagieren positiv auf einen Magneten. Als Bezugsgröße ist ein Abschnitt eines menschlichen Kopfhaares beigelegt worden. Die Breite des Haares beträgt etwa 62  $\mu\text{m}$ . Die kleinsten Kügelchen weisen einen Durchmesser von etwa 20  $\mu\text{m}$  auf. Die größten erreichen das 100-fache dieses Querschnitts (2 mm). Die weiteren dargestellten Kügelchen sind ca 40-50  $\mu\text{m}$  im Durchmesser. Die durchsichtigen Kügelchen sind farblos bis bersteinfarbig.

### *Polarisationsmikroskopische Charakterisierung*

Parallel zur Vorbereitung für die EDXR-Untersuchungen (s. unten) wurden Bruchstücke von den jeweiligen Mikrosphären in Aroclor 5442 ( $n = 1,660$ ) als Dauerpräparate für die Polarisationsmikroskopie eingebettet. Die Abbildungen Nr.28b und 28c sowie 29a-c sind fotomikrografische Aufnahmen einiger Bruchstücke von Mikrosphären, die im Polarisationsmikroskop betrachtet werden. Sie geben einen Einblick in die strukturellen Eigenschaften der Mikrosphären.

Aus den Abb. 28b und c wird ersichtlich, dass das Material aus einer isotropen Matrix (ohne Struktur wie z. B. Glas) besteht, in der anisotropisches Material - schwarze granulare Körperchen sowie Gasbläschen - vorhanden sind (Abb. 28c zeigt dasselbe Präparat wie Abb. 28b, mit dem Unterschied, dass die Polarisatoren beim Einschub des Kompensators in gekreuzte Stellung gebracht wurden).

Abb. 29a stellt die Struktur eines Kügelchens von der helleren Farbsorte dar. Abb. 29b zeigt ein anderes Bruchstück, das von einem schwarzen Kügelchen stammt. Alle Bruchstücke weisen auf unterschiedliche Materialzusammensetzung hin. Abb.29c ist eine auflichtfotomikrografische Aufnahme eines Bruchstückes und gibt das Oberflächenrelief wieder.

Die Kügelchen sind häufig hohl, und das Vorhandensein von Gasbläschen (Abb.28a-c) weist darauf hin, dass die Mikrosphären sehr geringe spezifische Gewichte haben müssen. Beim Zertrümmern wurde auch beobachtet, dass sie Flüssigkeiten enthalten können.

### *Energiedispersive Röntgenmikroanalyse (EDXR)*

EDXR im Rasterelektronenmikroskop wurde an insgesamt 26 Proben, die aus 10 zertrümmerten Mikrosphären, 3 unvollständigen Mikrosphären und einem Stück „Matrixmaterial“ (Hüllmaterial) bestanden, am McCrone Research Institute, Chicago, durch Dr. Gary Laughlin durchgeführt.

Die EDXR-Untersuchungen ergaben keine Hinweise auf Transurane. Andere Elemente niedrigerer Massen (unter 12 Dalton), die von kerntechnischer Relevanz wären, sind durch EDXR nicht feststellbar. Auffällig war das Vorkommen von Aluminium (Al), Silizium (Si), Calcium (Ca) und Eisen (Fe). Die relativen Mengen dieser Elemente in den verschiedenen Proben variierten erheblich. Abb.30 enthält 4 Grafiken, die die EDXR-Ergebnisse von 4 Proben darstellen. Sie sind repräsentativ für die Art der Elemente-Zusammensetzung, die mittels der EDXR feststellbar ist. Der hohe Eisengehalt in manchen Proben erklärt die beobachtete magnetische Wirkung.



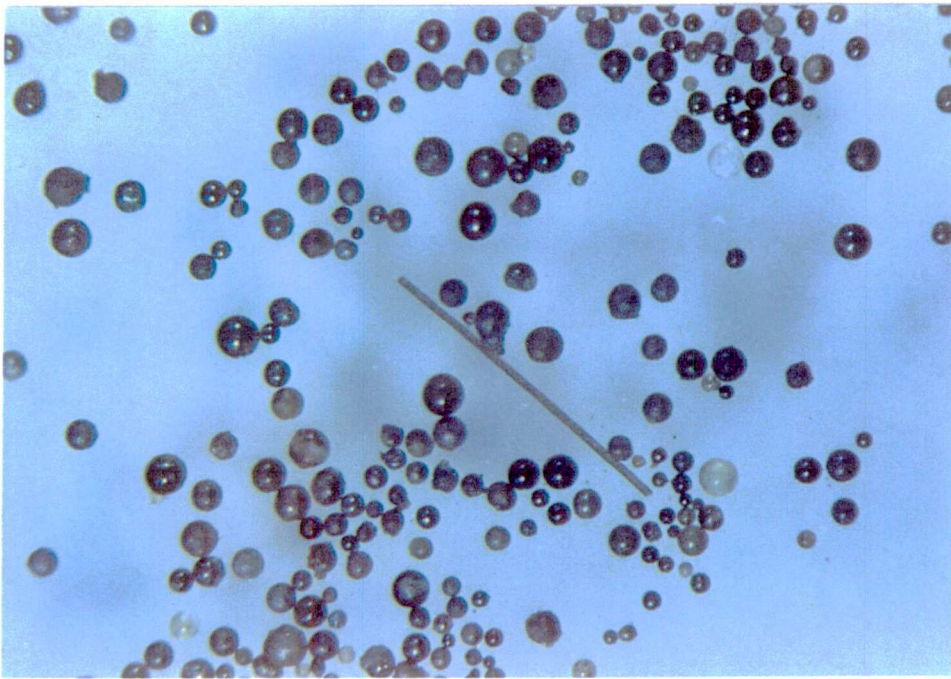


Abb.28 a

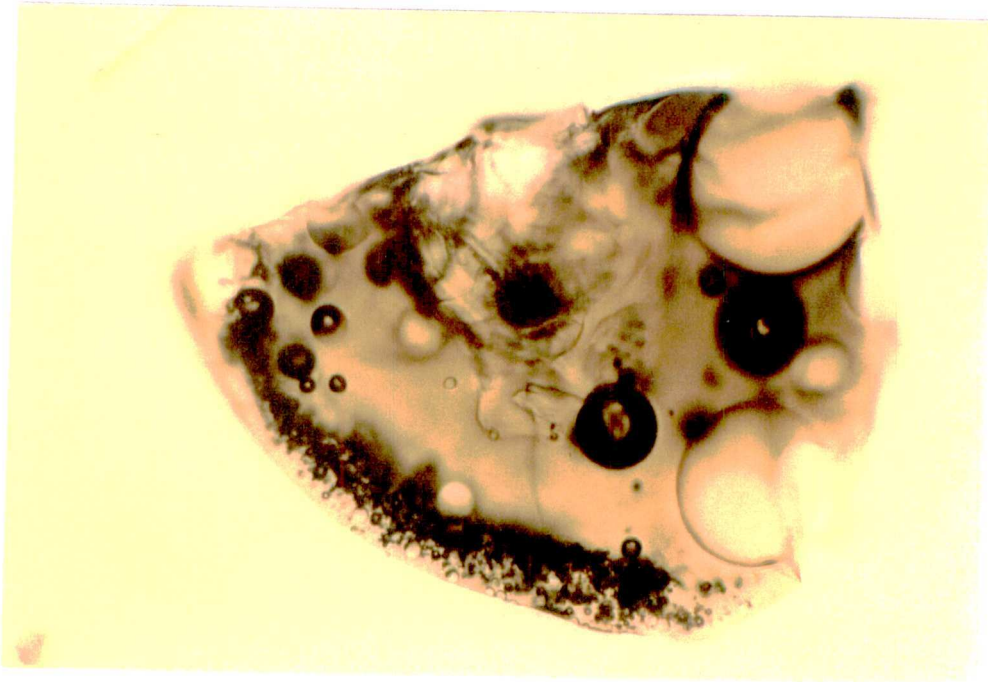


Abb.28 b

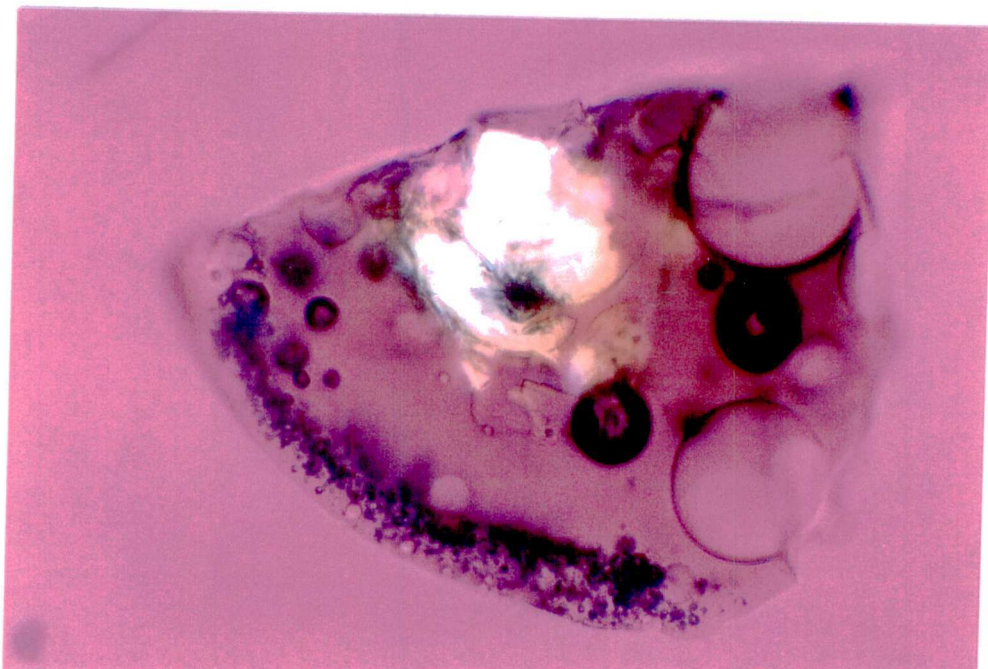


Abb.28 c

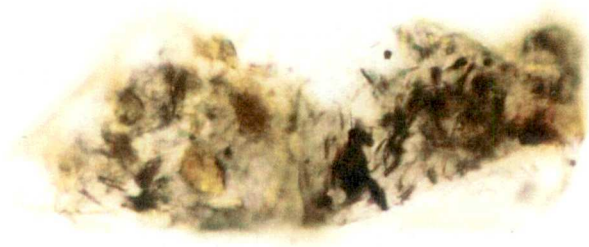


Abb.29 a

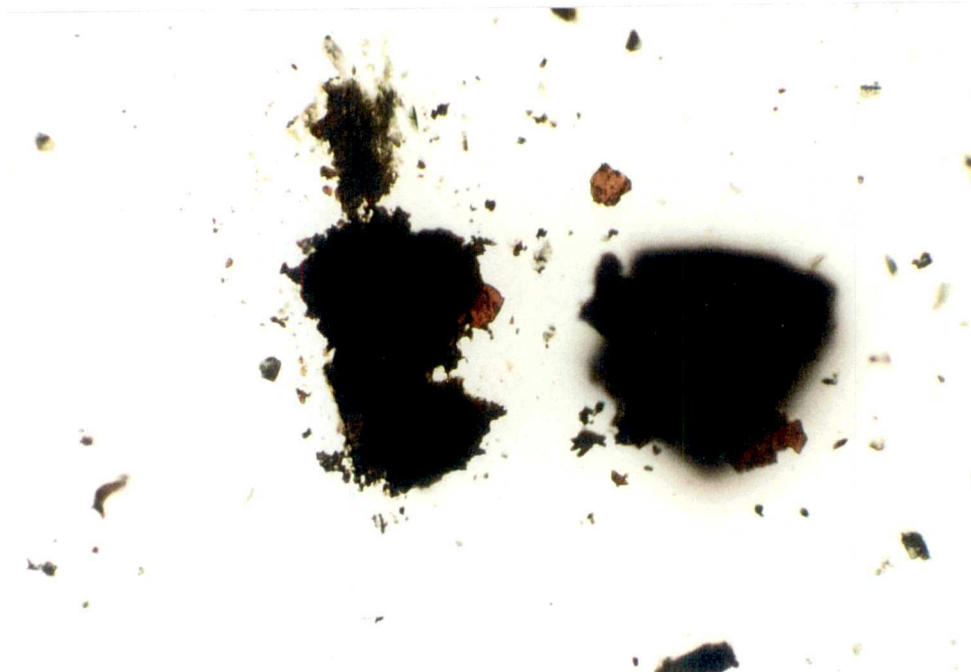


Abb.29 b

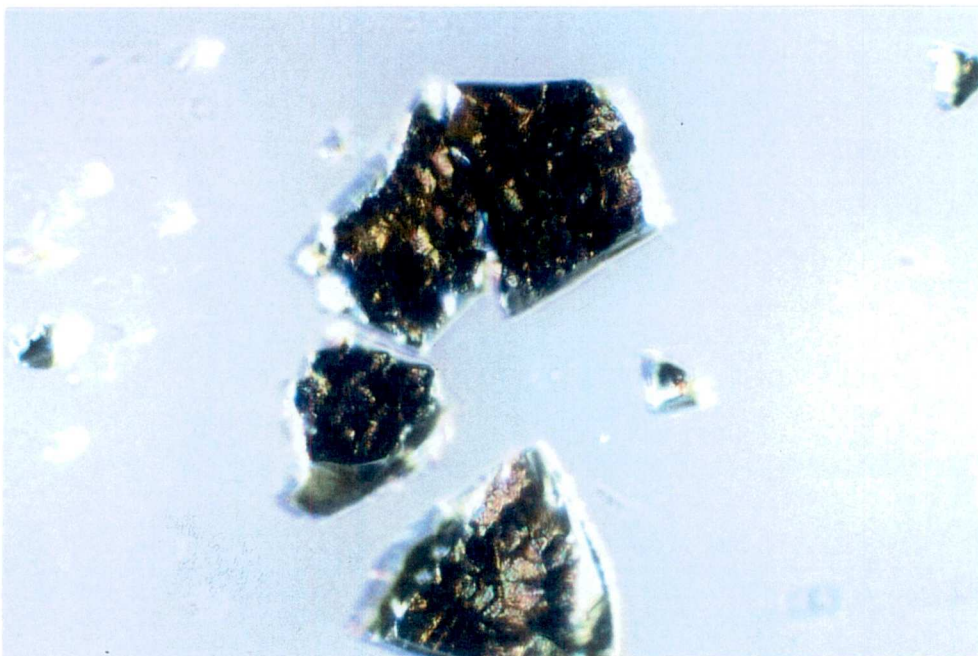
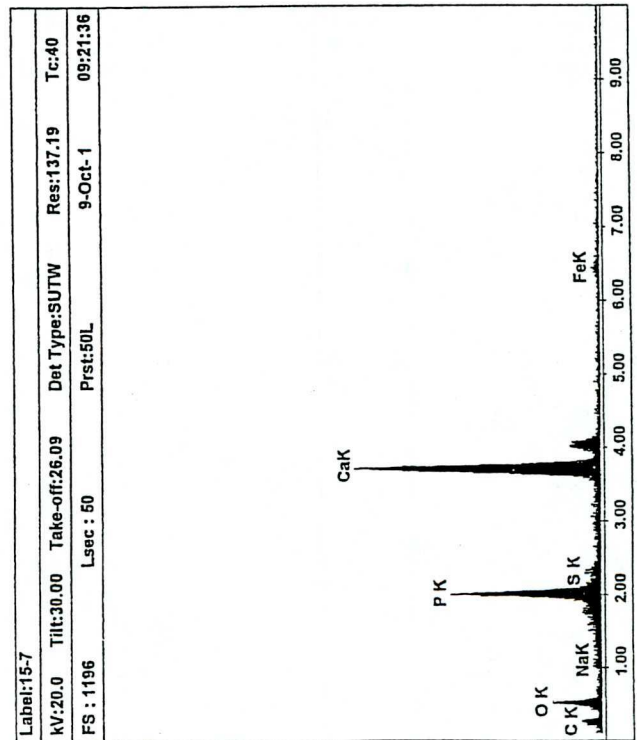
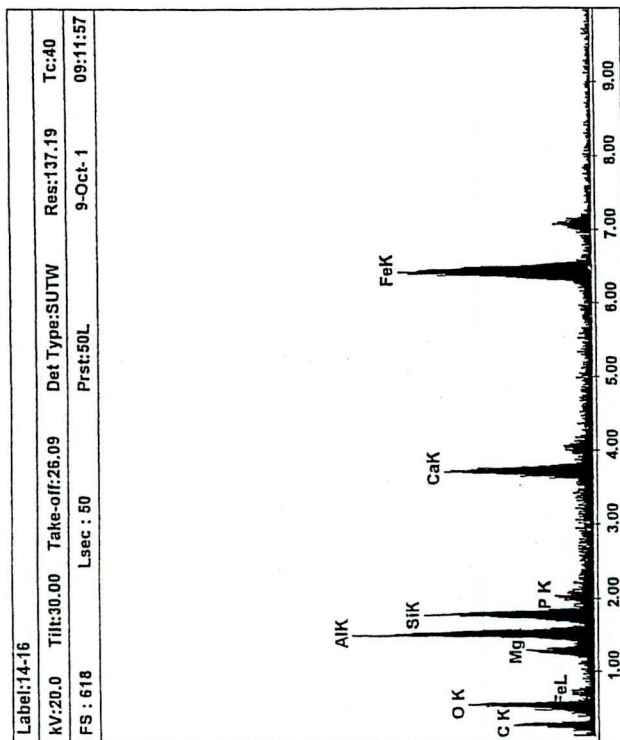
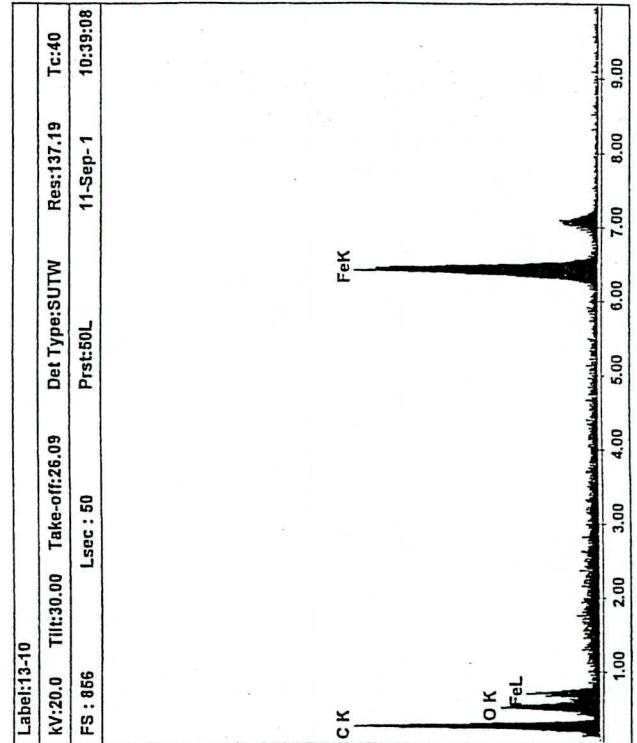
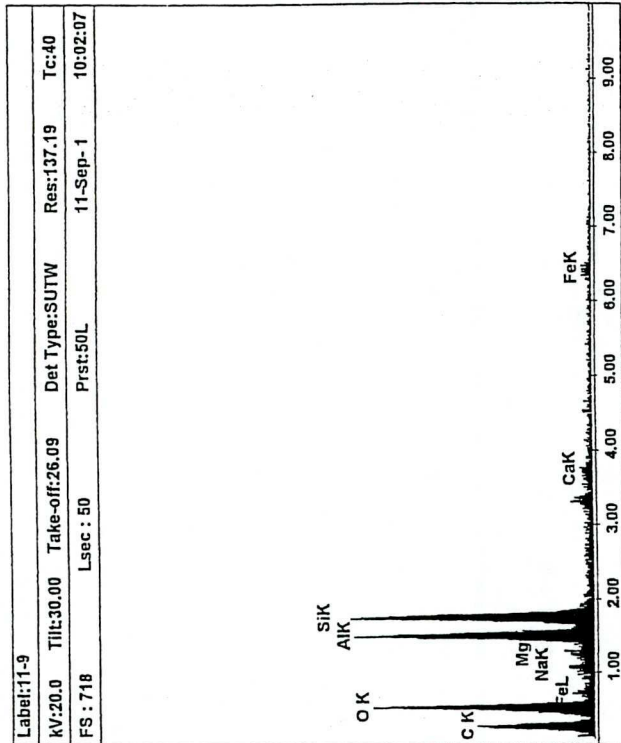


Abb.29 c



Abb.30 Röntgenmikroanalyse (EDXR) an 4 Proben des K gelchenmaterials  
Institut für Toxikologie Kiel



### *Sekundärionen-Massenspektrometrie (SIMS)*

SIMS wurde am 1. Physikalischen Institut der Justus-Liebig-Universität zu Gießen durchgeführt. Dafür wurden Mikrokügelchen verschiedener Größen aus der Elbgeest bzw. vom südlichen Elbufer (Tespe) und aus Hanau nach Gießen versandt. Die Kügelchen aus dem Elbbeereich wurden einzeln zermahlen, während die aus Hanau zu einer Mischprobe verarbeitet wurden, von der Anteile für die qualitative Analyse entnommen wurden. Diese wurden auf unterschiedliche Unterlagen (Gold, Indium, graphitbeschichtete leitfähige Polycarbonatfolie) gebracht und auf optimale Signalgabe (SIMS-Signalintensität) getestet.

Abb.31 zeigt das Übersichtsspektrum (Massen 1 bis 300) eines Kügelchens aus dem Elbbeereich. Abb.32 enthält eine auf den Massenbereich 200 bis 300 ausgedehnte Darstellung.

Aus Abb.31 wird ersichtlich, dass leichte Elemente wie Lithium (Li) und Beryllium (Be) vorhanden sind. Die relativ hohen Anteile von Li und Be und das Verhältnis von Li/Be sind Merkmale, die auf Hybrid-Material hinweisen. Die nach Abb.31 und 32 aufgefunden Aktinide wie Thorium 232 ( $^{232}\text{Th}$ ) und Uran 238 ( $^{238}\text{U}$ ) bestätigen ebenfalls diese Annahme.

Die Massenspektrogramme für die anderen Mikrokügelchen zeigen ein ähnliches Erscheinungsbild.

### **Bestätigung der ARGE PhAM-Erkenntnisse durch frühere Untersuchungen in der Elbmarsch im Zusammenhang mit dem Leukämieproblem**

- *Behördenuntersuchungen weisen ebenfalls Kernbrennstoffe auf*
- *Die Art der Kernbrennstoffe entspricht der Hybridversion*

#### **a) Angereichertes Uran in der Elbmarsch**

Bei den Bodenuntersuchungen der ARGE PhAM in der Umgebung von KKK und GKSS wurde angereichertes Uran festgestellt (Ar01a, Ar01b). Dieses ergab sich in gammaspektrometrischen Analysen an 15 von 16 Bodenproben aus 5-15 cm Tiefe, wobei die 16. Probe im Landkreis Lüneburg entnommen wurde. Ferner wurde auch das Probenmaterial aus dem Nahbereich der Anlagen an 3 Stellen alphaspektrometrisch untersucht und ergab ebenfalls eine Anreicherung des Isotops U 235.

Bereits in verschiedenen früheren Bodenuntersuchungen im Zusammenhang mit dem Elbmarschproblem sind Uran- und Thoriumisotope sowie deren Folgeprodukte gemessen worden, die von den Behörden dem natürlichen Background zugeordnet werden. ARGE PhAM hat darauf hingewiesen, dass sich in etlichen dieser Bestimmungen zeigt, dass eine gegenüber dem natürlichen Isotopengemisch zu hohe Konzentration von U 235 vorliegt, die eine Verbreitung von angereichertem Uran in der Umgebung der kerntechnischen Anlagen zeigt (Ar01b).

Der Urangelalt des Bodens in Deutschland für das vorherrschende Isotop U 238 liegt zwischen 7-60 Bq/kg Trockensubstanz, für das prominente Thoriumisotop 232 zwischen 7-80 Bq/kg (Bu95). Das Elbmarschgebiet und das schleswig-holsteinische Ufer der Elbe gehören nach Untersuchungen des Bundesamts für Strahlenschutz zu den Gegenden mit niedrigem Urangelalt (Bu95) und geringer Gammadosisleistung durch den natürlichen Untergrund (Bu99).



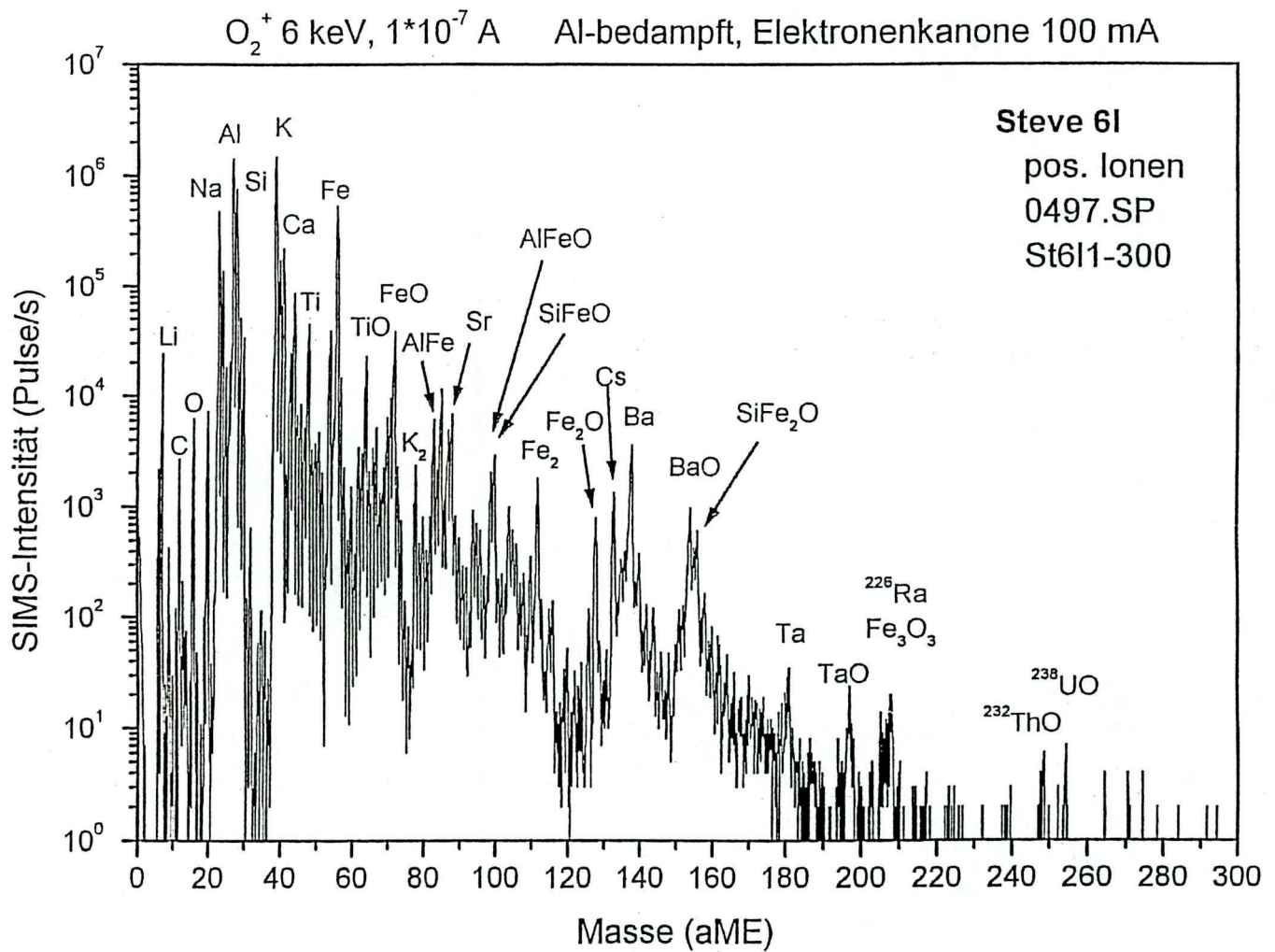
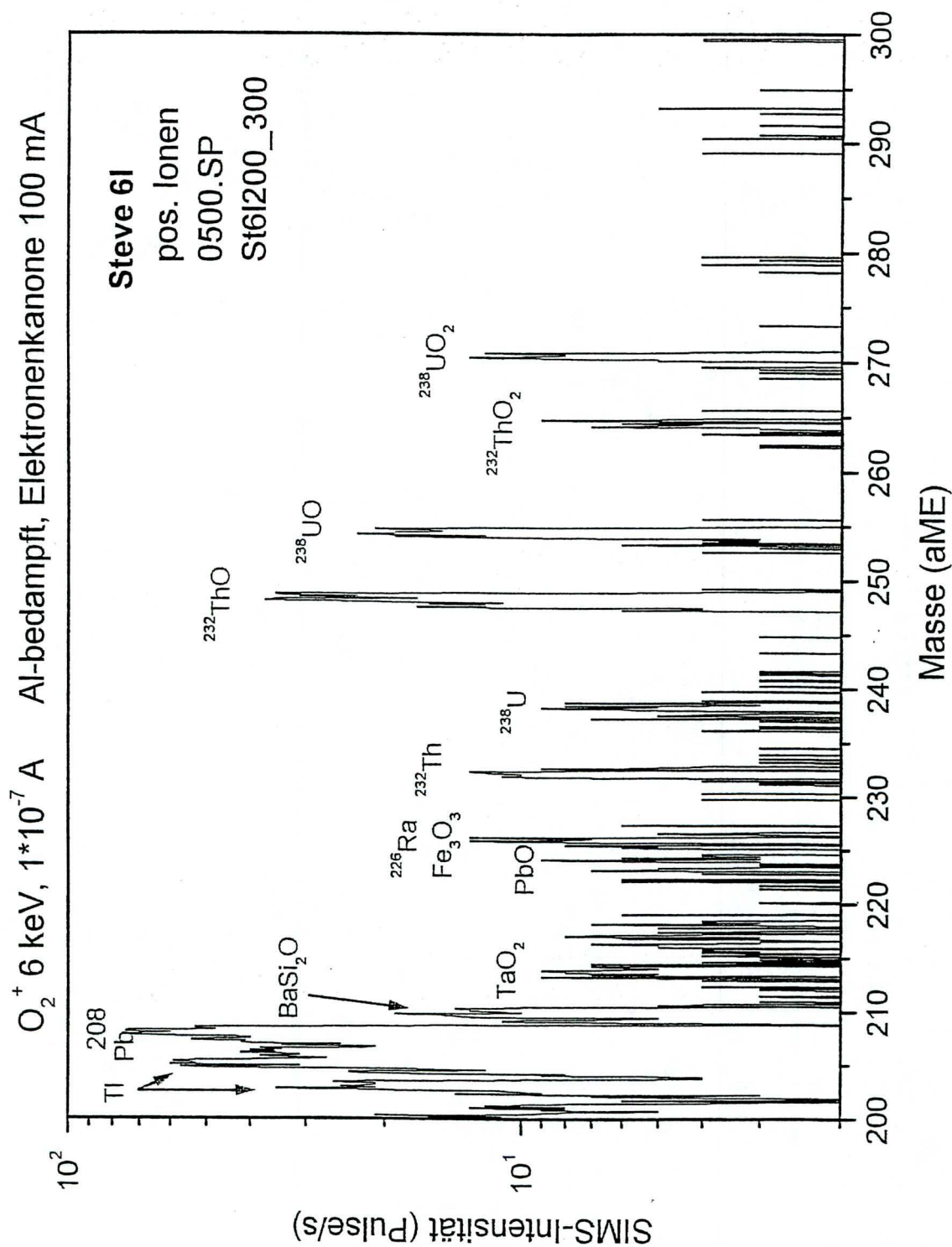


Abb.31 Massenspektrum (SIMS) eines zermahlenden Mikrokügelchens aus der Umgebung von Geesthacht  
Probennahme Institut für Toxikologie Kiel

Abb.32 Massenspektrum (SIMS) derselben K gelchenprobe wie Abb.31  
Massenbereich nur 200 bis 300





Die 3 natürlich vorkommenden Isotope von Uran in Gestein und Erde werden in einem sehr konstanten Verhältnis zueinander vorgefunden (La00). U 238 hat 99,47 % Gewichtsanteil, die Isotope U 235 und U 234 haben 0,72 bzw. 0,0055 %. Die Aktivitätsverhältnisse betragen nach (La00):

$$U\ 238 : U\ 235 : U\ 234 \hat{=} 100 : 4,66 : 100$$

#### 1) Messungen des Isotopenlabors Göttingen

Im Rahmen der Kommissionsarbeit wurden zur Frage einer Kontamination mit dem Spaltprodukt Ce 141 und radioaktiven Korrosionsprodukten gammaspektrometrische Analysen an 5 Bodenproben aus der Elbmarsch vorgenommen (Ge96). Die Probennahme erfolgte am 16.12.95. Als Ergebnisse wurden auch Konzentrationen für die Uranisotope U 238 und U 235 angegeben. Diese sind in Tab. 6 zusammengestellt und ins Verhältnis gesetzt (2 $\sigma$ -Fehlerbereich des Verhältnisses in Klammern).

**Tab.6** Uranbestimmungen an 5 Bodenproben aus der Elbmarsch vom Dez. 1995  
Isotopenlabor Universität Göttingen      Bq/kg Trockenmasse

Proben Nr.	1	2	3	4	5
U 235	2,4 $\pm$ 0,2	0,6 $\pm$ 0,2	0,6 $\pm$ 0,2	1,5 $\pm$ 0,3	1,1 $\pm$ 0,2
U 238	31,0 $\pm$ 2,0	7,8 $\pm$ 1,9	11,1 $\pm$ 2,0	26,8 $\pm$ 2,8	15,3 $\pm$ 1,5
<u>U 235</u>	7,74 %	7,69 %	5,40 %	5,60 %	7,19 %
U 238	(6,1-9,4)	(1,3-14,0)	(1,3-9,5)	(3,1-8,1)	(4,2-10,2)
Verh. sign.> 4,66	⊗				

Alle Meßergebnisse für das Isotopenverhältnis liegen oberhalb des natürlichen Wertes 4,66. Wenn sich auf die Einzelmessung bezogen auch nur einmal eine signifikante Erhöhung ergibt, so spricht dennoch die Gesamtheit der Werte für angereichertes Uran in der untersuchten Region.

#### 2) Messungen Universität Bremen

In den 1996-1998 erfolgten gammaspektrometrischen Messungen an Dachstaub aus der Elbmarsch und Kontrollgebieten wurden auch Uranbestimmungen vorgenommen (Sc98c). In 6 der Elbmarschproben wurde U 235 oberhalb der Nachweisgrenze festgestellt, diese Ergebnisse sind in Tab.7 aufgeführt, in den Kontrollproben wurde kein U 235 oberhalb der Nachweisgrenze festgestellt.

Nachfolgend enthält Tab.7 sämtliche weiteren Ergebnisse von Messungen, die im Rahmen der Elbmarschuntersuchungen in der Landesmeßstelle für Radioaktivität an der Universität Bremen durchgeführt wurden und quantitative Angaben über die Gehalte der beiden Uranisotope lieferten (Fehlerangabe 1 $\sigma$ , 2 $\sigma$ -Vertrauensbereich in Klammern).

**Tab.7** Gammaspektrometrische Messungen an Elbmarschproben Universität Bremen  
Bq/kg Trockenmasse

Ort	Proben -material	Datum Probe	U 235	U 238	$\frac{U\ 235}{U\ 238}$	sign. >4,66
Avendorf 2	Dachstaub	5/1998	0,868±0,304	12,67±0,86	6,9 % (1,0-11,7)	
Marschacht 2	„	5/1998	1,608±0,695	30,18±1,46	5,3 % (0,7-10,0)	
Marschacht 3	„	5/1998	0,708±0,188	9,53±0,75	7,4 % (3,3-11,5)	
Tespe 2	„	5/1998	0,70±0,21	13,54±0,92	5,2 % (2,0-8,4)	
Tespe 3	„	5/1998	0,46±0,16	4,13±0,58	11,1 % (2,8-19,2)	
Krümmel	Boden 0-10 cm	9/1996	0,895±0,095	14,60±0,48	6,1 % (4,8-7,5)	⊗
Dassendorf 10 km nördl.	Boden 0-10 cm	1/1998	0,704±0,179	16,35±0,598	4,3 % (2,1-6,5)	

Wiederum zeigte eine Bodenprobe - und zwar die aus der Nahumgebung des KKK (elbseitig genommen) - eine signifikante Erhöhung und insgesamt ergaben alle Elbmarschanalysen Isotopenverhältnisse über dem natürlich zu erwartenden. Hingegen zeigte die Probe aus Dassendorf, das als Referenzort für den KKK-Standort in der Umgebungsüberwachung benutzt wird, das natürliche Verhältnis.

### 3) Messungen der GKSS

Nach der Sitzung am 8.3.01 im Rathaus in Marschacht, auf der ARGE PhAM und NLÖ ihre Ergebnisse zur Frage der radioaktiven Mikrosphären in der Elbmarsch vorstellten, wurden Proben von einem Marschachter Haus durch die GKSS genommen (GK01). Alphaspektrometrisch wurden 2 Sammelproben analysiert: erstens von dem abgedeckten Reetdach des Hauses, das in den 80er Jahren bereits vorhanden gewesen war, zweitens von Moos „am First der alten Hausabdeckung (wahrscheinlich Wellasbestplatten)“. Die Ergebnisse der Uranbestimmung sind in Tab.8 aufgeführt, die auch eine Berechnung des Isotopenverhältnisses und seines 2σ-Fehlers aus den angegebenen Standardabweichungen enthält.

**Tab.8** Alphaspektrometrische Uranbestimmung an Reet und Moos vom Dach eines Elbmarschhauses durch GKSS 2001

	Reet	Moos
	Aktivität Bq/kg Feuchtmasse	
U 235	0,0091 ± 0,0025	0,0677 ± 0,0084
U 238	0,1074 ± 0,0095	1,403 ± 0,0787
$\frac{U\ 235}{U\ 238}$	8,47 %	4,83 %
	(3,60 - 13,4)	(3,50 - 6,14)



In dem Reetmaterial deutet sich ein stark erhöhtes Isotopenverhältnis an, auch wenn diese Einzelmessung wegen des großen Meßfehlers keinen zwingenden Nachweis dafür liefert. Bezeichnenderweise wird aber für das Moos ein ganz normaler Wert gefunden. Moose können zwar auch als Speicher für Umweltkontaminationen dienen, haben aber eine kürzere Lebensdauer als 15 Jahre, die Zeitspanne, die hier seit dem vermutlich auslösenden Ereignis verstrichen ist.

Zusammengenommen mit den anderen Messungen bestätigt dieser Befund das Vorhandensein angereicherten Urans in der Elbmarsch, zumal die vom NLÖ behaupteten prinzipiellen Fehler der Gammaanalyse (s. unten) hier nicht zutreffen können, da eine andere Meßmethode benutzt wurde.

#### 4) Messungen des Niedersächsischen Landesamtes für Ökologie in der KKK/GKSS-Umgebung

Nach Bekanntwerden der ersten Ergebnisse von ARGE PhAM wurden Messwerte durch das NLÖ vorgelegt (Ni01a). In dem Ergebnisbericht kamen die Autoren zu dem Schluss, dass in der Elbmarsch keinerlei vom üblichen Background abweichende Kontamination vorläge. Ihre Ergebnisse bestätigen das aber nicht, insbesondere zeigte die Auswertung der Uranmesswerte angereichertes Uran (Di01), s. Tab.9, Spalte 5 zu Messung 1.

Auf diese Feststellung hin behauptete das NLÖ, die „Berechnungen eines Anreicherungsgrades unter alleiniger Berücksichtigung der Aktivitätsgehalte von Uran-238 und Uran-235“ seien „reine Zahlenspielerien und ohne jede Belastbarkeit“ und legten neue Messwerte vor (Tab.9, Spalten 6-7), die zu wesentlich niedrigeren Anreicherungsverhältnissen führen (Ni01b).

Diese Vorgehensweise ist wenig glaubwürdig. In der Literatur wird die „passive“ gamma-spektrometrische Analyse sehr wohl für geeignet gehalten, um das besagte Isotopenverhältnis zu ermitteln, und ebenso die alphaspektrometrische Bestimmung (Va87,Sh01). Das NLÖ liefert auch in Anlage 1 von (Ni01b) die Anleitung mit, wie man gammaspektrometrisch zur korrekten Erfassung der Einzelisotope vorzugehen hat. U 238 kann störungsfrei von Überlagerungen durch Linien anderer Nuklide über die hochenergetischen Linien des Folgeprodukts Pa 234m (s. Tabelle 1 auf S. 20) nachgewiesen werden, sofern die Aktivität im Präparat ausreicht. Aus den Bremer Messunterlagen geht hervor, dass dieses bei den aufgeführten Elbmarschproben der Fall ist. Ebenso kann U 235 überlagerungsfrei durch die Linie bei 205 keV bestimmt werden.

Das NLÖ behauptet weiterhin, die Frage, ob nicht natürliches Uran vorliege, könne anhand der Aktivität des Isotops U 234 entschieden werden, das bei angereichertem Uran ebenfalls mit angereichert wird und dann von dem natürlichen Aktivitätsverhältnis zu U 238 von 1:1 abweichen müsse. Dieses ist jedoch kein empfindliches Ausschlusskriterium, da die (unbeabsichtigte) Anreicherung von U 234 nicht proportional zu der (beabsichtigten) von U 235 verläuft (La00).

**Tab.9** Messungen des Nieders. Landesamts für Ökologie in Boden

NLÖ-Berichte vom 13.2.01 (dort Tab. 6.2, 6.3 und 11) und 23.3.01 (dort Tab.1 und 2)  
 Auszug der Meßwerte mit U 235 oberhalb Nachweisgrenze

Probennahme 27.1.01		Messung 1 Febr. 01			Messung 2 März 01		
Probennahmeort in Tespe	Methode	U 235 Bq/kg	U 238 Bq/kg	$\frac{U\ 235}{U\ 238}$	U 235 Bq/kg	U 238 Bq/kg	$\frac{U\ 235}{U\ 238}$
1	2	3	4	5	6	7	8
	Probenahmetiefe 10-20 cm						
Fährhaus 1.1	Gamma TM	1,1	9,9	<b>11%</b>	1,1±19%	18±21%	<b>6,1%</b>
Tennisplatz 1.22	Gamma FM	0,84	18	4,7%			
	Alpha TM	0,3±5%	6±6%	5%			
Kriegerdenkmal 1.2	Gamma TM	0,73	8,2	<b>8,9%</b>	0,73±29%	13±21%	<b>5,6%</b>
Kate 1.27	Gamma FM	1,3	29	4,5%			
	Gamma TM	1,6	14	<b>11,4%</b>	1,3±12%	27±20%	<b>4,8%</b>
	Alpha TM	1,2±15%	12±5%	<b>10%</b>			
Hafen 1.34	Alpha TM	0,3±32%	5±7%	6%			
	Gamma TM				0,56±22%	10±21%	5,6%
	Probenahmetiefe 0-10 cm						
Fährhaus 1.1	Gamma FM	0,76	14	5,4%			
Tennisplatz 1.22	Gamma FM	0,79	17	4,6%			
Kriegerdenkmal 1.2	Gamma FM	1,5	6,1	<b>24,6%</b>			
	Steine						
Tennisplatz 1.25	Gamma TM				2,6±14%	51±20%	5,1%

FM Feuchtmasse

TM Trockenmasse

U 234 muß wegen seiner zu niedrigen Gammaenergien alphaspektrometrisch nachgewiesen werden. In den 3 Alphaanalysen des NLÖ, die U 235 oberhalb der Nachweisgrenze zeigten, s. Tab.9 (Spalte 2), wurden Aktivitäten für das Isotop U 234 angegeben (hier nicht aufgeführt), die jeweils etwas oberhalb derjenigen von U 238 lagen - im Mittel 10 % -, so dass sich hieraus kein Widerspruch zu einer nicht natürlichen Herkunft konstruieren läßt.

Die veränderten Messwerte in der Messung 2 (Tab.9, Spalten 4-5) erklärt das NLÖ durch längere Messzeiten und dadurch bedingten geringeren Zählfehler. Dies ist nicht glaubhaft. Die ursprünglichen Messzeiten betrugen nach (Ni01a) 60000-80000 Sekunden, die neue 200000 Sekunden. Ein Verdreifachung der Zählzeit kann zwar den Zählfehler um den Faktor 1,7 senken, jedoch ist der einseitig drastische Anstieg der U 238-Ergebnisse in Messung 2 unwahrscheinlich.

Völlig unbenommen von den Maßnahmen des NLÖ in Messung 2 bleibt der auffälligste Befund bestehen, nämlich ein Isotopenverhältnis von **24,6 %** in der Oberflächenprobe Kriegerdenkmal, s. Tab.9.



## 5) Zusammenfassung

In der Gesamtschau findet der ARGE PhAM-Befund einer Kontamination mit Kernbrennstoff eine Bestätigung durch den konsistenten Nachweis angereicherten Urans in unabhängigen Messreihen von vier verschiedenen Institutionen.

### b) Nicht natürliches Thorium 232 und Folgeprodukte von Brutprozessen

ARGE PhAM hat in ihren Messungen Isotope von Uran, Thorium, Protactinium, Neptunium und Americium gefunden, die sie auf Kernprozesse mit schnellen Neutronen zurückführt (AR01b). In früheren Messungen im Zusammenhang mit dem Elbmarschproblem hat das Niedersächsische Landesamt für Immissionsschutz (jetzt „NLÖ“) ebenfalls radioaktive Stoffe dieser Art gemessen. Die Ergebnisse sind in der Anlage des Fachbeamtenberichts (März 1992) niedergelegt (Fa92).

Tab.10 enthält die auch von ARGE PhAM (AR01b) betrachteten Ergebnisse der gammaspektrometrischen Bodenmessungen von 1991 für Nuklide ab Massenzahl 208. Im Vergleich dazu sind in Tab.11 die natürlichen Zerfallsreihen mit den Ausgangssubstanzen U 238, U 235 und Th 232 und ihren Folgeprodukten im Dauergleichgewicht aufgeführt. Da die Radioaktivität von Th 232 in Deutschland nach oben etwa so hoch ist wie die von U 238, haben wir die relativen Aktivitäten beider Ausgangssubstanzen hier gleichgesetzt. Verschiebungen vom Dauergleichgewicht können sich im realen Boden dadurch ergeben, dass das Element Radium (Ra) wasserlösliche Verbindungen bildet und aus Oberflächenschichten ausgeschwemmt wird. Ferner diffundiert das gasförmige Element Radon (Rn) je nach Bodenbeschaffenheit mehr oder weniger vom Entstehungsort fort, so dass auch die Folgeprodukte an anderer Stelle gebildet werden.

Deutliche Abweichungen von einer natürlichen Zusammensetzung zeigen sich in den Proben des NLIS für die Nuklide Tl 208, Pa 231, Ra 223 und Th 232, s. Tabellen 10 und 11. Diese lassen sich durch die vermuteten Hybridexperimente erklären.

Für fortgeschrittene Hybridreaktoren wurde 1979 eine Mischung aus Th 232 mit etwas U 238 vorgeschlagen (Be79).

Tl 208 tritt im natürlichen Gemisch als Tochterprodukt von Th 232 und in unmittelbarer Nachfolge von Pb 212 mit einer relativen Aktivität von 0,36 auf (Tab.11, Spalte 9). Vom NLIS wurde es am Untersuchungsort Schwinde jedoch mit einem überproportionalen Anteil gegenüber seinem Mutterprodukt Pb 212 aufgefunden, s. Tab.10, gegenüber dem üblichen Vorkommen war es 4-fach erhöht. Auch in seiner absoluten Höhe ist es mit 138 Bq/kg sehr auffällig. Bei einem üblichen Thorium 232-Gehalt des Bodens in Deutschland von 7-80 Bq/kg (s. oben) wären bei natürlicher Zusammensetzung nur 2,5 - 29 Bq/kg an Tl 208 zu erwarten. Künstlich ist es jedoch ebenfalls herstellbar, da sich beim Beschuss von Th 232 mit schnellen Neutronen als Nebenprodukt U 232 bildet, das seinerseits zu Th 228 zerfällt und damit zu den Zerfallsprodukten der weiteren Thoriumreihe (Tab.11, Spalte 9) führt (Se84).

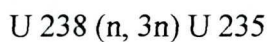
Das in Rönne aufgefundene Pa 231 ist in der Natur ein Folgeprodukt von dem selteneren Uranisotop U 235 und dürfte gegenüber dem Isotop U 238 deshalb nur einen Aktivitätsanteil von 4,66 % ausmachen (s. Tab.11, Spalte 5), demgegenüber beträgt es aber das 550-fache. Es macht den Einsatz von Th 232 als Ausgangsmaterial besonders plausibel, denn es entsteht als weiteres Produkt beim Beschuss von Th 232 mit schnellen Neutronen:



**Tab.10** Bodenmessungen des NLIS in der Elbmarsch, Probennahme Mai 1991  
Bq/kg Trockensubstanz

		Schwin- de	Rönne	Tespe Im Westerfeld	Tespe Elbufer- str.189	Tespe Elbufer- str.184	Aven- dorf	Ober- mar- schacht
Uran	U 238	16,4	2,68	24,2	12,8		9,21	
238	Ra 226	10,8	32,7	27,3	17,1	152	12,7	23,9
Reihe	Bi 214	13,1	85,5	30,0	30,9	21,6	28,0	55,2
	Pb 214	24,1	36,1	76,0	82,5	54,1	63,1	101
	Pb 210	46,7		162	103		116	63,1
Uran	U 235							
235	Pa 231		69,8					
Reihe	Ra 223							1,11
Thorium	Th 232	13,9	24,8	224	11,6	9,17	9,03	15,0
232	Ra 228	13,0	23,3	13,2	9,23	9,7	7,48	14,4
Reihe	Th 228		23,4			17,3		
	Ra 224							
	Pb 212	91,2	122					
	Bi 212	61,5	158					
	Tl 208	138	39,9					
natürl.								
0,36	<u>Tl 208</u> Pb 212	1,5	0,33					
0,047	<u>Pa 231</u> U 238		25,9					
0,047	<u>Ra 223</u> Th 232							0,074
ca. 1	<u>Th 232</u> U 238	0,85	9,3	9,2	0,90		0,98	

Ra 223 tritt in der Natur als Tochterprodukt von U 235 auf. Gegenüber U 238 (das hier nicht nachgewiesen wurde) und Th 232 würde es im natürlichen Gemisch zu einem Anteil von 4,66 % erwartet werden, beträgt am Meßort Obermarschacht aber 7,4 %. Deshalb weist es wiederum auf vermehrtes U 235 hin, das zu erwarten ist, wenn angereichertes oder wiederaufgearbeitetes Uran als Brutmaterial verwendet wurde. Das Isotop entsteht jedoch auch bei Beschuß von U 238 mit schnellen Neutronen:





**Tab.11** Natürliche Zerfallsreihen von Uran 238, U 235 und Thorium 232 im Dauergleichgewicht nach (Ei87)

Natürliche Zerfallsreihe Uran 238				Natürliche Zerfallsreihe Uran 235				Natürl. Zerfallsreihe Thorium 232			
Nuklid	HWZ	Strahlungsart	Aktivität relat. Einh.	Nuklid	HWZ	Strahlungsart	Aktivität relat. Einh.	Nuklid	HWZ	Strahlungsart	Aktivität relat. Einh.
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
U 238	4,5 10 <sup>9</sup> y	α γ	100	U 235	7,1 10 <sup>8</sup> y	α γ	4,66				
Th 234	24 d	β γ	"	Th 231	25,6 h	β γ	"				
Pa 234m	1,2 m	β γ	100	Pa 231	3,3 10 <sup>4</sup> y	α γ	4,66	Th 232	1,4 10 <sup>10</sup> y	α γ	100
U 234	2,5 10 <sup>5</sup> y	α γ	100	Ac 227	21,6 y	β α	"	Ra 228	6,7 y	β	100
Th 230	8,0 10 <sup>4</sup> y	α γ	"	Th 227	18,2 d	α γ	"	Ac 228	6,13 h	β γ	"
Ra 226	1622 y	α γ	100	Fr 223	22 m	β γ	"	Th 228	1,9 y	α γ	"
Rn 222	3,8 d	α	100	Ra 223	11,4 d	α γ	4,66	Ra 224	3,64 d	α γ	"
Po 218	3,05 m	α	"	Rn 219	4,0 s	α γ	4,66	Rn 220	55 s	α	100
Pb 214	26,8 m	β γ	"	Po 215	1,8 10 <sup>-3</sup> s	α	"	Po 216	0,16 s	α	"
Bi 214	19,7 m	β	"	Pb 211	36,1 m	β γ	"	Pb 212	10,6 h	β γ	"
Po 214	1,6 10 <sup>-4</sup> s	α γ	"	Po 211	0,52 s	α γ	"	Bi 212	60,5 m	β,γ,α	"
Tl 210	1,3 m	β γ	"	Tl 207	4,79 m	β	"	Po 212	3,0 10 <sup>-7</sup> s	α	54
Pb 210	22 y	β γ	"	Pb 207	stabil			Tl 208	3,1 m	β γ	36
Bi 210	5,0 d	β	"					Pb 208	stabil		
Po 210	138 d	α	"								
Tl 206	4,2 m	β	"								
Pb 206	stabil										

HWZ Halbwertszeit y Jahre d Tage h Stunden m Minuten s Sekunden

\*) wegen einer Verzweigung der Zerfallsreihe bei Bi 212 ist die Aktivität von Po 212 und Tl 208 geringer als für Bi 212

Th 232 ist in Tespe/Im Westerfeld mit 224 Bq/kg absolut fast dreimal höher konzentriert als sonst in Deutschland (s. oben) und ebenso wie in Rönne gegenüber U 238 etwa 10-fach erhöht. Dies spricht für den zusätzlichen Eintrag von Thorium, das von ARGE PhAM als Ausgangsmaterial für Brutprozesse in Experimenten bei der GKSS angesehen wird.

Die wenigen stichprobenartig ausgeführten Messungen des NLIS aus dem Jahre 1991 auf der niedersächsischen Elbseite gegenüber den kerntechnischen Anlagen unterstützen somit die Thesen von ARGE PhAM und liefern Anhaltspunkte über die offensichtlich in Experimenten verwendeten Kernbrennstoffe.

## Haben die Befunde bei Geesthacht einen militärischen Hintergrund?

- *Trägheitsfusion ist vorrangig militärisch interessant*
- *Deutsche Firmen arbeiten heute mit den Atomwaffenschmiedern der USA zusammen (Superlaser-Entwicklung)*

Wie aus der vorangegangenen Darstellung hervorgeht, haben die Untersucher derzeit noch keine genaueren Kenntnisse über die Aktivitäten, die zu den Kontaminationen der Elbmarsch und Elbgeest mit Aktiniden (Th, U), Transuranen, Fusionselementen und Pac-Mikrosphären führten.

Recherchen von Pflugbeil (Pf01) in der Bundesbehörde für die Unterlagen des Staatssicherheitsdienstes ergaben, daß sich das Ministerium für Staatssicherheit der DDR für die Grauzone zwischen Atomwaffen und Kraftwerken interessierte. Aus „zuverlässigen Quellen der Abteilung 5 der Hauptabteilung XVIII“ liegt eine „Einschätzung des gegenwärtigen Entwicklungsstandes“ vor. Eine Studie aus dem Jahr 1987 mit dem Titel „Kleinkernladungen (Mininukes)“ (K187a/87) untersucht diesbezügliche Entwicklungen in der BRD, den USA, der Schweiz und Saudi-Arabien.

Sie beginnt interessanterweise nicht mit militärischen Überlegungen, sondern mit dem Hinweis auf die Kernfusion als möglicher Lösung der Weltenergieprobleme: „Eine Lösungsmöglichkeit könnte das Einschießen von kleinen bis kleinsten Fusions-Fissions-Kügelchen in den Reaktor darstellen.“ Doch dann heißt es: „Interessanterweise sind in der letzten Zeit die Erfolg versprechendsten Fusionskonzepte in einer ganz anderen Richtung angelegt worden“, die ergeben haben, dass bei „Fusions-Fissions-Kügelchen eine andere Anwendung wesentlich interessanter ist“. Das werde „durch die Zielrichtung der US-amerikanischen Atompolitik unterstützt“, bei der „das Streben der Kernwaffenforschung eindeutig zu kleineren und leichteren Kernladungen ... geht“. Das MfS nennt Kügelchen mit Abmessungen im Millimeter- bis Zentimeter-Bereich, die gigantische Sprengstärken entwickeln.

Physikalisch funktioniert das Ganze etwa so, dass die Kügelchen zunächst zu einer Implosion gebracht werden (z. B. durch Laserstrahlen). Dabei entsteht ein Druck, der die Dichte einer winzigen Menge spaltbaren Materials im Innern des Kügelchens so stark erhöht, dass es zu einer Fusionsreaktion kommt. Diese Reihenfolge ist also anders als bei dem auf S.36 in den Abbildungen 17-19 angegebenen Mechanismus für den Hybridreaktor.

Die Fusion ist das eigentliche Ziel. Dabei kommen vor: Uranoxid, Urancarbid, Uransilizid, Uran-, Plutonium-, Americium-, Curium-, Californium-Isotope, Deuterium und Tritium.

Wichtig ist, dass man so zu interessanten Sprengwirkungen mit Spaltmaterialien weit unterhalb der bekannten kritischen Massen kommen kann, das heißt man bekommt Miniatombomben in tragbaren Abmessungen. Das MfS beschreibt die Einsatzbereiche folgendermaßen:

- Ersatz konventioneller Munition durch wesentlich kleinere und leichtere Geschosse mit besserer Zielgenauigkeit, Flächenbombardements möglich;
- Submunition, intelligente Munition;
- Taktische Kernwaffen in Flugzeugen und U-Booten, in denen bisher die Anzahl der mitgeführten Kernwaffen durch deren hohes Gewicht stark begrenzt war;
- Krieg der Sterne: Platzierung der Sprengladungen lange vor dem Einsatzfall, Zündung aus dem Weltraum durch Laser geringer Leistung oder Verwendung als Geschosse in elek-



tromagnetischen Kanonen im Weltraum zur Zerstörung von Interkontinentalraketen und Satelliten ...

- Diversion und Sabotage: leicht transportierbare kleine Sprengsätze ... schlechte Nachweisbarkeit der Sprengung in einem Kernkraftwerk, weil danach sowieso alles verstrahlt ist

Das MfS fand es bemerkenswert, dass die besonders geeigneten Isotope Americium 243, Curium 245 und Californium 249 beispielsweise bei einer Grenzkontrolle schwer aufzuspüren sind. Denn diese Isotope senden Alphastrahlen aus, die bereits von einer dünnen Folie wirksam eingeschlossen werden können. Das MfS verweist auch darauf, dass die Miniatombomben wegen der langen Halbwertszeiten der relevanten Isotope auch viele Jahre irgendwo versteckt liegen können, ohne ihre Funktionsfähigkeit zu verlieren.

Dieses Interesse war mit Sicherheit nicht nur platonisch, denkt man an die Aufgaben der „Arbeitsgruppe des Ministers/Sonderfragen“ (AGM/S) des MfS. Das war eine Gruppe von hoch qualifizierten Einzelkämpfern, die – wie in bekannten Spionagekrimis – als scheinbar harmlose Bürger bis heute unentdeckt in Deutschland leben und einst auf das Stichwort für einen bestimmten Mord- oder Sabotageanschlag warteten. Es liegt auf der Hand, dass für ihre Zwecke Miniatombomben die optimale Lösung dargestellt hätten. Es gibt Listen des MfS mit bedeutenden „Zielobjekten in der BRD“, unter denen sich acht Kernkraftwerke und andere kerntechnische Anlagen befanden (Au99). Ob das MfS tatsächlich über Miniatomwaffen verfügt hat, ist bisher nicht bekannt.

In der Literaturrecherche des MfS wird auf die Zeitschrift „Atomkernenergie-Kerntechnik“ hingewiesen, in der die Gutachter des MfS allein zwischen 1982 und 1985 zehn Veröffentlichungen mit durchschnittlich zehn Literaturhinweisen zur Thematik gefunden haben. Von den Autoren wird Professor Friedwardt Winterberg genannt, s. unser Zitate (Wi81, Wi82), der zunächst in der Gesellschaft für Kernenergieverwertung in Schiffahrt und Industrie in Hamburg und am Forschungsreaktor in Geesthacht (GKSS) gearbeitet hat, später nach Reno (Nevada, USA) ging, aber die Zusammenarbeit mit der GKSS weiterführte. Er verfügt über mehrere einschlägige Patente und hat sich intensiv mit den militärisch nutzbaren Aspekten des Themas befasst (z.B. Wi 81). Ebenfalls genannt wird Professor Walter Seifritz als Autor der genannten Fachzeitschrift. Seifritz hat sich in leitender Position im Eidgenössischen Institut für Reaktorforschung in Würenlingen (Schweiz) intensiv mit nuklearen Sprengkörpern befaßt. Der Titel eines seiner Bücher macht nachdenklich: „Nukleare Sprengkörper, Bedrohung oder Energieversorgung für die Menschheit?, Teil I: Nukleare Sprengkörper als Kernwaffen, Teil II: Nukleare Sprengkörper zur Energieversorgung“ (Se84).

In der Zeitschrift fallen mehrere Arbeiten von K.-D. Leuthäuser aus dem Institut für Naturwissenschaftlich-Technische Trendanalyse (INT) bei Kiel auf, die sich mit den „Kügelchen“ befassen, vom MfS aber übersehen wurden. Auch nach 1985 finden sich in der Atomkernenergie etliche Artikel, die sich in der hier beschriebenen Grauzone bewegen. Sowohl die Zeitschrift Atomkernenergie als auch das INT und die GKSS wurden wesentlich von Professor Erich Bagge mitbegründet. Er gehörte zu den deutschen Physikern, die es glücklicherweise nicht geschafft hatten, für Adolf Hitler die Atombombe zu bauen. Anders als etliche seiner berühmten Kollegen wie Max Born, Otto Hahn, Walter Gerlach, Werner Heisenberg, Max von Laue, Heinz Maier-Leibnitz, Fritz Strassmann und Karl Wirz hat Bagge jedoch die von Carl Friedrich von Weizsäcker initiierte Göttinger Erklärung vom 12. April 1957 nicht unterzeichnet. Dieser bemerkenswerte Text begann so: „Die Pläne einer atomaren Bewaffnung der Bundeswehr erfüllen die unterzeichnenden Atomforscher mit tiefer Sorge.“ Die Unterzeich-



ner erklären, es wäre „keiner der Unterzeichnenden bereit, sich an der Herstellung, der Erprobung oder dem Einsatz von Atomwaffen in irgendeiner Weise zu beteiligen“. Bagge hat dieses Versprechen nicht abgegeben.

Nach Ende des zweiten Weltkrieges gab es gute Gründe und etliche Versuche auf verschiedenen rechtlichen Ebenen, insbesondere Deutschland den Umgang mit ABC-Waffen zu untersagen. In etlichen Publikationen wird analysiert, wie bockig sich Bundesregierungen in den Verhandlungen um diese Frage verhalten haben. Besonders stark war der Widerstand der Bundesregierungen gegen alle Versuche, das Entstehen einer deutschen Atommacht grundsätzlich zu verhindern. Mit Forderungen wie „Freiheit der Forschung“ und unbehindertem freien Handel im Bereich der Kerntechnik gelang es Grauzonen zu schaffen, in denen niemand eindeutig feststellen konnte, ob „friedliche“ oder militärische Motive oder sogar beide gleichzeitig hinter Material- und Gerätschaftsbewegungen innerhalb Deutschlands und weit über die Grenzen hinaus bestimmend waren. Ebenso schwer zu bestimmen war die Motivation im Bereich der Forschungszusammenarbeit über die Grenzen hinweg. Es ist wenig transparent, was deutsche Kernphysiker und Nukleartechniker etwa in Israel, Südafrika, Argentinien und Brasilien oder im Irak konkret bearbeitet haben und wofür sich Studenten und Gastwissenschaftler aus diesen und anderen Schwellenländern in Deutschen Forschungseinrichtungen interessiert haben.

Am Kriegswaffenkontrollgesetz (KWKG) und seinen Veränderungen im Laufe der Zeit kann man exemplarisch aufzeigen, wie zielstrebig versucht wurde, klare und bindende Regeln zu vermeiden oder aufzuweichen. Das KWKG hatte den Sinn, Artikel 26 Abs. 2 des Grundgesetzes umzusetzen („Zur Kriegführung bestimmte Waffen dürfen nur mit Genehmigung der Bundesregierung hergestellt, befördert und in Verkehr gebracht werden. ...“).

Die älteste Fassung des KWKG stammt von 1961 (Gb 61). In §16 Abs.1 steht „Wer vorsätzlich ohne die nach diesem Gesetz erforderliche Genehmigung 1. Kriegswaffen herstellt, 2. die tatsächliche Gewalt über Kriegswaffen von einem anderen erwirbt, 3. die tatsächliche Gewalt über Kriegswaffen einem anderen überläßt ... wird mit Gefängnis und mit Geldstrafe oder mit einer dieser Strafen bestraft.“ In der Kriegswaffenliste Teil A sind die Waffen aufgelistet, die der Kontrolle des damaligen Rüstungskontrollamtes der Westeuropäischen Union unterlagen. Die erste Position in dieser Liste bezieht sich auf Atomwaffen. „Waffen aller Art, die Kernbrennstoffe oder radioaktive Isotope enthalten oder eigens dazu bestimmt sind, solche aufzunehmen oder zu verwenden, und Massenerstörung, Massenschäden oder Massenvergiftungen hervorrufen können.“ Und „Alle Vorrichtungen, Baugruppen oder Substanzen, die eigens für eine in Nummer 1 genannte Waffe bestimmt oder für sie wesentlich sind, sofern nicht die Genehmigung nach dem Gesetz über die friedliche Nutzung der Kernenergie und den Schutz gegen ihre Gefahren vom 23. Dezember 1959 erteilt ist.“

1978 werden die Strafvorschriften des KWKG etwas angezogen, der § 16 Abs. 1 beginnt „Mit Freiheitsstrafe von einem Jahr bis zu fünf Jahren wird bestraft, wer ...“ (Gb 78).

In Abs. 2 wird einem gewerbsmäßig handelnden Täter oder Mitglied einer Bande, die sich zur fortgesetzten Begehung solcher Straftaten verbunden hat oder unter Mitwirkung eines anderen Bandenmitgliedes handelt, Freiheitsstrafe von 1 bis 10 Jahren angedroht. Der Begriff „Forschungszentrum“ wird vermieden.

1989 wird die Kriegswaffenliste geringfügig verändert (Gb 89). Die Überschrift lautet nun „Kriegswaffen, auf deren Herstellung die Bundesrepublik Deutschland verzichtet hat“. Dann gibt es einen neuen Vorsatz: „Von den Bestimmungen der Waffen ausgenommen sind alle



Vorrichtungen, Teile, Geräte, Einrichtungen, Substanzen und Organismen, die zivilen Zwecken oder der wissenschaftlichen, medizinischen oder industriellen Forschung auf dem Gebiet der reinen und angewandten Wissenschaft dienen." Das bedeutet – Herstellung von Atomwaffen nicht, Forschung und Entwicklung in Richtung auf Atomwaffen – schon möglich, kann man sowieso nicht verhindern.

Wenige Wochen nach der Vereinigung der beiden deutschen Staaten, im November 1990, wurde die bisher schwerwiegendste Veränderung vorgenommen (Gb 90). Zunächst scheint die Veränderung positiv: in § 17 ist zu den bisherigen Verboten die Entwicklung von Atomwaffen dazugekommen, es ist auch verboten, einen anderen zu den verbotenen Handlungen zu verleiten oder eine solche verbotene Handlung zu fördern. Ein neuer § 16 befaßt sich jedoch mit den „Nuklearen Aufgaben im Nordatlantischen Bündnis“. „Die Vorschriften dieses Abschnitts und die Strafvorschriften der §§ 19 und 21 gelten, um Vorbereitung und Durchführung der nuklearen Mitwirkung im Rahmen des Nordatlantikvertrages vom 4. April 1949 oder für einen Mitgliedstaat zu gewährleisten, nur für Atomwaffen, die nicht der Verfügungsgewalt von Mitgliedstaaten dieses Vertrages unterstehen oder die nicht im Auftrag solcher Staaten entwickelt oder hergestellt werden.“ Das bedeutet, dass es verboten ist, „Atomwaffen zu entwickeln, herzustellen, mit ihnen Handel zu treiben, von einem anderen zu erwerben oder einem anderen zu überlassen, einzuführen, auszuführen, durch das Bundesgebiet durchzuführen oder sonst in das Bundesgebiet oder aus dem Bundesgebiet zu verbringen oder sonst die tatsächliche Gewalt über sie auszuüben“ im Auftrage irgendeines Staates, der nicht zur NATO gehört – beispielsweise für China oder den Irak. Das bedeutet aber auch, dass all das erlaubt ist in Zusammenarbeit mit anderen NATO-Partnern oder auch für Deutschland (als gleichberechtigten NATO-Mitgliedsstaat) alleine.

Man mag einwenden, dass es ja noch andere Verträge gibt, die das Atomwaffenverbot für Deutschland klarer aussprechen. Erklärungsbedürftig bleibt, weshalb im KWKG das Atomwaffenverbot für Deutschland praktisch völlig aufgehoben wurde. Jedenfalls muß man sich in Deutschland vor den etwas angezogenen Strafandrohungen nicht fürchten, wenn man in aller Ruhe an Atomwaffen arbeitet, die in deutscher Hand oder unter der Verfügungsgewalt eines anderen NATO-Partners bleiben. Diese wesentliche Veränderung der Rechtslage ist in der Öffentlichkeit nahezu unbemerkt geblieben. Die bisher zu dieser Gesetzesänderung befragten Bundestagsabgeordneten, die 1990 im Bundestag saßen, konnten sich nicht erinnern oder haben jedes Gespräch zu ihrer damaligen Abgeordnetentätigkeit abgelehnt.

Es gibt eine Fülle von Quellen, die belegen, dass Deutschland sich über Jahrzehnte unter dem Druck gewunden hat, unmissverständlich auf Atomwaffen zu verzichten, dass es nie den Wunsch aufgegeben hat, endlich mit den Atomwaffenmächten auf gleicher Augenhöhe reden zu können. In der Dissertation von Matthias Küntzel sind diese Quellen im Kontext des deutschen Beitritts zum Atomwaffen-Sperrvertrag überzeugend analysiert worden (Kü91).

Unter Fuionsforschern ist man überwiegend der Meinung, dass sich die Methode des Trägheitseinschlusses deutlich schlechter zur Energiegewinnung in Kraftwerken eignet als der Weg des magnetischen Einschlusses. Vor allem in den USA und in Frankreich wurde aus militärischen Gründen an der Trägheitsfusion gearbeitet. Rebhan schreibt dazu „Die Laserfusion ist ein Paradebeispiel für die Janusköpfigkeit, mit der sich physikalische Forschung darbieten kann. Die Brennstoffkugeln sind zugleich Energiepillen für den Fusionsreaktor und 'Minibomben' für den Laborversuch" (Re92, zit. in Bo01).

Trägheitseinschluss-Fusion ist der deutsche Begriff für Inertial Confinement Fusion, abgekürzt ICF. Ein Ort in den USA, an dem intensiv seit Jahren ICF-Projekte bearbeitet werden,



ist das Lawrence-Livermore-National-Laboratory. Das LLNL ist eine der Atomwaffenschmieden der USA. Man kann leicht über das Internet recherchieren, daß es im LLNL eine Fülle von Literatur über ICF im Kontext militärischer Projekte gibt. Enge Kooperation gibt es mit den führenden Laserforschungseinrichtungen weltweit – beispielsweise dem GSI Darmstadt (PHELIX-Projekt) und dem Max-Born-Institut für Nichtlineare Optik und Kurzzeitspektroskopie in Berlin. Ein anderer wichtiger Partner ist eine Tochter der deutschen Glas-Firma Schott in den USA. Ähnliche Kooperationsbeziehungen gibt es zwischen LLNL und britischen und französischen Kernwaffenlaboratorien (Gs02). Zur Zeit ist eine neue Anlage von LLNL am Rande von San Francisco im Bau, die National Ignition Facility (NIF). In Frankreich gibt es eine ähnliche Einrichtung: Laser Megajoule (LMJ). Japan ist über die Hoya Corporation USA, die Tochter eines japanischen Unternehmens, das auf optische Gläser spezialisiert ist, im Geschäft.

Zwischen den genannten Firmen und damit den USA, Frankreich – aber auch nach außenhin atomwaffenunverdächtigen Staaten wie Deutschland und Japan gibt es diese geräuschlose Zusammenarbeit bei der Entwicklung von Atomwaffen. Sie braucht keine Testgebiete, keine tiefen Bohrlöcher, sie findet im Laboratorium statt (Gs00). Weil „nur“ wissenschaftliche Gerätschaften und sehr geringe Mengen von Spaltstoff dafür gebraucht werden, ist zu befürchten, dass auf dieser Ebene gegenwärtig das größte Problem bezüglich der Nichtweiterverbreitung von Kernwaffen besteht. Wir verweisen an dieser Stelle nur auf den Beitrag von R. Brandt (Br02, siehe auch Ko02), in dem zu Recht das leichtsinnige Geschenk des gebrauchten Berliner Elektronensynchrotrons BESSY I nach Jordanien kritisiert wird. Es soll dort deutlich leistungsfähiger aufgebaut werden, als es in Berlin je lief. Mit einem solchen Gerät würde sich insbesondere Plutonium 239 in einer Größenordnung von 100 Gramm pro Jahr herstellen lassen, das ist im Bereich der Miniatomwaffen eine beträchtliche Menge.

Im Bereich der ICF werden „Kügelchen“ eingesetzt, wie sie in Hanau und bei den Geesthachter Atomanlagen in der Umwelt gefunden wurden. Ihre Struktur und ihr Inhalt entsprechen den Angaben der Literatur. Fusions- und Fissions-Komponenten sind nachgewiesen. Lasereinschusslöcher und „Fingerabdrücke“ des Laserstrahls sind elektronenmikroskopisch dokumentiert.

ICF und die Arbeit mit Mikroexplosionen werden weder vom Atomwaffen-Sperrvertrag (Non-Proliferation Treaty, NPT) noch dem Allgemeinen Teststopp-Abkommen (Comprehensive Test Ban Treaty, CTBT) berührt. Das ist nicht versehentlich, sondern ganz bewußt so geregelt worden.



## Schlussfolgerungen

Nicht alle von uns in der Umgebung von KKK und GKSS beobachteten Kontaminationen - vor allem nicht diejenigen, die aus den Unterlagen der Betreiber und der Aufsichtsbehörde abgeleitet wurden - sind auf den gleichen Ursprung zurückzuführen. Eine Reihe von chronischen Belastungen (in Luft, Regenwasser und Boden) weist auf das Kernkraftwerk hin. Das spikeartige Auftreten von Leukämiefällen 1990/91 spricht dafür, dass ein Ereignis eintrat, das kurzzeitig eine besonders hohe Strahlenbelastung hervorrief. Nach den in der Literatur angegebenen Latenzzeiten für kindliche Leukämie war der verdächtige Zeitraum etwa im Jahr 1986 zu vermuten.

Eine ungenehmigte Emission künstlich erzeugter Radioaktivität hat aufgrund der angegebenen Indizien am 12.9.1986 eindeutig stattgefunden. Ob an diesem Tag ebenfalls die aufgefundenen Transurane und Spherpac-Partikel freigesetzt wurden, kann man derzeit nur indirekt schließen. Das behördlich vorgeschriebene Überwachungsprogramm für die Umgebung der kerntechnischen Anlagen sieht die Messung von Alphastrahlern (Thorium, Plutoniumisotope 238-240) und kontinuierliche Erfassung reiner Betastrahler (Strontium 89;90, Tritium, Plutonium 241) nicht vor. Auch ist es weder zeitlich noch räumlich genügend engmaschig eingerichtet, um eine radioaktive Wolke - wie sie offensichtlich am 12.9.86 bei Krümmel auftrat - angemessen zu verfolgen.

Das in der Dachstaubmessung aufgefallene Americium 241 korreliert in seiner Höhe mit den Strontiumbefunden, daraus lässt sich schließen, dass die Freisetzung der Transurane mit derjenigen von Spaltprodukten einherging. Im Umkehrschluss kann das Auftreten der Spaltprodukte am 12.9.86 von Transuranen und Aktiniden begleitet gewesen sein, ohne in der Umgebungsüberwachung registriert zu werden.

Im Widerspruch zu der These der im wesentlichen einmaligen Kontamination steht, dass auch bei Elbmarschbewohnerinnen, die erst nach 1986 in die Samtgemeinde zogen, aufgrund der 1992/93 erfolgten Chromosomenuntersuchungen (biologische Dosimetrie) eine erhöhte Strahlendosis festgestellt wurde. Dies wäre durch verbleibende Kontamination der heimischen Nahrungsmittel zu erklären oder aber auch durch ein zweites weniger weit zurückliegendes Ereignis um 1989 (s. Abb.4 und 5).

Den Untersuchern ist nicht bekannt, um welche auslösenden Experimente es sich dezidiert gehandelt hat. Ein mögliche militärische Forschung würde die bislang festzustellende Mauer des Schweigens besonders plausibel machen.

Aus den Relikten eines wahrscheinlich inzwischen 16 Jahre zurückliegenden unbekannten Ereignisses lässt sich die Strahlenbelastung der Bevölkerung nur schwer rekonstruieren.

Der nun vorliegende Nachweis von Plutonium und anderen Transuranen in frei in der Natur herumliegenden Kleinstkügelchen zwingt zu weiteren Maßnahmen. Diese wenige Mikrometer großen Partikel können unbemerkt eingeatmet werden - die sich daraus ergebenden medizinischen Folgen sind gravierend.

Weitere Untersuchungen müssen angestellt werden, um die bestehenden Erkenntnislücken zu schließen.

Landes- und Bundesregierung und die Betreiber von KKK und GKSS sollten endlich den überfälligen Schritt zur Aufklärung der Hintergründe der Kontamination, zur Information und Entschädigung der betroffenen Bevölkerung und zur Sanierung der kontaminierten Gebiete tun.



## Schriftenverzeichnis

- Ar00** Arbeitsgemeinschaft Physikalische Analytik und Meßtechnik: Stellungnahme zu Messungen der Radioaktivität in der Elbmarsch. ARGE PhAM Bericht (SH/NS/ELB) v. 17.11.00
- Ar01a** Arbeitsgemeinschaft Physikalische Analytik und Meßtechnik: Messungen der Radioaktivität in Elbmarsch und Elbgeest. ARGE PhAM Bericht SH/NS/ELB 2, Weinheim 9.2.2001
- Ar01b** Arbeitsgemeinschaft Physikalische Analytik und Meßtechnik: Radioaktivität in der Elbgeest und Elbmarsch, hier: Ableitung von Isotopenvektoren zur Entwicklung eines Kontaminationskatasters. ARGE PhAM Bericht SH/NS/ELB 3, Marburg, Weinheim, Gießen 20.6.2001
- Ar02a** Arbeitsgemeinschaft Physikalische Analytik u. Meßtechnik: Anhang 1 zu SH/NS/ELB 4, Elektronenmikroskopie u. Massenspektrometrie an Mikrokügelchen aus Elb-Geest und Elb-Marsch. März 2002
- Ar02b** Arbeitsgemeinschaft Physikalische Analytik und Meßtechnik: Dokumentation. Zum Nachweis von Plutonium in Mikrokügelchen. 15.9.02
- Au99** Auerbach, T.: Einsatzkommandos an der unsichtbaren Front, Terror- und Sabotagevorbereitungen des MfS gegen die Bundesrepublik Deutschland, Berlin, 1999
- Be79** Bethe, H.A.: The fusion hybrid. Physics Today, May 1979, 44-51
- Bo92** v. Boetticher, Dr. Heiner: Bericht über Autoradiographien von Baumscheiben aus Elbmarsch und Vergleichsregionen, an Dr. M. Csicsaky, Nieders. Sozialministerium, 23.11.92
- Bo01** Bosch, H.-S., Bradshaw, A.: Kernfusion als Energiequelle der Zukunft. Physikalische Blätter 57 (2001) Nr.11, 55-60
- Br02a** Brandt, R.: Bessy I soll in den Orient, Strahlentelex Nr.366-367, 4.4.2002, S.1-3
- Br02b** Brandt, R.: Zur Separation, chemischen Auflösung und Bestimmung der radioaktiven Komponenten in Kernbrennstoff-Partikeln aus Elbgest und Hanau. Memorandum, Marburg 2.9.02. Strahlentelex Nr. 378-379, 3.10.2002, 6-8
- Bu87** Bundesminister für Umwelt, Naturschutz u. Reaktorsicherheit (Hrsg.): Auswirkungen des Reaktorunfalls in Tschernobyl auf die Bundesrepublik Deutschland Veröffentl. der Strahlenschutzkommission Bd. 7, 1987
- Bu89a** Bundesminister für Umwelt, Naturschutz u. Reaktorsicherheit (Hrsg.): Leitfaden für den Fachberater Strahlenschutz der Katastrophenschutzleitung bei kerntechnischen Notfällen. Veröffentl. der Strahlenschutzkommission Bd. 13, 1989
- Bu89b** Bundesminister für Umwelt, Naturschutz u. Reaktorsicherheit (Hrsg.): Strahlenexposition und Strahlengefährdung durch Plutonium. Veröffentl. der Strahlenschutzkommission Bd. 14, 1989
- Bu90** Bunzl, K., Kracke, W.: Simultaneous determination of <sup>238</sup>Pu, <sup>239+240</sup>Pu, <sup>241</sup>Pu, <sup>241</sup>Am, <sup>242</sup>Cm, <sup>244</sup>Cm, <sup>89</sup>Sr, and <sup>90</sup>Sr in vegetation samples, and application to Chernobyl fallout contaminated grass. J Radioanal.Chem. 138 (1990) 83-91
- Bu92a** Bundesversuchs- und Forschungsanstalt Arsenal: Bericht über Tritiumbestimmung in Holzproben. Auftrag Nr. G 4 317/93.08, Wien 13.4.1992
- Bu92b** Bundesminister für Umwelt, Naturschutz u. Reaktorsicherheit (Hrsg.): Modelle, Annahmen und Daten mit Erläuterungen zur Berechnung der Strahlenexposition bei der Ableitung radioaktiver Stoffe mit Luft oder Wasser zum Nachweis der Einhaltung der Dosisgrenzwerte nach § 45 StrlSchV. Veröffentl. der Strahlenschutzkommission Bd. 17, 1992
- Bu95** Bundesminister für Umwelt, Naturschutz u. Reaktorsicherheit: Umweltpolitik. Umweltradioaktivität und Strahlenbelastung Jahresberichte 1995
- Bu98** Dr. Hartmut Nies, Bundesamt für Seeschifffahrt und Hydrographie, Hamburg: Analyse von Hausstaub auf künstliche Nuklide. Schr. an Dr. Wolter, Ministerium Finanzen u. Energie in Kiel vom 18.12.1998
- Bu99** Bundesamt für Strahlenschutz: Jahresbericht 1999
- Cs00** Dr. Michael Csicsaky, Nieders. Ministerium für Frauen, Arbeit und Soziales, Ref. 401, zur Kommissionssitzung am 1.12.00 an Dr. Sturm, MUNF Kiel, Dr. Müller, MFE, Dr. Sowislo, Bezirksreg. Lüneburg, Dr. Wolter, Prof. Schmitz-Feuerhake. Hannover 21.11.00
- Da96** Dannheim, B.: Retrospektive Dosisermittlung bei Kindern. In Heinemann, G., Pfob, H. (Hrsg.): Strahlenbiologie und Strahlenschutz. 28. Jahrestagung des Fachverbands für Strahlenschutz, Hannover 23.-25. Okt. 1996, S. 172-176
- Di92** Dieckmann, H.: Häufung von Leukämieerkrankungen in der Elbmarsch. Gesundheitswes.10(1992)592
- Di01** Dieckmann, H., Schmitz-Feuerhake, I.: Stellungnahme zum NLO-Bericht über Nachmessungen von heißen Teilchen und Transuranen in der Elbmarsch. An Leukämiekommission 5.3.01, s. auch Strahlentelex Nr. 340-341, 1.3.01, S. 3-5
- Ei72** Eidgenössisches Institut für Reaktorforschung Würenlingen: Plutonium-Brennstoffprogramm, Jahresbericht 1971, EIR-Bericht Nr. 207, Würenlingen, April 1972, S. 79



- Ei76** Eidgenössisches Institut für Reaktorforschung Würenlingen: Plutonium-Brennstoffprogramm, Jahresbericht 1976, EIR-Bericht Nr. 331, Würenlingen, August 1977
- Ei87** Eisenbud, M.: Environmental Radioactivity. Academic Press, Inc. 1987
- Fa92** Fachbeamtenkommission Niedersachsen/Schleswig-Holstein: Untersuchungen zur Frage der Ursache-Wirkungs-Beziehung zwischen dem Betrieb der kerntechnischen Anlagen KKK und GKSS und dem Auftreten von Kinderleukämien in der Elbmarsch. Bericht an Nieders. Sozialministerium März 1992
- Fa97** Fachkommission Leukämie des Landes Schleswig-Holstein, Kiel: Erklärung zum bisherigen Ergebnis der Kommissionsarbeit vom 3.12.1997. Strahlentelex Nr. 264-265, 8.1.98, 5
- Ga01** Gabriel, H.W., ARGE PhAM/Weinheim und A.F.G. Stevenson, F. Gloza, Institut für Toxikologie der Christian-Albrechts-Universität zu Kiel: Radioaktive Kernbrennstoff-Kügelchen in der Elb-Geest und Elb-Marsch im Vergleich zu Kernbrennstoff-Kügelchen gefunden im Wohngebiet von Hanau-Wolfgang. Dokumentation SH/NS/ELB 3, Kiel/Weinheim 30.3.01
- Gb61** A Gb 1961: Ausführungsgesetz zu Artikel 26 Abs.2 des Grundgesetzes (Gesetz über die Kontrolle von Kriegswaffen) Bundesgesetzblatt Teil I, 1961, S. 444ff
- Gb78** Gesetz zur Änderung des Waffenrechts, Bundesgesetzblatt Teil I, 1978, S.641ff
- GB89** Sechste Verordnung zur Änderung der Kriegswaffenliste, Bundesgesetzblatt Teil I, 1989, S.1853ff
- GB90** Bekanntmachung der Neufassung des Gesetzes über die Kontrolle von Kriegswaffen, Bundesgesetzblatt Teil I, 1990, S. 2506ff
- Ge96** Georg-August-Universität Göttingen, Isotopenlabor; Leiter PD Dr. Justin Porstendorfer: Gamma-spektrometrische Analysen an 5 Bodenproben aus der Elbmarsch. Göttingen 9.1.96
- GK83** GKSS-Forschungszentrum Geesthacht: Umgebungsüberwachung, Jahresberichte 1983-92
- GK01** GKSS-Forschungszentrum, Prüflaboratorium f. Umgebungsüberwachung. R. Diehl, Aktennotiz 9.3.01
- Gs02** Gsponer, A.: Superlaser Development in Germany, INESAP Information Bulletin No.19, Jan. 2002, 79
- Ha78** Nuclear energy synergetics. Atomkernenergie 32 (1978) 3-11
- Hi96** Hinrichsen, Dr.K., Schmitz-Feuerhake, I., Schumacher, O., Ziggel, H. Bericht. Hinweise auf unerklärte Radionuklidfreisetzungen durch das Kernkraftwerk Krümmel basierend auf Auswertungen von Messungen im Rahmen des Umgebungsüberwachungsprogramms zum KKK und Modellrechnungen. Bremen Juli 1996, an Staatssekretär W. Voigt 24.9.96
- Ho97** Hoffmann, W., Schmitz-Feuerhake, I., Dieckmann, Hayo, Dieckmann, Helga: A cluster of childhood leukemia near a nuclear reactor in Northern Germany. Archives Environ. Health 52 (1997) 275-280
- Hr86** Hrovat, M., Huschka, H., Rachor, L., Vollath, D.: Verfahren zur Herstellung keramischer Brennstofftabletten. Nuklear-Chemie und -Metallurgie G.m.b.H. (NUKEM). DE Patent Dokument 3235207/C, ref. in Atomindex 17:081743 1986
- Hu84** Huschka, H., Wehner, E.: Verfahren und Vorrichtung zur Herstellung kugelförmiger Teilchen aus spontan reagierenden flüssigen Komponenten. Nuklear-Chemie und -Metallurgie G.m.b.H. (NUKEM). DE Patent Dokument 3126854/C 27.9.1984, ref. in Atomindex 17:081741 1986
- Ke83** Kernkraftwerk Krümmel GmbH: Jahresberichte zur Umgebungsüberwachung 1983-92
- Ke92** Kernkraftwerk Krümmel GmbH: Statusbericht zur Umweltradioaktivität der kraftwerksnahen Umgebung für den Zeitraum 1981-1990. Febr. 1992, Teil II
- Ke93** Kernkraftwerk Krümmel GmbH: Dokumentation zum Anlagenbetrieb im Zeitraum erhöhter natürlicher Radioaktivität in der Außenluft am 12.09.1986. TKU We ss, 31.3.1993
- Kl87a** Generalmajor Kleine an Generalleutnant Geisler, Brief 18.2.1987; BStU MfS-AGM Bd. 1001, Bl. 59
- Kl87** Kleinkernladungen (Mininukes), BStU MfS-AGM Bd. 1001, Bl.60-70
- Ko02** Kohlenberg, K.: Das chemische Gefühl. Der Tagesspiegel, Nr. 17682, vom 19.2.2002, S.3
- Kü91** Küntzel, M.: Die Bundesrepublik Deutschland zwischen Nuklearambition und Atomwaffenverzicht. Eine Untersuchung der Kontroverse um den Beitrag zum Atomwaffen-Sperrvertrag, Hamburg 1991, Dissertation



- Ku89** Kuhr, Holger: Atomforschung in Geesthacht. Schleichwege zur Atombombe? Herausgeber: Arbeitskreis Atomwaffenverzicht ins Grundgesetz, Hamburg 1989
- La76** Lahr, H.W.H.: Fabrication, properties, and irradiation behavior of U/Pu particle fuel for light water reactors. *Nuclear Technology* 31 (1976) 183-190
- La00** Larsen, Ingvar L.: Some notes and comments regarding natural and processed Uranium isotopes. *Radioactivity & Radiochemistry* 11 (2000) 6-10
- Le74** Leuthäuser, K.-D.: Laserinduzierte Kernfusion mit Mikrosplatanordnungen. *Atomkernenergie* 24 (1974) 193-195
- Le75** Leuthäuser, K.-D.: Möglichkeiten und Grenzen der Implosion und Kompression von Kernspaltmaterial. Report INT 72, Fraunhofergesellschaft 1975
- Le93** Lengfelder, E., Frenzel, C.: Autoradiographische Untersuchungen der Anwesenheit und Verteilung von Radionukliden in Baumscheiben aus unterschiedlichen Standorten in bezug auf die Entfernung zu Nuklearanlagen. *Strahlenbiol. Institut Ludwig-Maximilians-Universität München, Bericht Dez. 1993*
- Ma81** Maniscalco, J.A., Berwald, D.H., Campbell, R.B., Moir, R.W., Lee, J.D.: Recent progress in fusion-fission hybrid reactor design studies. *Nuclear Technology/Fusion* 1 (1981) 419-478
- Mi92** Dr. Wolter, Ministerium für Finanzen und Energie des Landes Schleswig-Holstein, Schr. an Prof. Dr. I. Schmitz-Feuerhake v. 14.10.1992: Erhöhte Radioaktivitätswerte im KKE Krümmel im Sept. 1986
- Mi93** Dr. Wolter, Ministerium für Finanzen und Energie des Landes Schleswig-Holstein, Schr. an Prof. Dr. I. Schmitz-Feuerhake v. 19.2.93: Leukämie Elbmarsch, „Indizien“ für die Freisetzung gasförmiger Spaltprodukte aus dem Kernkraftwerk Krümmel, mit Anlage
- Mi00** Ministerium f. Finanzen u. Energie des Landes Schleswig-Holstein. Bearbeiter Dr. W. Wolter: Plutoniumbestimmungen und gammaspektrometrische Bestimmungen an Hausstaubproben. Kiel Okt. 2000
- Ni01a** Niedersächsisches Landesamt für Ökologie: Bericht über die Sonderuntersuchung der Belastung des Bodens der Elbmarsch mit Alphastrahlern. Hildesheim 13.2.2001
- Ni01b** Nieders. Landesamt für Ökologie: Stellungnahme zum Bericht von Dieckmann, Schmitz-Feuerhake: „Messen am Problem vorbei...“, Hildesheim 23.3.01
- OI79** Olsen, A.R., Judkins, R.R.: Gel-sphere-pac reactor fuel fabrication and its application to a variety of fuels. Oak Ridge Nat. Lab., TN (USA) ORNL/TM-6924, Dec. 1979
- Pf00** Pflugbeil, S.: Die hohen Meßwerte für das Plutoniumisotop 241 in der Dachstaubuntersuchung des Kieler Ministeriums für Finanzen und Energie lassen sich weder durch Atombombenfallout noch durch Tschernobyl erklären. *Strahlentelex* Nr. 334-335, 7.12.00, S. 2-5
- Pf01** Pflugbeil, S.: Teufel und Beelzebuben: Dier Stasi sorgt sich wegen Kernbrennstoff-Kügelchen. *Strahlentelex* Nr. 350-351, 2.8.01, S.1-2
- Ph98** Physikalisch-Technische Bundesanstalt: Plutonium in der Umwelt. Presseinformation PI 28/98, Braunschweig 8.12.1998
- Po93** Porstendörfer, J.: Properties and behaviour of Radon and Thoron and their decay products in the air. In Commission of the European Communities: Radiation protection. 5<sup>th</sup> Int. Symposium on the Natural Radiation Environment. Tutorial Sessions. Final Report, Luxembourg 1993, EUR 14411 EN, S. 73
- Re92a** Rebhan, E.: Heißer als das Sonnenfeuer. Piper, 1992
- Re92** Reineking, A., Isotopenlaboratorium für biologische und medizinische Forschung an der Georg-August-Universität Göttingen, Meßprotokoll 14.12.92
- Sa80** Sahin, S., Caro, M., Früh, R., Ligou, J., Schneeberger, J.-P., Tai, A.-S.: Basis structure of the fusion-fission (hybrid) reactor. *Atomkernenergie* 36 (1980) 33-35
- Sc96** Schmitz-Feuerhake, I., Schumacher, O., Ziggel, H.: Umweltindikatoren für radioaktive Freisetzungen durch das KKW Krümmel. In Heinemann, G., Pfob, H. (Hrsg.): *Strahlenbiologie und Strahlenschutz*. 28. Jahrestagung des Fachverbands für Strahlenschutz, Hannover 23.-25. Okt. 1996, S.353-357



- Sc97a** Schmitz-Feuerhake, I., Dannheim, B., Heimers, A., Oberheitmann, B., Schröder, H., Ziggel, H.: Leukemia in the proximity of a German boiling water nuclear reactor: evidence of population exposure by chromosome studies and environmental radioactivity. *Environ. Health Persp.* 105/Suppl.6(1997)1499
- Sc97b** Schmitz-Feuerhake, I., Lengfelder, E.: Bericht über Messungen von Tritium und C-14 in Jahresringen von 6 Bäumen aus der Elbmarsch und aus Kontrollregionen. 21.7.97
- Sc98a** Schmitz-Feuerhake, I., Dieckmann, H., Dannheim, B., Heimers, A., Schröder, H.: Leukämie und Radioaktivitätsleckagen beim Kernkraftwerk Krümmel. Universität Bremen, Informationen zu Energie und Umwelt Teil A Nr. 28, 2. Aufl., Bremen, Febr. 1998
- Sc98b** Schmitz-Feuerhake, I.: Bericht über Nachmessungen der Tritiumkonzentration in Elbmarscheiche. An Dr. M. Csicsaky, Nieders. Ministerium für Frauen, Arbeit und Soziales, 2. 10.98
- Sc98c** Schmitz-Feuerhake, I.: Bericht über Plutoniumbestimmungen in der Elbmarsch. *Strahlentelex* Nr. 286-287, 3.12.98, S. 2-6
- Sc00a** Schmitz-Feuerhake, I.: Zur Frage der Festkörperdosimetermessungen auf dem Maschinenhausdach des KKW Krümmel/Vergleich mit KKW Brunsbüttel bestätigt Irregularitäten bei Krümmel. *Schr. vom* 8.2.00 an die AG Belastungsindikatoren beim Nieders. Ministerium für Frauen, Arbeit und Soziales
- Sc00b** Schmitz-Feuerhake, I.: Transurane in der Umgebung zweier Nuklearanlagen. *Strahlentelex* Nr. 328-329, 7.9.00, S. 2-6
- Sc00c** Schmitz-Feuerhake, I.: Meßergebnisse über Strontium 90 in Dachbodenstaub aus der Elbmarsch. Bericht an Bürgerinitiative gegen Leukämie in der Elbmarsch und Expertenkommissionen Leukämie Schleswig-Holstein u. Niedersachsen, AG Belastungsindikatoren v. 29.11.00
- Se80** Seifritz, Walter: Stoßwellen-fokussierende krumme Wände und fortgeschrittene Fusionsbrennstoffe für thermonukleare Mikroexplosionen. *Atomkernenergie* 36 (1980) 122-129
- Se84** Seifritz, Walter: Nukleare Sprengkörper. Thiemig Verlag 1984, S. 69, S. 249
- Sh01** Shoji, M. et al.: A convenient method for discriminating between natural and depleted uranium by  $\gamma$ -ray spectrometry. *Appl. Radiat. Isotopes* 55 (2001) 221-227
- St78** Stickley, C.M.: Laser fusion. *Physics Today*, May 1978, 50-58
- TÜ94** TÜV Nord: Stellungnahme zur Auswertung der Aufzeichnungen von Meßwerten der Ortsdosisleistung im Maschinenhaus des Kernkraftwerks Krümmel. Hamburg 29.9.94, Anlage in MFE, VI 61: Stellungnahme zur Edelgasthese von Frau Prof. Schmitz-Feuerhake, Kiel 8.11.94, mit *Schr. Dr. Wolter* vom 14.11.94 an Prof. Wassermann u. Prof. Wichmann, Vorsitzende der Fachkommissionen Leukämie
- TÜ98** TÜV Energie und Systeme, München: Messungen von Am-241 in Hausstaub aus Dachböden. 10.12.1998
- Va87** Vasconcellos, M.B.A. et al.: A comparative study of some nuclear methods for  $^{235}\text{U}/^{238}\text{U}$  isotopic ratios determination. *J. Radioanal. Nucl. Chem. Articles* 113 (1987) 357-370
- Ve80** Velarde, G., Ahnert, C., Aragonés, J.M., Leira, G., Luqui, R., Martínez-Val, J.M.: Coupled nuclear-thermohydrodynamic analysis of laser-fusion-fission microspheres. *Atomkernenergie* 36(1980)213-217
- We79** Westervelt, D., Pollock, R.: Laser fusion and fusion hybrid breeders: proliferation implications. In Stockholm International Peace Research Institute (sipri): Nuclear energy and nuclear proliferation. Taylor and Francis, London 1979
- Wi81** Winterberg, Friedwardt: The Physical Principles of Thermonuclear Devices, New York, 1981, (15. Kapitel: Thermonuclear Microexplosions)
- Wi82** Winterberg, F.: The significance of inertial confinement fusion for fundamental research. *Atomkernenergie* 41 (1982) 267-273
- Zi92** Ziggel, H.: Bemerkungen zum Meßbericht der Bundesversuchs- und Forschungsanstalt Arsenal, Wien, über Messung von Tritium in Bäumen. Für Bürgerinitiative gegen Leukämie in der Elbmarsch 1992