

Prof. Dr. Inge Schmitz-Feuerhake, Bremen

**I.1.3. Immissionsrichtwerte der atomrechtlichen Bestimmungen**

- *Wie werden Immissionsrichtwerte begründet?*
- *Welche Probleme sind diesen Begründungen inhärent?*
- *Ist das Konzept ersetzbar? Welche Vorgehensweise könnte alternativ akzeptabel sein?*
- *Wo liegen die Grenzen dieses Konzepts für den Strahlenschutz?*

Überarbeitete Fassung

10.8.99

<b>Inhalt</b>	<b>Seite</b>
Einleitung	1
1. Überwachung von Immissionen	2
1.1 Überwachung nach REI	2
1.2 Überwachung bei KKK und GKSS nach Betreiberangaben	3
1.3 Überwachung durch Behördenmeßprogramm und KFÜ	5
1.4 Lücken in der Immissionsüberwachung	5
2. Gammadosisleistung als Maß für die Bevölkerungsexposition	6
2.1 Reaktornuklide ohne Gammastrahlung	6
2.2 Beispiel chronischer Kühlmittelverlust	7
2.2.1 Gammadosis bei Störfallszenarien	7
2.2.2 Emittierte Nuklide und Dosisanteile beim Kühlmittelverluststörfall	8
2.2.3 Potentielle Emissionen bei chronischem Kühlmittelverlust	12
2.2.4 Schlußfolgerungen	17
3. Grenzen der Immissionskontrolle und Verbesserungsvorschläge	18
Schriftenverzeichnis	19
Anhang	

**Einleitung**

Der Bevölkerungsschutz hinsichtlich einer Strahlenexposition beim Betrieb von Kernkraftwerken soll durch die Kontrolle der Einhaltung der Dosisgrenzwerte nach § 45 StrlSchV sowie der maximal zulässigen Aktivitätsabgaben für die jeweilige Anlage erfolgen. Außerdem soll bei der Planung des Kernkraftwerks vorgesehen werden, daß nach § 28 (3) StrlSchV im ungünstigsten Störfall eine effektive Äquivalentdosis von 50 mSv, für die Schilddrüse 150 mSv, einhaltbar sind.

Die gesetzlichen Vorschriften enthalten über den Grenzwertparagrafen hinaus das Minimierungsgebot des § 28 StrlSchV, wodurch nach Abs. (1) die Verpflichtung besteht,

1. jede unnötige Strahlenexposition oder Kontamination von Personen, Sachgütern oder der Umwelt zu vermeiden; 2. jede Strahlenexposition oder Kontamination von Personen, Sachgütern oder der Umwelt unter Beachtung des Standes von Wissenschaft und Technik und unter Berücksichtigung aller Umstände des Einzelfalles auch unterhalb der in dieser Verordnung festgesetzten Grenzwerte so gering wie möglich zu halten.

Deshalb werden bei der Genehmigung der Anlage zusätzliche Beschränkungen von radioaktiven Emissionen mit der Begründung auferlegt, daß sie nach dem Stand der Technik einhaltbar sind. Der TÜV-Norddeutschland hat in seinem Sicherheitsgutachten für das Kernkraftwerk Krümmel (KKK) die in deutschen Siedewasserreaktoren erreichten Jahresabgaben berücksichtigt und daraus ein Emissionsschema für KKK unter Beschränkung der Jahresabgaben für Nuklidgruppen und Einzelnuclide abgeleitet (1). Die unter Ausnutzung der so bestimmten jährlichen Maximalabgaben erzeugte Ganzkörperdosis über den Abluftpfad am maximalen Aufpunkt wurde vom Gutachter zu 0,041 mSv/a ermittelt, für den Abwasserpfad errechneten sie einen Wert von 0,043 mSv/a. Die Aufsichtsbehörde hat mitgeteilt, daß der Abwasserwert im Rahmen der 2. Betriebsgenehmigung etwa um den Faktor 2 reduziert wurde (2).

Die Kontrolle der Einhaltung der Dosisgrenzwerte (maximale effektive Ganzkörperdosis, Dosen für bestimmte Organe und Gewebe) wird über die Emissionen vorgenommen. Die abgegebenen radioaktiven Nuclide müssen vom Betreiber bilanziert werden. Wenn sie unterhalb der vorgegebenen Emissionsrichtwerte bleiben, wird die Einhaltung der Dosisgrenzwerte angenommen. Der Zusammenhang zwischen maximaler Dosis am Aufpunkt und bilanzierter Emission soll durch die in der AVV (3) festgelegte Modellrechnung hinreichend konservativ bestimmbar sein.

Die vom TÜV empfohlenen und der Genehmigungsbehörde modifizierten jährlichen Maximalabgaben für das Kernkraftwerk stellen „Emissionsrichtwerte“ dar. Unabhängig von der Emissionskontrolle sind Umgebungsüberwachungsmessungen durchzuführen. Den Begriff des „Immissionsrichtwertes“ gibt es jedoch im Regelwerk zur Immissionsüberwachung (4) nicht, und ein solcher wird auch im Betriebsgutachten des TÜV (1) nicht genannt.

Wir gehen daher davon aus, daß damit die maximal erreichbaren Dosen für die Bevölkerung durch die nach dem Stand der Technik einhaltbaren Emissionen - die Emissionsrichtwerte - gemeint sind. Für den Fall des KKK sind das bezüglich der Ganzkörperdosis die Werte 0,041 mSv/a für den Abluftpfad und 0,02 mSv/a für den Abwasserpfad. Die Einhaltung von Maximalkonzentrationen für Nuclide in der Umgebung ist jedenfalls nicht vorgeschrieben. Die Nachweisgrenzen bei der Umgebungsüberwachung sind nach (4) wiederum so bestimmt, daß eine zusätzliche Beurteilung der Einhaltung der Dosisgrenzwerte - einschließlich der Dosis im außerbetrieblichen Überwachungsbereich (1,5 mSv/a am Kraftwerkszaun) - möglich ist. Weiterhin soll eine Ermittlung der Vorbelastung durch andere Emissionsquellen möglich sein.

In der Praxis bedeutet das, daß im bestimmungsgemäßen Betriebs eines Kernkraftwerks im allgemeinen keine Reaktornuclide oberhalb der Nachweisgrenzen und keine meßbare Erhöhung der Gammadosisleistung in der Umgebung festgestellt werden. Für die Umgebung des KKK und der GKSS trifft dies allerdings nicht zu (s. Kap. I.1.2 des Strahlenbiologischen Gutachtens).

Die Immissionsüberwachung ist somit kein zweites redundantes System zur quantitativen Ermittlung von Bevölkerungsdosen gegenüber der Emissionskontrolle. Auch qualitativ ist es aufgrund der lückenhaften Erfassung der Umweltradioaktivität kein System zur unabhängigen Grenzwertüberprüfung. Zwar vertritt der TÜV im Betriebsgutachten Kap. 11.6 (1) die Auffassung, daß die Umgebungsüberwachung dazu dient: "In der näheren Umgebung eines Kernkraftwerks die Immissionen radioaktiver Stoffe beweissichernd zu erfassen, und eine Beurteilung der Auswirkungen von Emissionen im bestimmungsgemäßen Betrieb bzw. im Störfall zu ermöglichen", jedoch werden keine weitergehenden Vorschriften empfohlen, die über die Richtlinie zur Emissions- und Immissionsüberwachung kerntechnischer Anlagen (4) hinausgehen. Aus dieser ist zu folgern, daß die immissionsseitige Überwachung nur als Ergänzung der Emissionsüberwachung anzusehen ist und nicht als davon vollständig unabhängige zweite Kontrolle der Grenzwerteinhaltung.

Eine für eine immissionsseitige Bilanzierung notwendige Umgebungsüberwachung würde ein Netz von zahlreichen Meßstellen erfordern, an dem nuklidspezifische Bestimmungen erfolgen. Ein größeres kontinuierlich arbeitendes Netzwerk liegt jedoch nur bezüglich der Gammadosis vor. Eine betreiberunabhängige kontinuierliche Überwachung an relativ zahlreichen Stationen um KKK und GKSS seitens der Aufsichtsbehörde erfolgt ebenfalls nur anhand der Gammadosisleistung (KFÜ), während andere Parameter nur an wenigen Stellen und z. Teil nur zu wenigen Zeitpunkten im Jahr erhoben werden (Behördenmeßprogramm, (5)).

## **1. Überwachung von Immissionen**

### **1.1 Überwachung nach REI**

Die Richtlinie zur Emissions- und Immissionsüberwachung kerntechnischer Anlagen (4) befaßt sich mit der Gewährleistung des Strahlenschutzes der Bevölkerung anhand der Radioaktivitätsüberwachung sowohl auf der Seite der Freisetzungsquelle als auch über die Umgebungskontamination. Im Abschn. 4 - Immissionsüberwachung - heißt es unter 4.1 (Grundsätze): "Die Immissionsüberwachung ergänzt die Emissionsüberwachung. Sie ermöglicht eine zusätzliche Kontrolle von Aktivitätsabgaben sowie der Einhaltung von Dosisgrenzwerten in der Umgebung".

Unter 4.7 (zu überwachende Expositionspfade) wird vorgeschrieben "Bei der Aufstellung der Überwachungsprogramme sind die Wege der radioaktiven Stoffe von den Emissionen bis zu einer Strahlenexposition des Menschen (Expositionspfade) derart zu berücksichtigen, daß aufgrund der Meßergebnisse im Hinblick auf die Dosisgrenzwerte des § 45 StrlSchV relevante Dosisbeiträge durch äußere Bestrahlung (z.B. Dosis durch Gammasubmersion und Bodenstrahlung) und durch innere Bestrahlung (z.B. Dosis durch Inhalation und Ingestion von Radionukliden) im bestimmungsgemäßen Tätigkeitsablauf/Betrieb erkennbar sowie im Störfall/Unfall ermittelbar sind.

Zur Immissionsüberwachung von Kernkraftwerken im bestimmungsgemäßen Betrieb sowie bei Stör- bzw. Unfällen ist ein Katalog von Messungen vorgeschrieben, die a) vom Betreiber des Kernkraftwerks und b) parallel dazu von einem unabhängigen Institut durchzuführen sind, über dessen Ergebnisse der Betreiber ebenfalls zu berichten hat. Das Meßprogramm

für den Normalbetrieb auf dem Stand der REI von 1993 ist in Anhang 1 dargestellt. Stör- oder Unfälle, d.h. Situationen mit Überschreitung der Grenzwerte nach § 45 StrlSchV, sind laut Betreiber und Aufsichtsbehörde beim KKK nicht vorgekommen.

Wie aus Anhang 1 hervorgeht, sind die Programme von Betreiber und unabhängigem Institut nicht genau gleich. Beide beziehen sich auf die Medien Luft, Boden und Oberflächenwasser. Zur Zeit der Genehmigung des KKK waren Regenwassermessungen - wie jetzt durch beide erfolgen müssen - noch nicht vorgeschrieben. Der Betreiber hat früher wie heute Messungen in Bewuchsproben und Grundwasser durchzuführen, das unabhängige Institut Messungen in Weidepflanzen und der Ernährungskette.

## 1.2 Überwachung bei KKK und GKSS nach Betreiberangaben

In den Jahresberichten zur Umgebungsüberwachung des KKK (6) werden die Ergebnisse zu folgenden Programmpunkten dokumentiert:

### A) Routineüberwachungsprogramm für den bestimmungsgemäßen Betrieb

1. Luft: Gamma-Ortsdosisleistung  
3 Meßstationen in KKK-Nähe: S I Grünhof, Schleswig-Holstein, Hauptwindrichtung, östlich; S II Pumpspeicherwerk, Schleswig-Holstein, westlich; S III Tespe, Nieders., südlich; kontinuierliche Registrierung (Kreisblattschreiber)  
nur Betreiber
2. Luft: Gamma-Ortsdosis  
17 Festkörperdosimeter, davon 10 am KKK-Zaun, akkumulierend, jährl. Auswertung  
Betreiber u. unabh. Institut
3. Luft-Aerosole: Langlebige Gesamt-Beta Aktivität  
3 Meßstationen S I - S III, kontinuierl. Sammlung auf Filter, 14tägige Auswertung nach frühestens 5 Tagen Lagerung  
nur Betreiber
4. Luft-Aerosole: Gamma-strahlende Einzelnuclide und Strontium 90  
3 Meßstationen S I - S III, kontinuierl. Sammlung auf Filter, 14tägige Auswertung  
Betreiber u. unabh. Institut, Sr 90 nur Betreiber
5. Luft-Aerosole: Gesamt-Alpha Aktivität  
3 Meßstationen S I - S III, , kontinuierl. Sammlung auf Filter, vierteljähr. Auswertung  
nur Betreiber
6. Luft: Gasförmiges Jod, Jod 131 Aktivitätskonzentration  
3 Meßstationen S I - S III, kontinuierl. Sammlung Aktivkohle, 14tägige Auswertung  
nur Betreiber
7. Boden: Gamma-strahlende Einzelnuclide und Strontium 90, Tiefe 0-5 cm und 5-10 cm  
4 Meßstationen: S I, S III sowie Referenzort Dassendorf, 10 km nördlich (Betreiber u. unabh. Institut) und Referenzort Wittorf, 10 km südlich (unabh. Institut)  
2 Stichproben pro Jahr an S I und S III (1. und 2. Heuernte), 1 Stichprobe Referenz Sr 90 nur vom Betreiber
8. Gras: Gamma-strahlende Einzelnuclide und Strontium 90  
Betreiber: Orte und Zeiten wie Boden  
unabh. Institut: nur S III und Referenzorte  
Sr 90 nur an S III

9. Kuhmilch: Gamma-strahlende Einzelnuclide, Jod 131 und Strontium 90  
an 4 Standorten, je 6 Stichproben pro Jahr (Sommerhalbjahr)  
nur unabh. Institut
10. Pflanzliche Nahrung: Gamma-strahlende Einzelnuclide und Strontium 90  
nur an S I, 1 Stichprobe pro Jahr  
Betreiber und unabh. Institut
11. Sorten Obst oder Gemüse: Gamma-strahlende Einzelnuclide und Sr 90  
nur an S I, 1 Stichprobe pro Jahr  
nur unabh. Institut
12. Oberflächenwasser (Elbe): Gamma-strahlende Einzelnuclide und Tritium  
je 1 Probenentnahmestelle im Ein- und Auslaufbauwerk oberhalb und unterhalb KKK so-  
wie bei Lauenburg (10 km oberhalb) u. Altengamme (10 km unterhalb), kontinuierl., mo-  
natliche Auswertung  
Betreiber
13. Oberflächenwasser (Elbe): Gamma-strahlende Einzelnuclide, Tritium und Sr 90  
je 1 Probennahme im Ein- und Auslaufbauwerk oberhalb und unterhalb KKK, kontinuierl.,  
monatl. Auswertung (H 3 nur vierteljähr.)  
unabh. Institut
14. Sediment (Elbe): Gamma-strahlende Einzelnuclide und Strontium 90  
3 Orte an der Elbe und Stichkanaleinläufe Rönne und Drage, Stichproben vierteljähr.  
Betreiber
15. Sediment (Elbe): Gamma-strahlende Einzelnuclide  
2 Orte an der Elbe, Stichproben vierteljähr.  
unabh. Institut
16. Fischfleisch: Gamma-strahlende Einzelnuclide und Sr 90  
halbjähr. Stichproben an 16 Orten unterhalb des Kraftwerks  
nur unabh. Institut
17. Grundwasser: Gamma-strahlende Einzelnuclide  
Brunnen West und Ost (Werksgelände), vierteljähr. Mischproben  
nur Betreiber
18. Regenwasser: Gamma-strahlende Einzelnuclide  
3 Meßstationen S I - S III, vierteljähr. Sammelproben  
nur Betreiber
19. Trinkwasser: Gamma-strahlende Einzelnuclide und Sr 90  
1 Stichprobe im Wasserwerk Geesthacht, kontinuierl., vierteljähr. Auswertung; Wasser-  
gewinnungsgebiet Curslack, 1 Uferfiltratprobe Brunnen Altengamme, kontinuierl., halb-  
jähr. Auswertung  
nur unabh. Institut

#### B) Routineüberwachungsprogramm für den Störfall (Betreibermessungen)

1. Luft und Boden: Gamma-Ortsdosis (Thermolumineszenz-Dosimeter)  
80 Dosimeter konzentrisch in der näheren und weiteren Umgebung bis 12 km  
jähr. Auswertung

Weitere meßtechnische Maßnahmen, die im Routinefall nicht ausgeführt werden, sind in einem gesonderten Störfallmeßprogramm festgelegt.

Die GKSS liegt in 1,5 km Entfernung vom KKK. Da es sich bei ihr nicht um ein Kernkraftwerk handelt, wurde das Überwachungsmeßprogramm gesondert festgelegt. Neben der Betreiberin müssen ebenfalls Messungen durch ein unabhängiges Institut - hier die Landwirtschaftliche Untersuchungs- und Forschungsanstalt Kiel - durchgeführt werden.

Das Meßprogramm, das in den Jahresberichten zur Umgebungsüberwachung (7) dokumentiert wird, ist im Vergleich zum KKK-Programm reduziert und enthält keine darüber hinausgehenden Parameter.

### 1.3 Überwachung durch Behördenmeßprogramm und KFÜ

Das Behördenmeßprogramm (5) bezieht sich auf die Kernkraftwerke in Schleswig-Holstein. Es beschränkt sich auf Messungen der Gammadosis und -dosisleistung in Luft sowie der nuklidspezifischen Konzentrationen von Gammastrahlern und Sr 90 in Boden und Bewuchs. Die Meßorte liegen in Kraftwerksnähe.

Unabhängig von den Betreibern besteht in Schleswig-Holstein ein Kernreaktorfernüberwachungssystem (KFÜ), das ein Immissionsmeßnetz enthält. Gemessen und kontinuierlich registriert wird die Gammadosisleistung durch Zählrohre, die in einigen Metern Höhe an Gebäuden oder Masten angebracht sind. Das Netz für die Umgebung des KKK enthält im Umkreis von ca. 15 km 29 solcher Stationen. Die Signale werden in Kiel zentral empfangen.

### 1.4 Lücken in der Immissionsüberwachung

Mit der kontinuierlichen Aufzeichnung der Gammadosisleistung liegt ein Parameter vor, der Erhöhungen von Emissionen in der Umgebung sofort erkennbar macht. Seitens des Betreibers KKK erfolgt dies an den 3 Meßstationen S I - S III in 1-2 km Entfernung und gilt gleichzeitig für die Überwachung der GKSS (7). Die 3 Meßstationen gelten offenbar als repräsentativ, obwohl die Hauptwindrichtung (Station S I Grünhof) im Mittel nur etwa zu 30 % im Jahr vorliegt (6).

Alle anderen Meßparameter werden frühestens 14 Tage nach Probenahme gewonnen.

Die Luftüberwachung umfaßt keine gasförmigen Stoffe, die reine  $\beta$ -Strahler sind (Kr 85, Tritium). Luftaerosole werden wiederum nur an den 3 Stationen S I - S III für KKK erfaßt und einer weiteren Station S IV im Programm der GKSS (bei GKSS), die dem Ort der maximalen Bodenkonzentration in Hauptwindrichtung entsprechen soll. Nuklidspezifisch werden von den Aerosolen nur Gammastrahler gemessen - jedoch ohne kurzlebige wie z. B. Np 239 (2,3 d) - sowie Sr 90 (einschließlich Folgeprodukt Y 90 reiner  $\beta$ -Strahler). Die zusätzliche Bestimmung der Gesamt  $\beta$ - bzw. Gesamt  $\alpha$ -Konzentration in den Luftaerosolen leidet unter mangelnder Abgrenzungsmöglichkeit gegenüber natürlich vorkommenden Radionukliden. Deshalb werden Erhöhungen, auch wenn sie auffällig sind, nach unserer Beobachtung nicht beachtet bzw. nicht als möglicherweise reaktorbedingt eingestuft. Z. B. wurde eine im 1. Quartal 1987 bei S III gemessene Erhöhung der mittleren  $\alpha$ -Aktivität um etwa den Faktor 3 im Jahresbericht nicht erwähnt, im Statusbericht 1992 (9) jedoch als statistischer Ausreißer nach Definition (Mittelwert der anderen Stationen + 3 Sigma) benannt.

Nuklidspezifische Messungen in Boden und Bewuchs sind örtlich und zeitlich auf wenige Stichproben begrenzt, sie beschränken sich auf längerlebige Gammastrahler und Sr 90.

Regenwasser wird an den 3 Stationen S I - S III kontinuierlich überprüft, jedoch nur auf Gammastrahler. Oberflächenwasser der Elbe wird ebenfalls beständig gemessen, außer auf Gammastrahler auch auf Tritium und Sr 90. Sediment ist ein partiell speicherndes Medium und wird in der Elbe kontinuierlich auf längerlebige Gammastrahler und Sr 90 überprüft.

Trinkwassermessungen erfolgen nur im Wasserwerk Geesthacht kontinuierlich und beschränken sich dort auf längerlebige Gammastrahler und Sr 90.

Eine nuklidspezifische Bestimmung von  $\alpha$ -Strahlern in einem der genannten Umweltmedien erfolgt nicht.

## **2. Gammadosisleistung als Maß für die Bevölkerungsexposition**

### **2.1 Reaktornuklide ohne Gammastrahlung**

Dem Immissionsüberwachungskonzept liegt die Vorstellung zugrunde, daß erhöhte Reaktoremissionen sich in der Umgebung über einen Anstieg der Gammadosisleistung äußern. Daher wird auf eine nuklidspezifische Erfassung relevanter Reaktornuklide, die keine oder nur einen geringen Anteil  $\gamma$ -Strahlung aussenden, häufig verzichtet. Zu diesen gehören das Edelgas Kr 85 sowie Tritium, die laut TÜV-Störfallanalysen für das KKK (9) bei Kühlmittelverlust oder Brennelementschäden zu erwarten sind, sowie das in diesen Fällen prominente Plutoniumisotop Pu 241 als reiner  $\beta$ -Strahler und sämtliche  $\alpha$ -strahlenden Transurane.

Ein isolierter Austritt solcher Nuklide aus der Anlage ist in der Tat nicht vorstellbar. Ob jedoch die begleitenden Komponenten immer so zusammengesetzt sind, daß über die  $\gamma$ -Dosisleistung eine wirksame Kontrolle erfolgt, wurde u. E. noch nie in allgemeiner Form nachgewiesen.

## 2.2 Beispiel chronischer Kühlmittelverlust

### 2.2.1 Gammadosis bei Störfallszenarien

Im folgenden soll ein hypothetisches Szenario beschrieben werden, bei dem sich für eine Exposition der Bevölkerung relevante Radionuklide dem angewandten Überwachungsschema weitgehend entziehen, weil sie sich nur durch einen geringfügigen  $\gamma$ -Anteil äußern. Der Reaktor Krümmel zeigt eine Auffälligkeit, die zu einer sehr starken Abweichung von den TÜV-Annahmen zur Zusammensetzung der emittierten Radionuklide führen könnte, da er über weite Zeiträume übermäßig hohe Primärkühlmittleckagen aufweist.

Der TÜV setzt im Sicherheitsgutachten (1) Reaktorwasserleckagen innerhalb des Reaktor Gebäudes an, die für 90 % der Betriebszeit 0,4 l/h und für 10 % der Betriebszeit 4 l/h betragen. Das ergibt für 8000 h Vollastbetrieb eine Wassermenge von 6,1 m<sup>3</sup> im Jahr. Diese soll die Hauptanteile der Ableitungen an Jod und anderen Feststoffnukliden liefern, aber nur einen vernachlässigbaren Anteil an den Edelgasableitungen (1, S. 3-9). Dabei werden Leckagen außer- und innerhalb des Sicherheitsbehälters nicht unterschieden. Dies ist jedoch bezüglich der Feststoffnuklidabgaben unerheblich, da beide Bereiche dekontaminiert werden müssen.

Aus den KKK-Monatsberichten geht hervor, daß der Reaktor typischerweise sehr viel höhere Reaktorwasserleckagen innerhalb des Sicherheitsbehälters gezeigt hat, die häufig Werte oberhalb von 40 l/h erreichten bis hin zu 300 l/h. Die sich daraus ergebenden Jahresleckagen sind im Anhang 2 dargestellt. Anstelle von 6,1 m<sup>3</sup> liefen im Jahr 1986 mehr als 900 m<sup>3</sup>, im Jahr 1990 mehr als 400 m<sup>3</sup> und in den Jahren 1993 und 1995 mehr als 600 m<sup>3</sup> aus. In den Jahren 1984-89, für die wir im folgenden eine Dosisbetrachtung anstellen, betrug die Leckagemenge 2.300 m<sup>3</sup>, also im Mittel 380 m<sup>3</sup> im Jahr und damit über 60mal so viel wie vom TÜV für den Normalbetrieb angesetzt. (Von der Aufsichtsbehörde wird die Leckage mit Undichtigkeiten der Frischdampfleitungen erklärt (10). Auch in dem Fall würde der Reaktor ein ungewöhnliches Betriebsverhalten zeigen. Die in der Umgebung aufgefundenen Nuklide weisen jedoch auf Reaktorwasser hin, s. unten.)

Die Dosisbeiträge zur Exposition der Bevölkerung bei angenommenen Emissionen unterscheiden sich typischerweise dadurch, ob die Emissionen mehr durch Freisetzungen aus den Gase und Dampf enthaltenden Teilen der aktivitätsführenden Bereiche oder von Reaktorwasserleckagen herkommen. Der Grund ist, daß die durch poröse Brennstaboberflächen in das Reaktorwasser gelangenden gasförmigen und leicht flüchtigen Spalt- und Folgeprodukte, d.h. die Edelgase, Halogene und Tritium, überwiegend ausgasen, während die Feststoffe überwiegend im Reaktorwasser zurückbleiben. In den vom TÜV Nord betrachteten 14 Störfallszenarien (8) überwiegt die Gammasubmersion die anderen Dosisanteile bei weitem in folgenden Fällen:

Bruch einer Frischdampfleitung

Leckagen an Frischdampf führenden Leitungen

Bruch einer Speisewasser führenden Leitung

Leckagen an Speisewasser führenden Leitungen

Leckagen an der Kondensationskammer

Bruch einer Leitung der Gasaufbereitungsanlage

Einwirkungen von außen auf das Maschinenhaus

Die Gammassubmersion beträgt hingegen nur 18-35 % der Ganzkörper- bzw. Knochendosen bei "Kühlmittelverluststörfall innerhalb des Sicherheitsbehälters, Entlüftung nach 40 Tagen", 15 % im Fall "Leckage an einer Leitung der Reaktorwasserreinigung".

In den restlichen betrachteten Szenarien beträgt die Gammassubmersion nur wenige Prozent der Ganzkörper- bzw. Knochendosis:

Kühlmittelverluststörfall innerhalb des Sicherheitsbehälters, Entlüftung nach 80 Tagen  
 Bruch einer Meßleitung  
 Bruch an einem Strang des Nachkühlsystems  
 Beschädigung eines Brennelements bei der Handhabung  
 Einwirkungen von außen auf das Reaktorgebäude

Im folgenden wird gezeigt, daß das emittierte Nuklidspektrum bei einer chronischen Kühlmittelleckage innerhalb des Sicherheitsbehälters zu einer Strahlenbelastung der Bevölkerung führen kann, bei der die externe Gammastrahlung nur einen geringen Bruchteil der Knochenmarksdosis ausmacht und dementsprechend ein unempfindlicher Indikator für Überexpositionen ist. Das ist dann der Fall, wenn die gasförmigen Anteile und die als Aerosol im Sicherheitsbehälter niedergeschlagenen Feststoffaktivitäten dort eine lange Zeit aufbewahrt werden, bevor sie durch einen Spülvorgang abgeleitet werden. Das ist möglich, da der Sicherheitsbehälter nicht an die Abluftanlage angeschlossen ist.

#### 2.2.2 Emittierte Nuklide und Dosisanteile beim Kühlmittelverluststörfall, Entlüftung nach 80 Tagen

Übermäßige chronische Kühlmittelleckagen, wie sie beim KKK zu beobachten sind, werden in den Szenarien des TÜV nicht betrachtet. Dargestellt wird jedoch der Fall des einmaligen Störfalls mit großem Kühlmittelverlust innerhalb des SHB nach Bruch eines Kerninstrumentierungsstutzens (8). Betrachtet wird das emittierte Nuklidspektrum für 2 Fälle: Einmal erfolgt die Spülung des SHB nach 80 Tagen, ein weiteres Mal nach 40 Tagen. Da der Gammaanteil mit dem Alter des Gemisches abnimmt, ziehen wir hier den ersten Fall heran.

Tab. 1 enthält die Dosisbeiträge, die der TÜV für den Kühlmittelverluststörfall nach 80 Tagen ermittelt, zusätzlich Dosen für das rote Knochenmark, die wir anhand der später folgenden Betrachtungen abgeleitet haben. Dosisbeiträge durch Ingestion werden vom TÜV in den Störfallanalysen nicht betrachtet. Sofern das eine unzulässige Vereinfachung ist, wie die Aufsichtsbehörde meint (11), würde unser Argument dadurch eher verschärft, denn Ingestionsbeiträge äußern sich nicht in einer externen Gammadosis- oder Gammadosisleistungsmessung.

Die relative Zusammensetzung der Nuklide in dem TÜV-Szenario kann man der Tab. 4-3 in (8) entnehmen, s. auch Tab. 2 und 3.

**Tab. 1** Maximale Bevölkerungsdosen bei Kühlmittelverluststörfall innerhalb des SHB, Entlüftung nach 80 d, nach TÜV (8)

		Kleinkind	Kleinkind korr. *)	Erwachsener
		Dosis in mSv x 10 <sup>-2</sup>		
alle Organe	γ-Submersion	0,13	0,16	0,13
" "	Bodenstrahlung	6,3	9,5	6,3
Knochen	Inhalation	0,68	0,68	11
"	gesamt	7,1	10,3	17,4
r. Knochenmark	Inhalation	0,14	0,14	2,2
"	gesamt	6,6	9,8	8,6
		Verhältnis von Dosisbeiträgen		
r. Knochenmark	γ-Subm./gesamt	2,0 %	1,6 %	1,5 %
"	Inhal./gesamt	2,1 %	1,4 %	25,6 %
"	Bodenstr./gesamt	96 %	97 %	73 %

\*) γ-Submersion x 1,2, Bodenstr. x 1,5 gegenüber Erw.

Die Tabellen 2 und 3 enthalten die vom TÜV ermittelten Emissionen an Tritium und Feststoffnukliden mit Halbwertszeiten > 8 d sowie die Dosisfaktoren und relativen Dosisbeiträge für Inhalation. Da beim TÜV im Endergebnis nur die Knochendosis angegeben ist, ermitteln wir die relativen Dosisbeiträge für beide, sowohl rotes Knochenmark als auch Knochen. (In neueren Zusammenstellungen der Dosisfaktoren wird die Dosis der "Knochenoberfläche" angegeben.) In dem Szenario werden noch Dosisbeiträge durch J 131 (3,4 E+09) und die Edelgase Kr 85 (3,1 E+14), Xe 131m (8,4 E+12) und Xe 133 (2,5 E+12) geliefert, die im TÜV-Gutachten nicht ausgewiesen sind. Wir gehen davon aus, daß diese zur Inhalationsdosis bei Knochen und Knochenmark keinen nennenswerten Beitrag leisten.

Die in den Tabellen 2 und 3 verwendeten Dosisfaktoren sind der heute gültigen Aufstellung von 1989 entnommen (12). (Diese enthalten gegenüber den TÜV-Annahmen von 1982 einige Änderungen. Wir gehen jedoch davon aus, daß diese für unsere Abschätzung nicht relevant sind.) Die „Dosisbeiträge“ für das Knochenmark und die Knochenoberfläche sind Relativwerte, die sich aus dem Produkt der relativen Quellstärke (Spalte 4) mit dem Dosisfaktor ergeben. Sie dienen dem Vergleich der Beiträge der Nuklide untereinander und für die beiden Körperkompartimente. Die Quellstärken wurden auf Sr 90 bezogen, weil dieses Nuklid in der Umgebung des KKK so besonders auffällig ist (13, Kap.I.1.2). Es ergibt sich, daß die Dosis des roten Knochenmarks beim Kleinkind und beim Erwachsenen 5mal kleiner ist als die Knochendosis. Dieses Ergebnis wurde zur Angabe der Knochenmarksdosis in Tab. 1 verwendet.

Bemerkenswert ist für das Szenario des einmaligen Kühlmittelverlustes, daß die Bodenstrahlung - also auch hier eine externe Gammaexposition - den überwiegenden Anteil der Knochenmarksdosis ausmacht. Gammasubmersion und Inhalation tragen beim Kleinkind nur geringfügig dazu bei, während beim Erwachsenen die Inhalationsdosis 1/4 der Gesamtdosis ausmacht, s. Tab. 1.

Tab. 2 Emittierte Feststoffnuklide und Tritium nach TÜV (8) für Kühlmittelverluststörfall, Entlüftung nach 80 Tagen, Dosis für Alter 1 Jahr

Tritium u. Aerosole > 8d				Knochenmark Inhalation			Knochenoberfläche Inhalation	
		Bq	Rel. zu Sr 90	Sv/Bq*)	Dosisbei- trag**) E-07	Rel. zu Sr 90	Sv/Bq*)	Dosisbei- trag**) E- 07
H 3	12,3 y	2,3E+13	4,4E05	4,6E-11	202	34,2	4,6E-11	202,4
Rb 86	18,7 d	2,3E+5	0,004	2,1E-08	-	-	3,2E-08	-
Sr 89	50,5 d	2,7E+08	5,2	5,8E-08	3,0	0,51	1,2E-07	6,24
Sr 90	28,0 y	5,2E+07	1,00	5,9E-07	5,9	1	1,3E-06	13,0
Y 91	58,8 d	4,0E+08	7,7	1,1E-07	8,5	1,43	8,2E-08	6,31
Zr 95	65,5 d	6,4E+08	12,3	1,1E-07	13,5	2,3	7,5E-07	92,3
Nb 95	35,0 d	1,0E+09	19,2	4,4E-09	0,84	0,14	3,4E-09	0,65
Ru 103	39,5d	6,7E+09	129	1,2E-08	15,5	2,6	1,1E-08	14,2
Ru 106	368 d	9,2E+09	177	1,1E-07	195	33	1,1E-07	195
Sn 123	125 d	5,9E+06	0,11	5,5E-08	0,06	0,01	1,2E-07	0,13
Te 127m	109 d	2,0E+08	3,5	1,4E-07	4,9	0,83	39E-07	13,65
Te 129m	34,1 d	2,5E+08	4,8	8,9E-08	4,3	0,72	1,6E-07	7,68
Cs 134	2,0 y	3,2E+09	61,5	7,0E-09	4,3	0,72	6,5E-09	4,0
Cs 136	13,7 d	1,7E+07	0,33	4,5E-09	0,015	0,003	4,1E-09	0,01
Cs 137	30,0 y	1,6E+09	30,8	5,9E-09	1,8	0,31	5,6E-09	1,72
Ba 140	12,8 d	2,2E+07	0,42	1,3E-08	0,05	0,008	1,9E-08	0,08
Ce 141	32,5 d	2,8E+08	5,4	3,8E-09	0,2	0,035	2,8E-08	1,51
Ce 144	284 d	8,8E+08	16,9	2,5E-07	42,3	7,2	3,3E-07	55,77
Pr 143	13,6 d	2,6E+07	0,5	2,7E-09	0,01	0,002	2,0E-09	0,01
Pm 147	2,6 y	9,7E+07	1,8	6,9E-08	1,24	0,21	6,5E-07	11,7
Eu 154	16 y	5,9E+06	0,11	6,0E-07	0,66	0,11	2,5E-06	2,75
Pu 238	86,4 y	2,3E+06	0,04	4,8E-04	192	37	4,7E-03	1880
Pu 239	24400 y	6,7E+05	0,0129	5,0E-04	64,5	10,9	5,0E-03	645
Pu 240	6580 y	4,9E+05	0,0094	5,0E-04	47,1	8,0	5,0E-03	471
Pu 241	13,2 y	1,3E+08	2,5	6,7E-06	167,5	28	7,5E-05	1875
Am 241	458 d	1,5E+05	0,003	5,2E-04	15,6	2,6	5,2E-03	156
Cm 242	163 d	2,3E+07	0,44	3,4E-05	149,6	25,4	2,9E-04	1276
Cm 244	17,6 d	2,1E+06	0,04	3,7E-04	148	25,1	3,5E-03	1400
Summe		2,5E+10			1288			8332

\*) größter Faktor bezüglich Lungenretention

\*\*) Dosisfaktor x Spalte 4

Tab.3 Emittierte Feststoffnuklide und Tritium nach TÜV (8) für Kühlmittelverluststörfall, Entlüftung nach 80 Tagen, Dosis für Erwachsene

Tritium u. Aerosole > 8d				Knochenmark Inhalation			Knochenoberfläche Inhalation	
		Bq	Rel. zu Sr 90	Sv/Bq*)	Dosisbeitrag**) E-07	Rel. zu Sr 90	Sv/Bq*)	Dosisbeitrag**) E-07
H 3	12,3 y	2,3E+13	4,4E05	1,6E-11	70,4	23,5	1,6E-11	70,4
Rb 86	18,7 d	2,3E+5	0,004	2,3E-09	-		4,3E-09	-
Sr 89	50,5 d	2,7E+08	5,2	5,6E-09	0,29	0,10	8,4E-09	0,44
Sr 90	28,0 y	5,2E+07	1,00	3,0E-07	3,0	1	6,8E-07	6,8
Y 91	58,8 d	4,0E+08	7,7	5,6E-09	0,43	0,14	5,5E-09	0,42
Zr 95	65,5 d	6,4E+08	12,3	1,3E-08	1,60	0,53	1,0E-07	12,3
Nb 95	35,0 d	1,0E+09	19,2	6,7E-10	1,29	0,43	24E-09	0,46
Ru 103	39,5d	6,7E+09	129	6,7E-10	0,86	0,29	6,2E-10	0,80
Ru 106	368 d	9,2E+09	177	1,4E-08	24,78	8,26	1,4E-08	27,78
Sn 123	125 d	5,9E+06	0,11	5,7E-09	0,01	0,003	1,6E-08	0,02
Te 127m	109 d	2,0E+08	3,5	1,4E-08	0,49	0,16	5,2E-08	0,07
Te 129m	34,1 d	2,5E+08	4,8	8,8E-09	0,42	0,14	2,0E-08	0,96
Cs 134	2,0 y	3,2E+09	61,5	1,2E-08	7,38	2,46	1,1E-08	6,77
Cs 136	13,7 d	1,7E+07	0,33	1,9E-09	0,01	0,003	1,7E-09	0,01
Cs 137	30,0 y	1,6E+09	30,8	8,3E-09	2,55	0,85	7,9E-09	2,43
Ba 140	12,8 d	2,2E+07	0,42	1,3E-09	0,01	0,003	2,3E-09	0,01
Ce 141	32,5 d	2,8E+08	5,4	4,2E-10	0,02	0,007	3,8E-09	0,21
Ce 144	284 d	8,8E+08	16,9	2,7E-08	4,56	1,52	4,5E-08	7,60
Pr 143	13,6 d	2,6E+07	0,5	2,7E-10	-	-	2,7E-10	-
Pm 147	2,6 y	9,7E+07	1,8	8,2E-09	0,15	0,05	1,0E-07	1,8
Eu 154	16 y	5,9E+06	0,11	1,1E-07	0,12	0,04	5,2E-07	0,57
Pu 238	86,4 y	2,3E+06	0,04	1,5E-04	60	20	1,9E-03	760
Pu 239	24400 y	6,7E+05	0,0129	1,7E-04	219,3	73,1	2,1E-03	270,9
Pu 240	6580 y	4,9E+05	0,0094	1,7E-04	160,1	157,1	2,1E-03	197,8
Pu 241	13,2 y	1,3E+08	2,5	3,3E-06	82,5	27,5	4,2E-05	1050
Am 241	458 d	1,5E+05	0,003	1,7E-04	5,1	1,7	2,2E-03	66
Cm 242	163 d	2,3E+07	0,44	3,9E-06	17,2	5,7	4,9E-05	215,6
Cm 244	17,6 d	2,1E+06	0,04	9,4E-05	37,6	12,5	1,2E-03	480
Summe		2,5E+10			630			3107

\*) größter Faktor bezüglich Lungenretention

\*\*) Dosisfaktor x Spalte 4

Dieser Unterschied zwischen den Altersklassen wird noch größer, wenn man berücksichtigt, daß die externe Gammadosis für das Kleinkind vom TÜV zu niedrig angesetzt ist. Gamma-submersion und Bodenstrahlung bei den einzelnen Gammastrahlern wurden ursprünglich für

Erwachsene berechnet. Nach der neueren Vorschrift (3) muß man beim Kleinkind den Gammasubmersionsfaktor mit 1,2, den Bodenstrahlungsfaktor mit 1,5 gegenüber dem Erwachsenenwert multiplizieren. Dieses ergibt die Werte in der Spalte "Kleinkind, korrigiert." in Tab. 1.

### 2.2.3 Potentielle Emissionen bei chronischem Kühlmittelverlust

Um die Auswirkungen des beim KKK anzunehmenden hohen chronischen Kühlmittelverlustes innerhalb des Sicherheitsbehälters zu beschreiben, könnte man 2 Ansätze machen. Erstens könnte man von den Annahmen des TÜV über die Nuklidkonzentrationen im Reaktorwasser ausgehen und anhand der dokumentierten Leckagemenge die in den SHB ausgetretenen Radioaktivitätsmengen und ihren weiteren Verbleib abschätzen. Zweitens könnte man die gemessenen Aktivitäten im Reaktorwasser verwenden und anhand der niedergelegten Häufigkeiten und Zeitpunkte von Luftspülaktivitäten beim SHB die erwarteten Freisetzungen über die Kaminfortluft ermitteln. Beide Vorgehensweisen würden den zeitlichen Rahmen dieses Gutachtens sprengen, sie würden außerdem die Kenntnis vieler Parameter zu Rückhalte- und Filterprozessen und den im KKK möglichen diesbezüglichen Maßnahmen bei den radioaktiven Feststoffen erfordern, die den uns vorliegenden technischen Berichten nicht zu entnehmen sind. (Diese Begründung wird noch einmal geltend gemacht gegenüber der Anforderung (11), Daten aus den Monatsberichten zu verwenden. Es kann hier nur ein mehr hypothetischer Fall betrachtet werden.)

Für eine erste überschlagsmäßige Betrachtung gehen wir von der Emission eines Nuklidspektrums aus, dessen relative Zusammensetzung so ist, wie vom TÜV für den in 2.2.2 beschriebenen Fall ermittelt wurde. Laut KKK-Monatsberichten wurde in den Jahren 1984 bis 89 im SHB in 28 Monaten die Spülluftanlage betätigt (insgesamt 75 mal, als „SHB“-Spülung ausgewiesen, nicht Entlüftung des Steuerstabantriebsraumes (11)). Das ergibt eine mittlere Verweildauer der Nuklide im SHB von 83 Tagen zwischen 2 Spülzeitpunkten, welches etwa den vom TÜV angesetzten 80 Tagen entspricht. Im Gegensatz zum einmaligen Störfall ist jedoch bei chronischer Leckage zu berücksichtigen, daß die jeweiligen Feststoffablagerungen sich im Gebäude akkumulieren und bei jedem Spülvorgang ein Bruchteil von der Gesamtablagerung aufgewirbelt und mitgerissen wird. Dadurch nimmt der relative Anteil der langlebigen Nuklide im Gemisch zu. Dieser Rückgang der kurzlebigen Anteile macht bezüglich der Inhalationsdosis weniger als 10 % aus, da nur noch das mittellanglebige Isotop Ru 106 in dem 80 Tage alten Gemisch nach TÜV (Tab. 2, 3) einen nennenswerten Anteil (15 % für Alter 1 J., s. Sp. 6 in Tab. 2) an der Gesamtdosis hat. Der Bodenstrahlungsanteil würde allerdings deutlich abnehmen, da er im wesentlichen durch kürzerlebige Nuklide mit Halbwertszeiten bis 2 Jahren erzeugt wird, s. Tab. 4.

Der Tab. 4 kann man entnehmen, daß der Bodenstrahlungsanteil aller Nuklide außer Cs 134 bei im Mittel mehrjähriger Alterung vernachlässigbar wird. Cs 134 macht in Tab. 4 38,6 % der Dosis aus und ist hier mit einer zweifach höheren Aktivität als Cs 137 beteiligt. In den Regenwassermessungen bei Grünhof (13), die überhöhte Freisetzungen aus dem KKK anzeigen (s. auch Kap. I.1.2 des Strahlenbiologischen Gutachtens), beobachtet man ein Cs 134 : Cs 137-Verhältnis vom im Mittel etwa 0,25, d.h. Cs 134 wäre im Emissionsgemisch um den Faktor 8 zurückgegangen. Daher nehmen wir für unsere Abschätzung an, daß die Bodenstrahlung bei chronischen Kühlmittelleckagen nur 5 % gegenüber dem relativen Anteil des TÜV-Szenarios hat. Die Gammasubmersion nimmt ebenfalls mit dem Alter des Gemi-

ches ab und wird für diese Betrachtung als vernachlässigbar angesehen. Wir nehmen daher an, daß die Knochenmarksdosis des Erwachsenen sich nur aus Inhalationsdosis und der Bodenstrahlung zusammensetzt, die nach Tab. 1 im Verhältnis 2,2 : 0,315 ( $0,05 \times 6,3 = 0,315$ ) stehen.

**Tab. 4** Kühlmittelverluststörfall, Entlüftung nach 80 Tagen, Dosis für Erwachsene

Aerosole > 8d				Bodenstrahlung	
		Bq	Rel. zu Sr 90	(Sv/s) (Bq/m <sup>3</sup> ) x 10 <sup>-17</sup>	Rel. Dosisbeitrag*) x 10 <sup>-8</sup>
Rb 86	18,7 d	2,3E+5	0,004	8,4	-
Sr 89	50,5 d	2,7E+08	5,2	-	-
Sr 90	28,0 y	5,2E+07	1,00	-	-
Y 91	58,8 d	4,0E+08	7,7	0,32	0,1
Zr 95	65,5 d	6,4E+08	12,3	140	89,6
Nb 95	35,0 d	1,0E+09	19,2	70	70
Ru 103	39,5d	6,7E+09	129	43	288,1
Ru 106	368 d	9,2E+09	177	18	166
Sn 123	125 d	5,9E+06	0,11	0,61	-
Te 127m	109 d	2,0E+08	3,5	0,76	0,2
Te 129m	34,1 d	2,5E+08	4,8	6,2	1,2
Cs 134	2,0 y	3,2E+09	61,5	140	448
Cs 136	13,7 d	1,7E+07	0,33	190	3,2
Cs 137	30,0 y	1,6E+09	30,8	51	81,6
Ba 140	12,8 d	2,2E+07	0,42	220	4,8
Ce 141	32,5 d	2,8E+08	5,4	6,2	1,7
Ce 144	284 d	8,8E+08	16,9	5,1	4,5
Pr 143	13,6 d	2,6E+07	0,5	-	-
Pm 147	2,6 y	9,7E+07	1,8	-	-
Eu 154	16 y	5,9E+06	0,11	110	0,6
Pu 238	86,4 y	2,3E+06	0,04	0,011	-
Pu 239	24400 y	6,7E+05	0,0129	0,008	-
Pu 240	6580 y	4,9E+05	0,0094	0,011	-
Pu 241	13,2 y	1,3E+08	2,5	0,076	-
Am 241	458 d	1,5E+05	0,003	1,4	-
Cm 242	163 d	2,3E+07	0,44	0,017	-
Cm 244	17,6 d	2,1E+06	0,04	0,012	-
Summe					1160

\*) Bq x Dosisfaktor

Es ist somit gezeigt worden, daß es ein von einem Reaktor emittiertes Nuklidspektrum geben kann, bei dem die Bevölkerungsdosis nur zu einem sehr geringen Anteil durch externe  $\gamma$ -Strahlung geliefert wird, während der Hauptbeitrag der Knochenmarksdosis durch Inhalation von  $\beta$ - und  $\alpha$ -strahlenden Nukliden erzeugt wird. Ein solches Szenario bedeutet, daß eine immissionsseitige Überwachung, die sich überwiegend auf die  $\gamma$ -Submersion und Bodenstrahlung stützt, die relevanten Nuklide weitgehend übersieht. Dieses soll auf den Fall KKK übertragen werden, in dem wir davon ausgehen, daß dort die externe Registrierung der  $\gamma$ -Dosis und  $\gamma$ -Dosisleistung korrekt erfolgt ist.

Aus der beim KKK registrierten  $\gamma$ -Dosis läßt sich dann unter der Annahme, daß diese vornehmlich durch eine solche Ursache - chronischer Kühlmittelverlust mit langen Speicherzeiten im SHB und vielfach wiederholten Spülvorgängen - erzeugt wurde, die gesamte entstandene Knochenmarksdosis unter konventionellen Annahmen über die Dosisfaktoren abschätzen.

Dazu gehen wir von der feststellbaren Gammadosis in der Umgebung des KKK während der Betriebsjahre 1983-89 aus. In den TLD-Messungen der Betreiber hatte sich gezeigt (13-15), daß im Nahbereich des Reaktors systematisch höhere Jahresgammadosen angezeigt wurden, als in den äußeren Gebieten von 5-15 km Entfernung.

Die Aufsichtsbehörde ist der Auffassung (11), daß eine solche meßbar erhöhte  $\gamma$ -Dosis im Nahbereich des KKK durch eine Auswertung der Firma ESN widerlegt worden sei (16). Dazu müßte jedoch gezeigt werden, daß die zum Vergleich herangezogenen Messungen mit Phosphatglasdosimetern und der KFÜ genauer sind als die TLD-Messungen.

Die ESN-Auswertung bestätigt die systematische Erhöhung der TLD-Anzeige im Innenkreis gegenüber den Außenbezirken bei Betrachtung konzentrischer Zonen um KKK, auch dann, wenn der Meßwert am Standort 10.1 (Tespe, Elbmarsch) für 1983 mit der Begründung ausgeschlossen wird, er liege mit 2,28 mSv zu hoch über den anderen Werten (eine solche Begründung läßt die Überwachungsbemühungen in zweifelhaftem Licht erscheinen). Die Ziggelsche Auswertung (14) zeigt im weiteren, daß die Erhöhung - wie es auch plausibel ist - durch bestimmte sektorielle Zonen entsprechend bestimmter Ausbreitungsrichtungen geliefert wird. Während die Meßwerte in einigen Sektoren eine sehr gute Übereinstimmung mit dem Mittelwert des Außenkreises zeigen (Abb.5a, 5b in (14)), ergaben sich in den Sektoren, die das Territorium der Elbmarsch-Leukämiefälle umfassen, besonders große Dosiserhöhungen gegenüber dem Außenbezirk (Abb.6,7 in (14)).

In der Sektorenauswertung der TLD-Dosimeter durch ESN wird der Bezug auf die Außenbezirke vermieden und mit dem Mittelwert aller Messungen verglichen. Dadurch wird das Ergebnis naturgemäß verwässert und weniger deutlich, die Erhöhung im Elbmarschsektor bleibt jedoch bestehen

Eine Rückführung der je nach Sektor zu beobachtenden systematischen Dosisanstiege auf „statistische Schwankungen“, wie sie ESN begründet, ist nicht möglich. Stattdessen müßten andere systematische Unterschiede vorliegen, wenn man eine echte Erhöhung der Gammadosis ausschließen will. Dieses ist jedoch nicht plausibel, da jeweils mehrere TLD-Proben an einem Ort ausgelegt und diese jährlich gewechselt werden.

ESN zieht des weiteren Phosphatglasdosimetermessungen (RPL) heran, die entsprechend dem Routineüberwachungsprogramm für den Störfall (s. 1.2) an den gleichen Stellen wie die TLD-Messungen vorgenommen werden (in den Jahresberichten von KKK und GKSS aber nicht aufgeführt werden). Die Daten liegen uns nicht vor. Ein direkter Vergleich der angegebenen Mittelwerte mit der Ziggelschen Auswertung ist nicht möglich, da eine andere Zuordnung zu Zonen um das KKK erfolgt. Die Zonenvergleiche zeigen sehr viel mehr Überlappungen als die TLD-Messungen, so daß man hier tatsächlich auf einen statistischen Schwankungsbereich der Meßwerte schließen kann, der die systematische Differenz übersteigt.

Mit einer Auswertung von KFÜ-Daten, deren Details nicht angeführt sind, kommt ESN zu umgekehrten Ergebnissen wie mit den Festkörperdosimetern. Sie erhalten im Außenkreis um KKK höhere Dosiswerte als im Innenkreis (allerdings sind die verglichenen Bezirke nicht gleich mit denen bei der TLD-Auswertung). Während die Festkörperdosimeter jedoch akkumulierende Detektoren sind, handelt es sich bei den KFÜ-Meßsonden um Impulsratenzähler, die für einen akkumulierenden Zweck nicht vorgesehen sind. Eine Bestimmbarkeit von Monatsmittelwerten, auf der die Aussage beruht, mit ausreichender Genauigkeit erscheint aus folgenden Gründen zweifelhaft: Es erfolgt ein Untergrundabzug, der 1) standardisiert und 2) über die Jahre nicht konstant war. Nach den uns zur Verfügung stehenden KFÜ-Unterlagen lagen häufig Ausfälle einzelner Sonden vor oder erhöhte Anzeigen, die als „unplausibel“ oder einer Gerätestörung zugeordnet wurden. Damit besteht die Möglichkeit nicht erfaßter realer Dosiserhöhungen. Zudem waren gerade in den bei den TLD-Messungen auffälligen Anfangsjahren 1983 und 1984 die Meßstationen noch unvollständig installiert und es erfolgten Meßwertverschiebungen aufgrund neuer Kalibrierungen. Außerdem sind keine Stationen innerhalb 1 km enthalten, die gerade im Ortsteil Tespe (Elbmarsch) bei den TLD-Messungen entscheidende Beiträge lieferten. Die KFÜ-Daten erscheinen daher als nicht genügend belastbar, um einen Widerspruch zu den TLD-Daten darzustellen.

Die Frage, ob sich eine reale Erhöhung der Gammadosis im Nahbereich des KKK gezeigt hat, ist bei dem in diesem Kapitel behandelten Zusammenhang aber auch unerheblich. Die als Mittelwert gefundenen 0,09 mSv/Jahr für die Erhöhung der Dosis in der Innenzone würden, wenn man sie nicht als echte Erhöhung anerkennt, eine Mindestnachweisgrenze für die Gammadosis bedeuten. Eine durch das Überwachungssystem nicht auszuschließende Gammadosis von 0,09 mSv ließe dann eine entsprechend nicht registrierte Dosis durch Inhalation  $\beta$ - und  $\alpha$ -strahlender Nuklide zu.

Die mögliche zusätzliche Dosis von 0,09 mSv/Jahr liegt deutlich über dem „Immissionsrichtwert“ von 0,04 mSv/Jahr, den der TÜV für den maximalen Aufpunkt bei Normalbetrieb und Ausnutzung der zulässigen Jahresmaximalabgaben ermittelt hat (1). Wir runden diesen Wert auf 0,1 mSv/Jahr für die Gammadosis auf, weil eine Strahlenbelastung sich weiträumiger auswirken würde als auf eine Entfernung von 5 km, und berechnen davon ausgehend die anderen Dosisbeiträge.

Die TLD-Dosimetrie ist zur Kontrolle der Gammasubmersion gedacht und erfaßt die Bodenstrahlung nur zu einem Teil, da die Dosimeter mehrere Meter über der Erde und an Bäumen, Zäunen und Gebäuden festgemacht sind. Wir gehen davon aus, daß nur 30 % der Bodenstrahlung registriert werden und setzen daher nach oben das Verhältnis von Inhalationsdosis zu registrierter Gammadosis zu  $2,2 : 0,0945$  ( $0,3 \times 0,315$ ) an. Wenn der letzte Anteil mit 0,1 mSv/a  $\gamma$ -Dosisleistung gleichgesetzt wird, erhält man nach Tab. 1 die in Tab. 5 angegebenen

Dosen für das rote Knochenmark. Es ist darauf hinzuweisen, daß diese mittlere Bevölkerungsdosen sind, da sie von einem gemessenen Mittelwert abgeleitet wurden.

**Tab. 5** Extrapolierte mittlere Jahresdosis 1984-1989 durch Kühlmittelverlust ausgehend von gemessener  $\gamma$ -Dosis beim KKK

	rotes Knochenmark	
	Kleinkind	Erwachsene
Bodenstrahlung	0,50 mSv/a	0,33 mSv/a
Inhalation	0,15 "	2,33 "
gesamt	0,65 "	2,66 "
ges. in 6 Jahren	3,9 mSv	16 mSv

Es ergibt sich somit, daß eine durch die Umgebungsüberwachung registrierte oder übersehene  $\gamma$ -Dosis von 0,1 mSv/a mit einer Jahresdosis des roten Knochenmarks von 2,66 mSv für Erwachsene bzw. 0,65 mSv für Kleinkinder einhergehen kann und damit einer 8,8- bzw. 2,2fachen Überschreitung des Grenzwerts von 0,3 mSv/a über den Luftpfad für die Bevölkerung. Hinzu käme noch die Dosis durch Ingestion.

Die Aufsichtsbehörde ist der Auffassung, daß ein solches Szenario durch die vorgeschriebene Erfassung der Alpha-Aerosole ausgeschlossen werden kann (11). Dazu reichen die 3 Meßstationen, wovon nur eine in der Elbmarsch liegt (Tespe), aber nicht aus.

Im Mittel betrug der Kühlmittelverlust beim KKK in den Jahren 1984-89  $380 \text{ m}^3/\text{a}$ . Nach den TÜV-Annahmen für den Normalbetrieb (1) beträgt die Cs 137-Konzentration im Reaktorwasser  $4,4 \cdot 10^8 \text{ Bq/m}^3$ , so daß mit  $380 \text{ m}^3$   $1,7 \cdot 10^{11} \text{ Bq/a}$  in den Sicherheitsbehälter austräten. Diese Zahlen werden in Tab. 6 mit den Angaben des KKK über seine jährlichen Emissionen von Cs 137 verglichen, sowie mit den Abgaben, die sich nach den Angaben des KKK für die Reaktorwasserleckagen ergeben. In den KKK-Monatsberichten sind die Nuklidkonzentrationen im Reaktorwasser und die Kühlmittleckagen graphisch aufgetragen. Daraus haben wir ermittelt, daß in den Jahren 1984-89 etwa  $8,6 \cdot 10^8$  Cs 137 durch die Kühlmittleckagen in den SHB ausgetreten sind. Nach den Angaben des KKK sind von 1983-91 maximal  $3,3 \cdot 10^6$  Bq Cs 137 mit der Fortluft emittiert worden (17).

Die von den Betreibern selbst und anderen Meßinstitutionen festgestellten Cs 137-Konzentrationen in der Umgebung (s. Kap. I.1.2) sagen jedoch etwas anderes aus. Aus den Regenwassermessungen in Grünhof haben wir Emissionswerte abgeschätzt (13, Kap. I.1.2), die im Zeitraum 1984-89 im Mittel  $1,4 \cdot 10^{11} \text{ Bq/a}$  an Cs 137 über den Fortluftkamin bedeuten würden, bei niedriger Emissionshöhe etwa 1/10 davon s. Tab. 6. Wie man sieht, würde das in den SHB freigesetzte Cs 137-Inventar in etwa ausreichen, um derartige Emissionen zu ermöglichen.

Tab. 6 Betrachtung von potentiellen Cs 137-Emissionen beim KKK

Grenzwert für Cs 137 u. Fortluft nach (1) für KKK		$3,7 \cdot 10^9$ Bq/a
Freisetzung in SHB bei $380 \text{ m}^3/\text{a}$ nach TÜV-Annahme		$1,7 \cdot 10^{11}$ Bq/a
Geschätzte Emission nach Regenwasserkontamination Grünhof (13) 1984-1989:		
	über Kamin	$1,4 \cdot 10^{11}$ Bq/a
	niedrig	$1,4 \cdot 10^{10}$ Bq/a
Cs 137-Emission nach Angabe KKK 1983-1991		$\leq 3,3 \cdot 10^6$ Bq ges.
Cs 137-Freisetzung in SHB n. Mes- sung KKK 1984-1989		$8,6 \cdot 10^8$ Bq ges.

#### 2.2.4 Schlußfolgerungen

Chronischer Kühlmittelverlust innerhalb des Sicherheitsbehälters, wie er beim KKK vorliegt, kann ein durch  $\gamma$ -Monitoring in der Umgebung nicht zu erfassendes Emissionsspektrum liefern. Die vorgeschriebenen immissionsseitigen Nuklidmessungen sind nicht ausreichend, um für diesen Fall die Einhaltung der Grenzwerte für die Bevölkerung zu kontrollieren.

Bei chronischem Kühlmittelverlust liefern die Plutonium-Isotope und anderen Transurane den Hauptanteil der Knochenmarksdosis, s. Tab. 2 und 3. Diese werden immissionsseitig nicht nuklidspezifisch überprüft. Die Gesamt- $\alpha$ -Messung erfolgt an zu wenigen Orten, um eine Kontrollmöglichkeit zu liefern, und wird nur vom Betreiber durchgeführt. Die Kontrolle der Gammadosisleistung mit der KFÜ ist bei diesem Szenario nicht geeignet, Grenzwertüberschreitungen festzustellen.

Die nächstgrößeren Dosisbeiträge in dem TÜV-Szenario für Knochen- und Knochenmark nach den Transuranen liefern die Nuklide Tritium, Zr 95 (65,5 d), Ru 106 (368 d) und Ce 144 (284 d), s. Tab. 2 und 3. Die Feststoffe sind immissionsseitig in den Luftüberwachungsmessungen auf Aerosole erfaßbar, die aber nur an 3 Standorten um KKK ausgeführt werden und die einzigen kontinuierlichen nuklidspezifischen Messungen auf Aerosole in der Umgebung neben den Messungen im Oberflächenwasser der Elbe sind. In den Boden- und Bewuchsmessungen werden diese Nuklide aufgrund ihrer relativ kurzen Halbwertszeit nicht adäquat erfaßt, da diese nur in der Sommersaison durchgeführt werden.

Tritium, Ru 106 und Ce 144 sind Nuklide, die nach TÜV im Normalbetrieb keine Rolle spielen (1) und nur bei dem Kühlmittelverluststörfall und bei Brennelementschäden auftreten (8). Außer Tritium wurden Ru 106 und Nb 95 als Tochter von Zr 95 in den Betreibermessungen bei Krümmel gefunden, s. Kap. I.1.2.

Kühlmittelnuklide in einer Zusammensetzung nach längerer Zerfallsdauer vor der Emission sind ein Beispiel für ein unzureichend überwachtetes Szenario. Möglicherweise stellen jedoch auch gealterte Gemische aus Leckagen mit anderen Ursachen ein gleiches Problem dar.

Hinweise auf diffuse Leckagen beim KKK, die in der Emissionsbilanzierung nicht erscheinen, liefern die hohen Dosismesswerte auf dem Maschinenhausdach fern von der Hochdruckturbine (13, 14). Die Aufsichtsbehörde hält diese Messwerte für vereinbar mit dem bestimmungsgemäßen Betrieb (2, 18), widerlegt aber durch die von ihr veranlaßte Begutachtung nicht folgende Argumente:

- 1) Die erreichten Jahresdosen auf dem Maschinenhaus in Höhe bis zu 210 mSv sind nach eigener Abschätzung viel zu hoch im Vergleich zu auftretenden Dosen in der Nähe der Hochdruckturbine (19). Sie können daher nicht überwiegend durch N 16 erzeugt worden sein. Das Gutachten des TÜV-Nord macht dazu keine gegenteilige Aussage (20).
- 2) Die Messwerte korrelieren nicht mit der Jahresbruttoleistung des Kraftwerks (und damit der N 16-Produktion) und nicht untereinander (TLD und Phosphatglas), auch nicht, wenn man die Positionen 12 und 13 für vertauscht hält. Die deutlich niedrigeren Anzeigen der TLD-Dosimeter gegenüber den Glasdosimetern in etlichen Jahren lassen sich nur durch eine externe Exposition mit  $\beta$ -Strahlern plausibel interpretieren, also eine außerhalb des Maschinenhauses befindliche Kontamination. (Die TLD-Dosimeter haben ein kleineres Absorptionsvolumen für härtere  $\beta$ -Strahlung.)
- 3) Das Auftreten von Strahlenquellen abseits der Hochdruckturbine bei Reaktorbetrieb wird gestützt durch die Messungen der südlichen KFÜ-Station 3 auf dem Reaktorgelände (14, 21).

### 3. Grenzen der Immissionskontrolle und Verbesserungsvorschläge

Das Umgebungsüberwachungssystem für das KKK wird nicht dazu verwendet, die in der Einleitung definierten „Immissionsrichtwerte“ zu überprüfen. In der Praxis hat es lediglich die Funktion eines „Stand-By“-Systems, das bei größeren Störfällen ansprechen soll. Dieses schließen wir aus unserer Auswertung der genannten Messunterlagen, die wir für die Betriebszeit des KKK vorgenommen haben.

Nach unseren Feststellungen sind 1) die nicht-nuklidspezifischen Parameter Gesamt- $\beta$  und Gesamt- $\alpha$  auch bei Anstiegen auf das Zwei- und Mehrfache kein Anlaß für Betreiber und Aufsichtsbehörde, die Emissionsangaben zu hinterfragen, da man die Anstiege auf Schwankungen der natürlichen Backgroundstrahlung zurückführt. Wegen der mangelnden Abgrenzungsmöglichkeit gegenüber dem Untergrund sind diese Größen aber auch nicht geeignet, Immissionsrichtwerte zu überprüfen.

Auch wurden 2) die Anstiege der  $\gamma$ -Dosisleistung in allen 4 Überwachungsprogrammen häufig - wenn nicht als Gerätefehler - als natürliche Schwankung interpretiert. Ein Beispiel für ersteres, die KFÜ noch nach dem Auftreten der Leukämien in der Elbmarsch betreffend, wurde vom Referat Umwelthygiene des Nieders. Sozialministeriums beschrieben (22), s. Anhang 3. Der Parameter  $\gamma$ -Dosisleistung wäre aber, obwohl er der einzige einigermaßen flächendeckend erhobene Messwert ist, nach oben auf jeden Fall unzureichend für eine Kontrolle der Immissionsrichtwerte.

3) wurden zahlreiche nuklidspezifisch festgestellte Konzentrationserhöhungen von den Betreibern diskutiert, aber nie auf KKK-Emissionen zurückgeführt, auch wenn man keine ande-

re plausible Erklärung für das Auftreten der Reaktornuklide geben konnte. Beispiele dazu haben wir u.a. im Kap. I.1.2 des Strahlenbiologischen Gutachtens aufgeführt. Als Begründung für eine solche Ablehnung KKK-bedingter Kontaminationen wurde stets auf die gemessenen Emissionswerte verwiesen.

Um die mit dem Immissionsüberwachungssystem gelieferten Informationen besser zu nutzen, haben wir in Kap. I.1.4 des Strahlenbiologischen Gutachtens Verbesserungsvorschläge gemacht, ebenso zur Erhöhung von Art und Anzahl der Messungen. Als großes Defizit haben wir herausgestellt, daß keine Handlungsanweisung im Regelwerk für den Fall besteht, daß Widersprüche zwischen Emissions- und Immissionsmessungen auftreten.

Ob die u. E. notwendige zweite redundante - d.h. von der Emissionsmessung unabhängige Kontrollmöglichkeit der Einhaltung von Immissionsrichtwerten - durch geeignete Modifikationen des Umgebungsüberwachungsprogramms herstellbar ist, kann im Rahmen dieses Gutachtens nicht beantwortet werden.

#### Schriftenverzeichnis

1. TÜV Norddeutschland: Gutachten über die Sicherheit des Kernkraftwerks Krümmel zum Strahlenschutz beim Betrieb. Teil II des Betriebsgutachtens. Hamburg, Juli 1983, Nr. 27-83-007
2. MFE Kiel: Info an Dr. Stevenson bezgl. Strahlenbiologisches Gutachten, Beitrag Immissionsrichtwerte der atomrechtlichen Bestimmungen, Kommentar zum Entwurf vom 28.11.97
3. Allgemeine Verwaltungsvorschrift zu § 45 StrSchVO: Ermittlung der Strahlenexposition durch die Ableitung radioaktiver Stoffe aus kerntechnischen Anlagen oder Einrichtungen. Bundesanzeiger Nr. 64a vom 31. März 1990
4. BMU - RS II 5 - 15603/5: Richtlinie zur Emissions- und Immissionsüberwachung kerntechnischer Anlagen. RdSchr. v. 30.6.93, REI 3.23, Stand Juni 1993
5. Energiesysteme Nord GmbH: Radioaktivitätsüberwachung in der Umgebung von Kernkraftwerken. Behördenmeßprogramm. 1983-
6. Kernkraftwerk Krümmel: Jahresberichte zur Umgebungsüberwachung 1981-95
7. GKSS-Forschungszentrum Geesthacht GmbH: Jahresberichte zur Umgebungsüberwachung. 1983-1991
8. TÜV Norddeutschland: Störfälle mit Aktivitätsfreisetzungen. Gutachten über die Sicherheit des Kernkraftwerks Krümmel. Hamburg, Dezember 1982, Nr. 27-82-007
9. Kernkraftwerk Krümmel GmbH: Statusbericht zur Umweltradioaktivität der kraftwerksnahen Umgebung für den Zeitraum 1981 bis 1990. Teil I bis III, 1992
- 10.MFE: Kernkraftwerk Krümmel, Kühlmittel-Leckagen innerhalb des Sicherheitsbehälters. Schr. Dr. Wolter an Schmitz-Feuerhake v. 18.11.97
- 11.Schr. Dr. Wolter/Dr. Müller, MFE, an Schmitz-Feuerhake v. 7.7.98 betr. Strahlenbiologisches Gutachten
- 12.Bundesminister der Justiz (Hrsg.): Bekanntmachung der Dosisfaktoren Äußere Exposition - Erwachsene u. Kleinkinder (1 Jahr), Ingestion u. Inhalation - Kleinkinder (1 Jahr), In-

gestion und Inhalation - Erwachsene. Vom 5. Sept. 1989. Bundesanzeiger Jahrgang 41, 30.9.1989, 6 1990 A, Nr. 185a

13. Schmitz-Feuerhake, I.: Edelgasszenario- Bewertung kurzlebiger Spaltproduktemissionen des Kernkraftwerks Krümmel im Rahmen der Edelgasthese zur Aufklärung des Leukämievorkommens in der Elbmarsch, Beratungsauftrag v. 21.11.95, für den Beirat für Fragen des Kernenergieausstiegs, Niedersächs. Umweltministerium. 2. ergänzte Fassung v. 6.9.96
14. Hinrichsen, Dr. K., Schmitz-Feuerhake, Prof. Dr. I., Schumacher, O., Ziggel, H.: Hinweise auf unerklärte Radionuklidfreisetzungen durch das Kernkraftwerk Krümmel, basierend auf Auswertungen von Messungen im Rahmen des Umgebungsüberwachungsprogramms zum KKK und Modellrechnungen. Bericht, Bremen Juli 1996
15. 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
16. EnergieSystemeNord GmbH: Auswertung von Dosisleistungsmessungen in der Umgebung des Kernkraftwerks Krümmel in den Jahren 1978 bis 1995. Okt. 1996, Dok. Nr. 136
17. Ziggel, H.: Untersuchung zur Rekonstruktion kurzlebiger Spaltproduktemissionen durch das Kernkraftwerk Krümmel anhand der Auswertung von Umgebungsüberwachungs-Meßdaten. Auftrag des Niedersächsischen Sozialministeriums, Bremen, Februar 1996
18. 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 und Prof. Wichmann, Vorsitzende der Fachkommissionen Leukämie
19. Schmitz-Feuerhake, I., Schr. an die Kommissionen zur Aufklärung des Leukämievorkommens in der Elbmarsch vom 19.1.95
20. TÜV Nord: Stellungnahme zur Auswertung der Aufzeichnungen von Meßwerten der Ortsdosisleistung im Maschinenhaus des Kernkraftwerks Krümmel. Hamburg 29.9.94, Anlage bei (18)
21. Schmitz-Feuerhake, I., Edelgasthese: Stellungnahme zu Entgegnungen der Aufsichtsbehörde und der Fachbeamtenkommission sowie Fortschreibung. Schr. v. 8.9.94 an die Kommissionen zur Aufklärung des Leukämievorkommens in der Elbmarsch und die AG Belastungsindikatoren.
22. Csicsaky, Dr. Michael, Nieders. Sozialministerium, Ref. 401: Vermerk Achter Leukämiefall in der SG Elbmarsch, Ergreifung vertrauensbildender Maßnahmen und Anlage, Telefonvermerk über ein Gespräch mit der mit der Überwachung des Fernüberwachungsnetzes um das KKW Krümmel beauftragten Firma ESN, Kiel, v. 8.8.1995, Hannover, s. Anhang 3