ISSN 1013-4506

FS-08-146-AKN

Fachverband für Strahlenschutz e.V.

Mitgliedsgesellschaft der International Radiation Protection Association (IRPA) für die Bundesrepublik Deutschland und die Schweiz

Publikationsreihe FORTSCHRITTE IM STRAHLENSCHUTZ

Publication Series PROGRESS IN RADIATION PROTECTION

FRAGEN DES RADIOLOGISCHEN UND NUKLEAREN NOTFALLSCHUTZES AUS MEDIZINISCHER SICHT

Gemeinsames Seminar des

Arbeitskreises Notfallschutz des Fachverbandes für Strahlenschutz

und des

Deutschen WHO REMPAN-Zentrums an der Klinik und Poliklinik für Nuklearmedizin der Universitätsklinik Würzburg

Würzburg, 2. bis 4. April 2008

Bandherausgeber:
A. Bayer
W. Kirchinger
Chr. Reiners
R. Schneider

FRAGEN DES RADIOLOGISCHEN UND NUKLEAREN NOTFALLSCHUTZES AUS MEDIZINISCHER SICHT

Gemeinsames Seminar des

Arbeitskreises Notfallschutz
des Fachverbandes für Strahlenschutz

und des

Deutschen WHO REMPAN-Zentrums
an der Klinik und Poliklinik für Nuklearmedizin
der Universitätsklinik Würzburg

ISSN 1013-4506 FS-08-146-AKN

Fachverband für Strahlenschutz e.V.

Mitgliedsgesellschaft der International Radiation Protection Association (IRPA) für die Bundesrepublik Deutschland und die Schweiz

Publikationsreihe FORTSCHRITTE IM STRAHLENSCHUTZ

Publication Series PROGRESS IN RADIATION PROTECTION

FRAGEN DES RADIOLOGISCHEN UND NUKLEAREN NOTFALLSCHUTZES AUS MEDIZINISCHER SICHT

Gemeinsames Seminar des

Arbeitskreises Notfallschutz des Fachverbandes für Strahlenschutz

und des

Deutschen WHO REMPAN-Zentrums an der Klinik und Poliklinik für Nuklearmedizin der Universitätsklinik Würzburg

Würzburg, 2. bis 4. April 2008

Bandherausgeber:
A. Bayer
W. Kirchinger
Chr. Reiners
R. Schneider

Die Zusammenstellung dieses Seminarbandes wurde von Frau Ingeborg Zeitlberger durchgeführt.

Bibliografische Information der Deutschen Nationalbibliothek
Die Deutsche Nationalbibliothek verzeichnet diese Publikation in der Deutschen Nationalbibliografie; detaillierte bibliografische Daten sind im Internet über http://dnb.d-nb.de abrufbar.

Die Inhalte dieses Werkes werden von Verlag, Herausgebern und Autoren nach bestem Wissen und Gewissen erarbeitet und zusammengestellt. Eine rechtliche Gewähr für die Richtigkeit der einzelnen Angaben kann jedoch nicht übernommen werden. Gleiches gilt auch für die Websites, auf die über Hyperlink verwiesen wird. Es wird betont, dass wir keinerlei Einfluss auf die Inhalte und Formulierungen dieser Seiten haben und auch keine Verantwortung für sie übernehmen.
Grundsätzlich gelten die Wortlaute der Gesetzestexte und Richtlinien sowie die einschlägige Rechtsprechung.

Gedruckt auf chlorfrei gebleichtem Papier.

ISSN 1013-4506
ISBN: 978-3-8249-1133-2
© by TÜV Media GmbH, TÜV Rheinland Group, Köln 2008
TÜV, TUEV und TUV sind eingetragene Marken der TÜV Rheinland Group. Eine Nutzung und Verwendung bedarf der vorherigen Zustimmung durch das Unternehmen.
Gesamtherstellung: TÜV Media GmbH, Köln
Printed in Germany 2008

Gemeinsames Seminar des Arbeitskreises Notfallschutz und des Deutschen WHO REMPAN-Zentrums an der Klinik und Poliklinik für Nuklearmedizin der Universitätsklinik Würzburg
Würzburg, 2008

Programm- und Organisationskomitee:

Anton Bayer	*Universität Karlsruhe*
Werner Kirchinger	*Helmholtz Zentrum München,* *Deutsches Forschungszentrum für Gesundheit und Umwelt (GmbH),* *Neuherberg*
Christoph Reiners	*Universität Würzburg*
Rita Schneider	*Universität Würzburg*

Vorwort

Der radiologische und nukleare Notfallschutz umfasst eine Reihe von Komponenten aus unterschiedlichen Disziplinen. Darunter fallen verfahrens- und messtechnische, administrative, organisatorische, informative und juristische sowie vor allem medizinische Aspekte. Zu einer Reihe dieser Komponenten hat der Arbeitskreis Notfallschutz (AKN) des Fachverbandes für Strahlenschutz bereits Seminare durchgeführt.

Im aktuellen Seminar, das gemeinsam mit dem Deutschen REMPAN-Zentrum an der Klinik und Poliklinik für Nuklearmedizin des Universitätsklinikums Würzburg organisiert wird, werden

Fragen des radiologischen und nuklearen Notfallschutzes aus medizinischer Sicht

behandelt. Dabei sollen relevante Fragestellungen aus ärztlicher sowie sanitäts- und rettungsdienstlicher Sicht angesprochen und diskutiert werden. Schwerpunkte sind:

- Internationale und nationale Netzwerke in der Notfallvorsorge
- Notfallschutz – Infrastruktur und Konzepte
- Strahlenunfallszenarien
- Krankheitsbilder und medizinische Maßnahmen
- Physikalische und biologische Dosimetrie
- Ausbildung im Strahlenunfallmanagement

Die Veranstaltung möchte einen Beitrag leisten zur Informationsvermittlung und zum Erfahrungsaustausch der Einsatzkräfte, die sich auf Strahlenunfallszenarien vorzubereiten haben.

Neben einer breiten Palette an fachspezifischen Vorträgen bietet die Tagung den Teilnehmern über eine Industrieausstellung auch detaillierte Einblicke in die messtechnische und verfahrenstechnische Praxis des Notfallschutzes.

Schließlich sollen nützliche persönliche Kontakte geknüpft werden.

A. Bayer W. Kirchinger Chr. Reiners R. Schneider

Themenübersicht

A Internationale und nationale Netzwerke in der Notfallvorsorge

B Notfallschutz – Infrastruktur und Konzepte

C Strahlenunfallszenarien

D Krankheitsbilder und medizinische Maßnahmen

E Physikalische und biologische Dosimetrie

F Ausbildung im Strahlenunfallmanagement

Der wissenschaftliche Inhalt der einzelnen Beiträge zu diesem Tagungsbericht liegt in der alleinigen Verantwortung der Autoren. Eine inhaltliche Bearbeitung der eingereichten Texte wurde von den Herausgebern nicht vorgenommen.

A Internationale und nationale Netzwerke in der Notfallvorsorge

A.1 Das WHO-REMPAN Netzwerk 3
Chr. Reiners, R. Schneider, M. Preißinger, M. Lassmann, Universitätsklinik Würzburg

A.2 Möglichkeiten und Entwicklungen des BfS bei der nuklearspezifischen Gefahrenabwehr 7
M. Hoffmann, J. Kesten, R. Maier, Bundesamt für Strahlenschutz, Salzgitter

A.3 Das System der Regionalen Strahlenschutzzentren des Instituts für Strahlenschutz der Berufsgenossenschaft Elektro Textil Feinmechanik und der Berufsgenossenschaft der Chemischen Industrie 14
G. Seitz, Berufsgenossenschaft Elektro Textil Feinmechanik, Köln

B Notfallschutz – Infrastruktur und Konzepte

B.1 Krankenhaus-Datenbank – Zuweisung von Strahlenunfallpatienten an geeignete Krankenhäuser 21
R. Schneider, Chr. Reiners, Universitätsklinik Würzburg

B.2 Das schweizerische IT-System IES zur sekundenschnellen Ermittlung von aktuell verfügbaren Notfallaufnahme-Kapazitäten für die optimale Spitaleinweisung von Patienten (auch) bei einem A-Ereignis 28
R. Junker, Geschäftsstelle Koordinierter Sanitätsdienst (KSD), Ittigen (CH)

B.3 Umsetzung der Iodblockade der Schilddrüse bei kerntechnischen Unfällen – Konzept für die Verteilung von Kaliumiodidtabletten im Ereignisfall aus den zentralen Lagern 36
U. Portius, Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit, Bonn

B.4 Das Konzept der Notfallstationen 43
H. Miska, Klein-Winternheim, vormals Innenministerium Rheinland-Pfalz, Mainz

B.5 Schutz der Einsatzkräfte im Bevölkerungsschutz bei einem radiologischen Einsatz 51
S. Wilbert, Bundesamt für Bevölkerungsschutz und Katastrophenhilfe, Bonn

B.6 Das gemeinsame Messstellenkonzept von Arbeitskreis Inkorporationsüberwachung des FS und Leitstelle Inkorporationsüberwachung des BfS 59
A. Dalheimer, K. König, Leitstelle Inkorporationsüberwachung des BfS, Berlin, Neuherberg
K. Henrichs, Arbeitskreis Inkorporationsüberwachung des FS, München

B.7 Strahlenschutzärztliche Erfahrungen beim Aufbau und Betrieb einer Notfallstation 66
W. Kirchinger, Helmholtz Zentrum München, Deutsches Forschungszentrum für Gesundheit und Umwelt (GmbH), Neuherberg

B.8 Der Medizinische Notfallplan für Strahlenunfälle im Kontrollbereich der Hauptabteilung für die Sicherheit der Kernanlagen (HSK) 75
R. Scheidegger, Hauptabteilung für die Sicherheit der Kernanlagen (HSK), Villigen (CH)

B.9 Aktivitäten seitens der obersten Katastrophenschutzbehörde in Hessen im Bereich „Ärzte im nuklearen Katastrophenschutz“ 79
M. Griesbach, Hessisches Ministerium des Inneren und für Sport, Wiesbaden

B.10 Nukleare Katastrophenschutzplanung am Beispiel des Freistaates Bayern 85
H. Betzl, Bayerisches Staatsministerium des Innern, München

C Strahlenunfallszenarien

C.1 Unterschiedliche Konzeption der SSK-Bände 4 und 32 im Hinblick auf den großen und den kleinen Strahlenunfall 97
U. Meldau, Vattenfall Europe, Hamburg

C.2 Weitere Publikationen zur medizinischen Versorgung von Strahlenunfallverletzten 103
G. Seitz, Berufsgenossenschaft Elektro Textil Feinmechanik, Köln

C.3 Management des Massenanfalls bei CBNR(E)-Lagen 104
P. Sefrin, Universität Würzburg, Klinik und Poliklinik für Anästhesiologie

C.4 Einsatzmittel der Kerntechnische Hilfsdienst GmbH bei der Versorgung radiologischer Notfälle/bei der Versorgung radiologisch belasteter Personen 107
S. Prüßmann, Kerntechnische Hilfsdienst GmbH, Eggenstein-Leopoldshafen

C.5 Bedrohung durch radiologischen/nuklearen Terror – Lehren aus Unfällen 115
W. Rosenstock, Fraunhofer-Institut für Naturwissenschaftlich-Technische Trendanalysen INT, Euskirchen

C.6 Strahlenunfälle im Bereich der Medizin 125
H.-L. Kronholz, Universitätsklinikum Münster

C.7 Medizinische Aspekte von Unfällen mit Strahleneinwirkung – Arbeitsplatz und präklinische Versorgung 133
V. List, Medizinische Abteilung, Forschungszentrum Karlsruhe

C.8 Psychologische Auswirkungen 140
W. R. Dombrowsky, Universität Kiel, Katastrophenforschungsstelle

D Krankheitsbilder und medizinische Maßnahmen

D.1 Die hämatologische Form des akuten Strahlensyndroms und Sequential-diagnostik 149
M. Port, A. Ganser, Medizinische Hochschule Hannover

D.2 Das strahleninduzierte Multiorganversagen 159
V. Meineke, H. D. Dörr, Institut für Radiobiologie der Bundeswehr, München
T. M. Fliedner, Arbeitsgruppe Strahlenmedizinische Forschung, Medizinische Fakultät der Universität Ulm

D.3 Die muko-kutane Form des akuten Strahlensyndroms 160
W. Dörr, Technische Universität Dresden
V. Meineke, Institut für Radiobiologie der Bundeswehr, München

D.4 Unfallbedingte Inkorporation – Szenarien und Vorgehen zur Diagnostik und Behandlung 170
V. List, Medizinische Abteilung, Forschungszentrum Karlsruhe

D.5 Die Iodblockade der Schilddrüse 178
Chr. Reiners, Universitätsklinik Würzburg

D.6 Das Konzept der Dekontamination von Einsatzkräften der Bundespolizei einschließlich Verletztendekontamination 182
M. Friedel, Bundespolizeipräsidium, Fuldatal

D.7 Stochastische Strahlenwirkungen nach einem Unfall 185
K. Martignoni, vormals Bundesamt für Strahlenschutz, Neuherberg

E Physikalische und biologische Dosimetrie

E.1 Bildung von Biodosimetrie-Netzwerken zur Vorbereitung auf einen großen Strahlenunfall 197
H. Romm, U. Kulka, U. Oestreicher, Bundesamt für Strahlenschutz, Neuherberg

E.2 Dosisabschätzung in der Notfallstation 205
H. Schnadt, TÜV Rheinland Industrie Service GmbH, Köln

E.3 Möglichkeiten und Grenzen der physikalischen Dosisabschätzung: Die praktischen Erfahrungen aus Goiânia, Brasilien 213
H. G. Paretzke, Helmholtz Zentrum München, Deutsches Forschungszentrum für Gesundheit und Umwelt (GmbH), Neuherberg
E. Amaral, IAEA, Division of Radiation, Transport and Waste Safety, Wien

E.4 Möglichkeiten und Grenzen der biologischen Dosimetrie 214
W.-U. Müller, Universitätsklinikum Essen

E.5 Chromosomendosimetrie für strahlenexponierte Personengruppen: Statistische Betrachtungen an den Beispielen Tschernobyl und Tetscha Fluss 222
H. Braselmann, H. Zitzelsberger, Helmholtz Zentrum München, Deutsches Forschungszentrum für Gesundheit und Umwelt (GmbH), Neuherberg

E.6 Untersuchungen zur Korrelation von strahleninduzierten DNA-Reparatur-Foci und chromosomalen Translokationen 228
H. Scherthan, V. Meineke, Institut für Radiobiologie der Bundeswehr, München
L. Hieber, H. Braselmann, H. Zitzelsberger, Helmholtz Zentrum München, Deutsches Forschungszentrum für Gesundheit und Umwelt (GmbH), Neuherberg

F Ausbildung im Strahlenunfallmanagement

F.1 Vorbereitung von Notfallstationsübungen 231
H. Schnadt, TÜV Rheinland Industrie Service GmbH, Köln
V. Meyer, Aufsichts- und Dienstleistungsdirektion des Landes Rheinland-Pfalz, Trier

F.2 Organisation der Ersten Hilfe in Kernkraftwerken 240
U. Meldau, Vattenfall Europe, Hamburg

F.3 Einsatz computerbasierter Simulation für Ausbildung und Training von Notfalleinsatzkräften 246
K. W. Rose, RCE Rose Consulting & Engineering, Alzenau
S. Prüßmann, Kerntechnische Hilfsdienst GmbH, Eggenstein-Leopoldshafen

Autorenverzeichnis 251

A Internationale und nationale Netzwerke in der Notfallvorsorge

DAS WHO-REMPAN NETZWERK

THE WHO-REMPAN NETWORK

Chr. Reiners, R. Schneider, M. Preißinger, M. Lassmann

Klinik und Poliklinik für Nuklearmedizin, Universität Würzburg, Deutschland

Zusammenfassung
Die Klinik und Poliklinik für Nuklearmedizin des Universitätsklinikums Würzburg ist das offizielle deutsche Kollaborationszentrum für medizinische Vorsorge und Hilfe bei Strahlenunfällen innerhalb des internationalen ***REMPAN*** *(**R**adiation **E**mergency **M**edical **P**reparedness and **A**ssistance **N**etwork) Netzwerkes der Weltgesundheitsorganisation (WHO). Etabliert wurde das deutsche WHO Kollaborationszentrum im Auftrag des Bundesministeriums für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit (BMU) im Jahr 2004. Die drei Hauptaufgabenbereiche des WHO Kollaborationszentrums für medizinische Vorsorge und Hilfe bei Strahlenunfällen sind die Einrichtung eines nationalen Kompetenz- und Referenzzentrums, die Repräsentanz Deutschlands im internationalen WHO-REMPAN Netzwerk und die Pflege und Weiterentwicklung der Strahlenunfall Datenbank* ***SEARCH*** *(**S**ystem for **E**valuation and **A**rchiving of **R**adiation Accidents Based on **C**ase **H**istories).*

Summary
The Clinic of Nuclear Medicine of the University Hospital Wuerzburg is the official German Collaborating Centre for Radiation Emergency Medical Preparedness and Assistance within the international ***REMPAN*** *(**R**adiation **E**mergency **M**edical **P**reparedness and **A**ssistance **N**etwork) network of the World Health Organization (WHO). The German WHO Collaborating Centre was assigned by the Federal Ministry for the Environment, Nature Conservation and Nuclear Safety (BMU) in 2004. The three major terms of reference are the establishment of a national competence and reference centre, the representation of Germany within the international WHO-REMPAN network and the management and further development of the radiation accident database* ***SEARCH*** *(**S**ystem for **E**valuation and **A**rchiving of **R**adiation Accidents Based on **C**ase **H**istories).*

Schlüsselwörter *WHO REMPAN Kollaborationszentrum, Klinik und Poliklinik für Nuklearmedizin, Strahlenunfallvorsorge*
Keywords *WHO REMPAN Collaborating Centre, Clinic of Nuclear Medicine, radiation accident preparedness*

1. Einleitung

Das Radiation Emergency Medical Preparedness and Assistance Network (REMPAN) der Weltgesundheitsorganisation (WHO) wurde 1987 gegründet. Es umfasst zurzeit weltweit 16 Kollaborationszentren und 24 Liaison Institutionen (siehe Abb. 1). Mitglieder im Netzwerk sind international führende medizinische und wissenschaftliche Einrichtungen, die in unterschiedlichsten Bereichen des Strahlenunfallmanagements spezialisiert sind. Zu den allgemeinen Aufgaben des WHO-REMPAN Netzwerkes gehören die medizinische

Strahlenunfallvorsorge sowie medizinische Hilfeleistung und Beratung von Mitgliedsstaaten im Falle von nuklearen oder radiologischen Notfällen.

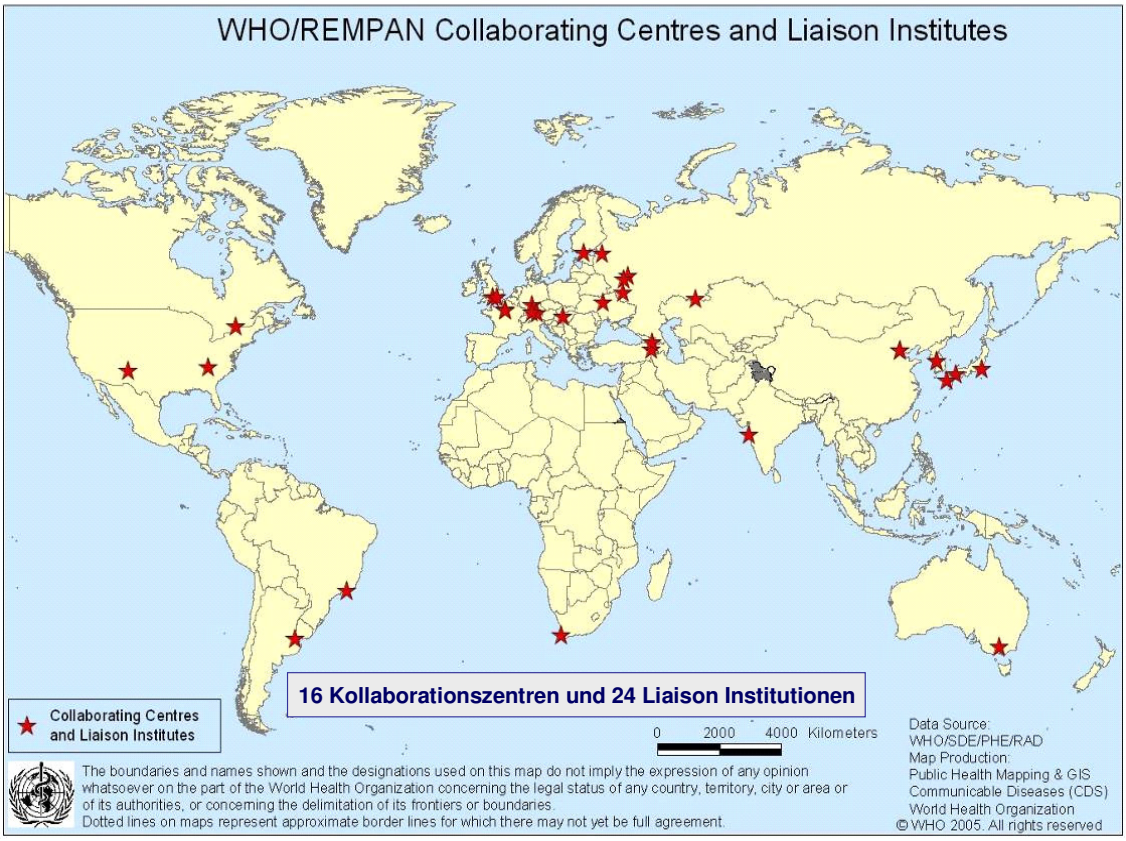


Abb. 1: WHO/REMPAN Kollaborationszentren und Liaison Institutionen (Quelle: Z. Carr, WHO, 2007)

Von 1992 bis 2004 wurde die Rolle des deutschen Kollaborationszentrums für Strahlenunfallmanagement von der Universität Ulm unter der Leitung von Prof. Dr. T.M. Fliedner wahrgenommen. Im Jahr 2004 übernahm die Klinik und Poliklinik für Nuklearmedizin des Universitätsklinikums Würzburg, gemäß einer Empfehlung der Strahlenschutzkommission, vom Juli 2002 das Mandat des deutschen WHO-REMPAN Kollaborationszentrums. Dies erfolgte zunächst in Form einer Zusammenarbeit als Liaison Institution. Im Jahr 2005 wurde die Klinik und Poliklinik für Nuklearmedizin zum WHO-REMPAN Kollaborationszentrum für medizinische Vorsorge und Hilfe bei Strahlenunfällen offiziell designiert.

Als Liaison Institutionen sind von deutscher Seite im REMPAN Netzwerk die Arbeitsgruppe von Prof. Fliedner in Ulm, das Institut für Radiobiologie der Bundeswehr unter Prof. Meineke in München und das Institut für Strahlenschutz der Berufsgenossenschaften unter Dr. Seitz in Köln vertreten. Dr. List von der Medizinischen Abteilung des Forschungszentrums Karlsruhe nimmt die Rolle eines Beobachters wahr.

2. Die Klinik und Poliklinik für Nuklearmedizin der Universität Würzburg

Die Klinik ist eine universitäre Einrichtung, die den gesamten Arbeitsbereich offener radioaktiver Stoffe am Menschen in Forschung und Lehre sowie der Krankenversorgung

abdeckt. Jährlich werden etwa 10.000 nuklearmedizinische Untersuchungen und 1.000 Behandlungen mit offenen Radionukliden durchgeführt. Ein wissenschaftlicher Schwerpunkt der Klinik liegt auf dem Gebiet des Schilddrüsenkrebses und hier speziell des strahleninduzierten Schilddrüsenkrebses bei Kindern und Jugendlichen, die vom Tschernobyl-Unfall betroffen waren. Die Arbeit wird in enger Kooperation mit Wissenschaftlern aus Weißrussland und der Ukraine durchgeführt.

Seit den Anfängen der Klinik und Poliklinik für Nuklearmedizin der Universität Würzburg vor über 50 Jahren sind der Strahlenschutz und die Medizinphysik Schwerpunkte der wissenschaftlichen Aktivitäten. Themen waren dabei u.a. die Einführung kurzlebiger radioaktiver Arzneimittel, wie z.B. Tc-99m, in die nuklearmedizinische Diagnostik, das Studium des Schilddrüsenstoffwechsels mit radioaktivem Iod und Verfahren zur Verringerung der Strahlenbelastung bei Exposition mit radioaktiven Iodisotopen, die Strahlenschutzüberwachung des nuklearmedizinischen Personals, insbesondere auch unter dem Gesichtspunkt der Strahlendosis der Schilddrüse. Im Rahmen eines Forschungsprojektes wurde ein Schilddrüsenmonitor zur Überwachung der Radioiodaufnahme des Personals in der nuklearmedizinischen Diagnostik und Therapie entwickelt. Die Klinik und Poliklinik für Nuklearmedizin betreibt einen Ganzkörperzähler für Inkorporationsmessungen. Sie ist als amtliche Messstelle für die Inkorporationsüberwachung zugelassen.

3. Die Würzburger Nuklearmedizin im Netzwerk der Regionalen Strahlenschutzzentren

Seit 1994 gehört die Klinik und Poliklinik für Nuklearmedizin der Universität Würzburg zum aus 11 Einrichtungen bestehenden Netzwerk der Regionalen Strahlenschutzzentren (RSZ), das von den deutschen Berufsgenossenschaften unter Leitung des Instituts für Strahlenschutz der BG der Feinmechanik und Elektrotechnik unterhalten wird. Zielrichtung ist hier die Versorgung von beruflichen Strahlenunfällen.

Das Würzburger RSZ wird von Anfang an nach dem Konzept der „Doppelnutzung“ der klinisch-diagnostischen und -therapeutischen Einrichtungen auch für den Fall des Strahlenunfalls betrieben. Dies ist mit dem Vorteil verbunden, dass sämtliche in der Unfallsituation benötigten Einrichtungen und Geräten ständig genutzt werden und damit immer betriebsbereit gehalten werden können. Weiterhin gibt es für die Therapiestation eine 24-stündige Rufbereitschaft, die durch zusätzliche medizinische und medizinisch-physikalische Expertise unterstützt werden kann. Von Seiten der baulichen Gegebenheiten werden für die Strahlenunfallsituation zusätzlich zu den routinemäßig betriebenen Einrichtungen eine Dekontaminationseinheit, ein separater Operationsraum und eine kleine Intensivstation mit 2 Betten vorgehalten. Die Abwasserdekontaminationsanlage umfasst zusätzliche Behälter, die im Falle einer Unfallsituation mit längerlebigen oder undefinierten Radionukliden befüllt werden können.

4. Die Würzburger Nuklearmedizin im REMPAN Netzwerk

Im Rahmen der deutschen Repräsentation im WHO-REMPAN Netzwerk besteht eine enge Kooperation zwischen dem Würzburger Kollaborationszentrum und dem Institut für Strahlenschutz der Berufsgenossenschaften sowie dem Institut für Strahlenbiologie der Bundeswehr, die als Liaison-Institutionen in diesem Netzwerk fungieren. Dabei unterstützt man sich gegenseitig bei der Vorhaltung der vom früheren Ulmer Kooperationszentrum

entwickelten Datenbank „SEARCH“, die Entscheidungsunterstützung im Falle von Strahlenunfallszenarien bieten soll. Des Weiteren besteht eine enge Kooperation auf dem Gebiet der Aus- und Fortbildung mit dem Institut für Strahlenschutz der Berufsgenossenschaften sowie im Rahmen der Forschung mit dem Institut für Strahlenbiologie der Bundeswehr.

Nach den „Terms of Reference“, die mit der Designation des Würzburger Kollaborationszentrums von der WHO vorgegeben wurden, soll die Würzburger Einrichtung folgende Aufgaben erfüllen:

1. Referenzzentrum für Beratung und medizinische Behandlung bei Strahlenunfällen, Teilnahme an der allgemeinen Entwicklung des Strahlenschutzes und Verbesserung der medizinischen Strahlenunfallvorsorge
2. Optimierung der nationalen Infrastruktur, Unterstützung und Beratung bei der medizinischen Notfallplanung für Strahlenunfälle – sowohl einzelne Personen als auch die Bevölkerung betreffend – in Zusammenarbeit mit dem Institut für Strahlenschutz (IfS) und den deutschen Strahlenschutzzentren (RSZ), Bereitstellung medizinischer und wissenschaftlicher Dienstleistungen z. B. Messung der I-131 Inkorporation bei exponierten Personen
3. Fortführung und Erweiterung der internationalen Zusammenarbeit im Bereich der medizinischen Hilfeleistung und Telemedizin
4. Pflege und Weiterentwicklung der internationalen Datenbank SEARCH zur Erfassung klinischer Parameter und Symptome durch akute und chronische Strahlenexpositionen, Umsetzung der Datenbankauswertungen in die medizinische Praxis, z.B. Diagnose und Behandlung von Strahlenverletzungen sowie Anwendung der Datenbank für Weiterbildungs- und Forschungszwecke
5. Forschung im Bereich der biologischen Dosimetrie zur Abschätzung der individuellen Strahlenexposition
6. Prävention, Diagnose, Behandlung und Follow-up von strahleninduzierten Schildddrüsenerkrankungen
7. Aus- und Weiterbildung sowie Training im Bereich der Strahlenmedizin
8. Vorbereitung von Leitlinien, Veröffentlichungen, medizinischen Informationen sowie Öffentlichkeitsarbeit

5. Literatur

[1] http://www.who.int/ionizing_radiation/a_e/rempan/en/index.html (Stand: 21.02.2008)

[2] http://www.bgetf.de/praev/praev_strahlenschutz_strahlenschutzzentren.html (Stand: 21.02.2008)

[3] http://www.rempan.de (Stand: 21.02.2008)

MÖGLICHKEITEN UND ENTWICKLUNGEN DES BfS BEI DER NUKLEARSPEZIFISCHEN GEFAHRENABWEHR

TECHNICAL METHODS AND STRATEGIC MEASURES IN THE BfS TO COUNTERACT NUCLEAR HAZARDS

M. Hoffmann, J. Kesten, R. Maier

Bundesamt für Strahlenschutz, Salzgitter, Deutschland

Zusammenfassung

Die radiologische Gefährdung der Öffentlichkeit, die durch radioaktive Substanzen (externe Exposition durch γ- und Neutronenstrahlung, interne Exposition durch Inhalation und Ingestion von Radionukliden) verursacht werden kann, kann durch drei Kategorien von Tatszenarien charakterisiert werden:

- *Externe Exposition durch Direktstrahlung mittels starker γ- und Neutronenstrahlen emittierender Quellen,*
- *Inhalationsszenario mittels unterschiedlicher Radioisotope mit und ohne Explosivstoffe und*
- *Ingestionsszenario mittels Radioisotopen, die keine oder nur schwache γ-Strahlung emittieren.*

Die Bewältigung jedes dieser drei Tatszenarien erfordert eine enge Zusammenarbeit zwischen den Strafverfolgungsbehörden und Strahlenschutzexperten, jedoch sehr unterschiedliche Messstrategien und unterschiedliche Ausrüstung. Die jeweils typischen Vorgehensweisen bei der Prävention gegen derartige Szenarien und die zur Wahrnehmung der Aufgaben erforderliche Messtechnik und Ausrüstung werden für jedes der drei Szenarien beschrieben.

Summary

Following from the different types of radiological hazards emerging from radioactive substances (external exposure due to γ- and neutron radiation, internal exposure due to inhalation and internal exposure due to ingestion) three main categories of threat scenarios are distinguished:

- *external exposure due to direct radiation with γ- and neutron emitting sources,*
- *Inhalation scenarios with or without explosives and*
- *Ingestion scenarios of isotopes with no or weak γ-radiation.*

Each category of scenarios affords a close collaboration of law enforcement authorities and radiation protection experts, but different measuring strategies and measuring devices. The typical approach to prevent those szenarios and the measurement technique required to fulfil these tasks are described for each of the three categories.

Schlüsselwörter: *Schmutzige Bombe, externe Exposition, interne Exposition*
Keywords: *Dirty Bomb,external exposure, internal exposure*

1. Einleitung

Die potentielle radiologische Gefährdung der Öffentlichkeit, die von einer kriminellen oder terroristischen Verwendung radioaktiver Substanzen ausgehen könnte, resultiert aus den drei Expositionspfaden:

- Gefährdung durch Direktstrahlung
- Gefährdung durch Inhalation
- Gefährdung durch Ingestion

Zur Entwicklung von Strategien um dieser Gefährdung effizient entgegen wirken zu können, müssen drei mögliche Gruppen von Tatszenarien betrachtet werden.

a. Exposition durch Direktstrahlung

Dieses Szenario geht davon aus, dass die Bevölkerung einer Exposition durch Direktstrahlung einer starken radioaktiven Quelle ausgesetzt wird. Auf Grund der geringen Reichweite von Alpha- und Betastrahlung geht die Gefährdung durch Direktstrahlung nur von Radionukliden aus, die in ausreichendem Maße langreichweitige Gamma- und Neutronenstrahlung emittieren. Nur diese Radionuklide können aus größerer Entfernung nachgewiesen und lokalisiert werden. Aus diesem Grund ist der Hauptaugenmerk auf Messsysteme mit großvolumigen Szintillations- und Neutronendetektoren zu legen. Zur Nuklididentifikation werden sowohl Kompakt-Spektrometer mit NaI-Detektoren als auch hochauflösende Gamma-Spektrometrie mit Germanium-Detektoren eingesetzt.

b. Exposition durch Inhalation mit und ohne Explosivstoffe

In den neunziger Jahren des letzten Jahrhunderts haben sich die Gefahrenabwehrbehörden vieler Länder schwerpunktmäßig auf Gefährdungs-Szenarien vorbereitet, bei denen mit Hilfe einer „schmutzigen Bombe“ radioaktive Stoffe in einem begrenzten Gebiet bis zu einigen km² verteilt werden sollen (Dirty-bomb-Szenarien). Die radiologische Gefährdung für die Bevölkerung geht hierbei sowohl von der Direktstrahlung als auch von der Inhalation lungengängiger radioaktiver Aerosole (AED < 10 µm) aus.
Weitere Szenarien in dieser Kategorie, die in Betracht kommen, sind die Verteilung von radioaktiven Substanzen durch das Lüftungssystem großer öffentlicher Gebäude oder das Verteilen radioaktiver Aerosole über ein größeres urbanes Gebiet.

c. Exposition durch Ingestion mit Radioisotopen, die keine oder nur sehr schwache Gamma-Strahlung emittieren.

Die Ereignisse um die Vergiftung des Ex-KGB-Agenten Litwenenko und die Po-210 Funde in Hamburg zeigen, dass auch Szenarien in Betracht zu ziehen sind, bei denen durch gezielte Kontamination von Lebensmitteln, der Trinkwasseranlagen oder Belüftungssystemen eine größere Anzahl von Menschen radioaktiv kontaminiert werden können.

2. Exposition durch Direktstrahlung

Eine relevante externe Exposition kann nur durch hochenergetische Gammastrahlen oder Neutronen emittierende Nuklide verursacht werden. Diese Nuklide erzeugen in der Umgebung ein Strahlenfeld, das mit geeigneten Messsystemen detektiert werden kann. Aus diesem Grund ist das Hauptaugenmerk zur Detektion von radioaktivem Material, das bei

diesem Tatszenario eingesetzt werden könnte, auf in einem Fahrzeug zur verdeckten/offenen Suche installierte Messsysteme mit großvolumigen Szintillations- und He-3-Neutronendetektoren zu legen. Eines dieser Systeme ermöglicht die zeitgleiche Nuklididentifikation mittels großer NaJ-Detektoren. Eine analoge Messstrategie und -ausrüstung existiert für speziell trainierte Einsatzkräfte zur verdeckten Suche zu Fuß. Die offene Suche nach radioaktiven Stoffen erfolgt durch eine größere Zahl von Einsatzkräften, die mit jeweils einem kleineren Szintillationsdetektor ausgestattet werden.
Zur exakten Identifikation der Radionuklide stehen, neben den bereits erwähnten NaI-Detektoren, stickstoffgekühlte hochauflösende Germaniumdetektoren zur Verfügung. Die erforderliche messtechnische Ausrüstung ist in Tabelle 1, Spalte 2 zusammenfassend dargestellt.

3. Exposition durch Inhalation mit und ohne Explosivstoffe

Eine Exposition durch Inhalation beinhaltet eine Vielzahl von Freisetzungsszenarien. Grundsätzlich können zwei Hauptszenarien unterschieden werden:

- Exposition durch Inhalation durch Freisetzung von radioaktiven Aerosolen mittels Anwendung von Explosivstoffen (= „Schmutzige Bombe“)
- Exposition durch Inhalation durch Freisetzung von radioaktiven Aerosolen ohne Verwendung von Explosivstoffen

a. Schmutzige Bombe

Bei diesem Szenario geht die größte Gefahr für die Bevölkerung von der Umsetzung der Explosivstoffe aus. Es wurde bereits von Egger et al. [1] und König [2] darüber berichtet, dass über den Einwirkungsbereich der Explosivstoffe ein Bereich von einigen km² durch langlebige Radionuklide kontaminiert werden könnte. Falls ein derartiger Anschlag in einer Großstadt stattfinden wird, würde für die Dekontamination und die Evakuierung der direkt betroffenen Anwohner sowie die damit verbundenen indirekten wirtschaftlichen Folgeschäden Aufwändungen von bis zu mehreren Milliarden Euro erforderlich sein.
In den letzten Jahren lag der Schwerpunkt des Trainingsprogramms der Einsatzkräfte der Polizei im angemessenen Verhalten bei Anwesenheit von radioaktiven Substanzen und in der Einbindung von Wissenschaftlern auf den Gebieten des Strahlenschutzes und der Nuklididentifikation in die polizeiliche Arbeit. Nur dadurch kann die erforderliche Bündelung der Fachkompetenz bei den Einsatzkräften sichergestellt werden. Zusätzlich wurde im Rahmen einer engen Zusammenarbeit zwischen den Strafvollzugs- und Strahlenschutzbehörden eine Vielzahl von Strategien zur Abwehr derartiger Szenarien entwickelt.
Die Hauptaufgabe der Einsatzkräfte besteht im Auffinden und Sicherstellen des radioaktiven Materials bevor es zu einer Umsetzung in einer „Schmutzigen Bombe“ kommt. Aufgrund der sehr kurzen Reichweite von Alpha- und Betastrahlung können nur Radionuklide, die in ausreichendem Maße langreichweitige Gamma- und Neutronenstrahlen emittieren, detektiert und lokalisiert werden. Nur diese Radionuklide führen neben einer möglichen internen Exposition durch Inhalation zu einer relevanten externen Exposition durch Direktstrahlung aus der Wolke und infolge der Bodenstrahlung abgelagerter Radionuklide.
Aus diesem Grund ist das Hauptaugenmerk zur Detektion von radioaktivem Material, das zum Bau einer „Schmutzigen Bombe“ verwendet werden kann, auf die gleichen Messsysteme zu legen wie bei der Detektion von hochradioaktiven Quellen (siehe Abschnitt 2 - Exposition durch Direktstrahlung).

Nachdem eine „Schmutzige Bombe“ lokalisiert wurde, ist es die gemeinsame Aufgabe der Entschärfer und der Experten zur Nuklididentifikation in enger Zusammenarbeit die Größe der Sprengladung, den Zündertyp, die Radioisotope und falls möglich, die Aktivität des jeweiligen vorhandenen Radioisotops zu ermitteln.
Zu ersten schnellen und groben Nuklididentifikation stehen in der Regel NaI-Detektoren zur Verfügung. Diese könnten in naher Zukunft durch $LaBr_3$-Detektoren, welche über eine doppelt so hohe Auflösung verfügen, schrittweise ersetzt werden. Eine exakte Nuklididentifikation, insbesondere bei komplexen Spektren und/oder bei Anwesenheit mehrerer Radionuklide sowie eine Aktivitätsbestimmung der einzelnen Radionuklide, kann nur mittels eines hochauflösenden Gamma-Spektrometriesystems erfolgen.
Zur Bestimmung der Isotopenzusammensetzung von Plutonium und Uran kann ein spezielles Gamma-Spektroskopiesystem, bestehend aus einem hochplanaren n-type Germanium-Detektor in Verbindung mit einer speziellen Nuklid-Identifikationssoftware, benutzt werden. Die erforderliche messtechnische Ausrüstung ist in der Tabelle 1, Spalte 3 zusammenfassend dargestellt.
Im Falle der Umsetzung einer „Schmutzigen Bombe“ werden Radionuklide in die Atmosphäre freigesetzt. Die Menge ist von der Dispersibilität des radioaktiven Stoffes abhängig. Dies führt zu einer zusätzlichen Exposition durch Inhalation. Die damit verbundene Dosis ist abhängig von den Radionukliden, der Konzentration der lungengängigen Aerosole (AED < 10µm) in der Luft und der jeweiligen Aufenthaltszeit der betroffenen Personen in der Wolke.
Insbesondere die Aktivitätskonzentration ist in diesem Fall messtechnisch nur mit großem Aufwand an wenigen Punkten zu bestimmen. Daher wurden Ausbreitungsmodelle entwickelt, mit denen die räumliche und zeitliche Entwicklung der Aktivitätskonzentration und damit die Lebenszeitdosis durch Inhalation abgeschätzt werden kann. Dafür wird als Eingabegröße allerdings die Aktivität der betreffenden Radionuklide benötigt. Diese kann entweder durch polizeiliche Aufklärungsarbeit oder durch gamma-spektroskopische Messungen am verdächtigen Ort vor der möglichen Umsetzung der Explosivstoffe bestimmt werden.
Sobald der Verdacht der Anwesenheit offener radioaktiver Substanzen besteht, müssen alle Einsatzkräfte mittels Kontaminationssonden auf α-, β- und γ-Aktivität überprüft werden. Im Falle eines positiven Befundes, steht für die erforderliche Dekontamination eine mobile Dekontaminationsanlage mit speziell ausgebildetem Personal zur Verfügung. Zur Ermittlung einer durch Inkorporation verursachten Dosis werden Ganzkörpermessungen und/oder Ausscheidungsanalysen angeordnet.
Nach der Festnahme des Täters, der Entschärfung des Sprengsatzes und der Sicherstellung der radioaktiven Substanzen wird der Tatort an die Tatortgruppe der Ermittlungsbehörde übergeben. Es wurden Handlungsanweisungen entwickelt und erprobt, um eine effektive Tatortarbeit/ Spurensuche unter den jeweiligen radiologischen Randbedingungen zu ermöglichen. Die Tatortermittler werden durch Strahlenschutzexperten bei dieser Tätigkeit, z.B. Suche von versteckten radioaktiven Substanzen oder der Überprüfung von Asservaten/Beweisgegenstände auf Kontamination, ständig unterstützt.

b. Interne Exposition durch Inhalation radioaktiver Stoffe ohne die Einwirkung von Explosivstoffen

Das Ziel, eine große Personengruppe einer möglichst hohen Inhalationsdosis auszusetzen ist durch die Freisetzung dispersibler radioaktiver Stoffe durch Lüftungssysteme in öffentlichen Gebäuden oder U-Bahnschächten deutlich effektiver als die Freisetzung durch eine „Schmutzige Bombe“. So würde z.B. die Freisetzung einer kleinen Menge von ca. 10 g Reaktorplutonium in homogener dispersiblen Form in einem Luftvolumen von 10.000 m³ bei

einer Aufenthaltszeit von einer Stunde bei einem Erwachsen zu einer tödlichen Inhalationsdosis (50-Jahre-Folgedosis) führen. Deshalb ist es bei derartigen Szenarien erforderlich, dass die Strafverfolgungsbehörden diese radioaktiven Substanzen lokalisieren und sicher verwahren, bevor sie von Terroristen genutzt werden können.
Ebenso möglich sind auch analoge Szenarien bei denen Radioisotope mit starker Gamma- und/oder Neutronenstrahlung verwendet werden. In diesen Fällen kann die Suche des radioaktiven Materials mit großvolumigen Szintillations- und Neutronendetektoren erfolgreich sein (siehe Abschnitt 2 –Exposition durch Direktstrahlung).
Sobald Informationen über das gefährdete Gebäude vorliegen, sollte es evakuiert und der Bereich um das Gebäude abgesperrt werden. Zur Durchführung von Kontaminationskontrollen oder im Falle, dass bereits radioaktive Stoffe verteilt wurden, ist eine Dekontaminationsanlage mit speziell ausgebildetem Personal in der Nähe des Gebäudes aufzubauen und bereitzuhalten. Nach erfolgter Personendekontamination sind diejenigen Personen bei denen die Möglichkeit einer Inkorporation besteht, einer Inkorporationsüberwachung und ggf. einer medizinischen Behandlung zu unterziehen.
Für die Bestimmung der Inhalationsdosis ist die Aktivitätskonzentration der jeweiligen Radionuklide in der Atemluft ausschlaggebend. Ferner sind die für das jeweilige Radionuklid charakteristischen chemischen und metabolistischen Eigenschaften zu berücksichtigen. Zur Bestimmung der Aktivitätskonzentration werden mobile Aerosol-Messplätze eingesetzt. Dabei wird ein kontinuierlicher Luftstrom mittels Pumpen auf spezielle Filter geleitet. Diese Filter werden anschließend je nach Nuklid auf speziellen Labormessplätzen gamma-, beta- oder alphaspektrometrisch ausgewertet. Zur Bestimmung der Größenverteilung der radioaktiven Aerosole können Impaktoren eingesetzt werden. Mit Hilfe der Verteilung kann unter Verwendung bekannter Inhalationsmodelle die mögliche Inhalationsdosis berechnet werden. Falls Gammastrahlen emittierende Radionuklide eingesetzt wurden, kann die durch Inhalation verursachte Exposition mittels Ganzkörpermonitore ermittelt werden. Die erforderliche messtechnische Ausrüstung ist in der Tabelle 1, Spalte 3 zusammenfassend dargestellt.

4. Exposition durch Ingestion mit Radioisotopen, die über keine oder nur schwache Gamma-Strahlung verfügen

Im Vergleich zu einem Szenario mit einer „Schmutzigen Bombe“, das auf der Freisetzung von Gammastrahlen emittierenden Radioisotopen beruht, ist die äußere Exposition durch Alpha- und Beta-Strahlen emittierender Radioisotope vernachlässigbar. Für diese Radioisotope sind die Hauptexpositionspfade die Ingestion und Inhalation.
Im Falle eines Anschlages mit Alpha-Teilchen emittierender Isotope, die über eine hohe Radiotoxizität verfügen (viele von diesen Isotopen verfügen über keine oder nur über eine sehr schwache Gamma-Komponente wie z.B. Po-210), sind nur geringe Mengen (Nano-Gramm) erforderlich, um eine tödliche Dosis zu verabreichen. Diese Radionuklide sind durch herkömmliche Messgeräte, die zur Suche und Identifikation von Quellen oder „Schmutzigen Bomben“ zur Anwendung kommen nicht detektierbar. Dies bedingt eine Verlagerung der messtechnischen Verfahren weg von der großräumigen Suche und Lokalisierung räumlich konzentrierter Quellen hin zu Messverfahren, mit denen radioaktive Stoffe anhand ihrer emittierten Alpha- und Betastrahlung identifiziert werden können. Dabei handelt es sich um Labor basierte Nachweismethoden. Um auf solche Tatszenarien schnell reagieren zu können sind Schnellanalysen erforderlich. Es sind somit Messverfahren zu entwickeln, mit denen Proben des verdächtigen Materials, auch Ausscheidungsproben bei Inkorporationsverdacht, in

speziellen Laboratorien kurzfristig ausgewertet werden können. Als Messverfahren bieten sich alpha-spektrometrische Verfahren und Beta-Spektrometrie mit Flüssig-Szintillationsdetektoren an. Für diese Messverfahren ist in der Regel eine mehr oder weniger aufwendige Probenvorbereitung erforderlich. Aus diesen Analysedaten können die aufgenommenen Aktivitäten oder die Aktivitätskonzentration in Nahrungsmittel oder dem Trinkwasser bestimmt werden, die als Eingangsparameter für Modelle zur Berechnung der Ingestionsdosis benötigt werden.
Mögliche Opfer müssen auf Hautkontaminationen überprüft und ggf. dekontaminiert werden. Dazu sind Kontaminations-Messsonden erforderlich. Die erforderliche messtechnische Ausrüstung ist in der Tabelle 1, Spalte 4 zusammenfassend dargestellt.
Für diese Szenarien ist die Detektion der Radioisotope deutlich schwieriger, deshalb kommt der polizeilichen Aufklärungsarbeit eine noch größere Bedeutung zu, um die radioaktiven Stoffe vor der Durchführung eines Anschlages aufspüren und sicherstellen zu können. Zur Unterstützung dieser polizeilichen Arbeit können von den Strahlenschutzexperten in gefährdeten Einrichtungen prophylaktisch Stichproben, z.B. Trinkwasser oder Nahrungsmittel, genommen werden. Ferner können verdächtige Objekte und Orte auf Kontaminationen/Kontaminationsverschleppungen überprüft werden.
Im Vergleich zum Szenario „Schmutzige Bombe“ ist nach einem solchen Anschlag neben der Arbeit der „Tatortgruppe“ der Polizei, insbesondere der Sachverstand des Strahlenschutzpersonals und der jeweiligen Wissenschaftler erforderlich. Eine effektive und reibungslose Zusammenarbeit der Polizei- und Strahlenschutzbehörden erfordert ein intensives gemeinsames Training und Ausbildungsprogramm.

5. Literaturverzeichnis

[1] E.Egger, K. Münger: Dirty Bomb: Wie groß ist die Bedrohung? Hintergrundinformation zu einem aktuellen Thema, Labor Spiez, Schweiz, März 2005

[2] W. König, Schutz der Zivilbevölkerung vor den Folgen einer „Schmutzigen Bombe“, Homeland Security 01-2007

6. *Tab. 1: Zusammenfassung der Messstrategie und der typischen Ausrüstung für die diskutierten Szenarien*

Szenarien	**Direktstrahlung**	**Inhalation mit und ohne Explosivstoffe**	**Ingestion**
Expositionsart	Externe Exposition durch Gammastrahlung	Externe und interne Exposition durch radioaktive Stoffe	Interne Exposition durch Ingestion von „Alpha- und Beta-Strahlern“
Messstrategie und typische Ausrüstung	Offene oder verdeckte, fahrzeuggebundene Suche - Großvolumige Szintillationsdetektoren - Großvolumige He-3 Neutronendetektoren Offene oder verdeckte Suche zu Fuß - Mobile Szintillations- und Neutronendetektoren	Offene oder verdeckte, fahrzeuggebundene Suche -Großvolumige Szintillationsdetektoren - Großvolumige He-3 Neutronendetektoren Offene oder verdeckte Suche zu Fuß - Mobile Szintillations- und Neutronendetektoren Erste Isotopenidentifikation mit NaJ- und/oder LaBr3-Detektoren Exakte Isotopenidentifikation und Aktivitätsabschätzung mit hochauflösenden Germaniumdetektoren Ermittlung der Isotopenzusammensetzung von Uran und Plutonium mit hochplanaren n-type Germaniumdetektoren und spezieller Isotopen-analysesoftware Kontaminationskontrolle mit Kontaminationsmesssonden und Wischtestnahmen Raumluftüberwachung mittels Raumluftprobenahmefilter Auswertung der Raumluftprobenahmefilter und Wischtesten mit Filterauswerte- und Wischtestmessplätzen Ausscheideanlaysen durch - Alpha-Spektrometrie - Flüssigszintillation - Low-Level-Gamma-spektroskopie Dekontamination mittels mobiler Dekontaminationsanlagen	Analyse von - Lebensmitteln und Trinkwasserproben, - Wischtests, - Ausscheidungsproben durch: - Alpha-Spektrometrie - Flüssig-Szintillation - Low-Level-Gamma-Spektroskopie - Wischtestmessplätze Kontaminationskontrollmessungen mittels kalibrierter Kontaminationssonden Kontaminationskontrolle und Dekontamination in Dekontaminationseinrichtungen

DAS SYSTEM DER REGIONALEN STRAHLENSCHUTZZENTREN DES INSTITUTS FÜR STRAHLENSCHUTZ DER BERUFSGENOSSENSCHAFT ELEKTRO TEXTIL FEINMECHANIK UND DER BERUFSGENOSSENSCHAFT DER CHEMISCHEN INDUSTRIE

G. Seitz

Berufsgenossenschaft Elektro Textil Feinmechanik, Köln, Deutschland

Neben der Prävention ist eine der vorrangigen Aufgaben der Berufsgenossenschaften die Rehabilitation Unfallverletzter oder an Berufskrankheiten erkrankter Personen. Die Umsetzung dieser Aufgabe erschöpft sich keineswegs nur in Geldleistungen zur Sicherstellung optimaler medizinischer Maßnahmen. Vielmehr sind die Berufsgenossenschaften, die Träger der gesetzlichen Unfallversicherung im industriellen Bereich sind, schon früh dazu übergegangen, im Rahmen von Vorsorgekonzepten infrastrukturelle und institutionelle Systeme zu errichten, die sicherstellen, dass vom Eintritt eines Arbeitsunfalles bis zur Rehabilitation bestmögliche Versorgung gegeben ist. Dabei steht nicht im Vordergrund, den Unternehmer von seiner Verantwortung für die ihm anvertrauten Arbeitnehmer zu entbinden. Vielmehr ist es Ziel durch eine übergreifende Hilfe Kräfte zu mobilisieren, die dem einzelnen Betrieb nicht zur Verfügung stehen. Die Unterstützung der Unternehmer zum Aufbau eines betrieblichen "Erste-Hilfe-Systems" und die Ausbildung der Ersthelfer gehören ebenso zu diesen Maßnahmen wie die Spezialkliniken, die die Berufsgenossenschaften betreiben und in denen Unfallverletzte oder an Berufskrankheiten Erkrankte, gezielt versorgt werden. Wobei vielleicht hier einmal darauf hingewiesen werden sollte, das diese Institutionen im Rahmen ihrer Kapazitäten auch zur Versorgung der Allgemeinbevölkerung zur Verfügung stehen.

Schon in den sechziger Jahren wurde deutlich, dass es zukünftig eine zunehmende Anzahl von Personen geben würde, die mit radioaktiven Stoffen und ionisierender Strahlung umgehen. Die beginnende intensive Forschung und Entwicklung auf dem Gebiet der Kernkraftwerkstechnologie ebenso wie die Zunahme der medizinischen und technischen Anwendung der Röntgenstrahlung (z.B. in der zerstörungsfreien Materialprüfung) und die Anwendung der dann zunehmend auf dem Markt erhältlichen Radioisotope ließ die Zahl der beruflich strahlenexponierten Personen von unter 30.000 im Jahre 1970 auf 130.000 im Jahre 1975 und 200.000 im Jahre 1980 ansteigen.

Im gleichen Zeitraum waren erste, z.T. schwere Strahlenunfälle aufgetreten. Materialprüfer und Röntgentechniker im Service an technischen Röntgenanlagen erhielten erhebliche Teilkörperexpositionen. Folgen chronischer Belastungen in der Röntgendiagnostik, allerdings wesentlich verursacht in den Kriegsjahren, traten auf. Inkorporationen und Kontaminationen wurden aus Forschungszentren und Hochschulinstituten bekannt. Berichte über das akute Strahlensyndrom und Reaktorunfälle, die an Forschungsreaktoren außerhalb Deutschlands geschehen waren, ließen es aus damaliger Sicht nicht völlig unmöglich erscheinen, dass ähnliche Unfälle auch in Deutschland passieren könnten.

Die insgesamt geringen Erfahrungen mit den geschehenen Zwischenfällen ließen aber dennoch erkennen, dass die Einwirkung ionisierender Strahlung oder radioaktiver Stoffe besonderen Fachwissens bei allen Beteiligten bedarf, um sachgerecht Erste Hilfe leisten und optimale medizinische Maßnahmen durchführen zu können. Dieses bildete sich in den Folgejahren in Kernforschungszentren und einigen medizinischen Hochschulinstituten aus.

Aufgrund des sich gleichzeitig in Deutschland weiterentwickelnden stringenten Strahlenschutzrechts blieb aber auch im folgenden die Zahl der Strahlenunfälle gering. Jedenfalls so gering, dass sich ein breites medizinisches Fachwissen und eine allgemeine betriebliche Routine zur Begegnung solcher Zwischenfälle nicht entwickeln konnte.

Die Berufsgenossenschaft Elektro Textil Feinmechanik, bei der die Energieversorgungsunternehmen und damit auch die Kernkraftwerke und die dort Beschäftigten versichert sind, begann ein Konzept zu erarbeiten, mit dem die gewerblichen Berufsgenossenschaften die Unternehmen bei der Ersten Hilfe nach erhöhter Einwirkung ionisierender Strahlung unterstützen sollten.

Diese Bemühungen führten zunächst zur Herausgabe des Merkblattes "Erste Hilfe bei erhöhter Einwirkung ionisierender Strahlung", das zwischenzeitlich mehrfach überarbeitet und kürzlich in neuer Fassung -herausgegeben vom Institut für Strahlenschutz- veröffentlicht wurde.

Die speziellen Interessen der beiden Berufsgenossenschaften Elektro Textil Feinmechanik und der Chemischen Industrie führten zu einem weiteren, intensiven Engagement dieser beiden Versicherungsträger. Eine große Zahl beruflich strahlenexponierter Personen des industriellen Bereiches ist in Mitgliedsbetrieben dieser beiden Berufsgenossenschaften versichert. Sie gründeten Ende der siebziger Jahre das Institut für Strahlenschutz. Seine wesentliche Aufgabe liegt in der Sicherstellung einer wirksamen Ersten Hilfe nach erhöhter Einwirkung ionisierender Strahlung.

Die Geschäfte dieses Institutes werden in der Berufsgenossenschaft Feinmechanik und Elektrotechnik geführt. Es wird von einem Beirat unterstützt, in den hervorragende Experten des Strahlenschutzes und der Strahlenschutzmedizin berufen wurden.

Dort wurde die bereits im Merkblatt niedergelegte Vorstellung weiterentwickelt und dann auch in die Realität umgesetzt, dass im Falle eines Strahlenunfalles zur wirksamen Hilfe Institutionen herangezogen werden müssen, die folgende Voraussetzungen erfüllen:

Dort müssen Fachleute auf dem Gebiet des Strahlenschutzes und der Strahlenschutzmedizin tätig sein.

Diese müssen rund um die Uhr ansprechbar bzw. erreichbar sein.

Im Notfall ist persönliches Eingreifen am Unfallort oder stationäre Aufnahme in der Institution möglich.

So entstand das System der Regionalen Strahlenschutzzentren (RSZ). Nachdem im Jahre 1980 die ersten Verträge abgeschlossen wurden ist heute das System mit elf unter Vertrag befindlichen Zentren ausgebaut. Die Zentren sind angesiedelt entweder an strahlentherapeutischen oder nuklearmedizinischen Abteilungen großer Kliniken (meist Universitätskliniken) oder an Forschungszentren wie z.B. in Jülich, Karlsruhe oder Neuherberg. Dort ist gewährleistet, dass nicht nur sachkundige Ärzte sondern auch Naturwissenschaftler tätig sind, die gemeinsam Diagnostik und Therapie einschließlich der notwendigen Dosisermittlung im Fall einer erhöhten Einwirkung ionisierender Strahlung durchführen können. Zentren entstanden dort, wo hervorragende Persönlichkeiten sich für die Idee interessierten und an der gemein-

samen Zusammenarbeit Freude fanden. Die Leiter der Regionalen Strahlenschutzzentren sind mit der Idee persönlich verbunden. Sie wirken im Beirat des Instituts mit und stehen den Berufsgenossenschaften als Berater für alle Fragen im Zusammenhang mit Strahleneinwirkungen zur Verfügung.

Wichtig ist selbstverständlich, dass nicht nur die Leiter dieser Institutionen, sondern auch ein Stab interessierter und informierter Mitarbeiter eingebunden ist. Diese Mitarbeiter müssen über die Besonderheit der Logistik und der medizinischen Behandlung von Strahlenzwischenfällen informiert sein und dieses Wissen aufrechterhalten, auch wenn der Anforderungsfall glücklicherweise selten ist.

Somit ist die Informationsweitergabe an die Regionalen Strahlenschutzzentren und die Schulung der Mitarbeiter an den Zentren zwangsläufig zu einer wesentlichen Aufgabe des Instituts geworden, Schwerpunkt der jährlichen Fort- und Weiterbildungsveranstaltungen für Mitarbeiter an Regionalen Strahlenschutzzentren ist ein zweizügiges Seminar, das die einen mit dem notwendigen Grundwissen über die Aufgaben im Anforderungsfall ausstatten soll, den anderen weiterführende Informationen bieten und vor allen Dingen Diskussionsforum sein soll. Seit 1982 finden diese Seminare jährlich statt. Mehr als 1000 Teilnehmer aus Regionalen Strahlenschutzzentren und Gäste haben sich dort getroffen, gelernt und diskutiert. Das Institut für Strahlenschutz stellt schriftliche Informationen zur Verfügung, macht auf Veröffentlichungen aufmerksam und nimmt jede Gelegenheit wahr, Mitarbeiter aus Regionalen Strahlenschutzzentren gemeinsam mit Experten diskutieren zu lassen, wenn neue Erkenntnisse auf dem Gebiet der Strahlenschutzmedizin dies geboten erscheinen lassen. Das Institut bemüht sich mit erheblichem Aufwand, das fachliche Wissen in Deutschland, das in einem schweren Strahlenunfall herangezogen werden muß, auf dem neuesten Stand zu halten. Dem dienen Sonderveranstaltungen, die das Institut durchführt, wissenschaftliche Workshops, Diskussionsrunden und dergleichen mehr. Zur Weitergabe der dort ausgetauschten Erfahrung hat das Institut eine Schriftenreihe aufgelegt, in der interessante und sonst nicht verfügbare Informationen ebenso wie Ergebnisse von Seminaren und Workshops den RSZ zur Verfügung gestellt werden. Für den Diensthabenden im Regionalen Strahlenschutzzentrum wurde das Handbuch für Regionale Strahlenschutzzentren als Loseblattsammlung aufgelegt. Es stellt gleichzeitig Handlungsanleitung im Ernstfall dar und vermittelt weiterführende Information. Auch die Manuskripte der weiterführenden Veranstaltungen des jährlichen Seminars werden gesammelt und periodisch veröffentlicht. So ausgestattet, sollen die Regionalen Strahlenschutzzentren ihre Aufgaben als Leit- und Beratungsstellen in allen Fragen, die mit erhöhter Einwirkung ionisierender Strahlen zusammenhängen, wahrnehmen können.

Es sei an dieser Stelle nochmals ausdrücklich vermerkt, dass mit dieser Unterstützung seitens der Berufsgenossenschaften, der Betrieb keineswegs aus seiner Verpflichtung entlassen ist, eine wirksame "Erste Hilfe" schon im Betrieb zu installieren und aufrecht zu erhalten. Diese muß auf die Besonderheiten möglicher Gefährdungen für die Mitarbeiter speziell ausgerichtet sein. Im Falle der ionisierenden Strahlung bedeutet dies, dass der Betrieb zumindest seine Strahlenschutzorganisation in die Erste Hilfe Organisation einbinden muß. Der Betrieb wird entscheiden müssen, wer im Falle eines Strahlenunfalles zu benachrichtigen ist, und er wird sich ärztliche Hilfe seitens eines im Strahlenschutz erfahrenen Arztes, z.B. eines ermächtigten Arztes, bedienen. Der Betrieb muß die möglichen Einwirkungspfade analysieren und muß sich, z.B. bei der Möglichkeit der Kontamination oder der kontaminierten Wunde, entsprechender Einrichtungen versichern, die in einem solchen Fall eine Erste Hilfe oder sogar weitergehende Maßnahmen durchführen können.

Die Realität zeigt, dass die Betroffenen, selbst bei Vorliegen aller betrieblichen Voraussetzungen, einen Ansprechpartner brauchen, der sie kompetent berät und weitere Schritte einleitet. Hier nun greift das Regionale Strahlenschutzzentrum - wenn gewünscht - ein: durch telefonische Beratung zunächst, möglicherweise dann durch Koordination zwischen dem zuerst eingeschalteten Arzt und einem Krankenhaus oder anderen Institutionen; vielleicht durch eigenes Eingreifen hinsichtlich der Dosimetrie oder Diagnose. Das Regionale Strahlenschutzzentrum wird im Einzelfall nicht über alle Möglichkeiten der Hilfe verfügen. Dann ist es seine Aufgabe andere Zentren oder Fachinstitutionen einzuschalten, die im Hinblick auf diesen Anforderungsfall besser vorbereitet oder ausgestattet sind.

Aus der Erfahrung der ersten Jahre des Systems wurden die Regionalen Strahlenschutzzentren ergänzt durch eine Spezialstation für akute Fälle in der berufsgenossenschaftlichen Unfallklinik in Ludwigshafen. Zu Beginn der Achtziger Jahre waren die Möglichkeiten noch begrenzt, Patienten mit drohendem akuten Strahlensyndrom schnell und adäquat zu versorgen. Hämatologisch-onkologische Zentren mit der Möglichkeit der Knochenmarkstransplantation waren noch selten. Es wurde daher zunächst eine Möglichkeit geschaffen, solche Patienten in der berufsgenossenschaftlichen Unfallklinik Ludwigshafen aufzunehmen. Dort kann schnell eine erste Blutdiagnostik durchgeführt und eine hämatologische Überbrückungstherapie eingeleitet werden. Die beim akuten Strahlensyndrom notwendige Sterilpflege ist in der Klinik aufgrund der Existenz einer Station für Schwerverbrannte täglich geübte Routine. Der Plan sieht vor, den Patienten dann zum schnellstmöglichen Zeitpunkt in eine Klinik zu verlegen, die über die notwendigen Voraussetzungen verfügt eine intensive Behandlung des festgestellten Strahlensyndroms durchzuführen. Die Station in Ludwigshafen kann bis zu 15 Patienten aufnehmen. Dort sind auch Möglichkeiten der Behandlung des kontaminierten, ggf. auch traumatisierten Patienten gegeben.

Das System wird häufig, allerdings nicht für die Hilfe im Strahlenunfall sondern beratend in allgemeinen Fragen im Strahlenschutz und in der Strahlenschutzmedizin, in Anspruch genommen. Die Jahresberichte der Zentren an das Institut weisen aus, dass in wenigen Einzelfällen diagnostische und therapeutische Hilfe notwendig geworden ist. Schwere Strahlenunfälle, wie sie auch in den letzten Jahren noch gelegentlich aus dem Ausland gemeldet wurden, waren hier nicht zu verzeichnen.

B Notfallschutz – Infrastruktur und Konzepte

KRANKENHAUS-DATENBANK - ZUWEISUNG VON STRAHLENUNFALLPATIENTEN AN GEEIGNETE KRANKENHÄUSER

HOSPITAL DATABASE – ALLOCATION OF RADIATION ACCIDENT PATIENTS TO QUALIFIED HOSPITALS

R. Schneider, Chr. Reiners

Klinik und Poliklinik für Nuklearmedizin und WHO REMPAN Kollaborationszentrum, Universitätsklinik Würzburg, Deutschland

Zusammenfassung
Im Auftrag des Bundesministeriums für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit (BMU) führte das deutsche WHO REMPAN (Radiation Emergency Medical Preparedness and Assistance Network) Kollaborationszentrum an der Klinik und Poliklinik für Nuklearmedizin der Universitätsklinik Würzburg ein Projekt zur Verbesserung der Entscheidungsgrundlage für die Zuweisung von Strahlenunfallpatienten zu einer geeigneten Klinik durch. Im Rahmen einer Erhebung bei 99 ausgewählten Kliniken in der Bundesrepublik Deutschland wurden relevante Krankenhausdaten und Versorgungsmöglichkeiten für Strahlenunfallpatienten ermittelt. Die Ergebnisse der Erhebung wurden in Form einer Microsoft (MS) Access Datenbank zusammengestellt. Die Zuordnung von Strahlenunfallpatienten zu einer geeigneten Klinik wurde mit der Entwicklung einer Webanwendung praktisch umgesetzt.

Summary
By order of the Federal Ministry for the Environment, Nature Conservation and Nuclear Safety (BMU) the German WHO REMPAN (Radiation Emergency Medical Preparedness and Assistance Network) Collaborating Centre at the Clinic of Nuclear Medicine of the University Hospital Wuerzburg performed a project to amend the basis of decision making concerning the allocation of radiation accident patients to a qualified hospital. A survey of 99 selected hospitals assessed relevant hospital data and treatment capabilities for radiation accident patients. The results of the survey were summarised in the form of a Microsoft (MS) Access database. Via a Web application the assignment of radiation accident patients to a qualified hospital was implemented in a practical way.

Schlüsselwörter *Krankenhaus-Datenbank, Strahlenunfallvorsorge, WHO REMPAN Kollaborationszentrum*

Keywords *Hospital database, radiation accident preparedness, WHO REMPAN Collaborating Centre*

1. Einleitung

Ein wesentlicher Bestandteil der radiologischen Katastrophenschutzvorsorge ist der Nachweis sofort verfügbarer, medizinischer Versorgungsmöglichkeiten von Strahlenunfallpatienten in geeigneten Krankenhäusern [1] [2] [3]. In der Schweiz steht mit dem Informations- und Einsatz-System (IES) des Koordinierten Sanitätsdienstes (KSD) ein internetbasiertes System zur Verfügung, das in ABC-Notfällen autorisierten Partnern einen Online-Zugriff auf

sanitätsdienstliche Ressourcen, z.B. Bettenkapazitäten in Krankenhäusern ermöglicht [4] [5]. In der Bundesrepublik Deutschland liegt außer der von Prof. T. M. Fliedner, Universität Ulm, 1999 erstellten sog. Krankenhausliste zurzeit keine aktualisierte Erfassung und Bewertung von Krankenhäusern und Fachkliniken unter strahlenmedizinischen Aspekten vor. Aus diesem Grund wird die medizinische Strahlenunfallvorsorge in der Bundesrepublik Deutschland z. B. bei einem Massenanfall von Strahlenunfallpatienten etwa durch einen terroristischen Anschlag als nicht ausreichend beurteilt [6].

2. Zielsetzung

Ziel des Vorhabens, das im Auftrag des Bundesministeriums für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit (BMU) vom deutschen WHO REMPAN (Radiation Emergency Medical Preparedness and Assistance Network) Kollaborationszentrum an der Klinik und Poliklinik für Nuklearmedizin der Universitätsklinik Würzburg durchgeführte wurde, war die bundesweite systematische Erfassung von Kliniken, die die bestmögliche, sofortige medizinische Versorgung von Patienten bei einem Strahlenunfall größeren Ausmaßes gewährleisten können. Weitere Ziele waren die systematische Darstellung der erhobenen Informationen und die Erstellung eines Konzepts zur praktischen Umsetzung der Zuweisung von Strahlenunfallpatienten zu einer geeigneten Klinik.

3. Methodik

3.1 Erhebung

Zur Ermittlung der vorhandenen Kapazitäten und Kompetenz der Kliniken wurde eine bundesweite Erhebung durchgeführt und für die Dokumentation des Verlaufs der Erhebung sowie für die Datenverwaltung eine temporäre MS Access Datenbank erstellt.

3.1.1 Erfassung der Krankenhäuser

Basierend auf unterschiedlichen Strahlenunfallszenarien und den daraus resultierenden möglichen Strahlenexpositionen (akute Ganz- oder Teilkörperexposition, lokales Strahlensyndrom der Haut, Kontamination, Inkorporation) wurden Behandlungserfordernisse (z.B. Dekontamination) ermittelt und Anforderungsprofile für die auszuwählenden Kliniken abgeleitet. 99 Kliniken, bei denen die hierfür notwendige personelle, strukturelle und fachliche Kompetenz vorausgesetzt wurde, waren in dieser nicht-repräsentativen Erhebung eingeschlossen. Sie gehörten zu den folgenden Klinikkategorien: Universitätskliniken, sog. Großkliniken mit einer Bettenzahl über 1000 in Städten mit über 100.000 Einwohnern, Bundeswehrkrankenhäuser, Kliniken mit einem Regionalen Strahlenschutzzentrum, Berufsgenossenschaftliche Kliniken, Zentren für Schwerbrandverletzte und für Stammzelltransplantation.

3.1.2 Entwicklung des Erhebungsbogens

Der knappe 4-seitige Erhebungsbogen mit insgesamt 57 Fragen gliederte sich in 3 Teile. Der erste Teil bezog sich auf allgemeine Klinikdaten wie die Klinikverwaltung, Ansprechpartner, Klinikstatistik sowie Einrichtungen und Fachabteilungen, der zweite Teil auf die Bereitschaft zur Teilnahme am freiwilligen Vermittlungsverfahren. Im dritten Teil wurden die Behandlungsexpertise bzw. die Versorgungsmöglichkeiten für die definierten Strahlenunfallszenarien durch Selbsteinschätzung der Kliniken ermittelt. Diese

Selbsteinschätzung diente als Entscheidungsgrundlage bzw. Kriterium für die Zuweisung eines Strahlenunfallpatienten zu der für ihn am besten geeigneten Klinik.

3.1.3 Ablauf der Erhebung

Basierend auf Adressenrecherchen im Internet wurde der Erhebungsbogen mit einem Begleitschreiben im zweiten Quartal 2007 an die ausgewählten Kliniken gesandt. Der Erhebungsbogen konnte von den Kliniken sowohl handschriftlich wie elektronisch ausgefüllt und entweder per Post, Fax oder per E-Mail zurückgesandt werden. Der Eingang der zurückgesandten Erhebungsbögen wurde den Kliniken per Email oder Fax bestätigt. Alle handschriftlich ausgefüllten, per Post oder Fax zurückgesandten Erhebungsbögen wurden in das elektronische Format überführt.

3.2 Krankenhaus-Datenbank

In der mit MS Access 2007 entwickelten Krankenhaus-Datenbank wurden die relevanten Klinikdaten systematisch zusammengefasst und die Daten in automatischen Berichten oder individuellen Abfragen dargestellt.

Beim Öffnen erscheint automatisch das in vier Abschnitte gegliederte Startformular, von dem aus das Programm bedient werden kann (Abb. 1).

Abb. 1: Startformular der Krankenhaus-Datenbank

Im obersten Abschnitt öffnet die Schaltfläche „Kliniken öffnen“ das Formular, in dem alle Kliniken eingetragen sind. Es bietet die Möglichkeit, die Formulare aller eingegebenen Kliniken wie ein Buch durchzublättern.

Im nächsten Abschnitt lässt sich eine neue Klinik anlegen. Hierfür stehen wahlweise die beiden Schaltflächen „neue Klinik anlegen“ und „Klinik aus PDF-XML importieren“ zur Verfügung. Bei der ersten Schaltfläche öffnet sich zum Editieren einer Klinik ein leeres Formular, in das die Daten eingegeben werden können. Bei der zweiten Schaltfläche kann man eine - aus dem online ausgefüllten Adobe PDF-Formular exportierte - XML-Datei in die MS Access Krankenhaus-Datenbank importieren.

Im dritten Abschnitt kann gezielt auf bereits angelegte Datensätze einer einzelnen Klinik zugegriffen werden. Aus der Box „Klinikauswahl (nach Ortsname sortiert)“, die alle eingetragenen Kliniken auflistet, kann eine Klinik ausgewählt und im Editierformular über die Schaltfläche „Klinik: Formular öffnen“ dargestellt werden. Das Formular enthält 10 einzelne Registerblätter, die den Erhebungsbogen nahezu vollständig abbilden. Über die Schaltfläche „Klinik: Bericht öffnen“ lässt sich ein automatischer Detailbericht der gewählten Klinik erzeugen. Zudem können für alle Kliniken nacheinander über die Schaltfläche „Bemerkungen Forschungsnehmer“ die vom Forschungsnehmer eingegebenen Bemerkungen und Kommentare zu einer Klinik angezeigt werden.

Im untersten Abschnitt können vier tabellarische Übersichtsberichte aus den eingegebenen Daten automatisch über die Schaltflächen „Klinik: Kategorie“, „Klinik: Strukturdaten“, „Klinik: Versorgungsmöglichkeiten“ und „Klinik: Bundesland“ generiert werden.

3.3 Webanwendung

Mit einer Datenbank-gestützten Webanwendung wurde die Möglichkeit geschaffen, die am besten geeignete Klink zur Versorgung des jeweiligen Strahlenunfallpatienten zu ermitteln. Für die Abfrage der Daten über das Internet wurde eine ASP.NET-basierte Lösung implementiert.

Von der Startseite der Webanwendung, einer Deutschlandkarte, auf der alle teilnehmenden Kliniken eingetragen sind, gelangt man über die Navigationsleiste auf weitere Menüpunkte. Der Menüpunkt „Kliniken" listet die Daten aller Kliniken tabellarisch auf. Die in den Spalten stehenden Angaben zur „PLZ“, „Ort“, „Klinikname“ und „Bundesland“ lassen sich durch Anklicken der Spaltenüberschrift alphabetisch oder numerisch umsortieren. Über die Spalte „Details“ werden die Daten einzelner Kliniken dargestellt. Der zentrale Menüpunkt „Suche“ zeigt die fünf Suchoptionen „Ort“, „PLZ“, „Bundesland“, „Versorgungsmöglichkeiten“ und „Kategorie“ an. Die Resultate der Suchanfragen erscheinen in Form von Ergebnislisten, die als Entscheidungsgrundlage über die Zuweisung eines Strahlenunfallpatienten zu einer geeigneten Klinik dienen.

4. Ergebnisse

Die elektronische Aufarbeitung und Analyse der Daten erfolgte mittels der MS Access Datenbankanwendung. Die Graphiken wurden mit Hilfe des Programms MS Excel erstellt.

4.1 Teilnahmebereitschaft

Von den 99 angeschriebenen Kliniken erklärten 54 ihre Teilnahmebereitschaft, 12 erteilten eine Absage, weitere 5 machten keine Angabe zur Teilnahmebereitschaft und die übrigen 28 gaben keine Rückantwort. Die Aufgliederung der Teilnahmebereitschaft nach dem Bundesland ergab große Unterschiede. Ihre Teilnahmebereitschaft erklärten alle angeschriebenen 6 Kliniken in Rheinland-Pfalz, 5 in Sachsen, 2 in Bremen sowie die einzige Klinik im Saarland. Die meisten Erklärungen zur Teilnahmebereitschaft (n=9) stammten aus Nordrhein-Westfalen, gefolgt von Bayern mit 7 Zusagen.

4.2 Strukturdaten

Für die erhobenen Strukturdaten der teilnehmenden Kliniken, die Gesamtbettenzahl, die Zahl der im Jahr 2005 behandelten Patienten, die Zahl der Ärzte sowie der im Strahlenschutz ermächtigten Ärzte wurden die Mittelwerte und die Spannweiten berechnet. Die durchschnittliche Bettenzahl von 52 der teilnehmenden 54 Kliniken lag bei knapp über 1.000, mit einer sehr großen Spannweite von 266 bis 3213 Betten.

4.3 Fachabteilungen und Bettenzahlen

Sowohl bei der Verfügbarkeit von Fachabteilungen als auch bei der Bettengesamtzahl und der Zahl der Intensiv- und Sterilbetten zeigten sich deutliche Unterschiede bei den teilnehmenden 54 Kliniken.

Die Resultate zur Verfügbarkeit nicht-bettenführender Fachabteilungen ergaben, dass insgesamt nur 14 Kliniken über eine radiobiologische Fachabteilung verfügten, während 47 Kliniken mit einer Abteilung für Labormedizin ausgestattet waren. Auch hinsichtlich der Verfügbarkeit bettenführender Fachabteilungen gab es bei den einzelnen Kliniken große Unterschiede, so hatten nur 13 Kliniken eine Abteilung für Schwerbrandverletzte, dagegen verfügten mit 52 Kliniken fast alle über eine unfallchirurgische Abteilung.

Die Gesamtsumme der Betten aller Fachabteilungen der 54 teilnehmenden Kliniken betrug 17512. Die Allgemeine Chirurgie hatte mit über 4.000 die meisten Betten, gefolgt von der Unfallchirurgie, Inneren Medizin – Hämatologie und Onkologie und Dermatologie. Dagegen standen nur 91 Betten in allen Fachabteilungen für Schwerbrandverletzte bereit. Insgesamt 2084 Intensivbetten hatten die 54 teilnehmenden Kliniken, die meisten waren erwartungsgemäß in den Abteilungen für Intensivmedizin der Anästhesiologie (n=793), der Inneren Medizin (n=571) und der Chirurgie (n=361). Die Gesamtsumme der verfügbaren Sterilbetten betrug 170, darunter fanden sich 60 bzw. 51 Sterilbetten allein in den Abteilungen für Stammzelltransplantation und für Innere Medizin – Hämatologie und Onkologie.

4.4 Selbsteinschätzungen der Versorgungsmöglichkeiten von Strahlenunfallpatienten

Abb. 2 zeigt für alle 54 teilnehmenden Kliniken das Ergebnis der selbst eingeschätzten Kompetenz bezüglich der medizinischen Versorgung von Strahlenunfallpatienten. Je nach Art der Strahlenexpositionen gab es deutliche Unterschiede bei der Behandlungsexpertise.

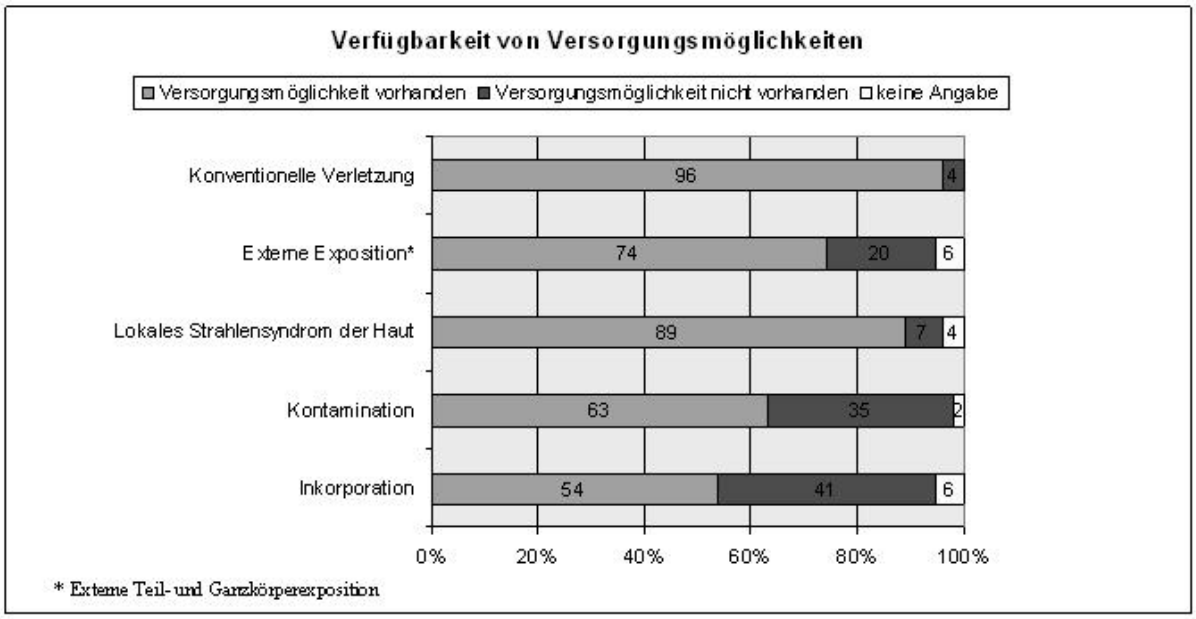


Abb. 2: Angaben zur Verfügbarkeit von Versorgungsmöglichkeiten (n=54)

Während 89% bzw. 74% der Kliniken angaben, Patienten mit einem lokalen Strahlensyndrom der Haut bzw. einer externen Ganz- oder Teilkörperexposition versorgen zu können, war die Kompetenzeinschätzung der Kliniken hinsichtlich der Behandlung von Patienten mit einer Kontamination bzw. Inkorporation mit 63% bzw. 54% deutlich niedriger.

5. Schlussfolgerung

Die vorliegenden Ergebnisse der Erhebung spiegeln die Situation an ausgewählten, freiwillig teilnehmenden Kliniken wider und beruhen teilweise auf der subjektiven Einschätzung der Behandlungsexpertise. Unter Berücksichtigung dieser Einschränkungen gibt die gegenwärtige Statuserhebung einen flächendeckenden, wenn auch nicht-repräsentativen Überblick über die Versorgungsmöglichkeiten von Strahlenunfallpatienten in der Bundesrepublik Deutschland. Die Zusammenstellung der erhobenen Daten in Form einer Datenbank und die Webanwendung eröffnen künftigen Anwendern die Möglichkeit, individuell abgestimmte Behandlungsangebote für Strahlenunfallpatienten in kurzer Zeit auszuwählen und gezielt zu vermitteln.

Nach dieser ersten Bestandsaufnahme wird die Aktualisierung und Pflege der zugrunde liegenden Krankenhaus-Datenbank durch routinemäßige, regelmäßige Erhebungen empfohlen. Von besonderer Bedeutung und Dringlichkeit ist zudem die Klärung der Zugangsberechtigung zu den Dankenbankinformationen und zur Webanwendung sowie der praktischen Umsetzung der Zuweisung von Strahlenunfallpatienten zu den geeigneten Kliniken, z. B. durch Einrichtung eines Koordinationszentrums.

6. Danksagung

Allergrößter Dank gebührt Herrn M. Schuhmann für die Erstellung der Datenbank und die Umsetzung der Webanwendung.

Für die Unterstützung bei der Organisation und Durchführung des Projekts ist insbesondere Herrn A. Stinzing und Herrn Dr. J. Straka zu danken.

Besonderer Dank gilt Frau M. Preißinger für die Vorbereitung und kritische Durchsicht des Manuskripts.

Das diesem Beitrag zugrundeliegende Forschungsvorhaben wurde im Auftrag und mit Unterstützung des Bundesministeriums für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit (BMU) durchgeführt. Die Verantwortung für den Inhalt liegt bei den Autoren.

7. Literatur

[1] International Atomic Energy Agency, Planning the medical response to radiological accidents, Safety Reports Series No. 4, IAEA, Vienna, 1998

[2] International Atomic Energy Agency, Joint radiation emergency management plan of the international organizations. EPR-JPLAN, IAEA, Vienna, 2004

[3] International Atomic Energy Agency, Arrangements for preparedness for a nuclear or radiological emergency, IAEA Safety Standards, IAEA, Vienna, 2007

[4] R. Junker, C. Flükiger, P. Riesen, Informations- und Einsatz-System des Koordinierten Sanitätsdienstes (IES-KSD), Geomatik Schweiz, 5, p. 219-221, 2007

[5] G. A. Lupi, Erstversorgung im Katastrophenfall: Beiträge der Armee und des Koordinierten Sanitätsdienstes (KSD), Schweizerische Ärztezeitung, 88 (9), p. 369-371, 2007

[6] Maßnahmen zur Organisierung und Optimierung der medizinischen Versorgung von Strahlenunfall-Patienten in der Bundesrepublik Deutschland (Empfehlung der Strahlenschutzkommission, verabschiedet in der 179. Sitzung der Strahlenschutzkommission (SSK) am 04/05. Juli 2002)

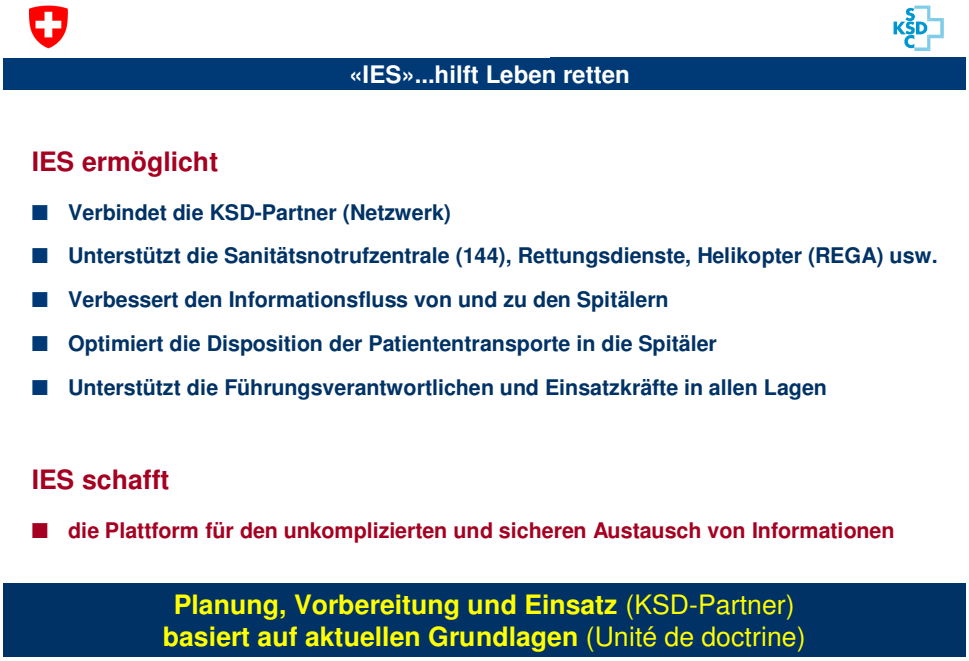
DAS SCHWEIZERISCHE IT-SYSTEM IES ZUR SEKUNDEN-SCHNELLEN ERMITTLUNG VON AKTUELL VERFÜGBAREN NOTFALLAUFNAHME-KAPAZITÄTEN FÜR DIE OPTIMALE SPITALEINWEISUNG VON PATIENTEN (AUCH) BEI EINEM A-EREIGNIS

R. Junker

Geschäftsstelle Koordinierter Sanitätsdienst (KSD), Ittigen, Schweiz

Keywords: IES, Notfallaufnahmekapazitäten, A-Ereignis, golden hour, Pandemieplan Schweiz

A(BC)-Ereignisse stellen höchste Anforderungen sowohl an die Einsatzkräfte vor Ort als auch an das Personal in den aufnehmenden Krankenhäusern. Der Anschlag in Tokio 1995 hat vor Augen geführt, dass in einem solchen Fall das öffentliche Gesundheitswesen mit chaotischen Zuständen bzw. mit einem Massenanfall an Patienten rechnen muss (rund 5'500 Personen haben medizinische Einrichtungen aufgesucht, davon wurden nur rund 700 durch das Rettungswesen in die Spitäler eingewiesen!). Umfassende Vorbereitungen in allen ABC-Belangen und auf allen Stufen (Gemeinden, Kantone, Bund) sind notwendig, um Einsatzkräfte und Spitalpersonal optimal zu schützen, dank Vorsichtsmassnahmen eine weitere Verbreitung zu vermeiden und gleichzeitig die bestmögliche sanitätsdienstliche Versorgung aller Patienten in allen Lagen sicherzustellen!

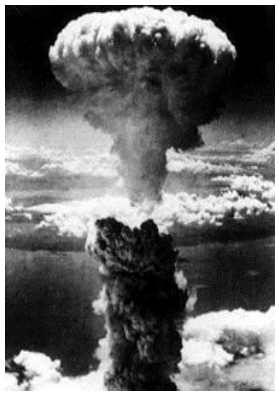


Dabei spielt insbesondere die zeit- und lagegerechte Information und Kommunikation unter allen involvierten Personen (Einsatzkräfte der Polizei, Feuerwehr und des Gesundheitswesens sowie ABC-Fachspezialisten und Entscheidungsträger usw..) eine entscheidende und «lebensrettende Rolle». Die Schweiz arbeitet im Hinblick auf die baldige Fussball-Europameisterschaft UEFA EURO 08 zurzeit mit Hochdruck daran, schon lange erkannte entsprechende «ABC-Defizite» im Gesundheitswesen, insbesondere in den Akutspitälern, so weit wie möglich zu eliminieren. Nebst der laufenden Umsetzung der unter breiter Abstützung durch ABC-Fachleute und Führungsverantwortliche im In- und Ausland erstellten Konzepte «ABC-Dekontamination von Personen im Hospitalisations- und im Schadenraum» in den Kantonen wird auch das auf Internet basierende moderne und zeitgemässe **IT-System «IES» (Informations- und Einsatz-System)** schweizweit im Gesundheitswesen und bei anderen Partnern des Bevölkerungsschutzes sowie der Armee (gemäss Abbildung) im Rahmen des Koordinierten Sanitätsdienstes (KSD) eingeführt.

A, B- oder C-kontaminierte Personen können ohne Dekontaminationsvorbehandlung vor einem Spital eintreffen, bzw. unerkannt in ein Spital gelangen und sowohl das Personal als auch die Infrastruktur eines Spitals kontaminieren.

Ausgehend vom **«Worst Case»,**
zeigt die nachfolgende Abbildung die besondere sanitätsdienstliche Herausforderung, speziell bei einem «A-Ereignis» auf und macht gleichzeitig auf die Notwendigkeit einer funktionierenden, sicheren Informations- und Kommunikationsplattform (nicht nur für das Gesundheitswesen!) aufmerksam.

Radioaktivität:



Möglicher Patientenanfall	mehrere Hundert, Tausende
Verletztenmuster	• Verbrennungen • Schädigungen durch herumfliegende Trümmer • Strahlenkrankheit • akute traumatische Reaktionen • psychische Probleme
Besonderes	• Information • Verteilung der Jod-Tabletten • psychische Belastung der Bevölkerung • Spätschäden

Damit ist klar, dass ein «A-Ereignis» rasch die zur Verfügung stehenden Mittel eines Kantons überfordert. Deshalb gehört die Vorbereitung auf solche Ereignisse auch zu den Verantwortlichkeiten der Schweizerischen Eidgenossenschaft (Bund). Es ist insbesondere Aufgabe des Koordinierten Sanitätsdienstes (KSD) durch stufengerechte Koordination des Einsatzes und der Nutzung der personellen, materiellen und einrichtungsmässigen Mittel der zivilen und militärischen Stellen, die mit der Planung, Vorbereitung und Durchführung von sanitätsdienstlichen Massnahmen beauftragt sind (KSD-Partner bzw. Bevölkerungsschutz inklusive Armee) die Ereignisbewältigung auf allen Stufen subsidiär zu unterstützen.

Generell zur Optimierung einer in allen Lagen bestmöglichen sanitätsdienstlichen Versorgung aller Patienten wurde mit dem IES auf der Basis von SAP NetWeaver eine kantonübergreifende zentralisierte IT-Informations- und Kommunikationsplattform für die integrierte medizinische Notfallversorgung entwickelt. Ein grosser Vorteil des IES ist es, dass es auch im Alltag (daily business) sowohl von zivilen wie militärischen Stellen genutzt und eingesetzt werden kann, ohne dass laufende und bestens eingespielte Prozesse im Arbeitsablauf verändert werden müssen.

Wie bei allen Ereignissen und Krisensituationen, insbesondere bei einer A-Lage, sind Information und Kommunikation die wichtigsten Erfolgsfaktoren, denn hier entscheiden oftmals Minuten.

«IES hilft Leben retten»…

Je schneller Patienten in einer für ihre Verletzung optimal ausgestatteten Klinik bzw. in einem Akutspital fachgerecht behandelt werden können, desto höher sind die Erfolgsaussichten, um dank dem IES Leben zu retten oder bleibende Gesundheitsschäden zu verhindern (Erhalt der Lebensqualität!).

"Es gilt die «golden-hour-Regel», denn in der kritischen ersten Stunde unmittelbar nach der Verletzung oder der Kontamination muss die richtige Erstversorgung erfolgen."

Dank dem IES kann daher auch für die gesamte Volkswirtschaft bzw. für die Schweizer Bevölkerung ein direkter Nutzen abgeleitet werden: Da erwiesen ist, dass 60 Minuten nach einem Ereignis die bleibende Behinderung bei Patienten aufgrund der Verletzungen exponentiell ansteigt, ist ebenso klar, dass dank der optimalen Patientenversorgung mittels dem IES auch langfristige Kosteneinsparungen im Gesundheitswesen erzielt werden können.

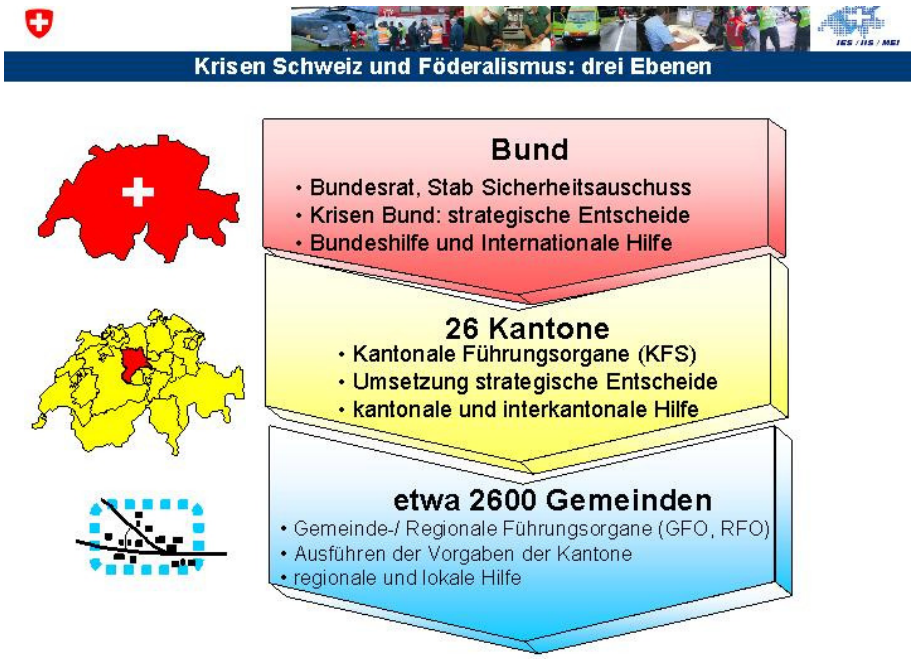
Die Funktionalität «Notfallaufnahmekapazitäten» umfasst:

- Aufforderung an Spitäler zur Aktualisierung der Notfallaufnahmekapazitäten mit Verteilerlisten;
- Online-Rückmeldung der Notfallaufnahmekapazitäten;
- Online-Auswertung von notfalldiagnostischen Kriterien;
- Frühzeitige Information über die Patientenzuweisung;
- Voralarme, Alarme und Entwarnung versenden;
- Direkte Kommunikationsmöglichkeit per Mail, Fax, SMS, Telefon, Pager mit den Krankenhäusern.

«IES» ist notwendig!

Ein weiterer Nutzen für das IES ist die Gegebenheit, dass in der Schweiz das Gesundheitswesen kantonal geregelt ist. Viele wichtige Daten befinden sich «an vielen Orten» bzw. in den souverän geführten 26 Kantonen und bei vielen anderen Partnern des KSD. Entgegen der Ausgangslage bei Beginn des Projektes IES vor einigen Jahren, konnte die damalige noch vielerorts vorhandene Skepsis bezüglich Nutzen des IES mit der heutigen unumstösslichen Erkenntnis vollständig ersetzt werden. Auf praktisch allen Stufen und Stellen bei Bund und Kantonen sowie bei vielen anderen KSD-Partnern wird heute im Hinblick auf die Vorbereitung und den Einsatz bei Grossereignissen ein Instrument wie das IES für den flächendeckenden Einsatz in der Schweiz gefordert. Das IES kann die bestmögliche Ereignisbewältigung unterstützen, indem es praktisch «auf Knopfdruck» ermöglicht, alle zur Führungsunterstützung und Entscheidfindung notwendigen Daten für Einsatzkräfte und Führungsverantwortliche zentral und in Echtzeit zusammenzuführen.

Noch zusätzlich unterstützt wurde diese Erkenntnis, und damit auch der Wille zur Einführung des IES in den Kantonen und anderen KSD-Partnern, durch die Auswertung und Schlussfolgerungen aus einer strategischen Führungsübung «Epidemie» im 2005 auf Stufe Bund und der leider latent vorhandenen Gefahr einer möglichen Pandemie (Vogelgrippe).



Im Pandemieplan Schweiz wird denn auch die rasche Einführung des IES im Schweizer Gesundheitswesen bereits in der (heutigen) Warnphase 3 (gemäss WHO) gefordert. Im Falle einer Pandemie ist eine schweizweite online-Übersicht aller aktuell verfügbaren Notfallaufnahmekapazitäten sowie anderer besonderer Einrichtungen der Spitäler unabdingbar notwendig.

Eine der bedeutendsten Funktionalitäten des IES, welche in den verschiedensten Ereignissen bei den KSD-Partnern und Bereichen des Bevölkerungsschutzes (inklusive Gesundheitswesen) – unabhängig voneinander oder miteinander vernetzt – eingesetzt werden kann, liegt deshalb klarerweise im Modul «Ressourcen-Management».

Besonderheiten bei Alarmierung/Vorwarnung/Lageberichten (inkl. Entwarnung) beim ABC-Ereignis

Insbesondere aber bei einem ABC-Ereignis bzw. in einer «A-Lage» ergeben sich äusserst wichtige Anforderungen und Besonderheiten bei der Alarmierung, die mittels dem IES elektronisch unterstützt werden und unbedingt zu berücksichtigen sind.

Ziel der Alarmierung/Vorwarnung beim A-Ereignis:

Bei einem A-Ereignis sind die Spitäler (bzw. die Spitalverantwortlichen) so früh wie möglich vorgewarnt/alarmiert, um die notwendigen Massnahmen zu treffen. Damit kann die sanitätsdienstliche Versorgung der Patienten sofort dem A-Ereignis angepasst und gleichzeitig der möglichen Gefährdung des Personals vorgebeugt werden. Zivile Führung und Gesundheitsbehörden erhalten zeitgerecht Informationen zur Erfüllung ihres Auftrages.

Gemäss Konzept «Dekontamination von Personen im Hospitalisations- und im Schadenraum» kann der gesamte Alarmierungsprozess sowie die notwendigen Schutzmassnahmen in den Spitälern (auch) im A-Ereignis mittels dem IES wie folgt unterstützt werden:

- **Alarmierungsablauf:**
  Erstalarmierung 117, 118, (112), Sanitätsnotruf 144.
  Der Sanitätsnotruf warnt die Einsatzkräfte und Spitäler (Spitalverantwortlichen) im möglichen Einzugsgebiet mittels dem IES. Im weiteren Verlauf wird die zivile Führung (KFO oder äquivalente Organisation) sowie der Kantonsarzt oder eine äquivalente Funktion alarmiert.
- Der Sanitätsnotruf 144 warnt weitere (z.B. ausserkantonale) Spitäler vor, erstattet laufend Lagebericht und entwarnt auf Anordnung der Einsatzleitung die sanitätsdienstlichen Einsatzkräfte und Institutionen.
- **Die Spitäler sind verpflichtet, ihren Bereitschaftsstatus und weitere Informationen über das Ereignis zurück zu melden (mit dem IES!).**
- Gemäss Katastrophenplan des Spitals sind interne Funktionäre (z. B. Spitalhygieniker, Spitalpersonal) sowie bei Bedarf weitere Funktionäre (z. B. Infektiologe) aufzubieten.

Das IES unterstützt die rechtzeitige Anordnung von Schutzmassnahmen in den Spitälern und die umgehende Auslösung anderer dringend notwendiger Massnahmen:

- Schutzmassnahmen im Spital auslösen (gemäss Katastrophenplan);
- Zugang zum Spital kontrollieren/regeln (durch Ordnungskräfte/Polizei);
- Patientenweg inklusive Dekontamination festlegen;
- Schutzmassnahmen Spitalpersonal: Der Situation und der Funktion angepasster bestmöglicher Schutz.

Von grösstem Nutzen und Wichtigkeit ist das IES auch bei der

- lückenlosen und elektronischen Erfassung aller direkt und indirekt Betroffenen mittels der IES-Funktionalität «Patientenleit- und Personenmanagementsystem (PLS-PPE)», unter voller Berücksichtigung des Datenschutzes;
- raschen Verfügbarkeit einer online-Übersicht und Auskunftsbereitschaft bezüglich betroffener Personen und Patienten und deren Aufenthaltsorte (Spitäler);
- Rückverfolgbarkeit der sanitätsdienstlichen Versorgung von Patienten oder der Betreuung von Personen mit der Möglichkeit zur Führung einer nationalen Hotline.

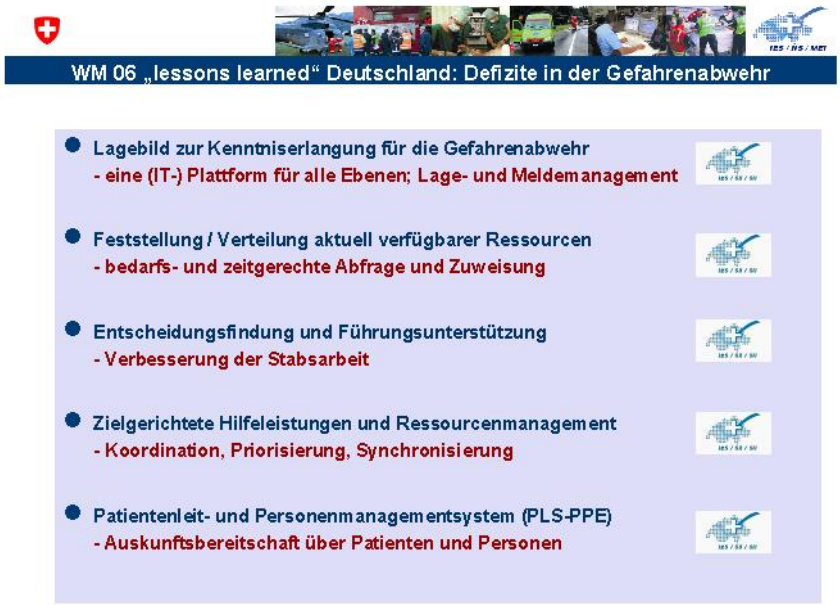
Nationaler ABC-Schutz Schweiz

Die Schweiz ist im Falle eines A(BC)-Ereignisses auf Einzelfälle gut, aber im Hinblick auf die Bewältigung eines möglichen Massenanfalls von Patienten, nur ungenügend vorbereitet. Diese Erkenntnisse wurden in einem speziellen Projekt des Bundes unter der Führung der Eidgenössischen Kommission für ABC-Schutz gewonnen. Als Folge davon hat der Bundesrat den grossen Handlungsbedarf für die Partner des Bevölkerungsschutzes erkannt und die Umsetzung von insgesamt 16 Massnahmen in enger Zusammenarbeit zwischen Bund und Kantonen beschlossen. Verschiedene dieser Massnahmen (z. B. Führungsunterstützung durch den Bund; Nationale Melde- und Alarmierungsstelle; Kommunikationsinfrastruktur und

Kommunikation) weisen auf die angestrebten und erreichbaren Ziele hin, welche mit dem IES schon in naher Zukunft unterstützt und optimiert werden können.

Ausblick

Gerade im Hinblick auf die bevorstehende Fussball-Europameisterschaft UEFA EURO 08 konnte in allen Belangen der ABC-Vorbereitungen und bezüglich der erforderlichen Information und Kommunikation auch auf die «lessons learned» aus der Fussball-Weltmeisterschaft 2006 in Deutschland abgestützt werden.



Die dabei in allen Belangen höchst erfreuliche länderübergreifende Zusammenarbeit sowie der unkomplizierte Erfahrungs- und Wissensaustausch in ABC-, aber auch in Kommunikationsbelangen hat schlussendlich mit dazu beigetragen, dass das IT-System IES den heutigen hohen Standard erreicht und sich schon im operationellen Einsatz bewiesen hat. In der Schweiz laufen derzeit die Einführungsarbeiten auf Hochtouren und auch das Fürstentum Liechtenstein wird noch in diesem Jahr über das IES auf der Schweizer IT-Plattform, vollumfänglich und mit den Schweizer KSD-Partnern vernetzt, verfügen können. Auch deshalb ist der Autor 100-prozentig davon überzeugt, dass das IES nicht nur an der kommenden UEFA EURO 08 eine grosse Aufmerksamkeit – insbesondere auch aus dem Ausland – auf sich ziehen und seinen Nutzen in allen Belangen der Vorbereitung und des Einsatzes beweisen wird. Für die Zukunft ist der Autor als Projektleiter IES entsprechend optimistisch, denn es zeigte sich ja auch beim Hurrikan Katrina, dass das Internet für Informationen, Kontakte und Datenaustausch unentbehrlich geworden ist. IES schafft ein IT-Netzwerk für alle Partner im Bevölkerungsschutz (Polizei, Feuerwehr, Gesundheitswesen, Zivilschutz, Technische Betriebe) sowie für die Armee, um über alle Führungsebenen der involvierten zivilen und militärischen Einsatzkräfte Informationen zur aktuellen Schadenslage in Form von Echtzeitdaten auszutauschen.

Weiterführende Informationen

- Informationsschrift KSD 1/07 «Informations- und Einsatz-System (IES-KSD)»
- Influenza-Pandemieplan Schweiz 2006
- Hospitalisationskonzept UEFA EURO 08 Schweiz
- Elektronisches Patientenleit- und Personenmanagementsystem (PLS-PPE), Info-Schrift KSD 1/06
- Verordnung über den Koordinierten Sanitätsdienst (VKSD)
- Konzept 96 über den Koordinierten Sanitätsdienst (KSD)
- Dokumente sind verfügbar unter: http://www.ksd-ssc.ch.

UMSETZUNG DER IODBLOCKADE DER SCHILDDRÜSE BEI KERNTECHNISCHEN UNFÄLLEN – KONZEPT FÜR DIE VERTEILUNG VON KALIUMIODIDTABLETTEN IM EREIGNISFALL AUS DEN ZENTRALEN LAGERN

IODINE PROPHYLAXIS FOLLOWING NUCLEAR ACCIDENTS – A CONCEPT HOW TO DISTRIBUTE POTASSIUM-IODIDE TABLETS OUT OF THE CENTRAL STOCKS IN THE EVENT OF AN ACCIDENT

Uta Portius

Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit, Deutschland

Zusammenfassung

Auf Basis der Empfehlung der Strahlenschutzkommission (SSK) „Iodblockade der Schilddrüse bei kerntechnischen Unfällen“ (1996) und der Stellungnahmen von 1997 und 2001 zum Thema „Iodblockade“, in denen die SSK u.a. die international anerkannten Empfehlungen der Weltgesundheitsorganisation (WHO) von 1989 übernommen hat, wurden Planungen zur Neubeschaffung und Verteilung von Kaliumiodidtabletten (Iodtabletten) zum Schutz der Bevölkerung aufgenommen. Wichtigste Neuerungen waren die Senkung der Eingreifrichtwerte auf 250 mSv für Erwachsene und auf 50 mSv für Kinder/Jugendliche bis unter 18 Jahren und Schwangere, die Beschränkung der Iodblockade auf Personen bis 45 Jahre und die Änderung der zu verabreichenden Ioddosis.

Aufgrund der Senkung der Eingreifrichtwerte wurde der bisherige Planungsradius für die Verteilung von Iodtabletten von 25 km auf 100 km erweitert und das empfohlene Verteilungs- bzw. Bevorratungsmodell übernommen.

Die Neubeschaffung wurde 2004 abgeschlossen. Für den besonderen Planungsbereich bis 25 km wurden die benötigten Kontingente den Ländern übereignet. Sie werden dort für alle Personen bis 45 Jahre vorverteilt und/oder bevölkerungsnah zwischengelagert.

Für den Entfernungsbereich 25-100 km werden die Tabletten für Kinder/Jugendliche bis unter 18 Jahren und Schwangere in nunmehr 8 zentralen Lagern vorgehalten. Für die ereignisabhängige Verteilung aus diesen Lagern wurde durch eine Bund-Länder-Arbeitsgruppe ein Konzept erarbeitet. Es beschreibt eine Möglichkeit, die Verteilung der Iodtabletten im Entfernungsbereich 25 – 100 km bundesweit einheitlich zu organisieren und durchzuführen.

Summary

With its recommendation “Iodblockade der Schilddrüse bei kerntechnischen Unfällen” (1996) and its reports of 1997 and 2001 the German Commission on radiation protection (SSK) followed the recommendations of the World Health Organisation (WHO) “Guideline for iodine prophylaxis following nuclear accidents” of 1989. The intervention levels were lowered (50 mSv for children/adolescents (up to the age of 18 years) and pregnant women, 250 mSv for adults), the iodine prophylaxis was restricted to persons up to the age of 45 years and the recommended dosage of stable iodine was changed.

Due to the lowered reference levels the radius of 25 km around a nuclear power plant (NPP) that had been the planning radius for the distribution of iodine tablets so far was extended to 100 km.

Based on these recommendations the German authorities began to set up new strategies for the provision and distribution of potassium-iodide tablets (iodine tablets).
Since 2004 within the radius of 25 km the iodine tablets are predistributed to households and/or stored at several points in the municipality for persons up to the age of 45 years.
For the new planning radius of 25-100 km iodine tablets are stored in 8 central stocks in Germany for children/adolescents (up to the age of 18 years) and pregnant women. A working group has developed a distribution strategy for the distribution out of these central stocks in the event of an accident. It describes a possibility to organise the distribution of iodine tablets within the radius of 25-100 km in a standardised way.

Schlüsselwörter *Iodblockade, Iodprophylaxe, Iodtabletten,*
Keywords *iodine prophylaxis, iodine tablets*

1. Allgemeines

Die „Iodblockade“ ist eine der unmittelbaren kurzfristigen Katastrophenschutzmaßnahmen, die nach einem kerntechnischen Unfall mit Freisetzung von radioaktivem Iod in Erwägung gezogen werden muss.
Durch die rechtzeitige Einnahme von nicht radioaktivem Iod kann die konzentrierte Speicherung von radioaktivem Iod in der Schilddrüse verhindert werden (Iodblockade). Die Wirkung des radioaktiven Iods auf den menschlichen Organismus wird dadurch erheblich verringert. Das nicht radioaktive Iod steht z.B. als Kaliumiodid in Tablettenform zur Verfügung.

2. Historie

1975 wurde in den ersten „Rahmenempfehlungen für den Katastrophenschutz in der Umgebung kerntechnischer Anlagen“ (Rahmenempfehlungen) [1] zum ersten Mal ein Abschnitt „Ausgabe von Iodtabletten“ formuliert. Die Länder haben daraufhin im 10km-Umkreis um die Kernkraftwerke Iodtabletten dezentral eingelagert.

Basierend auf den Beobachtungen und Erfahrungen aus dem Kernkraftwerksunfall in Tschernobyl hat die WHO 1989 die „Guideline for Iodine Prophylaxis following nuclear accidents“ [2] formuliert. Hierin wurden die neuen Erkenntnisse über die Schädigung der Schilddrüse durch radioaktives Iod wiedergegeben und Empfehlungen für die „Iodblockade“ ausgesprochen.
Die Strahlenschutzkommission hat die Empfehlungen der WHO in überwiegenden Teilen übernommen und für Deutschland 1996 die Empfehlung „Iodblockade der Schilddrüse bei kerntechnischen Unfällen“ verabschiedet [3].
Die wichtigsten Neuerungen waren die Änderung der zu verabreichenden Ioddosis bei nur einmaliger Einnahme, die Beschränkung der „Iodblockade“ auf Personen bis zum 45. Lebensjahr und die Senkung der Eingreifrichtwerte für die Maßnahme „Iodblockade“.
Der empfohlene Eingreifrichtwert für Kinder/Jugendliche bis 12 Jahre sowie Schwangere wurde auf 50 mSv festgelegt, der für Personen über dem 12. Lebensjahr bis 45 Jahre liegt bei 250 mSv.
Im Jahre 2001 hat die SSK neueren Erkenntnissen Rechnung getragen und den Eingreifrichtwert von 50 mSv für Jugendliche bis unter 18 Jahren empfohlen [4].

Die Senkung der Eingreifrichtwerte führte zu einer erheblichen Erweiterung des möglicherweise betroffenen Gebietes für die Maßnahme „Iodblockade“ über den besonderen Planungsradius von 25 km hinaus bis zu einem Entfernungsbereich von ca. 100 km.

Die SSK befasste sich auch mit der praktischen Umsetzung und empfahl ein Bevorratungskonzept [5]. Für den besonderen Planungsbereich bis 25 km sollen Iodtabletten für alle Personen bis 45 Jahre entweder vorverteilt oder dezentral wie bisher auch vorgehalten werden. Für den Umkreis von 25-100 km um die kerntechnische Anlage sollen die Tabletten für Kinder/Jugendliche bis unter 18 Jahren und Schwangere zentral an einigen Orten in Deutschland vorgehalten werden.

Basierend auf den Empfehlungen der SSK wurden behördlicherseits bei Bund und Ländern Planungen zur Neubeschaffung und Verteilung von Iodtabletten aufgenommen.
In Verbindung mit dem Atomkonsens im Jahr 2000 haben sich die kernkraftwerksbetreibenden Energieversorgungsunternehmen bereit erklärt, die Kosten für die gesamte Ersatz- bzw. Neubeschaffung zu übernehmen. Durchgeführt wurde die Beschaffung durch die Kerntechnische Hilfsdienst GmbH (KHG) mit der fachlichen Begleitung bzw. der Koordinierung durch das Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit (BMU) und das Bundesamt für Strahlenschutz (BfS).

Während und seit der Beschaffungszeit gab bzw. gibt es eine enge Bund-/Länderzusammenarbeit. Dabei wurde beschlossen, ein für alle Länder umsetzbares Konzept für die ereignisabhängige Verteilung zu erarbeiten. Mit der Erstellung wurde eine Arbeitsgruppe aus Vertretern des BMU, des BfS, der Bundesanstalt Technisches Hilfswerk (THW) sowie aus Vertretern der Innenressorts aus Bayern und Niedersachsen beauftragt.

Das Konzept beschreibt eine Möglichkeit, die Verteilung der Iodtabletten im Entfernungsbereich 25-100 km bundesweit einheitlich zu organisieren und durchzuführen. Es bietet zugleich aber auch Gestaltungsmöglichkeiten für die länderspezifische Umsetzung [6].

3. Planungsgrundlagen

Abbildung 1 zeigt die Bundesrepublik Deutschland mit den bestehenden Kernkraftwerksstandorten, jeweils dem besonderen 25 km-Planungsradius und dem „neuen“ 25-100 km-Radius, für den das im Folgenden erläuterte Konzept zur Verteilung der Iodtabletten erarbeitet wurde. Dargestellt sind ferner die zentralen Lager.

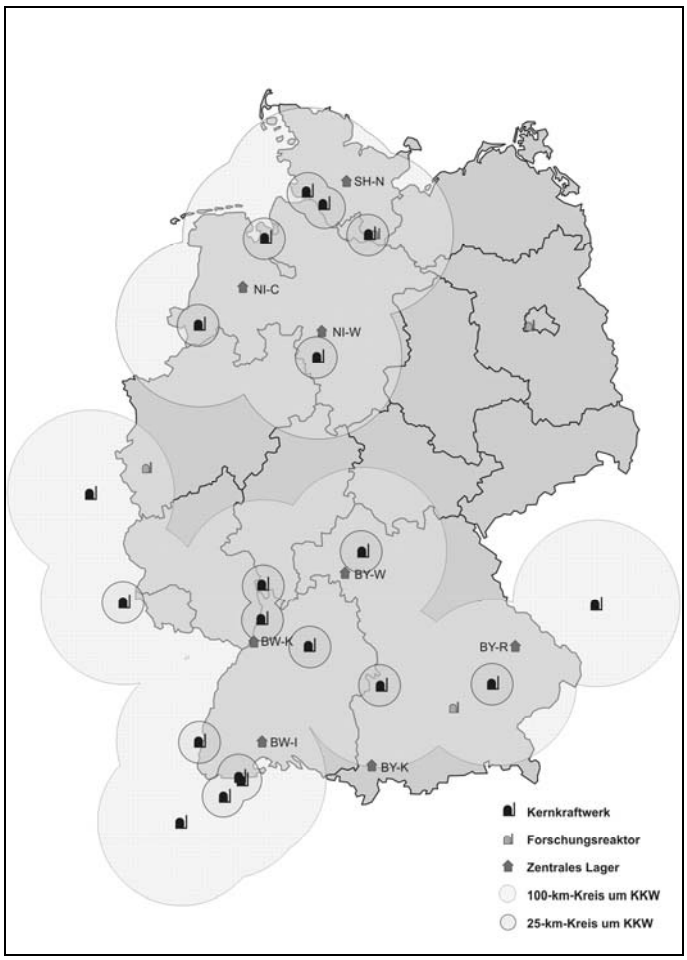


Abb. 1: Planungsradien für die Verteilung von Iodtabletten in der Bundesrepublik Deutschland

4. Prinzip der Verteilung

Im Ereignisfall bilden die Bestimmung des gefährdeten Gebietes und die Ermittlung der benötigten Iodtabletten die entscheidenden Basisinformationen. Ausbreitungsrechnungen haben ergeben, dass die Größe des gefährdeten Gebietes und die benötigten Mengen an Iodtabletten sehr stark variieren können.
In der Planung werden die 30° Sektoren des besonderen Planungsbereiches bis zu einem Radius von 100 km erweitert (erweiterter Sektor).
In Hinblick auf die zur Verfügung stehende Zeit bei weit reichenden Ausbreitungen und die möglicherweise hohen Bevölkerungszahlen in den prognostizierten Gebieten wird eine Unterteilung des gesamten Kreisringes von 25-100 km bei ca. 60 km vorgesehen. Die 60 km-Zone und die 100 km-Zone werden jeweils mit separaten Transporten aus den zentralen Lagern (ZL) versorgt, d.h. pro erweitertem Sektor werden in der 60 km und in der 100 km Zone in der Regel ein so genannter Hauptanlieferungspunkt (HAP) festgelegt. An den Grenzen der Sektoren liegende Städte sollten bei der Versorgung mit einbezogen werden und kleine, in den Sektor hereinragende Gebiete anderer Bundesländer sind ebenfalls zu berücksichtigen.

Für den Weg von einem ZL zu einem HAP ist der Transport per Hubschrauber oder auf der Straße denkbar (s. Abb. 2). Die Wahl des Transportmittels ist unter Berücksichtigung der jeweiligen örtlichen Gegebenheiten zu treffen. Der Einsatz von Hubschraubern unterliegt gene-

rell Einschränkungen hinsichtlich Verfügbarkeit, Wettereinflüssen und Sichtflugbedingungen. Der Transportweg auf der Straße muss daher als Planungsgrundlage dienen.

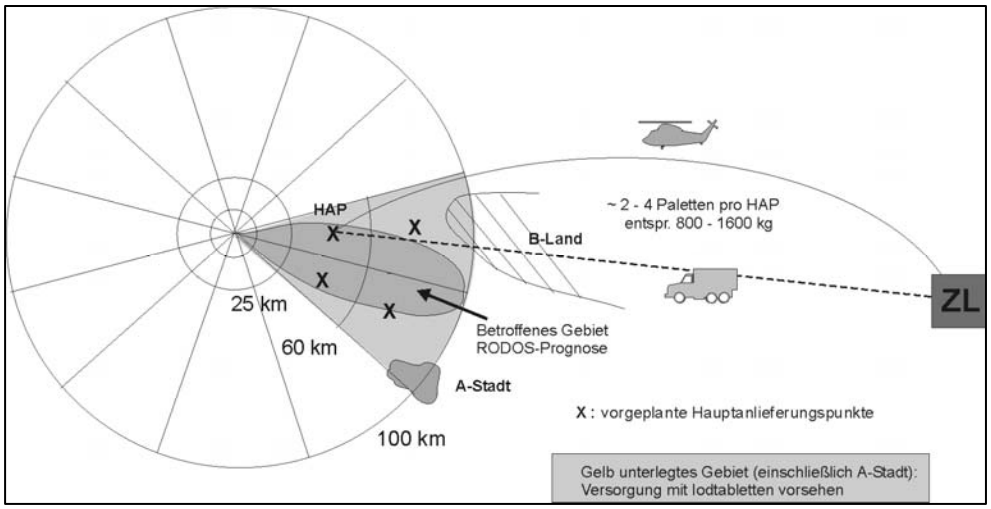


Abb. 2: Erster Verteilschritt

Der Transport erfolgt in mehreren Teilschritten, um die Transportzeiten zu minimieren und den Wechsel zwischen überregionalen und regionalen Zuständigkeiten für die Koordinierung zu erleichtern. Der Transport vom ZL zum HAP wird vom BfS koordiniert. Am HAP wird die Koordination an die Länder übergeben. Der Transport erfolgt weiter über die so genannten lokalen Anlieferungspunkte (LAP) zu den Ausgabestellen (ASt), s. Abb. 3.

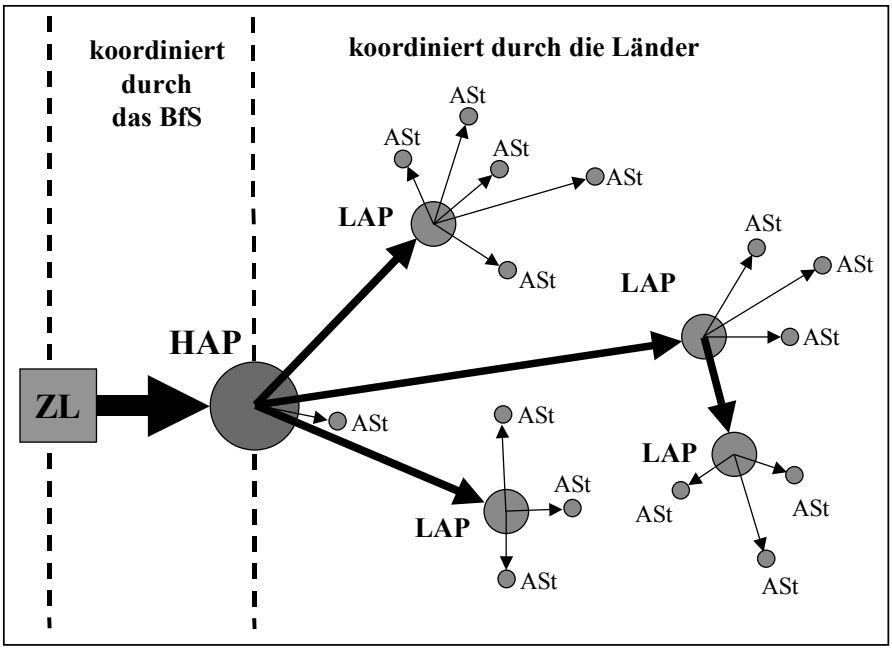


Abb. 3: Prinzip der Verteilorganisation

Im Konzept werden grundsätzliche Anforderungen an die Einrichtung und die Ausstattung der lokalen Anlieferungspunkte und Ausgabestellen gestellt, z.B. infrastruktureller und orga-

nisatorischer Art. Die Aufgabe der Länder ist es, vorab die ASt, die LAP und die HAP festzulegen. Darüber hinaus muss das Mengengerüst erstellt werden. Die benötigte Menge an Iodtabletten ergibt sich aus der zur Zielgruppe gehörenden Personenzahl im Einzugsgebiet der jeweiligen ASt. Bei der Berechnung der Menge sind Zuschläge z.B. für Pendler, Touristen und die „Unschärfe“ des Einzugsbereiches zu berücksichtigen. Im Ereignisfall kann dann die benötigte Menge an Tabletten beim BfS angefordert werden.

5. Zeitlicher Ablauf

Die Zeitspanne zwischen der Entscheidung zur Durchführung der „Iodblockade“ und der Verfügbarkeit der Iodtabletten bei der Zielgruppe soll höchstens 12 Stunden betragen.
Abbildung 4 gibt den geplanten zeitlichen Ablauf wieder. Dargestellt sind die reinen Transport- und Ladezeiten.

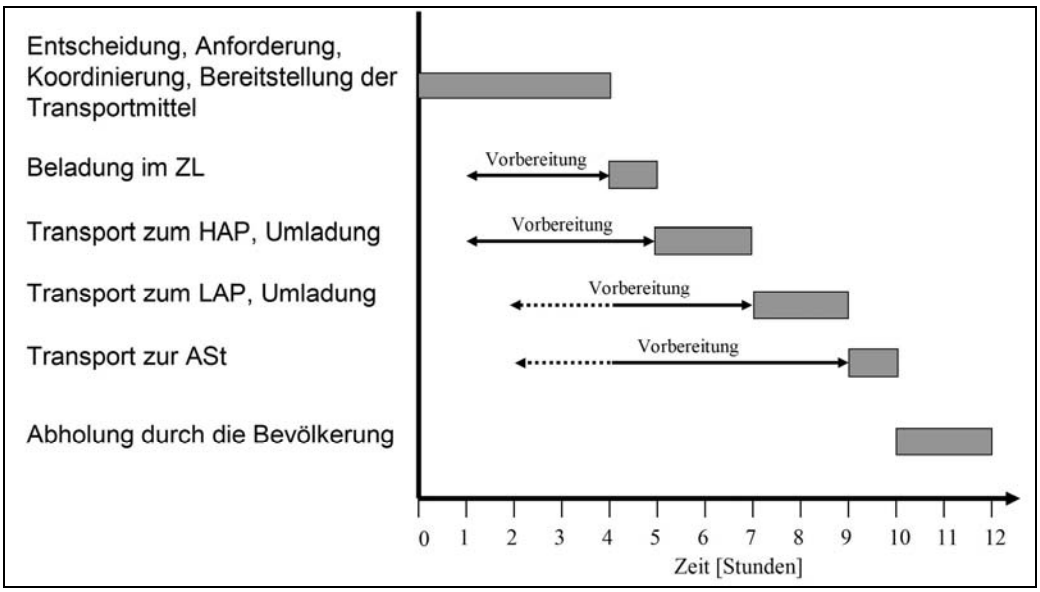


Abb. 4: Abschätzung des Zeitbedarfes

Mit den Vorbereitungen wird begonnen, sobald die Entscheidung zur „Iodblockade“ getroffen wurde.
Die ersten vier Stunden beinhalten die Information über die Entscheidung, die „Iodblockade“ durchzuführen, den Lageabgleich zwischen allen Beteiligten, die Anforderung der Länder an benötigten Mengen an Iodtabletten und die Koordinierung des BfS hinsichtlich der Bereitstellung der Transportmittel, der Abholung der Tabletten aus dem zentralen Lager und des Transports vom zentralen Lager zum Hauptanlieferungspunkt.
Die folgenden sechs Stunden stehen jeweils für die Umladungen und den Transport zu den einzelnen Stationen bis zu den Ausgabestellen zur Verfügung.
Nach Ablauf von zehn Stunden soll so eine Abholung durch die Bevölkerung an den Ausgabestellen möglich sein.

6. Umsetzung und Schlussfolgerung

In der Umsetzung sind einige Schritte erfolgt. Dazu gehören die Bestimmung der Hauptanlieferungspunkte durch die Länder und die Übermittlung dieser Orte an das BfS.

Da im Geschäftsbereich des BMU keine eigenen Transportkapazitäten bestehen, ist nun weiterhin vorrangig zu klären, welche operativen Kräfte für den Transport vom ZL zum HAP zur Verfügung stehen. Untersucht wurden bisher die Möglichkeiten mit THW, Bundespolizei und Bundeswehr.
Die Umsetzung der Maßnahme „Iodblockade“ bedarf einer verstärkten Bund-/Länder-Zusammenarbeit sowie einer engen Verzahnung der vorhandenen Hilfspotentiale des Bundes und der Länder. Daher erscheint derzeit als optimale Option eine Übernahme der Gesamtkoordination durch das Bundesamt für Bevölkerungsschutz und Katastrophenhilfe (BBK). Hier sind mit positiver Tendenz Gespräche zwischen BMI/BBK und BMU/BfS geführt worden.

7. Literatur

[1] Rahmenempfehlungen für den Katastrophenschutz in der Umgebung kerntechnischer Anlagen, GMBl. 31 vom 15.12.1977, S. 683

[2] Weltgesundheitsorganisation (WHO), Guidelines for Iodine Prophylaxis following Nuclear Accidents. Published on behalf of the WHO Regional Office for Europe by FADL, Copenhagen, 1989

[3] SSK-Empfehlung „Iodblockade der Schilddrüse bei kerntechnischen Unfällen“ (verabschiedet 136. Sitzung am 22./23. Februar 1996, redaktionell revidierte Fassung vom 13. März 1997, Bundesanzeiger vom 18.03.1997)

[4] SSK-Stellungnahme „Fachgespräch zur Iodblockade der Schilddrüse bei kerntechnischen Unfällen“ (verabschiedet 175. Sitzung am 13./14. Dezember 2001)

[5] SSK-Stellungnahme „Durchführung der Iodblockade der Schilddrüse bei kerntechnischen Unfällen“ (verabschiedet 149. Sitzung am 17.11.1997)

[6] Konzept „Umsetzung der Iodblockade der Schilddrüse bei kerntechnischen Unfällen - Konzept für die Verteilung von Kaliumiodid-Tabletten im Ereignisfall aus den zentralen Lagern“ (Stand 12.05.2004, aktualisiert 06.2007) der Bund-Länder-Arbeitgruppe (Herbert Betzl/BY StMI, Jacqueline Bieringer/BfS, Rainer Lange/MI Niedersachsen, Birgit Päsler/THW, Uta Portius /BMU, Werner Voß/BMU)

DAS KONZEPT DER NOTFALLSTATIONEN

THE OBJECTIVE OF EMERGENCY CARE CENTRES

H. Miska

Klein-Winternheim, ehemals Ministerium des Innern und für Sport Rheinland-Pfalz, Mainz, Deutschland und Europäische Kommmission, GD Umwelt, Brüssel, Belgien

Zusammenfassung

Einrichtung und Betrieb von Notfallstationen rundet die frühen Schutzmaßnahmen zum anlagenexternen Katastrophenschutz in der Umgebung kerntechnischer Anlagen ab. Sofern die Alarmierung der zuständigen Katastrophenschutz-Behörden rechtzeitig erfolgte und deren Maßnahmen wie Verbleiben im Haus oder vorsorgliche Evakuierung vor Durchzug der radioaktiven Wolke wirksam waren, erübrigt sich der Betrieb der Notfallstationen. Gleichwohl kann die Warnung einige Betroffene nicht erreicht haben, sodass diese sich in der kritischen Zeit im Freien aufgehalten haben können und der Dekontamination bedürfen.

Summary

Preparation and operation of emergency care centres completes early protective actions in nuclear emergency response. When competent authorities have received the alarm in time and their measures like sheltering or precautionary evacuation before passage of the radioactive plume were effective, operation of emergency care centres is not warranted. However, the warning might not have reached some person such that those were in open air during the critical time and need decontamination.

Schlüsselwörter *Anlagenexterner Katastrophenschutz, Notfallstation, Dekontamination*
Keywords *Off-Site emergency preparedness, emergency care centre, decontamination*

1. Einleitung

Die Maßnahmen zum Notfallschutz außerhalb einer kerntechnischen Anlage gliedern sich in solche zum Katastrophenschutz, die frühzeitig und räumlich begrenzt notwendig werden sowie solche zur Strahlenschutzvorsorge, die räumlich und zeitlich weitergehend sind [1]. Für den Katastrophenschutz in der Umgebung kerntechnischen Anlagen sind die Länder zuständig. Eine gewisse Einheitlichkeit in der Planung wird durch die Rahmenempfehlungen [2], erstellt von einer Arbeitsgruppe der Strahlenschutzkommission (SSK) mit Beteiligung der Länder und in den Ländergremien verabschiedet, erreicht; es verbleiben jedoch Unterschiede in Details der Umsetzung.

Die wichtigsten frühen Schutzmaßnahmen stellen demnach das Verbleiben im Haus, die Iodblockade der Schilddrüse sowie die Evakuierung dar. Ergänzende Maßnahmen wie zum Beispiel ein Verzehrverbot für im Freien befindliche Lebens- und Futtermittel werden von der Katastrophenschutz-Leitung angeordnet. Wenn sich Teile der Bevölkerung im betroffenen Gebiet während des Durchzugs der radioaktiven Wolke im Freien aufgehalten haben, wird zudem die Einrichtung von Notfallstationen notwendig.

Schon in der 1. Auflage der Veröffentlichungen der SSK Band 4 von 1986 [3a] wurde das Konzept der Notfallstation beschrieben; in den folgenden Auflagen wurde das Konzept fortgeschrieben und angepasst [3b, 3c].

Im Folgenden wird die Entwicklung des ursprünglichen Konzepts vorgestellt, dann seine Umsetzung in Planung und Erprobung an Hand des Beispiels Rheinland-Pfalz erläutert und schließlich die Fortentwicklung diskutiert.

2. Rückblick auf die Entwicklung

Schon 1985 hatte die SSK bei der Erstellung des Bandes 4 ihrer Veröffentlichungen die Aufgaben in einer Notfallstation klar definiert:

- Befragung und Registrierung der Betroffenen einschließlich der Dosisabschätzung
- Kontaminationsmessung und Dekontamination falls erforderlich
- Ärztliche Beurteilung und Entscheidung über weitere Maßnahmen.

Tabelle 1 der Veröffentlichung enthielt Richtwerte, nach der vier Kontaminationsstufen vorgesehen waren, die sich jeweils um den Faktor 10 in der Kontamination unterschieden; bei einer Hautkontamination von unter 0,4 KBq/cm^2 war keine Dekontamination vorgesehen. Die empfohlenen Maßnahmen stützten sich auf die in 24 h zu erwartende β-Hautdosis sowie die γ-Ganzkörperexposition.

Gemäß den Angaben in den Rahmenempfehlungen [2] und denen der SSK hat das Land Rheinland-Pfalz schon 1985 Übungen zu Einrichtung und Betrieb von Notfallstationen durchgeführt. Mit weiteren Übungen wurde das Konzept verfeinert und Messvorschriften gemäß Tabelle 1 auf Grund neuer Berechnungen [4] zum typischen Radionuklidgemisch von Spaltprodukten weiter entwickelt. Auf Vorschlag von Rheinland-Pfalz hat die SSK danach die Tabelle dahingehend geändert, dass unterhalb einer Kontamination von 0,04 KBq/cm^2 keine Maßnahmen notwendig sind; insgesamt wurden die Maßnahmen zu einer um den Faktor 10 niedrigeren Kontamination hin verschoben. Damit liegt der Eingreifrichtwert für Dekontamination nach einem kerntechnischen Unfall noch einen Faktor vier höher als der Richtwert im operationellen Strahlenschutz von 0,01 KBq/cm^2, bei dessen Unterschreitung weitere Dekontaminationsmaßnahmen unterbleiben können [5].

Dadurch ergab sich die Notwendigkeit, neben Dosisleistungsmessgeräten, die zur Kontaminations-Vorprüfung verwendet werden, nun auch Kontaminationsmessgeräte einzusetzen, um zwischen keiner (< 0,04 KBq/cm^2) und leichter (0,04 – 0,4 KBq/cm^2) Kontamination unterscheiden zu können. Dabei ist zu beachten, dass die Zählrate der üblichen Kontaminationsmessgeräte bei einer Oberflächenkontamination von 0,04 KBq/cm^2 mit β/γ-Strahlern, wie sie Spaltprodukte darstellen, etwa 1.500 Impulse pro Sekunde (Ips) beträgt. Folglich sieht die Messvorschrift zwingend vor, dass die akustische Anzeige der Messgeräte auszuschalten ist, um die Betroffenen nicht zu beunruhigen und eine Forderung nach Dekontamination unterhalb des Schwellwertes zu vermeiden.

Die Fortschreibung von Tabelle 1 stellte die wesentliche Änderung des Bandes 4 in der 2. Auflage [3b] von 1995 dar. Zusätzlich wurden Erfahrungen aus dem Reaktorunfall von Tschernobyl und neuere Erkenntnisse der Stammzellentransplantation zur Behandlung hämatologischer Erkrankungen berücksichtigt; letztere spielen jedoch für die Maßnahmen in einer

Notfallstation keine Rolle. Zudem flossen Erfahrungen aus Übungen in die neue Fassung des Erhebungsbogens zur Registrierung Betroffener in der Notfallstation ein.

Bei der Überarbeitung des Bandes zur Herausgabe der 3. Auflage 2007 hat man auf die Beschreibung individual-medizinischer Maßnahmen, die in einer Notfallstation nicht leistbar sind, verzichtet, da diese in der 2. Auflage des Bandes 32 der SSK „Der Strahlenunfall“ [6] ausführlich behandelt werden. Aktuelle wissenschaftlicher Erkenntnisse und die aktualisierte Empfehlung zur Iodblockade der Schilddrüse flossen in die Überarbeitung ein. Zudem wurden der Begriff der Strahlenschutzärzte und deren notwendige Fachkompetenz präzisiert. Eine wichtige Änderung betrifft die Korrektur der Zahlenwerte zur Abschätzung der Schilddrüsen-Folgedosis aus der an der Schilddrüse gemessenen Dosisleistung, wie weiter unten beschrieben.

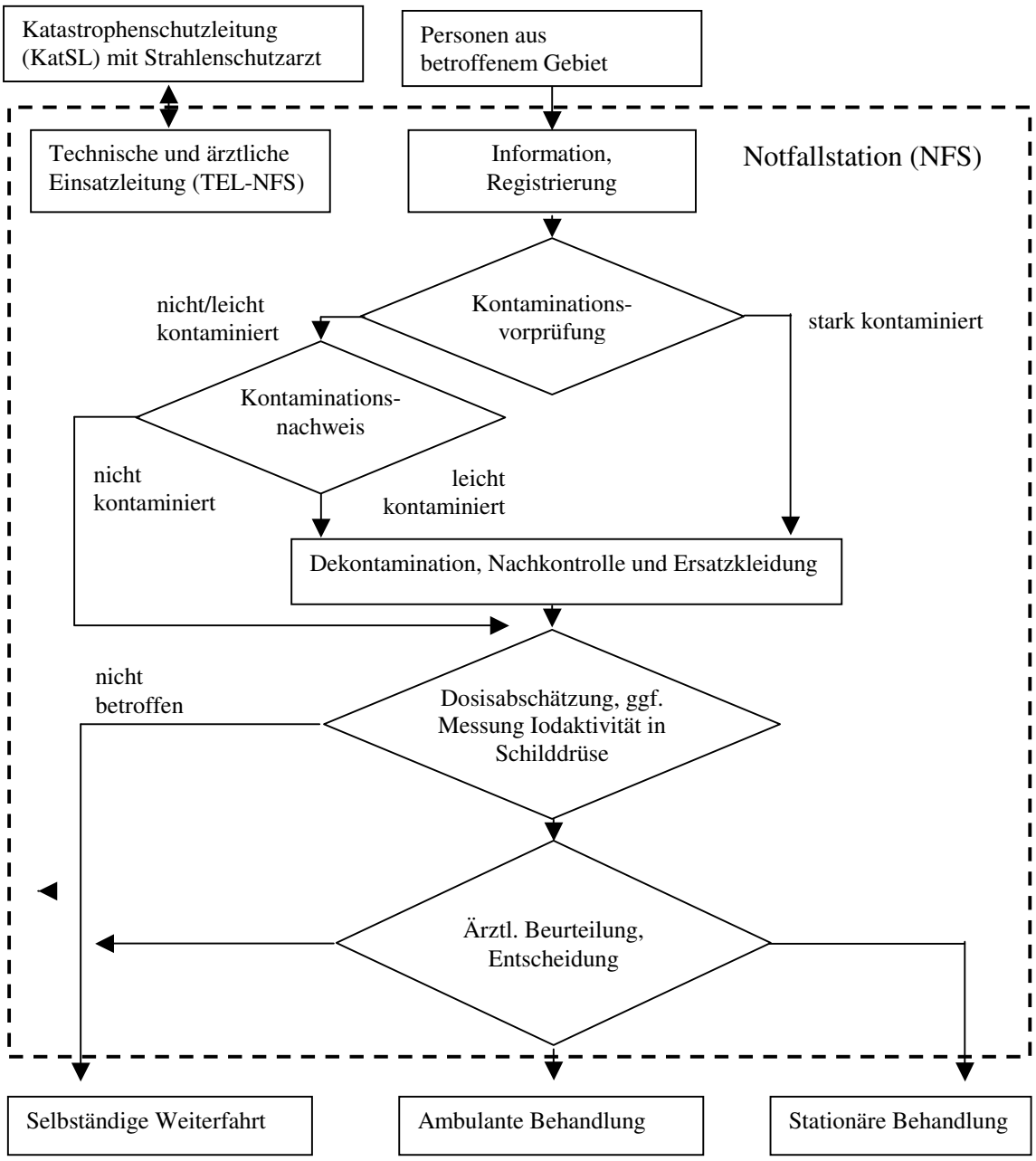


Abb. 1: Ablaufschema in der Notfallstation nach SSK-Bd. 4 [3c]

3. Umsetzung der Empfehlungen in die Planung in Rheinland-Pfalz

In Rheinland-Pfalz ist das Land gemäß Gesetz [7] für den Katastrophenschutz in der Umgebung kerntechnischer Anlagen zuständig, der Vollzug der Maßnahmen obliegt jedoch den Stadt- und Kreisverwaltungen. Da diesen meist das notwendige fachkundige Personal fehlt und um einheitliche Maßnahmen zu gewährleisten, hat das Ministerium des Innern und für Sport (Muster-) Einsatzpläne und Rahmenempfehlungen aufgestellt, die von den unteren Behörden dann detailliert auszufüllen sind.

Aufbauend auf Übungserfahrungen hat das Innenministerium die Rahmenempfehlungen Notfallstation [8] entworfen und ständig weiterentwickelt. Dabei sind die Maßnahmen auf 13 Einzelstationen verteilt, die von den Betroffenen der Reihe nach durchlaufen werden; das Ablaufschema findet sich in Abb. 2. Nach Empfang und erster Information auf Stat. 1 wird auf Stat. 2 die Kontaminations-Vorprüfung mit Dosisleistungsmessgeräten durchgeführt. Auf dem Erhebungsbogen, in den die Betroffenen zuvor ihre Personalien eingetragen und Auskunft über ihren Aufenthalt nach dem Kraftwerksunfall gegeben haben, wird die Kontaminationsstufe gemäß Tabelle 1 angekreuzt.

Tab. 1: Richtwerte für abgestufte Maßnahmen bei Kontamination der Haut nach [3c]

Stufe:	I	II	III	IV	V
Kontamination (KBq/cm^2)	< 0,04	0,04 - 0,4	0,4 - 4	4 - 40	> 40
Gammadosisleistung in 1 *m* Abstand[1)] ($\mu Sv/h$)	≤ 0,1	0,1 - 0,4	0,4 - 4	4 - 40	> 40
Zählrate[2)] von Kontaminationsmessgeräten in Ips, nah (nicht abgedeckt)	≤ 1.500	1.500 - 15.000 *)	15.000 - 150.000 *)	*)	*)
Dekontaminationsmaßnahmen:	nicht erforderlich	zu erwägen	empfohlen	erforderlich	vorrangig erforderlich
Beta-Hautdosis (*mSv* in 24 *h*)	< 1	1 - 10	10 - 100	100 - 1.000	> 1.000
Gammadosis[3)] für Knochenmark (*mSv* in 24 *h*)	< 0,02	0,02 - 0,2	0,2 - 2	2 - 20	> 20

*) Messbereichsgrenze bei Contamat 2.000, bei Minicont 10.000 und bei AD-K 20.000 Imp. pro Sekunde (Ips)

1) Werte basierend auf Γ_H = 140 (fSv/h)/(Bq/m^2) nach Miska [4]

2) Gilt grob für Contamat (mit Butanzählrohr), Minicont und Automess AD-K

3) berechnet mit Dosisleistungsfaktoren nach Henrichs et al, GSF-Bericht 7/85

Nach Stat. 2 teilt sich der Strom auf in stark Kontaminierte (Zweig b), die bevorzugt behandelt werden und als ersten Schritt der Dekontamination möglichst bald ihre Oberbekleidung abgeben. Leicht oder nicht Kontaminierte (Zweig a) werden auf Stat. 4a mit Kontaminationsnachweisgeräten genauer ausgemessen, nicht Kontaminierte ausgesondert und weiter zur Stat. 9 zur Abschätzung der Strahlenexposition geleitet. Leicht Kontaminierte geben auf Stat. 5a ebenfalls ihre Oberbekleidung ab. Diese wird, ebenso wie die der stark Kontaminierten, in Foliensäcken gesammelt und bis zur späteren Entscheidung über ihre Behandlung außerhalb der Notfallstation gelagert. Für Wertsachen, Ausweispapiere und den Erhebungsbogen erhalten die Betroffenen Folienbeutel zum Schutz der Gegenstände und Mitnahme durch die Notfallstation.

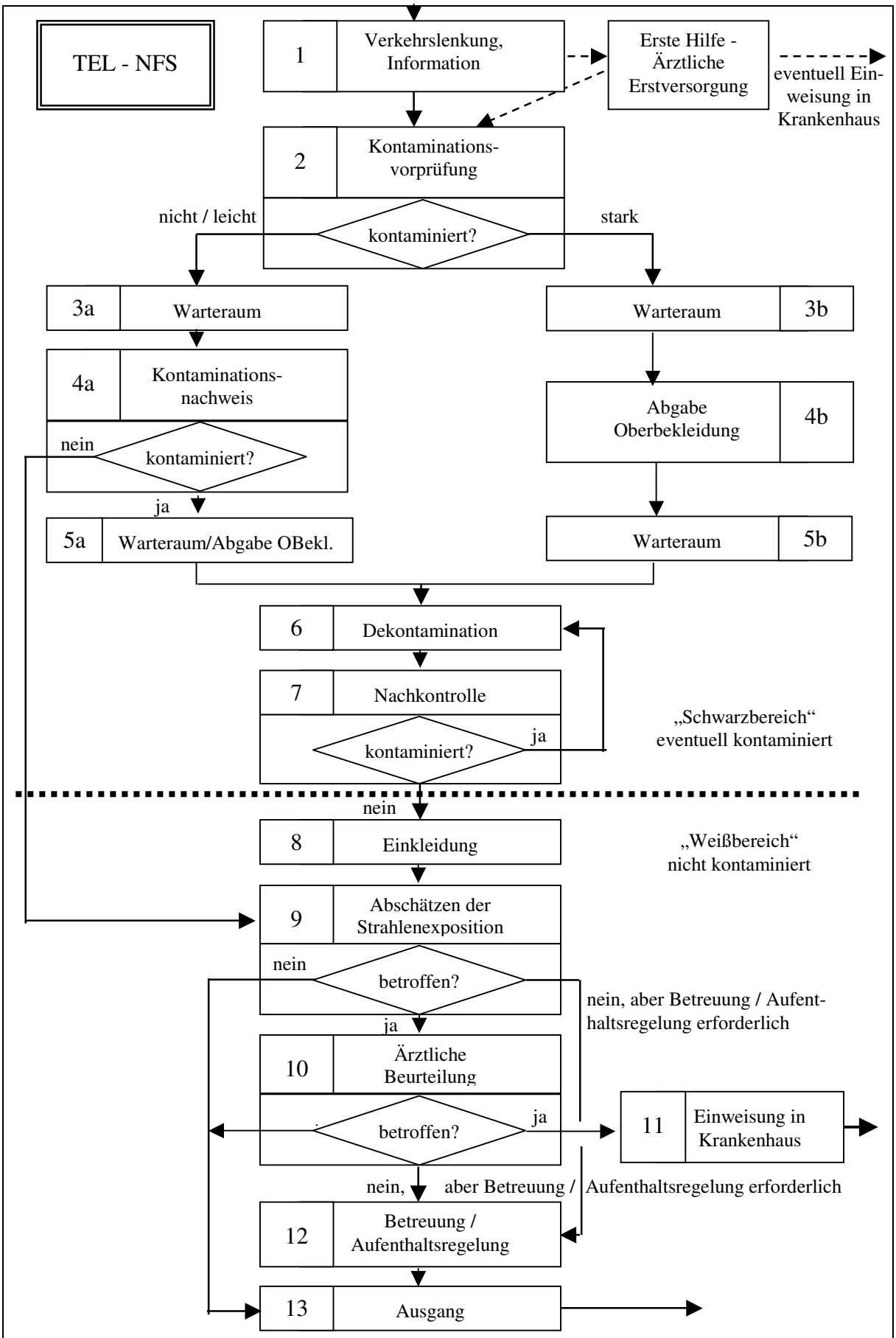


Abb. 2: Schema Notfallstation Rheinland-Pfalz

Bei der nassen Dekontamination auf Stat. 6 sollen zunächst nur die nicht von Bekleidung bedeckten Köperteile wie Hände, Gesicht und gegebenenfalls Haare gewaschen werden. Wenn dies nicht ausreicht, wird eine Ganzkörperdusche notwendig. Auf Stat. 7 erfolgt die Nachkontrolle; die Dekontamination gilt als erfolgreich, wenn die Kontamination um mindestens einen Faktor 10 reduziert wurde. Dies bedeutet, dass eine um zwei niedrigere Stufe oder aber Stufe I erreicht werden soll, anderenfalls wird (höchstens) eine weitere Ganzkörperdusche vorgesehen.

Auf Stat. 8 erhalten die Betroffenen Ersatzkleidung, die im Einsatzfall aus Großhandelslagern oder Lagern der Hilfsorganisationen zu requirieren ist. Die möglichen Beschaffungsmöglichkeiten sind schon in der Planungsphase zu eruieren. Die schwierigste Aufgabe haben die Helfer der Notfallstation auf Stat. 9 zu bewältigen, die Abschätzung der Strahlenexposition aus den Angaben zum Aufenthalt der Betroffenen und der von der Fachberatung Strahlenschutz erarbeiteten radiologischen Lage. Bisher hat die Fachberatung die Lage tabellarisch nach Abstand von der Anlage und nach Sektor und Zeit erstellt, sodass die Helfer mit Hilfe der Umgebungskarten und des zeitlichen Verlaufs der Dosisleistung, dominiert durch den Durchzug der radioaktiven Wolke, die Strahlenexposition abschätzen mussten. Dabei wurde bei Aufenthalt im Haus ein Schutzfaktor für externe Bestrahlung von zehn unterstellt. Diese Abschätzung forderte das Können der Helfer heraus und setzte gründliche Ausbildung voraus.

Viele Übungen dienten der Erprobung dieses Verfahrens, wozu eine radiologische Lage ausgearbeitet und die entsprechenden Tabellen vorbereitet wurden. Die Technische Einsatzleitung (TEL-NFS) erhielt diese Tabellen im Verlauf der Übung ausgehändigt. Für 50 bis 100 Betroffenen-Darsteller (Figuranten) wurden mit einem Serienbrief-Programm Nachweisblätter ausgedruckt, in denen fiktive Werte für die Messungen auf Stationen 2, 4a und 7 sowie die unterstellte Historie bezüglich Aufenthaltsort und –zeit der Betroffenen angeben waren [9]. Einige Nachweisblätter enthielten zusätzliche Angaben zu medizinischen Problemen oder z. B. zu Fragen der Familienzusammenführung. Diese Angaben wurden beim Durchlaufen der NFS sukzessive in den Erhebungsbogen übertragen und die Figuranten entsprechend behandelt. Schließlich erfolgte danach auch die Dosisabschätzung.

Inzwischen hat das Land ein Rechnerprogramm erstellen lassen, womit die Dosisermittlung stark vereinfacht wird [10]. Alle Orte in der Umgebung von Kernkraftwerken in Planungszonen in Rheinland-Pfalz sind darin erfasst, und die Fachberatung Strahlenschutz liefert für diese Orte die Dosis für die relevanten Zeitfenster. Dies erfordert zwar den Einsatz von Rechnern in der Notfallstation, erleichtert aber andererseits die Dosisabschätzung erheblich. In den Entwurf der neuen Rahmenempfehlungen Notfallstation [8] ist dieses Verfahren bereits übernommen.

Gemäß dem Vorschlag in SSK Bd. 4 wird auf Stat. 9 mit einem Dosisleistungsmessgerät eine Kontrollmessung an der Schilddrüse (SD) vorgesehen, wenn die abgeschätzte SD-Dosis größer als 100 mSv ist. Gegenüber den früheren Auflagen wurde bei der 3. Auflage des Bandes die Relation zwischen gemessener Dosisleistung und SD-Folgedosis korrigiert: die Dosisleistung von 1 µSv/h wird von einer Iodaktivität in der Schilddrüse verursacht, die zu einer Organ-Folgedosis von 65 mSv bei Erwachsenen und von 480 mSv bei Kindern führt. Den Eingreifrichtwerten für Erwachsene und Kinder von 250 und 50 mSv entsprechen folglich Dosisleistungen von etwa 4 µSv/h und 0,1 µSv/h. Für Erwachsene bleibt damit die Kontrollmessung praktikabel, für Kinder ist sie wegen des zu erwartenden erhöhten Untergrundes in der Notfallstation schwierig geworden und bedarf spezieller Messgeräte.

Auf Stat. 10 folgt eine ärztliche Beurteilung der Betroffenen; dabei wird flexibel gehandhabt, wer beim Arzt vorstellig werden soll; Dosisrichtwerte dazu werden lageabhängig festgelegt. Der Arzt entscheidet, ob eine Einweisung in ein Krankenhaus – zu organisieren über Stat. 11 -, eine spätere ambulante Betreuung oder aber keine weiteren medizinischen Maßnahmen vorzusehen sind. Die Stationen 12 und 13 dienen weiteren organisatorischen Maßnahmen wie Aufenthaltsregelung und Dokumentation: eine Kopie des Erhebungsbogens verbleibt in der NFS, die Betroffenen behalten das Original.

Zum Vollzug der Maßnahme stehen den Stadt- und Kreisverwaltungen die Rahmenempfehlungen Notfallstation zur Verfügung, die vorbereitete Tabellen mit benötigtem Personal und Sachmitteln enthalten; die Tabellen sind von den Aufgabenträgen entsprechend auszufüllen. Dies erleichtert die Aufstellung objektbezogener Einsatzpläne aus den Rahmenempfehlungen.

4. Erfahrung aus Übungen und Fortentwicklung des Konzepts

Die regelmäßig in Rheinland-Pfalz gestalteten Übungen dienen der Überprüfung vorgesehner Objekte wie Schulen oder Sportstätten zur Einrichtung einer Notfallstation sowie der objektbezogenen Planung, zur Ausbildung des Personals und schließlich der Fortentwicklung des Konzepts. Die Auswertung fast jeder Übung ergibt wertvolle Hinweise hierzu.

Die Rahmenempfehlungen Notfallstation stellen Mindestanforderungen dar, die von den zuständigen Verwaltungen häufig übertroffen werden. So wird inzwischen meist neben der medizinischen auch die psychosoziale Betreuung einbezogen oder die Versorgung von Haustieren und die Behebung kleinerer Fahrzeugpannen organisiert. Zu einer vorbildlich gestalteten Übung im Herbst 2007 hat die Kreisverwaltung Germersheim, zusammen mit den freiwilligen Helfern, in der Notfallstation ein PC-Netzwerk installiert, mit dem einerseits der Weg der Betroffenen durch die Notfallstation aufgezeichnet und die Daten erfasst wurden, andererseits die TEL-NFS ständig einen Überblick über die Zahl der Betroffenen in den einzelnen Stationen hatte. Natürlich erhöhen solche zusätzlichen Maßnahmen auch den Personalbedarf einer Notfallstation, der normalerweise bei etwa 140 Helfern liegt, andererseits wird dadurch der Ablauf wesentlich verbessert, und die Betroffen erhalten erweiterte Hilfe.

Diese Übung hat zudem gezeigt, dass in 24 h, wie angedacht, über 1.000 Betroffene in einer Notfallstation behandelt werden können. In Wörth wurden 260 Figuranten in 2½ h betreut, also etwa 100 pro Stunde; eine Hochrechnung ergibt dann 2.400 Personen in 24 h.

Kritisch ist häufig die Mitwirkung von Ärzten zu sehen; zum Betrieb einer Notfallstation werden mindesten fünf Ärzte benötigt: einer arbeitet in der TEL-NFS, einer wird in der Erste-Hilfe-Station benötigt, während drei in Stat. 9 parallel die Betroffenen beurteilen sollten. Diese Ärzte müssen keine „Strahlenschutz-Fachärzte“ sein, doch sind sie ohne Grundkenntnisse im Strahlenschutz auf der Notfallstation wenig hilfreich. Häufig ist es nicht möglich, eine ausreichende Anzahl von Medizinern für die Mitwirkung in der Notfallstation zu gewinnen. Dieses Problem wird durch die im neuen SSK-Bd. 4 definierte „notwendige fachliche Kompetenz der Strahlenschutzärzte“ noch verschärft.

Weiterhin ist zu klären, wie eine Kontrollmessung an der Schilddrüse von Kindern in einer Notfallstation erfolgen kann; die Messung einer zusätzlichen Dosisleistung von 0,1 µSv/h ist mit den derzeit bei den Feuerwehren üblichen Messgeräten nicht möglich. Ein neues, handliches Messgerät mit NaI-Detektor scheint die Bestimmung zu ermöglichen, vor allem, da über

eine PC-Schnittstelle der Trend der Dosisleistung aufgezeichnet und so eine Erhöhung um 0,1 µSv/h darstellbar wird. Eine Praxiserprobung wurde begonnen.

Kein Konzept ist so gut, dass es nicht verbessert werden könnte. Dazu wird es in Rheinland-Pfalz noch eine Reihe von Übungen Notfallstation geben, doch sollten auch Erfahrungen aus anderen Ländern genutzt werden. Interessant ist dabei insbesondere, wie dort die Dosisabschätzung für die Betroffenen erfolgt.

Die Rahmenempfehlungen Notfallstation Rheinland-Pfalz sind organisch gewachsen, was auch in ihrer etwas unorganisierten Gliederung deutlich wird. Eine redaktionelle Überarbeitung und neue Gliederung, ohne wesentlich die Inhalte zu verändern, wird angeregt. Daraus könnte ein „Muster-Einsatzplan Notfallstation" entwickelt werden, der - mit wenigen länderspezifischen Anpassungen – überall in Deutschland anwendbar wäre.

5. Literaturverzeichnis

[1] H. Miska und A. Bühling: Radiologischer Notfallschutz in Deutschland, in: Vorkehrungen und Maßnahmen bei radiologischen Ereignissen, A. Bayer et al (Hrsg.), Fortschritte im Strahlenschutz FS-07-142-AKN (2007) 91

[2] Rahmenempfehlungen für den Katastrophenschutz in der Umgebung kerntechnischer Anlagen, GMBl 1999, Nr. 28/29, S. 538-569; derzeit in Überarbeitung

[3] Medizinische Maßnahmen bei Kernkraftwerksunfällen, Veröffentlichungen der Strahlenschutzkommission Bd. 4, a) 1. Auflage 1986, G. Fischer Verlag, b) 2. Auflage 1995, G. Fischer Verlag und c) 3. Auflage 2007, H. Hoffmann Fachverlag

[4] H. Miska: Organisation des Katastrophenschutzes am Beispiel der Planungen in Rheinland-Pfalz, in: Medizinische Maßnahmen bei Strahlenunfällen. Veröffentlichungen der Strahlenschutzkommission Bd. 27, 1994, G. Fischer Verlag S. 289

[5] Maßnahmen nach Kontamination der Haut mit radioaktiven Stoffen, Veröffentlichungen der Strahlenschutzkommission Bd. 18, 1992, G. Fischer Verlag

[6] Der Strahlenunfall, Veröffentlichungen der Strahlenschutzkommission Bd. 32, 2. Auflage 2007, H. Hoffmann Fachverlag

[7] Landesgesetz über den Brandschutz, die Allgemeine Hilfe und den Katastrophenschutz (Brand- und Katastrophenschutzgesetz - LBKG -) vom 2. November 1981 (GVBl. S. 247), zuletzt geändert durch Artikel 1 des Gesetzes vom 5. April 2005 (GVBl. S. 104), BS 213-50

[8] Rahmenempfehlungen zu Einrichtung und Betrieb von Notfallstationen, Hrsg. Ministerium des Innern und für Sport Rheinland-Pfalz, Fortschreibung vom November 1999, derzeit in Überarbeitung

[9] Horst Miska: Vor- und Nachbereitung von Übungen in der Umgebung kerntechnischer Anlagen, in: Stand des Notfallschutzes in Deutschland und der Schweiz, M. Baggenstos und A. Bayer (Hrsg.), Fortschritte im Strahlenschutz FS-94-74-T (1994) 345

[10] H. Schnadt: Dosisabschätzung in der Notfallstation, Beitrag E.2 zu diesem Seminar

SCHUTZ DER EINSATZKRÄFTE IM BEVÖLKERUNGSSCHUTZ BEI EINEM RADIOLOGISCHEN EINSATZ

RADIOLOGICAL OPERATION: PROTECTION FOR FIRST RESPONDERS

S. Wilbert

Bundesamt für Bevölkerungsschutz und Katastrophenhilfe, Bonn

Zusammenfassung
Im Rahmen der Zuständigkeit des Bundes für den Zivilschutz unterstützt der Bund die Länder u. a. im CBRN-Schutz einerseits durch Ausbildung und Übungen sowie Koordination von Mangelressourcen und länderübergreifende Lagedarstellungen und andererseits durch Ausstattung, die die Vorkehrungen der Länder im Katastrophenschutz für die Zivilschutzaufgaben ergänzt. Hierzu zählen u. a. Persönliche Schutzausrüstung (PSA), Dekontaminationslastkraftwagen Personen (Dekon-P), ABC-Erkundungskraftwagen (ABC-ErkKW), Medizinische Task Forces (MTF) und Analytische CBRN Task Forces (ATF).

Summary
The Federal Government is responsible for Civil Defence and supports the States (Länder) in this field. The Federal Office for Civil Protection and Disaster Assistance procures equipment especially for CBRN protection as Personal CBRN Protection Equipment, CBRN Reconnaissance Vehicles, Vehicles for Decontamination of personnel, Medical Task Forces and Analytical CBRN Task Forces. It also supports in coordination of resources and training of personnel.

Schlüsselwörter *Zivilschutz, Katastrophenschutz, CBRN, ABC-Schutz, Persönliche Schutzausrüstung, Dekontamination, ABC-Erkundung, Task Force, MTF, ATF, GMLZ, BBK*
Keywords *civil defence, CBRN protection, reconnaissance, task force, exercise,*

1. Der zivile CBRN-Schutz des Bundes

In der Bundesrepublik Deutschland nehmen die im Katastrophenschutz mitwirkenden Organisationen auch die Aufgaben zum Schutz der Bevölkerung im Verteidigungsfall wahr. Die Feuerwehren und die Hilfsorganisationen wie Arbeiter-Samariter-Bund (ASB), Deutsche Lebens-Rettungs-Gesellschaft (DLRG), Deutsches Rotes Kreuz (DRK), Johanniter-Unfall-Hilfe (JUH) und Malteser Hilfsdienst (MHD) werden durch das Bundesamt für Bevölkerungsschutz und Katastrophenhilfe (BBK) für diese Zivilschutzaufgaben zusätzlich mit Einsatzfahrzeugen und Gerätschaften ausgestattet (sog. ergänzender Katastrophenschutz) [1] und ausgebildet. Das BBK konzentriert sich dabei vorrangig auf den Bereich der Spezialfähigkeiten für Sonderlagen; eine dieser Spezialfähigkeiten stellt die Abwehr von CBRN-Gefahren dar. Unter CBRN-Gefahren versteht man die Auswirkungen von chemischen (C), biologischen (B) sowie radiologischen (R) und nuklearen (N) Gefahren.
Im Folgenden werden die Unterstützungsleistungen des BBK für Einsätze in einem radioaktiv kontaminierten Gebiet bzw. bei Gefährdung der Einsatzkräfte und der Bevölkerung durch ionisierende Strahlung näher vorgestellt. Dabei handelt es sich in der Regel um Einzelkomponenten der Bundesausstattung und Teilleistungen bei der Unterstützung im

CBRN-Schutz. In vielen Teilaspekten unterscheiden sich die Unterstützungsmöglichkeiten für radiologische oder chemische Einsätze nicht.

Eine Aufgabe des Bundes zur Unterstützung des Krisenmanagements der Länder ist es auch, geeignete Informations-, Kommunikations- und Koordinationsfunktionen verstärkt vorzuhalten bzw. wahrzunehmen und die Ausstattung der Länder im Katastrophenschutz zu ergänzen.
Das BBK mit der Bandbreite seiner Aufgaben ist hierbei ein kompetenter Ansprechpartner im Bereich der nicht-polizeilichen Gefahrenabwehr für Behörden, Organisationen und die Bevölkerung. Es berücksichtigt dabei alle Bereiche der Zivilen Sicherheitsvorsorge fachübergreifend und verknüpft diese zu einem wirksamen Schutzsystem für die Bevölkerung und ihre Lebensgrundlagen.

1.1 Konzept des CBRN-Schutzes

CBRN-Gefahrenlagen können an jedem Ort der Bundesrepublik jederzeit unangekündigt auftreten. Eine Quelle hierfür können Unfälle beim Transport von oder beim Umgang mit Gefahrstoffen sein; jedoch auch terroristische Anschläge unter Zuhilfenahme von CBRN-Substanzen sind nicht vollständig auszuschließen (Stichwort Radiologische Dispersionsvorrichtung RDD). Für die Wirkung auf die Betroffenen ist es dabei jedoch unerheblich, welcher Grund für die Freisetzung verantwortlich ist, da die Auswirkungen und zu ergreifenden Maßnahmen nach Freisetzung einer chemischen, biologischen oder radioaktiven Substanz in allen Fällen stets die gleichen sind.
CBRN-Lagen sind zeitkritisch und erfordern die schnelle Verfügbarkeit von Mess- und Dekontaminationsressourcen am Ereignisort. Zwar ist für die Reaktion auf CBRN-Ereignisse keine einheitliche Mindestreaktionszeit festgelegt, wie beispielsweise die Hilfsfrist für die Feuerwehr nach Alarmierung bei einem Lösch- oder Hilfeleistungseinsatz; Experten gehen jedoch davon aus, dass innerhalb von 30 Minuten nach dem Ereignis zur Bewältigung von CBRN-Ereignissen befähigte Einsatzkräfte (Messkapazität, Dekontamination) vor Ort zur Verfügung stehen müssen. Bei größeren Lagen müssen diese Einsatzmittel koordiniert zum Einsatz kommen und die Gesamtlage dem ABC-Fachberater und dem Einsatzleiter aufbereitet dargestellt werden.

Zum Schutz vor den CBRN-Gefahren sind drei Aspekte von elementarer Bedeutung:

- **Schutz der Personen** im Gefahrenbereich durch geeignete Maßnahmen (z. B. Schutzkleidung)
- Schnelles **Erkennen der spezifischen Gefahr** (Detektion)
- Einleiten und **Durchführen von Gegenmaßnahmen** (z. B. Absperrung, Dekontamination, Räumung)

Für alle drei Aspekte stellt das BBK den Einsatzkräften im Katastrophenschutz Ausstattung zur Verfügung und unterstützt die beteiligten Kräfte vor und während eines Einsatzes. Dies wird in den nächsten Kapiteln an Beispielen dargestellt.

2. Bundesausstattung

In diesem Kapitel wird die Ausstattung des Bundes im ergänzenden Katastrophenschutz vorgestellt, die im BBK für einen radiologischen Einsatz entwickelt und erprobt wurde.

2.1 Persönliche Schutzausrüstung

Für den persönlichen Schutz der Einsatzkräfte wurden insgesamt rd. 53.000 Sätze Persönliche CBRN-Schutzausrüstung (PSA) ausgeliefert. Diese ermöglichen den Einsatzkräften, sich lageabhängig in kontaminiertem Gebiet zu bewegen. Die Persönliche Schutzausrüstung besteht u. a. aus einem Overgarement und einem Flüssigkeitsspritzschutzanzug. Letzterer kann auch als Kontaminationsschutzanzug in radiologischen Lagen eingesetzt werden. Einfache Kontaminationsschutzanzüge gehören nicht zur Bundesausstattung und werden durch die kommunalen Träger im Katastrophenschutz zur Verfügung gestellt. Zu beachten ist, dass diese Anzüge sowie auch die Einsatzkleidung nur einen Kontaminationsschutz darstellen und (anders als bei einer chemischen Kontamination) nicht die Einsatzkräfte vor der Gammastrahlung schützen. Somit wird auch die mögliche Einsatzzeit im kontaminierten Gebiet nicht verlängert.

2.2 Dekon-P

Bei Verlassen des abgesperrten Gefahrenbereichs müssen die Einsatzkräfte eine Dekontamination durchlaufen, um sich und andere Personen nicht durch Kontaminationsverschleppung zu gefährden. Für diesen Zweck wurden vom BBK bisher 374 Dekontaminations-Lastkraftwagen Personen (kurz Dekon-P) entwickelt und beschafft. Diese Fahrzeuge dienen der Dekontamination und der hygienischen Reinigung der Einsatzkräfte sowie sonstiger an der Einsatzstelle befindlicher Personen sowohl im autarken Einsatz als auch bei der Nutzung des öffentlichen Wasser- und Stromnetzes. Dabei ist von einem Durchsatz von ca. 50 Personen je Stunde auszugehen. Darüber hinaus kann es den Betrieb stationärer Dekontaminationsanlagen unterstützen. Durch die Geländegängigkeit des Fahrzeugs ist die Dekontamination der teilweise mit Atemschutzgeräten eingesetzten Kräfte direkt am Einsatzort gewährleistet.

Abb. 1: Aufgebauter Dekontaminationsplatz mit Einsatzkräften in Schutzkleidung

Gemeinsam mit Vertretern aus den Innenressorts zahlreicher Bundesländer und der Bundeswehr hat das Bundesamt für Bevölkerungsschutz und Katastrophenhilfe (BBK) ein

Rahmenkonzept zur Dekontamination (verletzter) Personen [2] erarbeitet. Der Ausschuss „Feuerwehrangelegenheiten, Katastrophenschutz und zivile Verteidigung“ des Arbeitskreises V der Innenministerkonferenz empfiehlt den Ländern, dieses Konzept bei ihren Neukonzeptionen zu berücksichtigen.
Mit dem Rahmenkonzept gibt es nun erstmals ein bundesweit abgestimmtes Vorgehen für die Dekontamination verletzter Personen (DekonV). Es beinhaltet Aufbau, Organisation und Ablauf eines Dekontaminationsplatzes für Verletzte einschließlich der räumlichen Ordnung. Dabei ist vorgesehen, dass ein so genannter „Dekon-Platz-V“ als mobile Dekon-Stelle in der Nähe des Schadensortes eingerichtet wird. Alternativ können jedoch auch so genannte ortsfeste Dekonstellen - z.B. innerhalb eines Krankenhauses oder in Schwimmbädern – zur Verletztendekontamination eingeplant werden. Eine Kontamination des Krankenhauspersonals und der stationären Patienten wird damit verhindert. Erstmals wird hierbei der Einsatz von Rettungsfachpersonal im kontaminierten Bereich definiert.
Während der Fußballweltmeisterschaft 2006 diente der Entwurf des Rahmenkonzepts DekonV bereits als Grundlage für die nötigen Sicherheitsvorkehrungen. Aus den dabei gesammelten und abschließend ausgewerteten Erfahrungen ist das Konzept fortentwickelt worden [2, 3].
Für die Dekontamination Verletzter wird derzeit zusätzliche Dekontaminationsausstattung im BBK entwickelt, die den Vorgaben aus der zwischen Bund und Ländern abgestimmten Vorgehensweise zur DekonV entspricht.

2.3 Medizinische Task Force

Durch die geplante Aufstellung von bundesweit 61 Medizinischen Task Forces können zukünftig auch Massenanfälle von Verletzten (MANV) sowie die Dekontamination Verletzter Personen koordiniert und durchgeführt werden. Ebenfalls in der Entwicklung befindet sich ein ABC-Selbsthilfesatz, mit dem die Einsatzkräfte in die Lage versetzt werden, im Falle einer eigenen Kontamination sich selbst bzw. dem Kameraden schnelle Hilfe zukommen zu lassen.

2.4 ABC-Erkundungskraftwagen

Die Fähigkeiten zur Detektion unterstützt das BBK durch die Entwicklung und die Bereitstellung der ABC-Erkundungskraftwagen (ABC-ErkKW). 366 solcher ABC-ErkKW sind derzeit in Deutschland im Einsatz. Diese Fahrzeuge sind mit moderner Messtechnik ausgestattet und können chemische und radiologische Kontaminationen kontinuierlich in Echtzeit erfassen. Die chemische Nachweistechnik erlaubt sowohl das Spüren und die Identifikation von chemischen Kampfstoffen, als auch die Detektion einer Vielzahl toxischer Industriechemikalien.

Die Szintillationszählertechnik erlaubt in Verbindung mit der sehr hohen Empfindlichkeit des Detektors – 10^4 Imp/s pro µSv/h bei 661 keV – mit dem NBR-Verfahren (Natural Background Rejection)eine gerade im Umweltbereich interessante Auswertung. Mit dieser Technik ist es möglich, vor einem örtlich und zeitlich stark schwankenden natürlichen Strahlungshintergrund auch geringe Beimischungen von künstlichen Quellen zu detektieren. Es werden bereits Beiträge von künstlichen Strahlern von 20 % zum natürlichen Hintergrund erkannt. Dies ermöglicht auch eine hochempfindliche Suche von Punktquellen.
Basis für den erfolgreichen Einsatz dieser Detektoren ist die Überlegung, dass auch starke Gammaquellen am Ort des Detektors oft nur ein schwaches Dosisleistungssignal liefern können, weil sie entweder weit entfernt oder stark abgeschirmt sind. In beiden Fällen ist der nuklidspezifische Informationsgehalt durch Comptonstreuung stark reduziert bzw. völlig

verlorengegangen. Das bedeutet, dass gute spektroskopische Eigenschaften für den Spürbetrieb meist irrelevant sind. Die Aussage, dass ein künstlicher Strahler vorliegt, ist für die Erkundung wichtiger.

Abb. 2: Messcontainer im ABC-ErkKW

Über den Messrechner des ABC-ErkKW werden die Messdaten der Einzelmessgeräte den Daten des GPS-Systems zugeordnet. In der Anzeigeart „automatische Lagedarstellung auf einer Karte“ wird die Fahrzeugspur auf der Karte abgebildet und entsprechend dem örtlich vorhandenen radiologischen Messwert abgestuft eingefärbt. Die Farbabstufungen sind frei konfigurierbaren Schwellwertbereichen der Dosisleistung zugeordnet. Die so ermittelte Kartendarstellung gibt eine schnellstmögliche und sehr einfach zu verstehende Übersicht über die radiologische Lage des durchfahrenen Gebiets. Dadurch und bedingt durch seine hohe Mobilität sowie uneingeschränkte Tauglichkeit vor allem in bebautem Gebiet eignet sich der ABC-ErkKW insbesondere dazu, großflächige Kontaminationen rasch zu erfassen und betroffene Gebiete einzugrenzen.

Für die Vor-Ort Messung von Proben sind die ABC-ErkKW mit einer Alpha- und Beta-Nachweissonde (MER 1) ausgestattet. Neben der Messtechnik verfügt der ABC-ErkKW über einen Probenahmesatz, mit dem Luft-, Boden- und Wasserproben für die weiterführende Analytik genommen werden können.
Nach dem zwischen Bund und Ländern im Jahr 2007 abgestimmten Ausstattungskonzept soll die Anzahl der ABC-ErkKW in den kommenden Jahren auf insgesamt 500 erhöht werden, so dass diese Fahrzeuge einerseits flächendeckend in Deutschland zur Verfügung stehen und anderseits an besonderen Gefahrenschwerpunkten zusätzliche ABC-ErkKW stationiert werden können.

2.5 Einsatztaktik in der A-Erkundung und Messleitung

Bund und Länder haben gemeinsam „Taktische Einsatzgrundsätze für den Bereich der ABC-Erkundung“ [4] erstellt. Darin wird betont, dass für die ABC-Erkundung die Vorgehensweise Grenzmessung das Mittel der Wahl ist, die Verfahren Kreuzen und Eintauchen sind nur bei zwingender Notwendigkeit von entsprechend ausgerüsteten Mess- und Spürtrupps durchzuführen.
Die Notwendigkeit der Führung und Koordination mehrerer ABC-ErkKW, die bei einer großflächigen Lage zum Einsatz gebracht werden, wird ebenfalls in der Einsatztaktik thematisiert und damit die Notwendigkeit einer Messleitkomponente (MLK) erläutert und deren technische Anforderungen festgelegt. Die vorrangigen Aufgaben der MLK bestehen im Empfang und dem Zusammenfassen der CBRN-Messergebnisse der ABC-ErkKW, deren vorläufiger Bewertung und der grafischen Aufbereitung und Lagedarstellung. Eine solche MLK wird derzeit in einem Forschungsvorhaben des BBK entwickelt und erprobt und soll anschließend als ergänzende Ausstattung beschafft werden.

2.6 Analytische CBRN Task Force

Auf den bestehenden Strukturen und Fähigkeiten der CBRN-Gefahrenabwehr baut die Analytische Task Force (ATF) auf. Die ATF-Einsatzkräfte verfügen über herausragende Fähigkeiten auf dem Gebiet der chemischen Analytik und werden vom BBK mit hochwertiger innovativer Analysetechnik ausgestattet, die über die üblichen Möglichkeiten der kommunalen Gefahrenabwehr in Verantwortung der Länder hinausgeht. Die ATF steht vor Ort für umfassende Hilfe und Beratung bei der Bewältigung der jeweiligen CBRN-Lage zur Verfügung [5]. Es sind insgesamt sieben ATF-Standorte geplant. Diese beschäftigen kein bundeseigenes Personal, vielmehr handelt es sich aus einsatztaktischen Gründen um Einheiten in kommunaler oder Landesträgerschaft. Diese vorrangig für die chemische Analytik ausgestatteten Einsatzkräfte werden auch Messgeräte zur Detektion ionisierender Strahlung erhalten, die sie neben dem Eigenschutz befähigen soll, Messergebnisse der Spürtrupps und der ABC-ErkKW zu verifizieren sowie die Einschätzung der vorhandenen Nuklide zu verbessern.

3. Ausbildungen und Übungen

Eine weitere zwingend notwendige Voraussetzung für eine adäquate Reaktion auf CBRN-Ereignisse ist ein hoher Ausbildungs- und Trainingsstand der Einsatzkräfte, damit die zumeist komplexe (Mess-)Technik im Einsatz beherrscht wird. Vergleicht man ein ABC-Ereignis mit einem Einsatz zur Flutabwehr, so ist einsehbar, dass bspw. der erfolgreiche Einsatz von Messgeräten bei einem CBRN-Ereignis deutlich höhere Anforderungen an den Ausbildungsstand der Einsatzkräfte stellt, als bspw. das Befüllen von Sandsäcken. Diesen besonderen Anforderungen kann man nur durch eine fundierte Ausbildung sowie die kontinuierliche Beübung der Einsatzkräfte gerecht werden.

Das BBK führt an seiner Akademie in Bad Neuenahr-Ahrweiler (AKNZ) Ausbildung von Führungskräften und politischen Entscheidungsträgern in allen Themenfeldern des Bevölkerungsschutzes und Krisenmanagements durch. Ein wichtiger Themenkomplex stellt auch hier der Schutz vor CBRN-Gefahren dar. Beispielhaft seien hier die Kurse „Radiologische Risiken“ und die Fortbildung der „Führungskräfte im ABC-Schutz“ genannt. Hierzu zählen auch Kurse für die Lehrkräfte der Landesfeuerwehrschulen, die als Multiplikatoren das Wissen an die Einsatzkräfte im CBRN-Schutz weitergeben.

Das BBK ist auch Veranstalter der Länderübergreifenden Krisenmanagementsübungsserie LÜKEX, bei der Beteiligte von Bund, Ländern, Kommunen und der Privatwirtschaft gemeinsam eine angenommene Großschadenslage bzw. Krise bewältigen und damit den Schutz der Bevölkerung bei außerordentlichen Schadenlagen erhöhen. Nach Themen wie großflächiger Stromausfall und chemische Anschläge wurde aktuell in 2007 die Bewältigung einer Grippepandemie geübt. Die nächste LÜKEX in 2009 soll radiologische und chemische Freisetzungen behandeln.

4. Koordinierende Aufgaben des Bundes

4.1 Unterstützung im Krisenmanagement

Durch das Gemeinsame Melde- und Lagezentrum (GMLZ) und das deutsche Notfall- und Informationssystem (deNIS) unterstützt das BBK im Rahmen der Katastrophenhilfe die Hilfsmaßnahmen und das Ressourcenmanagement von Bund und Ländern bei nationalen und internationalen komplexen Lagen. Am Beispiel der Organisation von Engpassressourcen wird die koordinierende Rolle des BBK über das GMLZ besonders deutlich, aber auch in der Vermittlung von Fachexpertise. Dabei kann das BBK auf ein ständig wachsendes Netzwerk von eigenen und externen Experten der verschiedensten Einrichtungen und Behörden des Bevölkerungsschutzes zurückgreifen. Dies gilt auch für den Bereich des Schutzes vor chemischen, biologischen, radiologischen und nuklearen Gefahren. Ebenso bedient sich das GMLZ des deutschen Notfallvorsorge-Informationssystems (deNIS). Bei deNIS II^{plus} handelt es sich um ein Kommunikations- und Informationssystem zur Unterstützung des Krisenmanagements bei großflächigen Gefahrenlagen, an dem alle Lagezentren der Bundesressorts und Innenministerien der Länder angeschlossen sind. Neben einer Datenbank über Engpassressourcen beinhaltet deNIS II^{plus} Werkzeuge zur Übermittlung von Meldungen (Meldemanagement), zur Visualisierung von Schadenslagen (Lagemanagement) und zum Erfassen und Aktualisieren von Hilfeleistungspotenzialen.
Das Gemeinsame Melde- und Lagezentrum optimiert das länderübergreifende und organisationsübergreifende Informations- und Ressourcenmanagement. Darüber hinaus wird das GMLZ im Auftrag des Bundesministeriums des Inneren u. a. im Rahmen des Gemeinschaftsverfahrens der Europäischen Union zur Förderung einer verstärkten Zusammenarbeit bei internationalen Katastrophenschutzeinsätzen tätig.

4.2 Warnung der Bevölkerung bei radiologischen Lagen

Die Erfassung einer großräumigen radiologischen Situation erfolgt im Frieden durch das Gamma-Ortsdosisleistungs-Messnetz (ODL-Messnetz), das das Bundesamt für Strahlenschutz als Aufgabe gemäß Strahlenschutzvorsorgegesetz betreibt. Diese friedensmäßig bestehenden Strukturen werden auch für die Warnung der Bevölkerung im Verteidigungsfall, für die das BBK nach Zivilschutzgesetz zuständig ist, genutzt. Die Warnzentrale im BBK erhält die radiologischen Daten, die für die Warnungen und Entwarnungen der Bevölkerung bei radiologischen Gefahren erforderlich sind.
Über ein modernes satellitengestütztes Warnsystem (SatWaS) ist eine schnelle Warnung der Bevölkerung möglich, die mit Informationen und Verhaltensregeln verbunden sein kann. In Sekundenschnelle werden Warnmeldungen und Gefahrendurchsagen mit höchster Priorität über Satellit an die angeschlossenen Medien weitergegeben. Eine Vielzahl von öffentlich-rechtlichen sowie privaten Rundfunk- und Fernsehsendern und Presseagenturen sind neben den Lagezentren von Bund und Ländern an dieses System angeschlossen.

4.3 PSNV

Psychosoziale Notfallversorgung (PSNV) ist inzwischen ein wesentlicher Bestandteil der Versorgung in Gefahrenlagen und die adäquate psychologische Betreuung der Notfallopfer, der Angehörigen und der Einsatzkräfte findet zunehmend Beachtung. Inzwischen haben sich in allen Ländern entsprechende Angebotsstrukturen herausgebildet und auch bewährt. Eine besondere Herausforderung in der Implementierung geeigneter Maßnahmen stellen Schadenslagen mit besonderem Gefahrenpotential dar, wie C-, B-, oder R-Lagen. Ziel des BBK ist es, Erkenntnisse der wissenschaftlichen Psychologie bei CBRN-Lagen stärker als bisher einzubeziehen, das psychosoziale Krisenmanagement zu optimieren und entsprechende Ausbildungsmodule zu entwickeln. In die ABC-Ausbildung für Multiplikatoren wurde aktuell ein Unterrichtsmodul „PSNV in CBRN-Lagen“ integriert.

5. Ausblick

Die Dienstleistungen, Koordinationsmöglichkeiten sowie Unterstützungsleistungen des BBK gehen über die oben beschriebenen hinaus, können aber hier nicht alle erwähnt werden. Hierzu wird auf die Internetseite des BBK [6] und aktuelle Veröffentlichungen [7] verwiesen.

Eine Aufgabe des BBK bleibt die Verbesserung der Vorsorge gegenüber CBRN-Risiken und anderen Gefahren einerseits durch Ergänzende Ausstattung aber auch durch Risikobewertungen, Entwicklung von Gefährdungsszenarien, Konzepten im CBRN-Schutz und Krisenmanagementkonzepten.
Um die technischen und taktischen Voraussetzungen für eine funktionierende zivile CBRN-Gefahrenabwehr zu garantieren, haben sich Bund und Länder Ende 2007 auf das neue Ausstattungskonzept im ergänzenden Katastrophenschutz geeinigt. Seitens des Bundes werden die zur Verfügung stehenden Mittel für die ergänzende Ausstattung, in der der CBRN-Schutz eine besondere Position einnimmt, deutlich erhöht. Gleichfalls wird der Bund die Ausbildung der Einsatzkräfte intensivieren. Die derzeit bereits vorhandenen Potenziale werden somit in den folgenden Jahren gezielt verstärkt, um auf CBRN-Ereignisse bestmöglich vorbereitet zu sein und den zivilen CBRN-Schutz in Deutschland auch im internationalen Vergleich auf höchstem Niveau zu halten.

6. Literaturverzeichnis

[1] Zivilschutzgesetz § 12

[2] Rahmenkonzept zur Dekontamination verletzter Personen der Bund-Länder-Arbeitsgruppe, Endfassung September 2006, Download über Homepage des BBK

[3] Bevölkerungsschutz, Sonderausgabe 2006 zum Thema Dekontamination, BBK

[4] Taktische Einsatzgrundsätze für den Bereich der ABC-Erkundung Version 1 von Feb. 2006, Download über Homepage des BBK

[5] R. Trebbe et al., Europäische Sicherheit 3 / 2008

[6] Homepage des BBK: http://www.bbk.bund.de

[7] C. Unger, Europäische Sicherheit 11/07, S. 14

DAS GEMEINSAME MESSSTELLENKONZEPT VON ARBEITSKREIS INKORPORATIONSÜBERWACHUNG DES FS UND LEITSTELLE INKORPORATIONSÜBERWACHUNG DES BFS

THE JOINT CONCEPT OF THE WORKING GROUP INCORPORATION MONITORING AND THE BFS COORDINATING OFFICE ON INCORPORATION MONITORING FOR APPROVED LABORATORIES

A. Dalheimer[1], K. Henrichs[2], K. König[1]

[1] Leitstelle Inkorporationsüberwachung des BfS, Deutschland
[2] Arbeitkreis Inkorporationsüberwachung des FS, Deutschland

Zusammenfassung
Mit dem vom Arbeitskreis Inkorporationsüberwachung (AKI) und von der Leitstelle Inkorporationsüberwachung gemeinsam vorgeschlagenen Messkonzept soll erreicht werden, dass die mittel- und langfristige Sicherung der Kompetenz zur Bestimmung und Überwachung inkorporierter Radionuklide gewährleistet, die unbedingt notwendige fachliche Weiterentwicklung durch Forschungs- und Entwicklungsaktivitäten gesichert und die entsprechende internationale Präsenz bzw. Mitarbeit vorhanden ist.

Außerdem soll das Konzept gewährleisten, dass für den Fall einer radiologischen Notfallsituation ein Optimum an vorhandenen und vorgehaltenen Mess-, Analysen- und Auswertekapazitäten bei den In-vivo- und In-vitro-Messstellen bereitsteht.

In diesem Zusammenhang ist es außerdem äußerst wichtig, dass eine Koordinierung der Messstellen (Betrieb, Qualitätssicherung, Ertüchtigung usw.) erfolgt; hierfür steht in Kooperation des Bundes mit den Ländern die Leitstelle Inkorporationsüberwachung des BfS zur Verfügung.

Summary
The proposal described here is a concept jointly developed by the Working Group Incorporation Monitoring (AKI) and the Coordinating Office on Incorporation Montitoring. Its intention is the long-term securing of competence and resources for the monitoring and quantification of incorporations of radionuclides, including capacities for research, national and international presence in standardization and rule setting bodies.

Further, the concept is to ensure that for emergency situations the required resources are available for measurements and analysis.

The authors see the urgent need of an effective coordination of the measuring laboratories in terms of quality assurance and resources; for this purpose the Coordinating Office on Incorporation Monitoring of the BfS is available.

1. Aktueller Stand

Die Zuständigkeit für die Inkorporationsüberwachung von beruflich strahlenexponierten Personen in Deutschland liegt gemäß § 41 Abs. 1 Strahlenschutzverordnung (StrlSchV) bei den sogenannten behördlich bestimmten Messstellen. Diese Messstellen führen ihre Überwa-

chungsaufgaben auf der Basis der „Richtlinie für die physikalische Strahlenschutzkontrolle zur Ermittlung der Körperdosis, Teil 2 (2007)“ durch.

Die behördlich bestimmten Messstellen werden von den jeweils zuständigen Landesministerien benannt. Es handelt sich bei diesen Messstellen um qualifizierte Messstellen, die definierten Qualitätsansprüchen, wie sie in der o.a. Richtlinie festgelegt sind, genügen müssen. So haben sie unter anderem als externe QS-Maßnahme an den Ringversuchen der *Leitstelle Inkorporationsüberwachung des BfS* (in-vivo, in-vitro, Fallbeispiele) teilzunehmen.

Derzeit gibt es in Deutschland insgesamt 30 behördlich bestimmte Messstellen (20 In-vivo-, 10 In-vitro-Messstellen). Die Abbildung 1 gibt einen Überblick über die regionale Verteilung von deren Standorten.

Daneben gibt es einzelne Forschungseinrichtungen und Laboratorien, die aufgrund ihres Know-hows und ihrer Ausrüstung in der Lage sind, inkorporierte Radionuklide quantitiv zu bestimmen. Diese unterliegen allerdings keinerlei Auflagen hinsichtlich Ressourcen, Qualifikation oder Qualitätssicherung und nehmen nicht an den Ringvergleichen der Leitstelle teil.

2. Problematik

Zur Überwachung der Umweltradioaktivität sind von den Ländern im Rahmen des Vollzuges des Strahlenschutzvorsorgegesetzes (StrVG) geeignete Landesmessstellen für den Routine- und Intensivbetrieb vorzuhalten. Für die Inkorporationsmessstellen besteht eine vergleichbare Regelung nicht. Somit ist denkbar, dass im Laufe der Zeit die Zahl der Inkorporationsmessstellen weiter abnimmt, weil z.B. gegebenenfalls die Zahl der zu überwachenden Personen abnimmt, aber auch, weil die zur Verfügung stehenden Ressourcen knapper werden.

Darüber hinaus zeichnen sich Risiken im Hinblick auf die Sicherung der Kompetenz in Deutschland ab. Dies wird heute schon an der Beteiligung deutscher Einrichtungen und Wissenschaftler an Forschungsvorhaben und Normungsprojekten sichtbar.

Ein Konzept zur Weiterentwicklung und Finanzierung der erforderlichen Messstellen in Deutschland muss die folgenden Aspekte zur Zielsetzung haben:

- Kurze Transportwege für die zu überwachenden Personen (in-vivo) bzw. für die zu analysierenden Ausscheidungsproben (in-vitro).
- Verteilung der Analysen- und Messkapazitäten der Messstellen auf Grund der unterschiedlichen Schwerpunkte ihrer Aufgaben und Bestimmungsmethoden.
- Verfügbarkeit lokaler Ansprechpartner für die Anwender radioaktiver Stoffe sowie für die Bevölkerung und Behörden.
- Ausreichende Mess- und Analysekapazitäten für die derzeit und die künftig erforderliche Überwachung beruflich strahlenexponierter Personen.
- Mittel- und langfristige Sicherung der Kompetenz zur Bestimmung und Überwachung inkorporierter Radionuklide.
- Beteiligung deutscher Stellen bei entsprechenden nationalen und internationalen Forschungsvorhaben (F- und E-Vorhaben).
- Vertretung deutscher Interessen in internationalen Regelungs- und Normungsprozessen.
- Kurze Wege und eine schnelle Erreichbarkeit im Falle einer radiologischen Notfallsituation

- Beteiligung aller an "amtlichen" Messungen beteiligten Stellen an qualitätssichernden Maßnahmen, z.B. an den Ringversuchen der *Leitstelle Inkorporationsüberwachung des BfS*.

Eine längerfristige Sicherung der notwendigen Mess- und Analysenkapazitäten ist daher unabdingbar. In diesem Zusammenhang besteht für die Ernennung bzw. die Schließung behördlich bestimmter Messstellen ein Regelungsbedarf hinsichtlich einer Koordination zwischen den Ländern und dem Bund.

Neben der Überwachung beruflich strahlenexponierter Personen ist auch für die radiologische Notfallvorsorge eine ausreichende Zahl an geeigneten, das heißt, qualifizierten und betriebsbereiten Inkorporationsmessstellen unbedingt erforderlich.

3. Konzeptvorschlag

Für das Konzept spielt erstens die möglichst gleichmäßige, regionale Verteilung der Messstellen in Deutschland eine sehr gewichtige Rolle; die Messstellen müssen:

- im Normalfall für die Anwender von radioaktiven Stoffen und für die Bevölkerung in räumlicher Nähe sein (Überwachung, Beratung, Ansprechpartner)
  und
- in radiologischen Notfallsituationen über kurze Wege zu erreichen sein (geringe Entfernungen zur nächsten Ganzkörper-Messanlage bzw. kurze Transportwege für Ausscheidungsproben).

Zweitens kann davon ausgegangen werden, dass ein Interesse am Erhalt bzw. der Schaffung bundesweit ausreichender Analysen-, Mess- und Auswertekapazitäten besteht. Bei den Messstellen muss also gewährleistet sein:

- Kompetenzerhalt,
- Forschungsaktivitäten und
- internationale Präsenz.

Zur Erreichung dieser Ziele wird daher eine Kategorisierung der bestehenden Messstellen in vier Aufgaben- und Qualitätsstufen vorgeschlagen (siehe Abbildung 2):

- **Messstellen, Kategorie I**
  Hierunter fallen behördlich bestimmte Messstellen, die neben ihren normalen Aufgaben auch Forschungs- und internationale Aktivitäten wahrnehmen können sowie für radiologische Notfallsituationen vorbereitet sind. Ihre Akkreditierung gemäß Richtlinie Inkorporationsüberwachung ist Voraussetzung.

  Prädestiniert sind dafür Messstellen, die als „Vollmessstellen“ sowohl in-vitro- als auch in-vivo-Bestimmungen selber durchführen. Eine Anbindung an ein Forschungszentrum, wie es z.B. bei den Messstellen VKTA Rossendorf, FZ Jülich und FZ Karlsruhe der Fall ist, ist ein ergänzender Aspekt.

  Die entsprechende Finanzierung muss dabei von dem jeweiligen Land <u>und</u> durch den Bund getragen werden.

- **Messstellen, Kategorie II**
  Damit sind behördlich bestimmte Messstellen gemeint, die unter den Begriff „Allrounder“ fallen. Das heißt, sie haben neben ihren normalen Aufgaben bei der Überwachung beruflich strahlenexponierter Personen ein großes Spektrum an vorgehaltenen

und Schnellmethoden bzw. Auswerteroutinen für radiologische Notfallsituationen. Diese Messstellen müssen ebenfalls gemäß Richtlinie akkreditiert sein.

Messstellen, die hierunter fallen könnten, sind z.B. LiGA Düsseldorf, IKM Berlin, MHH Hannover, LfU Kulmbach.

Die entsprechende Finanzierung muss auch hier von dem jeweiligen Lande und durch den Bund (Notfallvorsorge) erfolgen.

- **Messstellen, Kategorie III**
  Das betrifft behördlich bestimmte und behördlich beauftragte Messstellen[1], die gewissermaßen auf den Kunden oder auf die Eigenüberwachung spezialisiert sind. Sie haben im Normalfall keine Aufgaben im Rahmen der Notfallvorsorge zu erledigen, stehen aber im Bedarfsfall als „Reserve" zu Verfügung. Ihre Akkreditierung gemäß Richtlinie ist nicht Voraussetzung, jedoch die externe Qualitätssicherung durch Teilnahme an den Ringversuchen der *Leitstelle Inkorporationsüberwachung des BfS*.

  Als Messstelle in dieser Kategorie kämen in Frage z.B. Universität Regensburg, AREVA Erlangen, Health Care Wuppertal usw..

  Ihre Finanzierung erfolgt wie bisher durch ihren jeweiligen Träger (Firma, Land o.a.).

- **Sonstige qualifizierte Messstellen, Kategorie IV**
  Damit sind alle Messstellen gemeint, die nicht behördlich bestimmt oder nicht behördlich beauftragt sind, deren Qualität der Analysen- Mess- und Auswerteverfahren aber anerkannt sind, z.B. durch regelmäßige Teilnahme an den Ringversuchen der *Leitstelle Inkorporationsüberwachung des BfS*. Die Messstellen der Kategorie IV würden ebenfalls im Falle einer radiologischen Notfallsituation als „Reserve" zu Verfügung stehen.

  Hierunter könnten z.B. Universität Tübingen (Isotopenlabor), LfU Stuttgart, Helmholtz Zentrum München sowie weitere Messstellen, z.B. von den regionalen Strahlenschutzzentren (RSZ), fallen.

  Ihre Finanzierung erfolgt wie bisher durch ihren Träger (Firma, Berufsgenossenschaft usw.).

Die *Leitstelle Inkorporationsüberwachung des BfS* führt im Auftrage des Bundes die externen QS-Maßnahmen (In-vivo- und In-vitro-Ringversuche, Fallbeispiele usw) an den Messstellen der Kategorie I bis IV durch. Die Qualifikation der Leitstelle Inkorporationsüberwachung selbst, einschließlich ihrer In-vivo- und In-vitro-Messstellen, muss der der Messstellen, Kategorie I, entsprechen.

4. Resümee

Mit dem vorgeschlagenen Messstellenkonzept soll erreicht werden:

- die Mittel- und langfristige Sicherung der Kompetenz zur Bestimmung und Überwachung inkorporierter Radionuklide zu gewährleisten,
- für den Fall einer radiologischen Notfallsituation ein Optimum an vorhandenen und vorgehaltenen Mess-, Analysen- und Auswertekapazitäten bei den In-vivo- un den In-vitro-Messstellen vorzuhalten,

[1] Behördlich beauftragte Messstellen führen im Auftrag der zuständigen Landesbehörde Inkorporationsfeststellungen im Sinne von Schwellwertmessungen sowohl für den eigenen Betrieb als auch für externe Kunden durch. Die Ermittlung der inneren Dosis und auch die Meldung an das Strahlenschutzregister des BfS erfolgt gegebenenfalls von einer behördlich bestimmten Messstelle.

- die unbedingt notwendige fachliche Weiterentwicklung durch Forschungs- und Entwicklungsaktivitäten (Stichworte „F.-und E.-Vorhaben“, „Kompetenzerhalt“) sicher zu stellen,
  und
- die entsprechende internationale Präsenz bzw. Mitarbeit (EU, ISO, IAEA usw.) zu gewährleisten.

In diesem Zusammenhang ist es außerdem äußerst wichtig, dass die Koordinierung der Messstellen (Betrieb, Qualitätssicherung, Ertüchtigung usw.) gemeinsam mit den Ländern übergreifend durch den BMU bzw. durch die von ihm beauftragte *Leitstelle Inkorporationsüberwachung des BfS* erfolgt; und hier besteht weiterhin Abstimmungsbedarf.

Abb.1: Behördlich bestimmte Messstellen in Deutschland

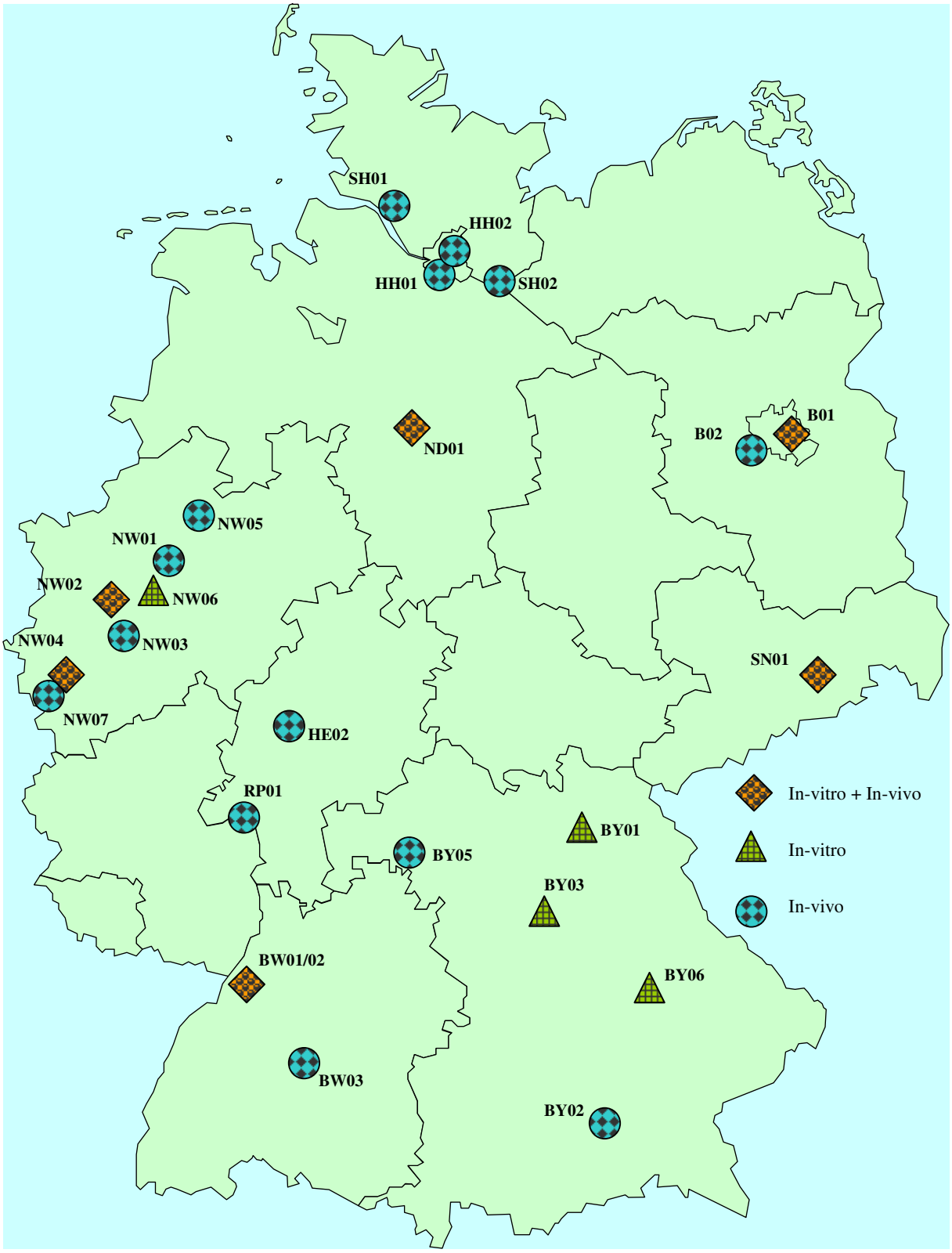
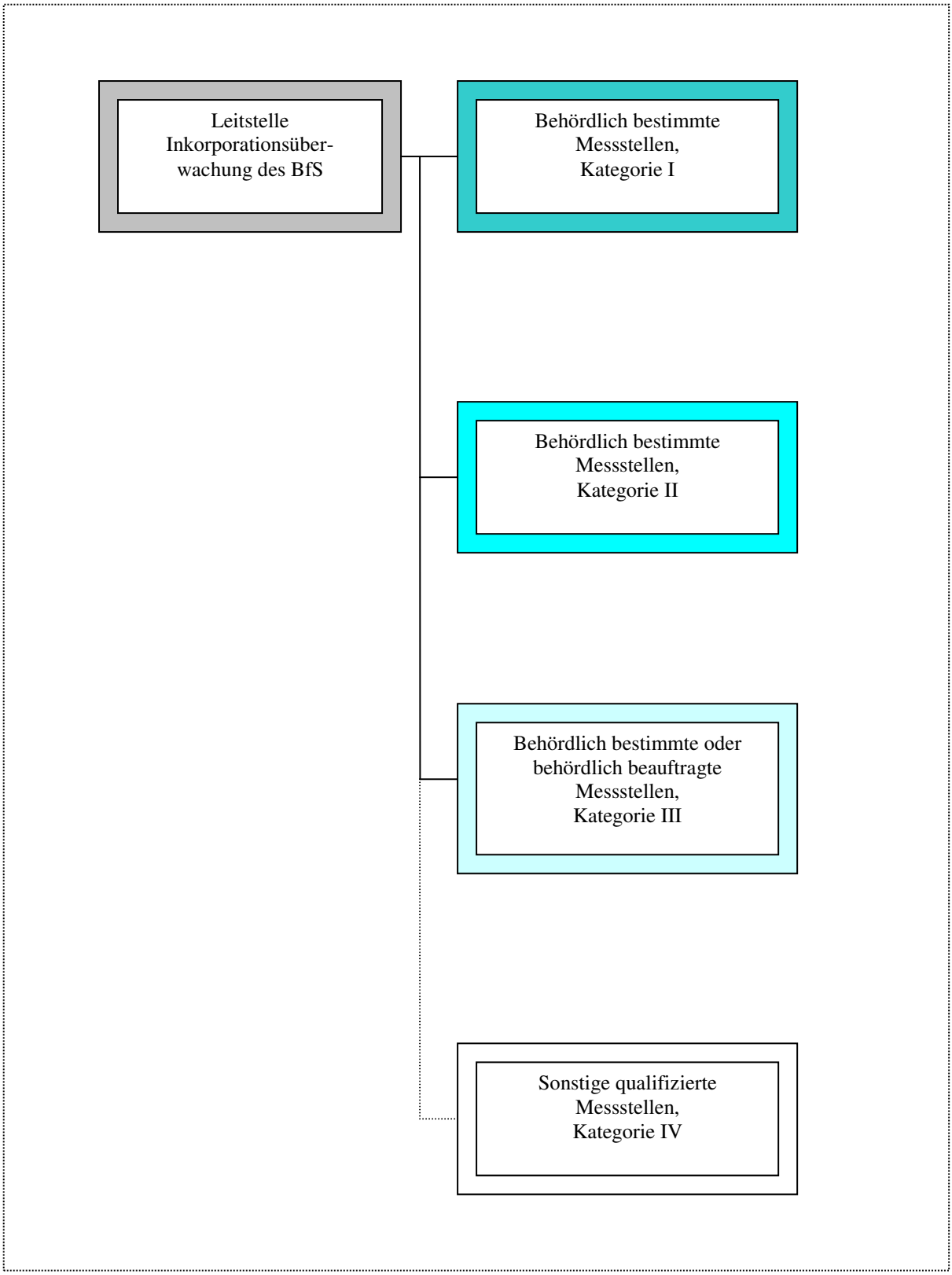


Abb. 2: Vierstufiges Messstellen-Konzept



STRAHLENSCHUTZÄRZTLICHE ERFAHRUNGEN BEIM AUFBAU UND BETRIEB EINER NOTFALLSTATION

EXPERIENCES OF A RADIATION PROTECTION PHYSICIAN IN CONSTRUCTION AND OPERATION OF AN ACCIDENT AND EMERGENCY UNIT

W. Kirchinger

Institut für Strahlenschutz, Helmholtz Zentrum München, Deutsches Forschungszentrum für Gesundheit und Umwelt (GmbH), Deutschland

Zusammenfassung
Zu den planbaren medizinischen Maßnahmen bei Kernkraftwerksunfällen in Deutschland zählt der Betrieb sog. Notfallstationen (NFS). Der Aufbau und der Betrieb von Notfallstationen ist nur dann nötig, wenn mit einer größeren Anzahl von betroffenen Personen d.h. strahlenexponierten und oder kontaminierten Personen zu rechnen ist. Der Strahlenschutzarzt als medizinischer Experte in der NFS hat zwei wichtige Aufgaben. Er berät die Katastrophenschutzleitung und ist Leiter des medizinischen Personals der NFS. Der vorliegende Beitrag visualisiert die Schwierigkeiten und Probleme einer Notfallstations-Übung aus strahlenschutzärztlicher Sicht.

Summary
The operation of so called "accident and emergency units" (germ: NFS) is one of the medical measures which can be planed for the case of a nuclear power plant accident in Germany. The construction and operation of an accident and emergency unit is only necessary if a significant number of radiation exposed or contaminated persons has to be anticipated. There are two important duties of the radiation protection physician as a medical expert in the NFS. He advises the disaster control management and is the leader of NFS medical staff. The present article is visualizing the difficulties and problems of an accident and emergency unit exercise from the view of the radiation protection physician.

Schlüsselwörter *Strahlenschutzarzt, Notfallstation, Katastrophenschutz*
Keywords *Radiation protection physician, accident and emergency unit, emergency management*

1. Einleitung

Nach dem Atomgesetz [1] sind Kernkraftwerke in Deutschland entsprechend dem Stand von Wissenschaft und Technik so auszulegen, dass eine Freisetzung von radioaktiven Stoffen und eine damit verbundene erhöhte Strahlenexposition des Menschen und der Umwelt nicht zu erwarten ist. Im Rahmen von Katastrophenschutzplanungen, die in den Zuständigkeitsbereich der jeweiligen Länder fallen, sind Schutzmaßnahmen im Falle eines Kernkraftwerksunfalles mit erhöhter Strahlenexposition der Bevölkerung vorauszuplanen, auch wenn dessen Eintrittswahrscheinlichkeit äußerst gering ist.

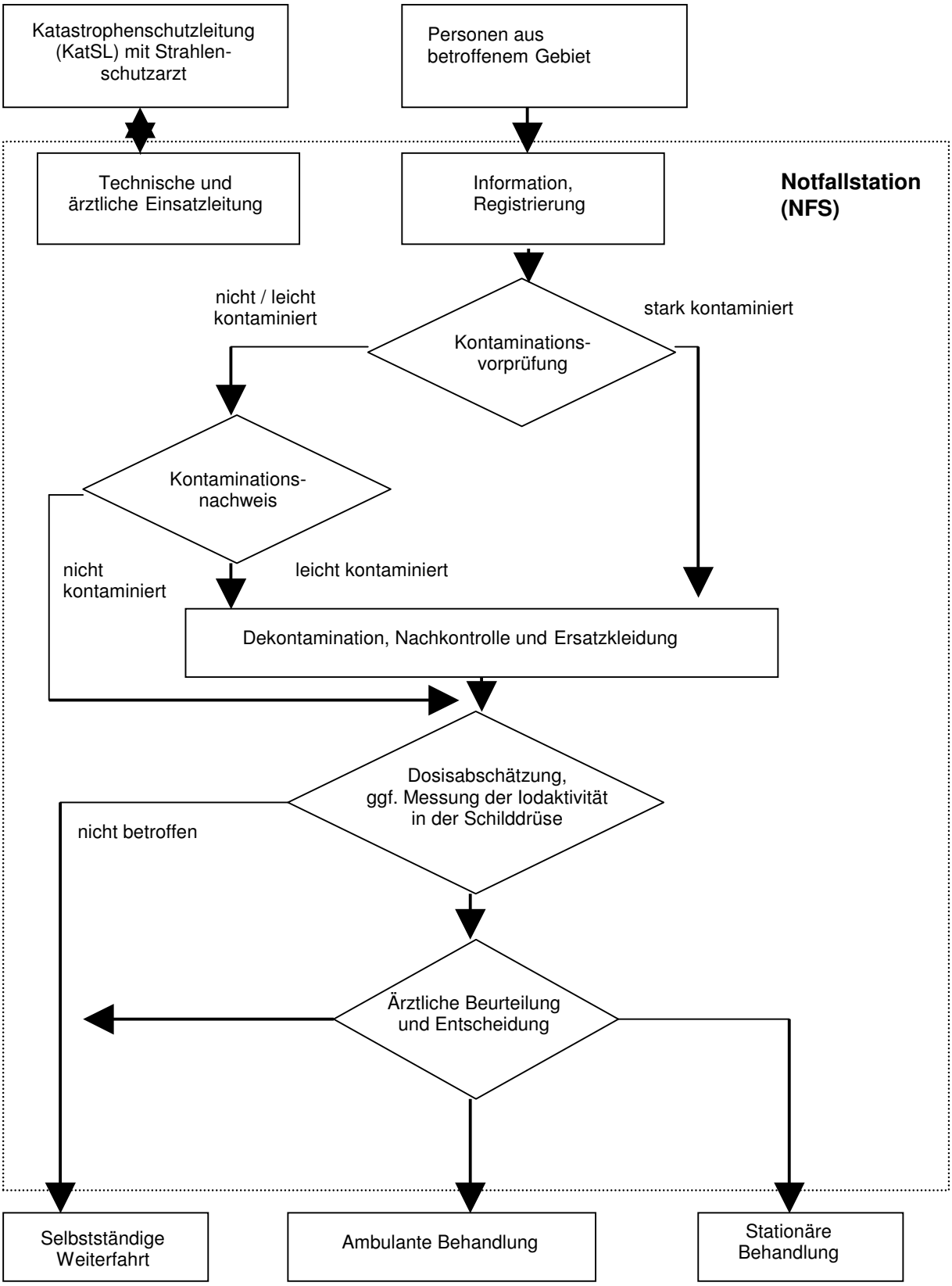
Damit trotz des föderalen Systems im Ereignisfall bundeseinheitlich gehandelt wird, wurden von den Länder und dem Bund im Jahre 1975 die „Rahmenempfehlungen für den Katastrophenschutz in der Umgebung kerntechnischer Anlagen“ [2] erarbeitet (letzte Aktualisierung 2006). Anhand der Erfahrungen bei der Übung „Notfallstation in Nördlingen“ vom 28.07.2007 wird aus der Beobachterperspektive eines Strahlenschutzarztes der Aufbau und Betrieb einer Notfallstation exemplarisch dargestellt und bewertet.

2. Grundsätzliches zur Notfallstation

Das Landratsamt (LRA) Donau-Ries, Abteilung für Katastrophenschutz, hatte im Rahmen der Vorbereitung der Übung „Notfallstation in Nördlingen am 28.07.2007“ eine Informationsschrift für Medienvertreter und Beobachter [3] verteilt, die über Aufgaben der Notfallstation (NFS) und die einzelnen zu durchlaufenden Abschnitte informierte.
Die NFS ist eine Einrichtung in der Umgebung kerntechnischer Anlagen, die im Katastrophenschutzfall zum Einsatz kommen kann. Die NFS wird außerhalb eines kontaminierten Gebietes in dafür vorab als geeignet angesehenen Objekten, wie z.B. Schulen, eingerichtet und betrieben. Bei Bedarf können mehrere Notfallstationen gleichzeitig in Betrieb sein. Zu den Hauptaufgaben der Einsatzkräfte zählen die Feststellung radioaktiver Kontamination betroffener Personengruppen, die Dekontamination und die Abschätzung der erhaltenen Strahlenexposition. Die NFS ist daraufhin auszulegen, dass Erste-Hilfe-Maßnahmen durchgeführt werden können und je nach medizinischem Zustand eine suffiziente Weiterleitung von Personen entweder in Krankenhäuser oder an Niedergelassenen Ärzte oder in Notunterkünfte oder evtl. sogar zurück an ihren Wohnort erfolgen kann.
Aufgrund der vorhandenen Infrastruktur (Parkmöglichkeiten, beheizte Räume, Duschen nach Geschlechtern getrennt, Toilettenanlagen etc.) eignen sich besonders Schulen, Hallenbäder, oder Sporthallen als NFS.
Außerhalb der NFS werden Personen, die ein kontaminiertes oder kontaminationsverdächtiges Gebiet verlassen wollen, durch Einsatzkräfte der Polizei zunächst an sog. Kontrollstellen aufgehalten und über Aufenthaltszeit und – Ort in diesem Gebiet befragt. Ist kein Kontaminationsverdacht ersichtlich, können diese Personen ohne sonstige Maßnahmen zu einem Evakuierungsort bzw. zu Verwandten/Bekannten entlassen werden oder Weiterreisen. In der Realität dürften aufgrund der Personalstärke der örtlichen Polizei sowie deren Ausbildung und der möglicherweise größeren Menschenströme, die versuchen ein Gebiet zu verlassen bzw. ihre Angehörigen zu erreichen, Probleme manifest werden. Kontaminationsverdächtige Personen werden zu einem „Sammelplatz für Kontaminationsverdächtige“ weitergeleitet. Dieser Platz befand sich bei der vorgestellten Übung in Nördlingen in unmittelbarer Nähe zur NFS und wird vom Personal der Station 01 (Verkehrsführung) betrieben. Normalerweise werden die Personen der Sammelstelle mit Bussen zur NFS gebracht. Auch hier muss mit einer gewissen zusätzlichen Anzahl von Menschen gerechnet werden, die aus eigenem Antrieb versuchen, unter Umgehung von Sammelstellen, zur NFS zu gelangen. Wie das Beispiel des Giftgasanschlages mit Sarin in der U-Bahn Tokios am 20.03.1995 vor Augen geführt hat, können solche „Bewegungen“ zu einem schwer einschätzbaren Problem werden. In Japan sind damals abseits jeglicher Koordinationsbestrebungen der Lenkung dieser Menschenströme, ca. 2500 Personen eigenständig teils zu Fuß, per Anhalter oder mit Taxi in die nächsten Krankenhäuser geflüchtet. Hierbei kommen Überlegungen bei der Planung von NFS zu tragen ob, wie bei der Fußball WM 2006 praktiziert, nicht auch geschützte Dekontaminationseinrichtungen, zeitgleich mit dem Aufbau der NFS vor den großen Krankenhäusern einzurichten sind.

3. Organisationsschema einer Notfallstation (NFS)

(Quelle: SSK Band 4, S 17.) [4]



4. Aufgaben der einzelnen Stationen der NFS Nördlingen

(Quelle: Informationsblätter des Landratsamtes Donau-Ries):

Station 01 (Verkehrsführung)
Sammelplatz für Kontaminationsverdächtige, Ausgabe „Merkblatt für zu überprüfende Personen (Information über den weiteren Ablauf der Maßnahmen in der NFS). Weiterleitung zu Station 03 (Kontaminationsvorprüfstelle)

Station 02 (Erste-Hilfe-Station)
Ausstattung: Sitzgelegenheiten, Feldbetten, Liegen. Abholung von verletzten, erkrankten nicht gehfähigen Personen von Station 01. Ein Notfallmediziner untersucht verletzte, kranke und gebrechliche Personen auf Dekontaminationsfähigkeit. Nichtdekontaminationsfähige Personen werden in ein geeignetes Krankenhaus überstellt. Dekontaminationsfähige Personen werden zur Station 03 weitergeleitet.

Station 03 (Kontaminationsvorprüfstelle)
Alle Personen werden durch eine kurze Messung (ca. 1 Minute) auf Kontamination überprüft. Bei positivem Messwert bekommt die Person eine rote Plastikmarke um den Hals gehängt und wird zur Station 06 weitergeleitet. Bei negativem Messergebnis erhält die Person eine grüne Plastikmarke und wird zur Station 04 weitergeleitet.

Station 04 (Vorstauraum für Nichtkontaminierte)
Von hier aus erfolgt die Abrufung zu Station 05.

Station 05 (Kontaminationsnachweisstelle)
Es erfolgt eine Kontaminationsmessung über 4 Minuten. Ist das Messergebnis positiv, wird die grüne Plastikmarke gegen eine rote getauscht. Anschließend wird die Person zur Station 06 weitergeleitet. Wird keine Kontamination festgestellt, wird die grüne Plastikmarke gegen eine weiße getauscht und es erfolgt Weiterleitung zu Station 14.

Station 06 (Wertmarkenausgabe)
Die zu dekontaminierende Person erhält Wertmarken zur Kennzeichnung der persönlichen Wertsachen ausgehändigt.

Station 07 (Wertsachenabgabe)
Abgabe der persönlichen Wertsachen

Station 08 (Bekleidungsabgabe/ Transport)
Entkleiden (Oberbekleidung). Kontaminierte Kleidung wird in gekennzeichneten Säcken abtransportiert

Station 09 (Vorstauraum für Kontaminierte)
Sammelraum für kontaminierte Personen nach der Oberbekleidungsabgabe. Von hier aus erfolgt der Abruf zum Abpflasterraum

Station 10 (Abpflasterraum/Stauraum zur Dusche)
Hier erfolgt die Kontrolle auf Hautverletzungen und ggf. wasserdichtes Abkleben von Verletzungen (unter Aufsicht eines Arztes)

Station 11 (Dekontamination)
Es erfolgt Duschen unter Aufsicht von ABC-Fachpersonal und nach Geschlechtern getrennt. Nach dem Duschen erfolgt Handtuchausgabe.

Station 12 (Nachkontrolle)
Geduschte Personen werden nach dem Abtrocknen auf Restkontamination überprüft (nach Geschlechtern getrennt)
Falls der vorgegebene (Aufsichtsbehörde) „Grenzwert“ überschritten wird, muss der Duschvorgang wiederholt werden. Wird der vorgegebene Wert unterschritten, dann wird die rote Plastikmarke gegen eine Weiße ausgetauscht und die Person zu Station 13 weitergeleitet.

Station 13 (Bekleidungsausgabe/ Wertsachenrückgabe)
Die dekontaminierte Person erhält Ersatzkleidung (gestellt durch die Kreisverwaltungsbehörde) und nach dem Ankleiden, ihre Wertsachen zurück. Dann erfolgt die Weiterleitung zu Station 14.

Station 14 (Wartestation)
Stauraum vor Station 15

Station 15 (Erfassung/ Beurteilung)
Alle Personen, die den Kontaminationsnachweis und gegebenenfalls die Dekontamination durchlaufen haben, werden mittels eines Erhebungsbogen erfasst und bezüglich ihrer vermeintlichen bzw. tatsächlichen Strahlenexposition beurteilt. Dosisabschätzung.
Ergibt sich anhand der Beurteilung, dass keine Strahlenexposition vorliegt, so wird die Person zu Station 18 weitergeleitet. Liegt eine relevante Strahlenexposition vor, so wird die Person zu Station 16 weitergeleitet.

Station 16 (Strahlenschutzärztliche Beurteilung)
Hier erfolgt die Befragung und Beurteilung der betroffenen Personen durch einen Strahlenschutzarzt, sowie eine kurze Beratung. Der Strahlenschutzarzt legt die weitere Behandlung fest. Danach erfolgt die Weiterleitung zu Station 17.

Station 17 (Verteilung)
Personen, die nach Beurteilung durch den ermächtigten Arzt einer umgehenden stationären Behandlung bedürfen werden über die Rettungsleitstelle entsprechenden Kliniken zugeführt. Die weißen Plastikmarken dieser Personen verbleiben bei der Station.17
Personen, die keiner stationären Behandlung bedürfen, werden weiter zu Station 18 geleitet.

Station 18 (Information/ Aufenthaltsregelung)
Hier werden die weißen Plastikmarken einbehalten und das Merkblatt mit Verhaltensregeln nach einem Strahlenunfall wird ausgehändigt. Außerdem werden alle Personen registriert und ihr vorläufiger Aufenthaltsort festgehalten. Von hier aus wird der Transport in die Aufnahmeorte geregelt.

5. Teilnehmer an der Übung in Nördlingen:

ca. 130 Einsatzkräfte und über 50 Mimen der Freiwilligen- und Jugend-Feuerwehr
2 ABC-Züge
Malteser Hilfsdienst

Freiwillige Feuerwehr Nördlingen
BRK
2 Strahlenschutzärzte
Mitarbeiter des Landratsamtes Donau-Ries
Mitarbeiter der Schule, die als NFS ausgewählt wurde

Für den Aufbau und die Inbetriebnahme der NFS sind 2 Stunden einzuplanen, sofern die benötigten Arbeitsmaterialien zur Verfügung stehen.

Das Übungsszenario der NFS wurde nach Aufbau und Einweisung der Einsatzkräfte, mit der Anzahl von 50 Betroffenen innerhalb von ca. zwei Stunden vollständig durchlaufen.

6. Definition Strahlenschutzarzt

Nach der Definition im Band 4 der Veröffentlichungen der Strahlenschutzkommission „Medizinische Maßnahmen nach Kernkraftwerksunfällen“, ist der Strahlenschutzarzt ein sowohl im Strahlenschutz als auch in der Katastrophen- und Notfallmedizin speziell fortgebildete/r Ärztin/Arzt. Es handelt sich bei dieser Bezeichnung aber nicht um eine Fachgebietsbezeichnung nach der Weiterbildungsordnung für Ärzte [4]. Oftmals sind es ärztliche Kollegen/Innen die als Arbeits- oder Betriebsmediziner/Inn Kernkraftwerksmitarbeiter/Innen betreuen oder in Strahlen-Forschungseinrichtungen tätig sind und die staatliche Ermächtigung zur Untersuchung und Beurteilung beruflich strahlenexponierter Personen besitzen.

Der Strahlenschutzarzt hat folgende Aufgaben:

- Beratung der Katastrophenschutzleitung in strahlenschutzmedizinischen Fragen
- Ärztliche Leitung in der NFS
- Sichtung Verletzter und Einteilung in Dringlichkeits-Kategorien
- Durchführung erster medizinischer Maßnahmen in der NFS
- Veranlassung weiterführender medizinischer Maßnahmen (ambulant/ stationär)
- Beratung der beteiligten medizinischen Einsatzkräfte
- Beratung von Behörden im Ereignisfall
- Information der weiterbehandelnden Krankenhäuser
- Festlegung der Richtwerte für Dekontaminationsmaßnahmen

Die benötigte Anzahl der Strahlenschutzärzte richtet sich nach der Anzahl der betroffenen Personen. Es sollten mindestens zwei in der Strahlenschutzmedizin fortgebildete Ärzte/Innen sein. Zur Durchführung sonstiger notwendiger medizinischer Maßnahmen ist es sinnvoll Ärzte/Innen anderer Fachrichtungen hinzuzuziehen (Notfallmedizin, Unfallchirurgie, Anästhesie usw.)

7. Anmerkungen zum Betrieb einer NFS

Shuttle/Transport System
Die Besatzungen der Transporteinheiten, deren Aufgabe im Transport evtl. kontaminierter Personen zur NFS besteht, melden Bedenken an, dass ihre Strahlenbelastung (subjektiv)

durch die häufigen Transporte zu hoch werden könnte und die Sitze der Fahrzeuge nicht zur Dekontamination geeignet sind.

Lage der NFS
Die NFS sollte sich möglichst nicht in einem stark verbauten Umfeld befinden, um für die Einsatzkräfte schnell und einfach zugänglich zu sein und auch der Abtransport verletzter Personen mit Krankentransportwagen muss zügig möglich sein.

Parkplätze vor der NFS
Die Einsatzfahrzeuge NFS der verschiedenen Hilfsorganisationen und der Feuerwehren benötigen ausreichend Platz. Es sind Bereitstellungsräume für Busse vorzusehen, die zum Abtransport der durchgeschleusten Personen in die Aufnahmegebiete zur Verfügung stehen. Bereitstellungsräume für Rettungsdienstfahrzeuge sowie mindestens ein Hubschrauberlandeplatz und die Verkehrsführung der Zu- und Abfahrt für Versorgungsfahrzeuge ist zu bewerkstelligen. Es muss damit gerechnet werden, dass eine größere Anzahl betroffener Personen versuchen wird, die NFS mit dem PKW zu erreichen. Dementsprechend müssen genügend Kräfte für die Verkehrsführung und auch Stauräume wie Parkmöglichkeiten zur Verfügung stehen.

Sanitäreinrichtungen
Die Anzahl der WC-Anlagen in den Wartezonen und im Schwarzbereich sowie im Bereich nach der Dekontamination sollte ausreichend vorhanden sein.
Es muss mit einem größeren Anfall an Papierhandtüchern (keine Stoffhandtücher!), die kontaminiert sind, gerechnet werden (ausreichende Anzahl von gekennzeichneten Abfallbehältern).

Sitzgelegenheiten in der NFS
Wählt man eine Grundschule als NFS aus, muss mit deutlich kleineren Stühlen, nämlich für Kinder bis zur 4.Klasse, gerechnet werden. Bei einem Schichtbetrieb über viele Stunden kann ein solch marginales Problem für Unmut sorgen.

Personalstärke
Einsatz von genügend Hilfspersonal. Das fängt schon beim Einweisen am Parkplatz an. Es muss auch bei entsprechendem Szenario an den Schichtbetrieb rund um die Uhr gedacht werden. Für ausreichende Verpflegungsmöglichkeiten ist zu sorgen. Ebenso sollte ausreichende persönliche Schutzkleidung zur Verfügung stehen (häufiger Handschuhwechsel, genügend Atemschutzfiltermasken etc.)

Ausrüstung
Unterschiedlichste Modelle der Schutzkleidung werden von den einzelnen beteiligten Organisationen vorgehalten. Dies kann zu Irritationen bei den Einsatzkräften führen, da damit unterschiedliche Schutzfunktionen verknüpft werden. Einsatzkräfte können sich nur dann auf ihre originären Aufgaben konzentrieren, wenn sie sich der Situation angemessen gut (besser: optimal !) geschützt fühlen.

Spezialkräfte
Es sollte frühzeitig daran gedacht werden, medizinische Spezialkräfte wie z.B. Experten der Regionalen Strahlenschutzzentren (RSZ) mit in das Geschehen einzubinden und gegebenenfalls als Unterstützung der in der NFS tätigen Strahlenschutzärzte anzufordern (Bsp: RSZ des

GSF- Forschungszentrums, seit Januar 2008: Helmholtz Zentrum München, Deutsches Forschungszentrum für Gesundheit und Umwelt (GmbH))[5]

Ausgabe von Kaliumiodid Tabletten
Es herrschte bei einigen Stationen der Übung in Nordlingen Unklarheit über die Maßnahme der Ausgabe von Kaliumiodid Tabletten. Im Ernstfall dürfte dies eines der zentralen Themen der betroffenen Personen sowie auch der Einsatzkräfte sein.

Kommunikation nach Innen
Innerhalb der NFS mit Funkgerät, Telefon, Mobiltelefon, Megaphon, Boten, Internet.
Bei Übungen kommt es dabei immer wieder zu mangelnder Kompatibilität der verwendeten Systeme.

Kommunikation nach Außen
Einsatzkräfte außerhalb der NFS werden zuwenig über Vorgänge im internen Bereich auf dem Laufenden gehalten. Es entstehen Gerüchte die zu irrationalem Verhalten, selbst der professionellen Akteure führen können.
Ebenso wichtig ist eine progressive Öffentlichkeitsarbeit. Es müssen dazu speziell geschulte Einsatzkräfte eingeteilt sein (als solche erkennbar!).

Kennzeichnung von Funktionsträgern
Leichte Westen mit eindeutiger Kennzeichnung tragen zum gegenseitigen Erkennen der Einsatzkräfte und der betroffenen Personen bei. Auch in der Notfallstation sollten dies eingehalten werden um Funktionsträger eindeutig sichtbar werden zu lassen.

Weiterbildung
Besonders die Nicht-Strahlenschutz-Ärzte und der Sanitätsdienst in der Notfallstation müssen bevor es zum Einsatz in der NFS kommt über den Katastrophenschutz in der Umgebung kerntechnischer Anlagen speziell unterrichtet sein. Es zeigte sich in der Vergangenheit, dass es durchaus nicht trivial ist, eine ausreichende Anzahl von Strahlenschutzärzten für Übungen zu interessieren und auf der anderen Seite Notfallmediziner nicht gleichbedeutend über ausreichendes Wissen um strahlenschutzmedizinische Themen verfügen.
Auch erfordert die Abschätzung der Strahlenexposition in Station 15 ein gewisses Maß an Hintergrundwissen und Plausibilitätsüberlegungen. Die Einsatzkräfte müssen mit der Fachterminologie vertraut sein. Dies gilt auch für die polizeilichen Einsatzkräfte im Vorfeld der NFS.

8. Danksagung

Mein besonderer Dank gebührt den vielen Statisten der Freiwilligen Feuerwehren Nördlingen, Baldingen, Pfäfflingen, Alerheim und Dornstadt. Ebenso möchte ich besonders den Vertretern des Landratsamtes Donau-Ries danken, die es mir ermöglichten, als Beobachter an der Übung „Notfallstation in Nördlingen am 28.07.2007“ teilzunehmen.

9. Literaturverzeichnis

[1] Gesetz über die friedliche Verwendung der Kernenergie und den Schutz gegen ihre Gefahren (Atomgesetz), 15. Juli 1985 (BGBL. I S. 1565)

[2] Der Bundesminister für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit: Rahmenempfehlungen für den Katastrophenschutz in der Umgebung kerntechnischer Anlagen vom 1.Dezember 1988 (GMBL.1989, S.71)

[3] Info für Medienvertreter und Beobachter, Landratsamt Donau-Ries, Katastrophenschutz, 2007

[4] SSK Band 4, Medizinische Maßnahmen bei Kernkraftwerksunfällen, BMU, 2007, Berlin

[5] ALLMBL Nr. 22/1990, Katastrophenschutz in der Umgebung kerntechnischer Anlagen in Bayern; Leitsätze für die Erstellung objektbezogener Alarm- und Einsatzpläne sowie für Maßnahmen des Katastrophenschutzes bei kerntechnischen Unfällen. Bay. Staatministerium des Innern, 16.Okt.1990 Nr.I D 1-3041-6/606

DER MEDIZINISCHE NOTFALLPLAN FÜR STRAHLENUNFÄLLE IM KONTROLLBEREICH DER HAUPTABTEILUNG FÜR DIE SICHERHEIT DER KERNANLAGEN (HSK)

THE MEDICAL EMERGENCY PROCEDURES PLAN IN THE SWISS FEDERAL NUCLEAR SAFETY INSPECTORATE'S (HSK) FIELD OF SUPERVISION

R. Scheidegger

Hauptabteilung für die Sicherheit der Kernanlagen (HSK) Villigen, Schweiz

Zusammenfassung
Der Medizinische Notfallplan für Strahlenunfälle legt die Vorgehensweise zur Bewältigung eines Unfalles in einer Kernanlage fest. Darin sind die medizinischen und radiologischen Massnahmen enthalten, die bei einem konventionellen Unfall, bei einem Strahlenunfall oder bei einem Kombinationsunfall beachtet werden müssen.
Es handelt sich um ein Dokument, welches in Zusammenarbeit zwischen zwei der drei Schweizer Aufsichtsbehörden, nämlich der HSK und der Schweizerischen Unfallversicherungsanstalt (SUVA), erstellt wurde.

Summary
The medical Emergency Plan sets how to handle accidents in a nuclear installation. It encompasses all the medical and radiological measures which have to be taken after a conventional accident, a radiation incident or in case of a combination of the two.
The document was written in cooperation by two of the three regulatory offices in Switzerland, the federal nuclear safety inspectorate HSK and the Swiss accident insurance company SUVA.

Schlüsselwörter *Medizinischer Notfallplan, Strahlenunfall*
Keywords *Medical Emergency procedures, Radiation accident*

1. Einleitung

In der Schweiz liegen die den Strahlenschutz betreffenden Bereiche in der Verantwortlichkeit von drei Aufsichtsbehörden. Die medizinischen Belange unterstehen der Aufsicht des Bundesamtes für Gesundheit (BAG), industrielle Anwendungen werden von der Schweizerischen Unfallversicherungsanstalt (SUVA) beaufsichtigt und der Strahlenschutz in den Kernanlagen ist Teil der Aufsichtsverantwortung der Hauptabteilung für die Sicherheit der Kernanlagen (HSK).
Während die Kompetenzen im Strahlenschutz klar abgegrenzt sind, sind die Verhältnisse bezüglich der konventionellen Sicherheit weit weniger klar. Eigentlich ist sie in Betrieben Sache der SUVA. Da in den Kernanlagen Strahlenschutz und konventionelle Sicherheit (Sanität) eng zusammenarbeiten müssen und weil bei Personenunfällen immer mit einer radiologischen Komponente gerechnet werden muss, schliesst hier die Aufsichtskompetenz der HSK die konventionelle Arbeitssicherheit mit ein.
Um in diesem Bereich Überschneidungen zwischen den Kompetenzen der HSK und der SUVA zu vermeiden, wurde der Sektion radiologischer Arbeitsschutz (RAS) in der

Geschäftsordnung der HSK die Aufgabe zugeteilt, für „die Erstellung von Grundlagen für die medizinische Notfallplanung“ besorgt zu sein.
In Zusammenarbeit zwischen HSK und SUVA wurde dazu ein Grundsatzdokument erstellt, welches die Abläufe und Aufgaben bei der Bewältigung von Unfällen in Kernanlagen von Bekanntwerden des Zwischenfalles (resp. der Alarmierung der Sanitätsequipen und des Strahlenschutzes) bis zur Übergabe des/der Verletzten ans medizinische Fachpersonal definiert.
Der aktuell gültige *Medizinische Notfallplan für Strahlenunfälle im Kontrollbereich der Hauptabteilung für die Sicherheit der Kernanlagen* enthält dazu die folgenden Punkte:

- Theoretischer Hintergrund
- Dosisschätzungen
- Äussere Bestrahlung
- Vorgehen bei Kombinationsverletzungen
- Vorgehen bei Kontamination/ Inkorporation
- Pflichtenhefte der Mitglieder der beteiligten Notfallequipen sowie des medizinischen Personals in den Spitälern und der Behörden
- Spitaleinweisung
- Meldung an die Behörden
- Ansprechpartner bei Notfällen
- Praktische Anleitungen

Die bei Notfällen in Kraft tretenden Abläufe und Verantwortlichkeiten sind in den Notfallreglementen der Kernanlagen detailliert beschrieben.

2. Der medizinische Notfallplan

Das aktuelle Dokument stammt aus dem Jahr 1997 und wird gegenwärtig überarbeitet. Im Folgenden sollen die wichtigsten Informationen aus dem „alten“ Dokument. und die Ziele der Überarbeitung dargelegt werden.
Der Zweck lässt sich wie folgt umschreiben: Durch gezielte Massnahmen der Ersten Hilfe sollen die Schäden bei unzulässiger äusserer und/oder innerer Bestrahlung in Grenzen gehalten werden. Im Vordergrund stehen dabei die Massnahmen zur Bekämpfung somatischer Frühschäden, aber auch die Verhütung von Spätschäden und die Verringerung der diesbezüglichen Gesundheitsrisiken (Krebsrisiko in den Folgejahren) hat dieser Notfallplan zum Gegenstand. Der Notfallplan gilt für Betriebsunfälle mit beschränkter Personenzahl.

2.1 Das Vorgehen im Ernstfall

Um eine möglichst effektive medizinische Versorgung zu ermöglichen, muss bei einem radiologischen Zwischenfall die Dosis sowohl physikalisch als auch medizinisch abgeschätzt werden.
Die Strahlenschutzfachleute des Betriebes schätzen Art und Grösse von Kontamination/ Inkorporation und äusserer Bestrahlung durch eine Analyse der Unfallsituation, Dosimeterauswertung, oder durch eine Inkorporationsmessung. Wichtig ist auch eine

akkurate Spurensicherung und –ausmessung am Unfallort. Es ist immer von der höchstmöglichen Dosis auszugehen.
Im Fall der medizinisch geschätzten Dosis muss sich der zugezogene Arzt darüber im Klaren sein, dass die ihm vom Strahlenschutz-Sachverständigen gelieferten Dosisangaben die tatsächlich erhaltene Dosis weit verfehlen können. Trotzdem ist bei den medizinischen Erstmassnahmen vorerst von den Dosisangaben des Physikers auszugehen, weil eine medizinisch/biologische Schätzung bei relativ kleinen Dosen zeitaufwändig und daher in den ersten Stunden nach dem Ereignis praktisch unmöglich ist. Kommt der Arzt allerdings aufgrund von Anamnese, klinischem Status und Laborbefunden zu anderen Dosen als der Strahlenschutz-Sachverständige, ist die medizinisch geschätzte Dosis für weitere Massnahmen bestimmend.

Bei Kombinationen mit ernsthaften konventionellen ("chirurgischen") Verletzungen steht die Behandlung des konventionellen Traumas eindeutig an erster Stelle. Hier werden die entsprechenden Methoden der Ersten Hilfe angewendet.
Die Sanitätsequipen in den von der HSK beaufsichtigten Kernanlagen werden regelmässig sowohl bei Ausbildungslektionen als auch bei Notfallübungen inspiziert. Ebenso werden in Zusammenarbeit mit dem jeweiligen Werksarzt die Ausstattung der Notfallräume und das Sortiment der Medikamente kontrolliert.

Bei der Bewältigung von Unfällen, an denen Inkorporationen, Kontaminationen oder äussere Bestrahlung (Ganz- oder Teilkörper) beteiligt sind, werden die entsprechenden Vorgehensweisen beschrieben. Auch bei nicht akut lebensbedrohlichen Verletzungen steht die Behandlung des konventionellen Traumas im Vordergrund. Allerdings sollte hier sofern nötig zuerst eine Dekontamination/Dekorporation des Verletzten vorgenommen werden. Bei allen konventionellen Verletzungen ist eine Primärversorgung anzustreben.

Für die Dekontamination soll ausser der Entfernung von kontaminierten Kleidungsstücken am Schadensplatz nur noch temperiertes Wasser zum Einsatz kommen. Besondere Dekontaminationsmittel sollten hier, wenn überhaupt, nur zusammen mit geschultem medizinischem Fachpersonal angewendet werden. Dasselbe gilt für Dekorporationsmittel. Wenn es der Zustand des Patienten erlaubt, ist aus Strahlenschutzgründen eine Dekontamination bis auf 1 Richtwert anzustreben.
Bei Strahlenunfällen mit Anzeichen einer Iodfreisetzung muss den Verunfallten durch die Sanitäter unverzüglich eine Kaliumiodidtablette verabreicht werden.

In einer überarbeiteten Form des Dokuments wird die bis anhin geforderte Blutentnahme für die Blutbild- oder Chromosomenanalyse nicht mehr vorhanden sein. Sie kann ohne Weiteres auch später in einer Arztpraxis oder im Spital erfolgen.

2.2 Strahlenschutz bei einer Spitaleinweisung

Zwischen den Kernanlagen und nahe gelegenen Spitälern bestehen vertragliche Abmachungen über die Einweisung von Verletzten, die möglicherweise kontaminiert sind und/oder eine äussere Bestrahlung erfahren haben.
Ist eine rasche Einlieferung der (Strahlen-) Verletzten ins Spital erforderlich, so soll in jedem Fall ein ausgerüsteter Strahlenschutz-Fachmann des Betriebes mitgeschickt werden.

3. Fazit

Zwischen der HSK und der SUVA besteht ein Abkommen, das die betriebliche konventionelle Sicherheit in den Kernanlagen dem Aufsichtsbereich der HSK zuordnet.
Der Medizinische Notfallplan umfasst grob die Abläufe, die nach einem Personenunfall mit oder ohne Strahleneinfluss eingehalten werden müssen. Die Notfallreglemente und Notfallanweisungen in den Kernanlagen beziehen sich auf dieses Dokument.

AKTIVITÄTEN SEITENS DER OBERSTEN KATASTROPHEN-SCHUTZBEHÖRDE IN HESSEN IM BEREICH „ÄRZTE IM NUKLEAREN KATASTROPHENSCHUTZ“

ACTIVITIES BY THE SUPREME DISASTER MANAGEMENT AUTHORITY IN HESSEN, GERMANY, IN THE SECTOR OF "PHYSICIANS IN THE NUCLEAR DISASTER MANAGEMENTS"

M. Griesbach

Hessisches Ministerium des Innern und für Sport, Wiesbaden, Deutschland

Zusammenfassung
Für Ärzte, die bei Übungen und bei Ereignisfällen im nuklearen Katastrophenschutz in Stäben und in Notfallstationen tätig werden sollen, fehlen weitgehend geeignete Aus- und Weiterbildungsveranstaltungen. Das bezieht sich nicht unbedingt auf die Vermittlung von naturwissenschaftlichen Grundlagen und Basisinformationen im Strahlenschutz, sondern auf spezielles Wissen im Katastrophenschutz und radiologisches Hintergrundwissen (z. B.: Strukturen, Zuständigkeiten, Arbeitsweisen, Einheiten, Ausbildungsstand im Katastrophen-schutz; Möglichkeiten der Strahlenexposition, deren Minimierung sowie die Erkenntnis keine Individualmaßnahmen durchführen zu können).
Man kann diesen Zustand bedauern und sich damit abfinden oder eigene Ansätze zur Lösung dieses Defizits suchen und umsetzen.
An dieser Stelle wird ein Konzept vorgestellt, das die unternommenen Aktivitäten in Hessen schildert.
Dieses hat Erfolg gehabt, kann aber wegen unterschiedlicher spezieller Voraussetzungen nicht in allen Ländern im gleichen Maßstab kopiert werden.

Summery
Suitable arrangements for training physicians, who ought to be active by exercises and incidents in connection with nuclear disaster managements in staffs and „Notfallstationen“ are missing. This is not related absolutely to the imparting of natural scientific basics for example in radiation protection but to specific knowledge in disaster control and management and radiological background knowledge (for example: structures, competent authorities, working methods, troops, level of training in disaster control, possibilities of nuclear expositions, the minimations of these and the knowledge to realize no individual measures).
You can regret this state and resign or to search to own statements to solve the deficits and to make it better.
Here notes are presented, which describes the activities carried out in Hessen, Germany.
The efforts have been successful, but cannot been copied in the same standard in all counties in Germany because of the different specific conditions.

Schlüsselwörter *Ärzte und nuklearer Katastrophenschutz, Ärzte in Notfallstationen und Stäben, Konzept Hessen*
Keywords *physicians and nuclear emergency, physicians in „Notfallstationen“ and staffs; notes in the country of Hessen, Germany*

1. Das Problem

Im Rahmen des Katastrophenschutzes (KatS) wird in Einrichtungen, die aufgetretene Katastrophen bewältigen müssen, eine Reihe von Funktionsträgern und Fachberater benötigt.
Da Katastrophen in Deutschland zum Glück recht rar sind, fehlen Erfahrungen. Dennoch müssen in den Ländern – KatS ist in Deutschland eine Angelegenheit der Länder – in vorgegebenen Strukturen Personen in Übungen der verschiedensten Art versuchen, entsprech-ende Vorgaben (Übungsszenarien) sinnvoll abzuarbeiten bzw. Aufgaben zu erfüllen und Übungsziele zu erreichen.
Ärzte spielen u. a. hierbei auch eine wichtige Rolle. Speziell im Bereich des nuklearen KatS sind Ärzte als Mitglieder in KatS-Stäben und als Leiter und Mitarbeiter in so genannten Notfallstationen vorgesehen.
Woher nehmen nun diese Ärzte ihr erweitertes Spezialwissen um nukleare Angelegenheiten und hinsichtlich der Mitwirkung in Stäben der Katastrophenabwehrleitung und in den Notfallstationen als medizinischer Leiter bzw als Mitarbeiter? Im Rahmen des Studiums wird dieses Wissen im Regelfall gerade nur gestreift. Eine Reihe von speziellen Aus- und Fortbildungsveranstaltern bieten Kurse zum Thema „Strahlenschutz in der Medizin“ z. B. an für:
* Röntgendiagnostik
* Nuklearmedizin
* Strahlentherapie
* Medizinphysik-Experten
* Ermächtigte Ärzte
Diese Veranstaltungen umfassen in der Regel einen Grund- sowie einen Spezialkurs. Der Bereich „Grundkurs“ – in der Regel von dreitägiger Dauer – ist sicher als Einstieg in die Materie auch im Sinne des KatS sinnvoll, es wird jedoch – bislang zumindest – kein Spezialkurs „Ärzte im nuklearen KatS“ angeboten.

2. Ein Lösungsansatz

Da die Problematik von nicht entsprechend ausgebildeten Ärzten – ein bundesweites Manko – weder von den unteren KatS-Behörden (in Hessen: die Landkreise und kreisfreien Städte, in der Summe 26), noch von den oberen KatS-Behörden (die drei Regierungspräsidien) gelöst werden konnte und bis heute nicht zu lösen ist, sah sich der Autor (Nuklearchemiker und Strahlenschutzbeauftragter) als Mitglied der obersten KatS-Behörde (Hessisches Ministerium des Innern und für Sport) gezwungen, entsprechende Kurse in Hessen anzubieten. Eine Übersicht mit den Aktivitäten der letzten Jahre ist dem **Anhang 1** zu entnehmen.
Diese Veranstaltungen beinhalten neben Spezialvorträgen (Ärzte für Ärzte, siehe **Anhang 2**) zu möglicherweise relevanten Themen auch ausgewählte Bereiche aus naturwissenschaftlicher Sicht, Ausbreitungsmöglichkeiten aus kerntechnischen Anlagen, Erfahrungen aus der Vergangenheit mit erfolgten Freisetzungen von radioaktiven Stoffen, das Konzept Notfall-station sowie Erfahrungen aus Übungen sowie bei Bedarf Informationen zum Arbeiten in Stäben der Katastrophenabwehrleitung.
Dem **Anhang 3** ist eine erweiterte Auflistung dieses Themenbereiches zu entnehmen. Dieser Teil wird vom Autor präsentiert.

3. Ärzte in Notfallstationen (NFS) und Stäben

Das Konzept der NFS zur Hilfe von vor freigesetzten radioaktiven Stoffen betroffenen Personen bzw. von Personen, die sich für betroffen halten, aber beruhigt „entlassen“ werden können, wird hier nicht weiter erläutert, sondern als bekannt vorausgesetzt.
Auch in der hessischen Varianten des Konzeptes NFS [1] sind Ärzte aufgeführt, die laut StrlSchV „ermächtigt“ sein sollen. Die Praxis – nicht nur in Hessen – hat gezeigt, dass hiervon zu wenige Personen vorhanden sind.
Ein einfaches Rechenbeispiel mag das verdeutlichen: In Hessen existieren derzeit 32 GABC-Züge, die für den Aufbau und Betrieb von NFS zuständig sind. Man könnte – rein rechnerisch – 10 NFS in drei Schichten betreiben. Unter der Annahme von 5 Ärzten pro Schicht in diesen 10 Stationen wären 150 Ärzte notwendig (bei nur 3 Ärzten pro Schicht wäre die Summe immerhin noch 90 Personen!).

Zur weiteren Information:
* In Hessen existieren seit 1990 über fast 130 Objekte, die für die Einrichtung von NFS geeignet und in Katastrophenabwehrplänen aufgelistet sind.
* Die erste Übung „Aufbau und Betrieb von NFS“ in Hessen fand 1983 statt.
* Bislang fanden in Hessen fast 80 dieser Übungen statt.

Wie ausgeführt existiert ein erheblicher Mangel an geeignet ausgebildeten Ärzten, die sich aber auch zur Mitarbeit im nuklearen KatS bereit erklären. Im Ereignisfall ist eine „Dienstverpflichtung“ laut gesetzlicher Grundlage [2] möglich, jedoch macht dies wenig Sinn, wenn in Übungen ein notwendiges Zusammenspielen im Vorfeld nicht praktiziert wurde.
Da nicht genügend geeignete Ärzte bislang zur Verfügung standen und derzeit auch noch nicht stehen, niemand diese entsprechend ausgebildet hat, bestand die Konsequenz, die Ausbildung selber zu realisieren. Die so genannten Rekrutierungsbereiche waren in der Hauptsache:
* Arbeitsmediziner
* Notfallärzte
* Ärzte im Bereich der Staatlichen Gesundheitsämter
* Ärzte, die bereits im KatS – auch im nuklearen – tätig waren und dies auch bleiben wollten

Nach den bislang durchgeführten Ärzteseminaren in Hessen besteht eine Liste von über 40 Personen, die sich zu einer Mitarbeit im Rahmen Übungen bereit erklärt haben.
Die Arbeit als im Regelfall ärztlicher Fachberater im KatS-Stab des Landrates des Landkreises Bergstraße (federführende untere KatS-Behörde im Zusammenhang mit dem KKW Biblis) gestaltet sich einfacher als die Arbeit in NFS. Zum einen ist in den Rahmenempfehlungen [3] und den Radiologischen Grundlagen [4] bereits eine Reihe von Maßnahmen, deren Ableitungen und Begründungen festgelegt, zum anderen besteht z. B. mit dem Team „Fachberater Strahlenschutz“ die Möglichkeit einer fachlichen Diskussion, die in NFS nicht vorhanden ist.
Die Kenntnis von Band 32 – seit 2007 in der zweiten Auflage – der Reihe „Veröffentlichungen der Strahlenschutzkommission“ [5] ist sicherlich als Hintergrundinformation für Ärzte sehr hilfreich.

4. Erfahrungen

Die Erfahrungen in Hessen mit dem vorhandenen Konzept haben sich in der Vergangenheit bewährt. Auf Grund der Tatsache, dass der Autor in vielen Bereichen des nuklearen KatS in der obersten KatS-Behörde ein „Einzelkämpfer“ ist, war es leider nicht möglich, jedes Jahr ein Ärzteseminar durchzuführen. Das ist darin begründet, dass auch weitere Aktivitäten (Ausbildung von Messtechnikern in Notfallstationen; Planung, Durchführung und Auswer-tung von Übungen; Fortschreibung einer Informationsreihe für Helfer im nuklearen KatS, Erstellung bzw. Ergänzung von Ausbildungsunterlagen für das Personal der 32 Strahlenspür-trupps in Hessen) notwendig waren.
Das nächste Ärzteseminar ist noch in diesem Jahr im Vorfeld der KatS-Vollübung „Biblis 2008“ geplant (Termin: 4. Juni 2008 im Hessischen Ministerium des Innern und für Sport, halbtägig, mit der Zusage der Landesärztekammer Hessen, Teilnehmern dieses Seminars – wie in 2004 – fünf Zertifizierungspunkte anzurechnen).

5. Ausblick

Es wird begrüßt, dass in Band 4 der Reihe „Veröffentlichungen der Strahlenschutzkommission“ [6] speziell unter Punkt 3.3 ein Aufgabenkatalog für den medizinischen Leiter in einer NFS und für die in den Notfallstationen tätigen Strahlenschutzärzte aufgelistet ist und notwendige Voraussetzungen benannt sind. Weiterhin werden auch Ärzte anderer Fachrichtungen für einen sinnvollen Einsatz in NFS aufgeführt.
Eine konkrete Veranstaltung auf der Basis dieses Leitfadens wird meiner Kenntnis nach derzeit aber noch nicht angeboten.
Es wäre zusätzlich zu begrüßen, wenn die Strahlenschutzkommission den Ländern eine notwendige „Checkliste“ für einen Einsatz erstellen würde, mit deren Hilfe sich Ärzte in NFS zurechtfinden können. Eine vorhandene Hemmschwelle auf ärztlicher Seite könnte damit herab gesetzt werden und eigene Ausbildungsaktivitäten der Länder sinnvoll unterstützt werden.
Eine Schwierigkeit, die weiterhin auftritt, ist die Frage der Finanzierung entsprechender Kurse – wenn es diese einmal geben sollte – für interessierte Ärzte. Es gibt durchaus auf Behördenseite Überlegungen, ob das Bereitstellen von finanziellen Mitteln – Vorlauf ca. ein Jahr – vor dem Hintergrund der Restlaufzeiten bzw. der festgeschriebenen Reststrommengen für die KKW-Blöcke Biblis A und Biblis B noch notwendig ist.
In Hessen wird die Abschätzung der Dosis aus verschiedenen Belastungspfaden von so genannten Messtechnikern übernommen, die ebenso in der Vergangenheit wie Ärzte im Rahmen von Tagesseminaren vom Autor bezüglich ihrer Aufgaben in der NFS informiert wurden. In diesem Rahmen wurde eine Reihe von Vorgaben (z. B.: betroffene Ortschaft in X km Entfernung vom Emissionsort, Aufenthalt im Freien/im Gebäude, Dosisleistung der Radionuklide in der vorbeiziehenden Wolke, Kontaminationshöhe der Bekleidung/Körperoberfläche) praktisch in Dosisabschätzungen (äußere Bestrahlung und Inhalation) sowie eine Einteilung in Kontaminationsbereiche laut Vorgaben des Erhebungsbogens durchgeführt (**Anhang 4**).
Auch diese Art der Aus- und Weiterbildung muss fortgesetzt werden.
Derzeit (Januar 2008) sind im Bereich Regierungspräsidium Darmstadt 65 Personen aus den vorhandenen unteren Katastrophenschutzbehörden für die Funktion „Messtechniker“ erfasst. In den beiden anderen Regierungspräsidien in Hessen (Gießen und Kassel) sind ca. weitere 20 Personen ausgebildet und für diese Aufgabe bereit.

6. Literatur

[1] Rahmenempfehlung zum Aufbau und Betrieb von Notfallstationen in Hessen (RE-NFS-HE), 2. Auflage Juni 2000, mit laufender Aktualisierung, zuletzt am 31. Juli 2007

[2] Hessisches Gesetz über den Brandschutz, die Allgemeine Hilfe und den Katastrophenschutz (HBKG), Gesetz- und Verordnungsblatt für das Land Hessen, Teil I, Nr.26, Seite 530

[3] Rahmenempfehlungen für den Katastrophenschutz in der Umgebung kerntechnischer Anlagen, GMBl 1999, Nr. 28/29, Seite 538 ff.
bzw. novellierte Fassung vom September 2007, derzeit noch nicht veröffentlicht

[4] Radiologische Grundlagen für Entscheidungen über Maßnahmen zum Schutz der Bevölkerung bei unfallbedingten Freisetzungen von Radionukliden, GMBl 1999, Nr. 28/29 [im Anschluss an die Rahmenempfehlungen]
bzw. novellierte Fassung vom September 2007, derzeit noch nicht veröffentlicht

[5] Veröffentlichungen der Strahlenschutzkommission, Band 32; herausgegeben vom Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit;
Der Strahlenunfall – Ein Leitfaden für Erstmaßnahmen,
2. überarbeitete Auflage, 2007, H. Hoffmann GmbH – Fachverlag, Berlin

[6] Veröffentlichungen der Strahlenschutzkommission, Band 4; herausgegeben vom Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit;
Medizinische Maßnahmen bei Kernkraftwerksunfällen – Leitfaden für:
* Ärztliche Berater der Katastrophenschutzleitung
* Ärzte in Notfallstationen
* Ärzte in der ambulanten und stationären Betreuung
3., überarbeitete Auflage, 2007; H. Hoffmann GmbH – Fachverlag, Berlin

Anhang 1:

Ärzteseminare „Nuklearer Katastrophenschutz“, veranstaltet vom Hessischen Ministerium des Innern

1. Seminar:	14. und 28. Oktober bzw. 4. November 1992
2. Seminar:	1. und 8. Dezember 1993
3. Seminar:	25. Januar 1995 (im Forschungszentrum Karlsruhe)
4. Seminar:	27. November und 4. Dezember 1996
5. Seminar:	3. Mai 2000
6. Seminar:	5. Mai 2004 (Ärztliche Akademie ... in Bad Nauheim mit Zertifizierungspunkten)
7. Seminar:	geplant für 4. Juni 2008

Anhang 2:

Ärzteseminare in Hessen für den Bereich Notfallstationen und Stab, spezieller Teil (Ärzte für Ärzte)

Beispiele für Themen:
1. Medizinische Betreuung nach einem kerntechnischen Unfall
2. Strahlenwirkungen, Abschätzung des Strahlenrisikos
3. Erfahrungen aus nuklearen KatS-Übungen in Hessen

Anhang 3:

Ärzteseminare in Hessen für den Bereich Notfallstationen und Stab, allgemeiner Teil

1. Naturwissenschaftliche Grundlagen
1.1 Das Radionuklidinventar eines Kernkraftwerkes
1.2 Das Radionuklidinventar einer Brennelementefabrik (bis 2006 notwendig)

2. Mögliche Ausbreitung von Radionukliden aus einer kerntechnischen Anlage wegen eines Unfalls
2.1 Kernkraftwerk
2.2 Brennelementefabrik
2.3 Ausbreitungsmodelle

3. Unfallbedingte Freisetzungen von Radionukliden aus Kernkraftwerken in der Vergangenheit (Harrisburg, Tschernobyl)

4. Notfallstationen
(Aufgaben, Aufbau, Betrieb, Personal, Arbeitsunterlagen, Informationen, Abschätzung der Strahlenexposition, Unterstützung durch s. g. Messtechniker)

5. Erfahrungen aus Übungen
(verschiedene Ebenen: Konzept, Veranstalter, beteiligte Einheiten, Statisten, Kommunikation, Pressesprecher)

Anhang 4:

Seminare „Messtechniker in einer Notfallstation“, veranstaltet vom Hessischen Innenressort

1) 25. November 2000 (Basisinformation)
2) 25. August 2001 (Basisinformation)
3) 22. Juni 2002 (Basisinformation)
4) 31. August 2002 (Praktische Anwendungsbeispiele)
5) 17. November 2005 (Basisinformation und Anwendungsbeispiele)
6) 5. Mai 2007 (Basisinformation und Anwendungsbeispiele)

NUKLEARE KATASTROPHENSCHUTZPLANUNG AM BEISPIEL DES FREISTAATES BAYERN

NUCLEAR DISASTER-MANAGEMENT PLANNING IN BAVARIA

H. Betzl

Bayerisches Staatsministerium des Innern (BayStMI), München

Zusammenfassung
Für den nuklearen Katastrophenschutz sind in Deutschland die Länder zuständig. Im Folgenden werden die nuklearen Katastrophenschutzplanungen des Freistaates Bayern näher dargestellt. Planungsgrundlage sind Rahmenempfehlungen des Bundes, die von den Ländern näher konkretisiert werden. Es kann daher davon ausgegangen werden, dass die nuklearen Katastrophenschutzplanungen der Länder in den wesentlichen Bereichen ähnlich sind.

Summary
The nuclear disaster-management in Germany is under the responsibility of the Länder. This report presents the nuclear disaster-management organization and planning in Bavaria. The planning of the Länder is based on a special framework recommended by the federal government. Therefore nuclear disaster-management planning of the Länder should be similar in main parts.

Schlüsselwörter *Katastrophenschutz, nuklear, Notfall*
Keywords *disaster-management, nuclear, emergency*

1. Zuständigkeit der Länder

Für den Katastrophenschutz sind nach der Kompetenzordnung des Grundgesetzes die Länder zuständig. Dies gilt auch für den nuklearen Katastrophenschutz. Katastrophenschutz umfasst den abwehrenden und den vorbereitenden Katastrophenschutz. Der vorbereitende Katastrophenschutz beinhaltet vor allem die Erarbeitung von Katastrophenschutzplanungen.

Im Folgenden werden die nuklearen Katastrophenschutzplanungen des Freistaates Bayern näher dargestellt. Es kann davon ausgegangen werden, dass die nuklearen Katastrophenschutzplanungen der Länder in den wesentlichen Bereichen ähnlich sind. Dies ist vor allem darauf zurückzuführen, dass als Planungsgrundlage in allen Ländern die „Rahmenempfehlungen für den Katastrophenschutz in der Umgebung kerntechnischer Anlagen“ [1] akzeptiert sind. Sie sind auch deshalb allgemein akzeptiert, weil sie, wie schon ihr Name deutlich macht, Rahmencharakter haben und den Ländern nicht im Detail Organisationsvorgaben machen. Die Ausfüllung dieses bundeseinheitlichen Rahmens obliegt den Ländern. In Bayern erfolgt die Konkretisierung der Rahmenempfehlungen durch die „Leitsätze für die Erstellung objektbezogener Alarm- und Einsatzpläne sowie für Maßnahmen des Katastrophenschutzes bei kerntechnischen Unfällen“ [2]. Sobald die neuen, überarbeiteten Rahmenempfehlungen veröffentlicht sind, werden auch die Leitsätze in Bayern im notwendigen Umfang angepasst werden.

2. Nukleare Katastrophenschutzpläne in Bayern

2.1 Allgemeine und besondere Katastrophenschutzpläne

Für Maßnahmen der Gefahrenabwehr durch die Katastrophenschutzbehörden in Bayern ist einheitliche Einsatzgrundlage der allgemeine Katastrophenschutzplan, der von jeder Kreisverwaltungsbehörde (Landratsamt oder kreisfreie Stadt) nach einem vom Bayerischen Staatsministerium des Innern eingeführten einheitlichen Muster aufgestellt worden ist. Im allgemeinen Katastrophenschutzplan wird das Einsatzpotenzial im eigenen Bereich und insbesondere bei Spezialgerät auch landesweit nach einem bestimmten Gliederungsschema erfasst. Der in Bayern auf EDV-Basis geführte Allgemeine Katastrophenschutzplan jeder Kreisverwaltungsbehörde enthält damit eine aktuelle Übersicht über Ressourcen von Einsatzkräften und Einsatzgerät sowie deren Erreichbarkeit.

Die besonderen nuklearspezifischen Gefahren, die dadurch entstehen, dass nach einem kerntechnischen Unfall möglicherweise radioaktive Stoffe in die Umgebung freigesetzt werden, erfordern spezifische Schutz- und Abwehrmaßnahmen des Katastrophenschutzes. Sie sind in einem besonderen objektbezogenen Katastrophenschutzplan zusammengefasst. Dieser besondere Katastrophenschutzplan (Katastrophenschutz-Sonderplan) wird auch als Alarm- und Einsatzplan bezeichnet. Auch hierfür ist vom Bayerischen Staatsministerium des Innern eine Gliederung vorgegeben.

2.2 Katastrophenbegriff

Die Katastrophenschutzpläne gelten für Katastrophen bzw. für Situationen, bei denen eine Entwicklung zu einer Katastrophe zu befürchten ist. Nicht erfasst sind damit Störfälle, die unterhalb der Katastrophenschwelle liegen und von denen auch nicht zu erwarten ist, dass sie diese Katastrophenschwelle überschreiten werden.

Das Bayerische Katastrophenschutzgesetz definiert eine Katastrophe wie folgt: Eine Katastrophe ist ein Geschehen, bei dem Leben oder Gesundheit einer Vielzahl von Menschen oder bedeutende Sachwerte in ungewöhnlichem Ausmaß gefährdet oder geschädigt werden und die Gefahr nur abgewehrt oder die Störung nur unterbunden oder beseitigt werden kann, wenn unter Leitung der Katastrophenschutzbehörde die im Katastrophenschutz mitwirkenden Behörden, Dienststellen, Organisationen und die eingesetzten Kräfte zusammenwirken. Diese sehr abstrakte Definition knüpft somit nicht an bestimmten Schadensbildern an, sondern stellt vor allem auf die besondere Notwendigkeit der Koordination aller Einsatzkräfte und Beteiligten ab. Die Katastrophe ist demnach rechtlich durch die Notwendigkeit einer einheitlichen Leitung durch die Katastrophenschutzbehörde bei der Schadensabwehr definiert.

Für Nuklearereignisse wurde versucht, den Katastrophenschutzbehörden in den o. g. Rahmenempfehlungen nähere Konkretisierungshilfen für die Auslösung des Katastrophenalarms zu geben, ohne ihnen ihre Verantwortlichkeit zu nehmen.

Die dortigen Empfehlungen stellen eine zwar rechtlich unverbindliche, allerdings fachlich sehr wichtige Entscheidungshilfe dar. Die Verantwortung obliegt allein der zuständigen Katastrophenschutzbehörde. Sie muss entscheiden, bei welcher nuklearen Gefährdungslage sie das Vorliegen einer Katastrophe feststellt. Selbstverständlich wird sie sich hierbei von Strahlenschützern, Medizinern und anderen Fachleuten beraten lassen.

Nukleare Katastrophenschutzpläne greifen jedoch nicht erst, wenn das Vorliegen einer Katastrophe festgestellt werden muss. Sie erfassen auch die wichtige Vorlaufphase, die in den Rahmenempfehlungen als Voralarm bezeichnet wird.

2.3 Schutzzweck der Katastrophenschutzplanungen

Zwar ist durch die technische Auslegung der Kernkraftwerke in Deutschland sichergestellt, dass kerntechnische Unfälle, die eine Katastrophensituation in der Umgebung der Anlage herbeiführen könnten, extrem unwahrscheinlich sind. Als mit völliger Sicherheit ausgeschlossen können sie aber dennoch nicht bezeichnet werden. Zur Begrenzung dieses so genannten Restrisikos haben die Katastrophenschutzbehörden die Aufgabe, für die Umgebung planmäßige Vorbereitungen zur Gefahrenabwehr zu treffen.

Ziel einer solchen Vorsorge durch Katastrophenschutzpläne ist es, unmittelbare Folgen der Auswirkung etwaiger kerntechnischer Unfälle auf die Bevölkerung zu verhindern oder situationsabhängig so weit wie möglich zu begrenzen, d. h. sie so niedrig wie möglich zu halten. Unter unmittelbaren Folgen werden nichtstochastische Schäden, wie z. B. akute Strahlenkrankheit oder akute Organschäden, sowie hohe Individualrisiken im Hinblick auf stochastische Schäden, wie z. B. Leukämie, verstanden. Abzugrenzen von diesen Katastrophenschutzplanungen, die Sofortmaßnahmen zur Vermeidung akuter Schäden zum Ziel haben, sind die Vorsorgemaßnahmen nach dem Strahlenschutzvorsorgegesetz, wie z. B. die Festlegung von Kontaminationsgrenzwerten oder Verbote und Beschränkungen für das Inverkehrbringen von Lebens- und Futtermitteln. Diese Vorsorgemaßnahmen zielen darauf ab, das statistische Individual- und Kollektivrisiko bezüglich stochastischer Schäden soweit als möglich auch langfristig zu verringern.

2.4 Zuständigkeit für Planungen

Für die Erstellung der besonderen Katastrophenschutzpläne gelten in Bayern folgende Zuständigkeiten:

Die Kreisverwaltungsbehörde, auf deren Gebiet sich das Kernkraftwerk befindet, ist die federführende Katastrophenschutzbehörde. Sie muss den besonderen Katastrophenschutzplan (Katastrophenschutz-Sonderplan) erstellen. Kreisverwaltungsbehörden, deren Gebiet ganz oder teilweise in einem Bereich bis zu zehn Kilometer um das Kernkraftwerk liegt, haben ebenfalls eigene Katastrophenschutz-Sonderpläne aufzustellen und diese mit der federführenden Katastrophenschutzbehörde abzustimmen. Kreisverwaltungsbehörden, deren Gebiet ganz oder teilweise in einem Bereich von zehn Kilometer bis zu 25 Kilometer um das Kernkraftwerk liegt, haben auf der Grundlage des besonderen Katastrophenschutzplans der federführenden Katastrophenschutzbehörde entsprechende Anschlusspläne aufzustellen. Diejenigen Kreisverwaltungsbehörden, deren Gebiet außerhalb des 25 Kilometer-Bereichs liegt, die aber ggf. von den o. g. Katastrophenschutzbehörden für personelle und materielle Hilfeleistungen planmäßig vorgesehen sind, fassen die aus ihrem Bereich erwarteten Hilfsmaßnahmen, wie z. B. die Aufnahme von evakuierter Bevölkerung oder die Hilfe beim Aufbau von Notfallstationen, in einer Anlage zum allgemeinen Katastrophenschutzplan zusammen. Einen Sonderfall hierzu stellt die Verteilung und Ausgabe von Kaliumiodidtabletten dar, da hier Planungen für den gesamten Freistaat Bayern vorgenommen wurden (vgl. Nr. 3.4).

Die Koordinierung all dieser besonderen Katastrophenschutzpläne obliegt der jeweiligen (Bezirks)Regierung. Soweit andere bayerische Regierungsbezirke oder außerbayerische Behörden berührt werden, hat die zuständige Regierung die Planungen mit diesen Nachbarn abzustimmen.

Es mag überraschen, dass auch bei der Erstellung von nuklearen Katastrophenschutzplänen die Verantwortung vorrangig bei den Kreisverwaltungsbehörden verankert ist. Die praktischen Erfahrungen bei anderen größeren Katastrophen zeigen jedoch, dass der Grundsatz der Subsidiarität und der Vorteil der Ortsnähe maßgeblich zu einer erfolgreichen Gefahrenabwehr beitragen.

3. Inhalt der besonderen Katastrophenschutzpläne

Für die besonderen Katastrophenschutzpläne ist vom Bayerischen Staatsministerium des Innern in den o. g. Leitsätzen eine verbindliche Gliederung vorgegeben.

Die Inhalte greifen die Vorgaben auf, die bereits in den Rahmenempfehlungen dem Grunde nach festgeschrieben sind. Im Folgenden sollen deshalb nur besondere Schwerpunkte und aktuelle Entwicklungen dargestellt werden.

3.1 Katastropheneinsatzleitung, Alarmierung von Behörden und Einsatzkräften

Durch EDV-gestützte Alarmierungspläne ist in Bayern gewährleistet, dass jederzeit rund um die Uhr die namentlich festgelegten Mitglieder der Katastropheneinsatzleitung (in Bayern die so genannte Führungsgruppe Katastrophenschutz – FüGK -) der zuständigen Katastrophenschutzbehörde alarmiert werden können. Damit ist sichergestellt, dass von Anfang an die notwendige Führungsgruppe Katastrophenschutz aufgebaut werden kann. Dieser obliegt es als erstes, die Alarmierung der erforderlichen Fachbehörden und Einsatzkräfte zu veranlassen. Hierfür gibt es detaillierte Alarmierungsplanungen, wobei zwischen dem Voralarm und dem eigentlichen Katastrophenalarm zu unterscheiden ist.

Die radiologische Fachberatung der Führungsgruppe Katastrophenschutz wird durch das Bayerische Staatsministerium für Umwelt, Gesundheit und Verbraucherschutz bzw. das Bayerische Landesamt für Umwelt erfolgen, die hierzu einen eigenen Einsatzstab „Radiologie“ bilden. Bei diesem laufen alle Messergebnisse zusammen. Durch ihn erfolgt die radiologische Gesamtbeurteilung der Lage, die der FüGK mit Empfehlungen für zu ergreifende Maßnahmen übermittelt wird. Die Entscheidung über die jeweilige Maßnahme obliegt jedoch der Führungsgruppe Katastrophenschutz als Katastropheneinsatzleitung.

Zur Führungsgruppe Katastrophenschutz gehört neben den Fachleuten des Katastrophenschutzes und Fachleuten aus den besonders betroffenen Fachbereichen sowie der Öffentlichkeitsarbeit vor allem eine sachkundige Verbindungsperson des Betreibers. Leiterin bzw. Leiter der FüGK ist die Leiterin bzw. der Leiter der Katastrophenschutzbehörde, also bei den Kreisverwaltungsbehörden Landrätin bzw. Landrat oder Oberbürgermeisterin bzw. Oberbürgermeister oder eine von diesen beauftragte Person, z.B. eine Abteilungsleiterin bzw. ein Abteilungsleiter. Ihnen obliegt die Letztentscheidungsbefugnis.

Die o. g. Leitsätze geben vor, dass die (Bezirks)Regierung – als Katastrophenschutzbehörde auf der Mittelebene - die Gesamtleitung des Katastropheneinsatzes übernimmt, sobald sich

abzeichnet, dass die Gefahr besteht, dass die Auswirkungen eines kerntechnischen Unfalls den Bereich der zunächst federführend örtlich zuständigen Kreisverwaltungsbehörde überschreiten. Wie unsere Übungen regelmäßig belegen, wird diese Übernahme in einer relativ frühen Phase erfolgen.

Wenn die Lageentwicklung es erfordert, kann auch das Bayerische Staatsministerium des Innern als oberste bayerische Katastrophenschutzbehörde die Katastropheneinsatzleitung an sich ziehen. Auch wenn dies in der Regel nicht passieren wird, ist vorgesehen, dass bei großräumigen Gefährdungslagen infolge der Freisetzung radioaktiver Stoffe eine so genannte Koordinierungsgruppe Bayern auf Landesebene einberufen wird (vgl. „Richtlinien für die Bewältigung großräumiger Gefährdungslagen und anderer koordinierungsbedürftiger Ereignisse unterhalb der Katastrophenschwelle – Koordinierungsrichtlinie“ [3]), der Vertreter der fachlich betroffenen Ministerien angehören. Sie hat keine Führungsaufgaben, sondern soll auf Landesebene erforderliche Hilfeleistungen und Fachmaßnahmen abstimmen.

3.2 Warnung und Unterrichtung der Bevölkerung

Über den Eintritt eines kerntechnischen Unfalls und seine etwaigen Folgen für die Umgebung sowie über Schutzmaßnahmen und Verhaltensmaßregeln ist die betroffene Bevölkerung möglichst frühzeitig und umfassend zu unterrichten.

Die Information der betroffenen Bevölkerung soll durch Durchsagen im Hörfunk und Fernsehen sowie über Videotext und andere neue Medien (z. B. Internet) erfolgen. Durchsagetexte sind hierfür vorbereitet, das Verfahren zur Einspeisung der Rundfunkdurchsagen ist mit den Beteiligten abgesprochen. Damit die Bevölkerung jedoch die Rundfunkgeräte einschalten kann, bedarf es eines Weckeffekts. Ein sehr wirksames Mittel, die Aufmerksamkeit der Bevölkerung zu erhalten, sind die Sirenen.

Zur Warnung der Bevölkerung in der Umgebung der bayerischen Kernkraftwerke Isar 1 und 2, Gundremmingen und Grafenrheinfeld wurden in den vergangenen Jahren im Rahmen staatlicher Förderprogramme zahlreiche Sirenen neu errichtet bzw. bereits vorhandene Sirenen so nachgerüstet/ausgestattet, dass sie über Funk angesteuert und mit ihnen das Signal "Rundfunkgeräte einschalten und auf Durchsagen achten" (einminütiger Heulton) gegeben werden kann. Dadurch steht im Umkreis von 25 km um die o. g. bayerischen Kernkraftwerke ein flächendeckendes Sirenenwarnnetz zur Verfügung.

Seit 2005 werden zweimal jährlich die o. g. Sirenen in einem von uns koordinierten landesweit einheitlichen Sirenenprobealarm erprobt. Dabei wird regelmäßig in Rundfunk, Fernsehen und Presse auf die Bedeutung des Sirenensignals hingewiesen.

Darüber hinaus wird die Bevölkerung (im Umkreis von 10 Kilometern um die bayerischen Kernkraftwerke) noch durch eine entsprechende Informationsbroschüre (gemäß § 53 Abs. 5 der Strahlenschutzverordnung) informiert.

3.3 Messungen

Bei einem kerntechnischen Störfall oder Unfall mit Freisetzung radioaktiver Stoffe in die Umgebung sind neben den ohnehin durchgeführten stationären Messungen durch die vorhandenen Messnetze auch Messungen zur Beurteilung der radioaktiven Lage bzw. zur Eingrenzung des möglicherweise gefährdeten Gebiets erforderlich. Für die Entscheidung über

einzuleitende Notfallschutzmaßnahmen ist es notwendig, dass die FüGK in kürzester Zeit über aussagekräftige Informationen über die radiologische Gefährdung verfügt. Für die fachliche Beratung der FüGK durch die Fachberatung Strahlenschutz bedarf es deshalb frühzeitiger Messergebnisse.

Einzelheiten zu Messungen und Probenahmen sind geregelt in der „Richtlinie zu Messungen und Probenahmen im Bereich von kerntechnischen Anlagen nach einem Störfall oder Unfall mit Auswirkung radioaktiver Stoffe auf die Umgebung (Messe- und Probenahmerichtlinie Feuerwehr)“. Diese Richtlinie sieht neben dem Ausbringen mobiler Sonden auch die Durchführung von Mess- und Probenahmeprogrammen (Dosisleistungsmessprogramm, Luftprobenahmeprogramm, Kontaminationsmessprogramm, Gras-/Bewuchs-probenahmeprogramm, Oberflächenwasserprobenahmeprogramm) vor. Für das Ausbringen der mobilen Sonden sowie die Durchführung der Mess- und Probenahmeprogramme werden dabei die vom Bund zur Verfügung gestellten und bei Feuerwehren in der Umgebung der Kernkraftwerke stationierten 20 ABC-Erkundungskraftwagen eingesetzt.

3.4 Verteilung und Ausgabe von Kaliumiodidtabletten

Ein vom Bund und der Mehrzahl der Länder mitgetragenes Konzept für die Lagerung und Verteilung von Kaliumiodidtabletten, das im wesentlichen den Empfehlungen der Strahlenschutzkommission entspricht, sieht für alle Personen bis 45 Jahre im Bereich von 0 bis 25 km um kerntechnische Anlagen eine bevölkerungsnahe Vorhaltung und Lagerung der Tabletten in den Gemeinden bzw. in geeigneten Einrichtungen bzw. ggf. Vorverteilung an die Haushalte vor. Für die Bevölkerung bis 18 Jahre und Schwangere im Bereich von 25 bis 100 km um kerntechnische Anlagen ist eine Bevorratung in bundesweit 7 Zentralen Lagern (davon in Bayern: Würzburg, Roding und Kempten) vorgesehen. Eine Bund-Länder-Arbeitsgruppe hat darüber hinaus Modelle für Transport und Verteilung der Kaliumiodidtabletten bis zu einem Umkreis von 100 km um kerntechnische Anlagen entwickelt.

Diese Konzepte und Modelle wurden in Bayern wie folgt umgesetzt:

Die in den 70er Jahren in Bayern zur Durchführung der Iodblockade beschafften Kaliumiodidtabletten waren in der Regel in Rathäusern, Landratsämtern, bei Feuerwehren und in Dienstgebäuden der Regierungen in der Umgebung kerntechnischer Anlagen gelagert und wurden lediglich ausgetauscht. Im Bereich von 0 bis 10 km um kerntechnische Anlagen erfolgt dabei die Lagerung dezentral. Im Bereich von 10 bis 25 km erfolgt die Lagerung zentral an mehreren geeigneten Orten. Eine Vorverteilung von Kaliumiodidtabletten an die Bevölkerung findet nicht statt.

Ausgabestellen für die Kaliumiodidtabletten sind grundsätzlich alle Apotheken und alle Feuerwehrgerätehäuser. Sollten einzelne Orte (z. B. Weiler, Gehöfte) nicht über eigene Ausgabestellen verfügen, so ist in Ausnahmefällen auch eine direkte Versorgung möglich.

Die Kaliumiodidtabletten werden im Bedarfsfall durch Einsatzkräfte des Katastrophenschutzes von den Depots an die örtlichen Feuerwehren der konkret betroffenen Gemeinden verteilt. Die Feuerwehren bringen die Tabletten in der vorher festgelegten Menge zu den einzelnen Apotheken bzw. Feuerwehrgerätehäusern der Gemeinde. Ist Apothekenpersonal - während der Geschäftszeiten - anwesend bzw. konnte dieses - außerhalb der Geschäftszeiten - erreicht werden, verteilt das Apothekenpersonal die Tabletten in den

Apotheken. Ist Apothekenpersonal nicht anwesend, erfolgt die Verteilung durch die Feuerwehren vor den Apotheken.

Die Bevölkerung wird innerhalb des 25-km-Umkreises um die Kernkraftwerke nach Auslösung des Sirenensignals „Rundfunkgeräte einschalten und auf Durchsagen achten“ (einminütiger Heulton) über Hörfunkdurchsagen, Fernseheinblendungen und Videotext, ggf. auch über Lautsprecherdurchsagen, zum Abholen der Kaliumiodidtabletten bei den Ausgabestellen aufgefordert.

Da die Ausweitung des Planungsbereichs für die Iodblockade der Schilddrüse bei kerntechnischen Unfällen bis 100 km um kerntechnische Anlagen auf Grund der geografischen Verteilung der „bayerischen“ Kernkraftwerke fast den gesamten Freistaat Bayern erfasst, haben wir die gesamte bayerische Bevölkerung bis 45 Jahre in die Planungen/Vorsorgemaßnahmen einbezogen, d. h. es wurden/werden Sonderpläne für die Verteilung und Ausgabe von Kaliumiodidtabletten flächendeckend für den gesamten Freistaat Bayern erstellt.

Dass mit dem o. g. Verfahren die Empfehlung der Strahlenschutzkommission, eine Verteilung der Tabletten innerhalb von maximal 4 bzw. 12 Stunden nach der Entscheidung über die Verteilung zu gewährleisten, problemlos umgesetzt werden kann, hat bereits eine Katastrophenschutzteilübung zur Versorgung der Bevölkerung mit Kaliumiodidtabletten vom 22.10.2005 im Regierungsbezirk Schwaben bestätigt.

Damit ist auf Grund geeigneter Bevorratung mit entsprechender Logistik im Ereignisfall die Versorgung in möglicherweise gefährdeten Gebieten zeitgerecht gesichert.

3.5 Notfallstationen

Die Notfallstation ist eine Einrichtung für den Katastrophenschutz in der Umgebung kerntechnischer Anlagen. Ihre Hauptaufgaben sind die Feststellung von radioaktiven Kontaminationen an Personen, die Beseitigung dieser Kontaminationen und die Abschätzung der bereits erlittenen Strahlenbelastung der betroffenen Menschen. Zusätzlich werden in der Notfallstation auch die Erste-Hilfe-Maßnahmen bei Betroffenen durchgeführt, um somit die Rettungskette zwischen der am Ort des Geschehens möglicherweise nötigen Soforthilfe und der abschließenden Behandlung im Krankenhaus zu schließen.

In Bayern erfolgen Planung, Aufbau und Betrieb von Notfallstationen nach dem so genannten „Modell Bayern“ auf Grundlage einer Mustermappe, die alle wichtigen Hinweise für das eingesetzte Personal in allen Führungsebenen enthält und objektbezogen umzusetzen ist.

Notfallstationen werden im Bedarfsfall auf Weisung der zuständigen Regierung außerhalb eines kontaminierten Gebietes in geeigneten Objekten eingerichtet und betrieben. Geeignete Objekte sind Sporthallen, Hallenbäder oder Schulen mit entsprechenden Kapazitäten an Duscheinrichtungen und Räumen. Für jede dieser Einrichtungen sind Objekthefte zu schaffen, die es den Einsatzkräften ermöglichen, nach Alarmierung in kurzer Zeit eine betriebsfähige Notfallstation einzurichten. Verantwortlich für die Planung von Notfallstationen sind die Kreisverwaltungsbehörden, in deren Gebiet geeignete Objekte vorhanden sind. Sie werden durch die zuständigen Leiter der Notfallstationen unterstützt.

Der schematische Ablauf in den Notfallstationen „Modell Bayern“ ist wie folgt gegliedert:

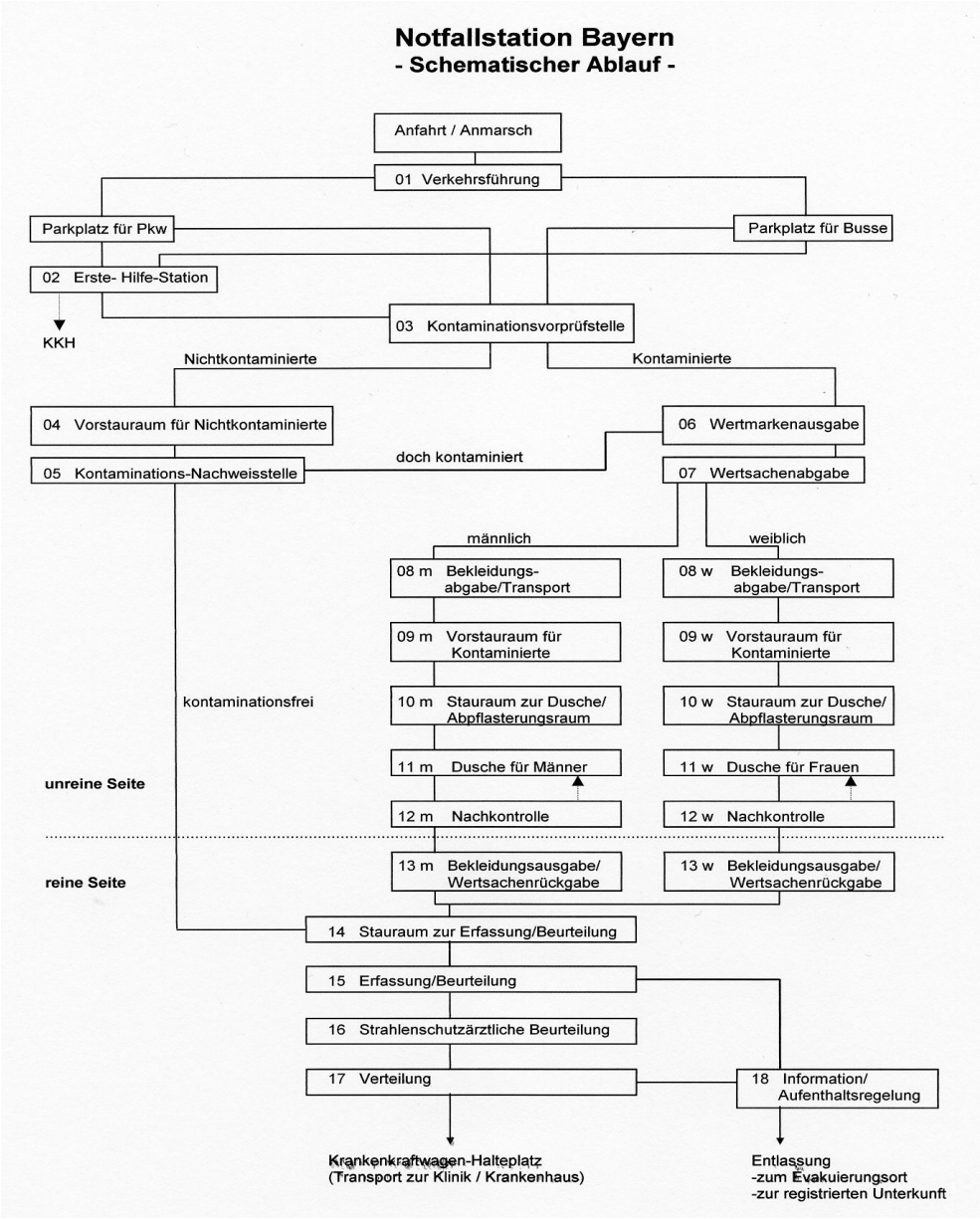


Abb.: Notfallstation Bayern – Schematischer Ablauf -

Das für die einzelnen Notfallstationen benötigte Personal und Material wird von den Trägerorganisationen aus dem Bereich der federführenden und der benachbarten Kreisverwaltungsbehörden gestellt, ggf. muss überregionale Hilfe in Anspruch genommen werden.

Für Führung und Betrieb einer Notfallstation sind insgesamt 114 Einsatzkräfte als so genannte „NfS-Gruppe“ bereitzustellen. Es gibt in Bayern derzeit 14 derartige „NfS-Gruppen“. Der Leiter-NfS wird grundsätzlich von der Kreisverwaltungsbehörde gestellt, die über die ABC-Einsatzeinheit verfügt. Er wird von der KVB benannt und von der zuständigen Regierung bestätigt. Die Unterstützungsgruppe-NfS wird aus dem Personal der zuständigen Trägerorganisationen gebildet. Das erforderliche Kommunikationsgerät wird ebenfalls von den Trägerorganisationen gestellt. Das Verwaltungspersonal wird von der örtlich zuständigen Kreisverwaltungsbehörde gestellt. In Abhängigkeit der genutzten Objekte für eine

Notfallstation muss ggf. zusätzliches Personal eingeplant werden, um den ordnungsgemäßen Betrieb sicherzustellen.

Für den Betrieb einer Notfallstation sind nach den o. g. Leitsätzen u. a. drei Ärzte mit Strahlenschutzkenntnissen vorgesehen, wobei die medizinische Leitung der Notfallstation einem dieser Ärzte zu übertragen ist. Problematisch ist hier, ausreichend fachlich geeignete und einsatzbereite Ärzte zu finden. Für interessierte Ärzte insbesondere aus der Umgebung der bayerischen Kernkraftwerke sind deshalb entsprechende Fortbildungsveranstaltungen geplant.

Darüber hinaus ist auf Grund organisatorischer Änderungen sowie der aus den regelmäßig stattfindenden Übungen gewonnenen Erfahrungen eine Überarbeitung des Konzepts geplant. Im Zuge dieser Überarbeitung ist auch die Einführung eines bereits von einer NfS-Gruppe erprobten mobilen Container-Systems für die Ausstattung geplant.

Ferner wurden in Folge der Umsetzung des Rahmenkonzepts „zur Dekontamination verletzter Personen“ einer Bund-Länder-Arbeitsgruppe bereits im Vorfeld der Fußball-WM 2006 für den ABC-Schutz 20 Ausstattungssätze zur Dekontamination Verletzter beschafft. Es handelt sich um Zelte und Transportsysteme für liegende Verletzte sowie der dafür notwendigen Logistik für die Wasser- und Energieversorgung (Einsatz z.B. nach Anschlag mit ABC-Stoffen). Die Ausstattungspakete sind auf Kompatibilität zu den Dekon-LKW des Zivilschutzes ausgelegt, um mögliche Synergien zu nutzen. 35 weitere Pakete sollen noch beschafft werden. Inwieweit die Dekontamination verletzter Personen (mit der o. g. Ausstattung) mit dem Notfallstationskonzept verbunden werden kann, wird ebenfalls geprüft.

4. Übungen

Die in den Katastrophenschutzplänen festgelegten Verfahrensweisen zur Alarmierung und Anordnung von Maßnahmen werden in Bayern durch regelmäßige Übungen überprüft und aufgrund der dort gemachten Erfahrungen fortgeschrieben. In den o. g. Leitsätzen werden hierfür bestimmte Übungsrhythmen vorgegeben. Es werden hierzu zwar grundsätzlich keine Vollübungen angesetzt (außer bei der Einführung neuer Konzepte), aber durch die vorgeschriebenen Planübungen (derzeit alle 3 Jahre) und Stabsrahmenübungen (derzeit alle 6 Jahre) kann die besonders wichtige Alarmierung und Zusammenarbeit der beteiligten Stellen auf den Prüfstand gelegt werden. Die Erfahrungen zeigen, dass der Übungszweck vor allem durch die Vorbereitung auf die jeweilige Übung erreicht wird. Bereits durch die intensive Beschäftigung mit den jeweiligen Plänen machen sich die Mitwirkenden mit den Inhalten der Katastrophenschutzplanungen wieder im Detail vertraut und erkennen auch die Notwendigkeit von Fortschreibungen und die Möglichkeit von Verbesserungen. Der Ablauf der eigentlichen Übung ist dann der formelle Abschluss der vorhergehenden wichtigen Arbeiten.

Neben mehreren Notfallstationsübungen (Vollübungen) und Planspielen findet im Juli 2008 in der Umgebung des Kernkraftwerks Gundremmingen (Regierungsbezirk Schwaben) eine Teilübung statt, bei der erstmals zeitgleich die Vorgaben der „Mess- und Probenahmerichtlinie Feuerwehr“, die Verteilung und Ausgabe von Kaliumiodidtabletten sowie Aufbau und Betrieb einer Notfallstation geübt werden sollen.

5. Literaturverzeichnis

[1] Rahmenempfehlungen für den Katastrophenschutz in der Umgebung kerntechnischer Anlagen (GMBl 1999, S. 538 ff., überarbeitete neue Fassung noch nicht veröffentlicht)

[2] Leitsätze für die Erstellung objektbezogener Alarm- und Einsatzpläne sowie für Maßnahmen des Katastrophenschutzes bei kerntechnischen Unfällen (Bekanntmachung des Bayerischen Staatsministeriums des Innern vom 16.10.1990, AllMBl S. 780 ff.)

[3] Richtlinien für die Bewältigung großräumiger Gefährdungslagen und anderer koordinierungsbedürftiger Ereignisse unterhalb der Katastrophenschwelle – Koordinierungsrichtlinie (AllMBl 2007, S. 414)

C Strahlenunfallszenarien

UNTERSCHIEDLICHE KONZEPTION DER SSK-BÄNDE 4 UND 32 IM HINBLICK AUF DEN GROßEN UND DEN KLEINEN STRAHLENUNFALL

DIFFERENT CONCEPTS OF THE 2 SSK BOOKS (4 + 32) DEALING WITH SERIOUS AND LESS SERIOUS RADIATION ACCIDENTS

U. Meldau

Vattenfall Europe, Hamburg, Deutschland

Zusammenfassung
Die Bände 4 und 32 der Veröffentlichungen der Strahlenschutzkommission wurden im Herbst 2007 jeweils in überarbeiteter Auflage vom BMU herausgegeben. Neben einer Anpassung an den aktuellen Stand der wissenschaftlichen Erkenntnisse wurde im Rahmen der Überarbeitung besonderer Wert darauf gelegt, die Inhalte nur jeweils in einem der Bände zu erläutern und Themendopplungen in beiden Bänden zu vermeiden. Band 4 beschränkt sich auf die bei einem Kernkraftwerksunfall mit katastrophalen Auswirkungen möglichen medizinischen Maßnahmen in Anbetracht einer hohen Zahl Betroffener. Anforderungen an Ausbildung und Vorbereitung einzusetzender Ärzte und die Aufgaben von Ärzten in einer Notfallstation werden beschrieben. Bei einem Strahlenunfall mit wenigen Verunfallten sind maximale individualmedizinische Maßnahmen zu treffen, die in Band 32 ergänzt um strahlenbiologische Grundlagen und rettungsdienstliche Empfehlungen erläutert werden.

Summary
The two books issued by the German Radiation Protection Commission dealing with medical measures to be taken after nuclear accidents were updated in 2007. Book No. 4 gives advice for the case of nuclear power plant emergencies, especially for the training of physicians and medical management in Emergency Care Centers (ECC). Medical treatment and first aid instructions in the case of accidents with only a few victims are described in Book No. 32.

Schlüsselwörter *Strahlenunfall, Strahlenschutzarzt, Notfallstation*
Keywords *Radiological accident, Radiation protection physician, Emergency Care Center*

1. Einleitung

Die SSK-Bände Nr. 4 und Nr. 32 erläutern medizinische Maßnahmen [1,2] im Hinblick auf den großen und den kleinen Strahlenunfall, womit die Frage nach der Unterscheidung des großen vom kleinen Unfall zu beantworten ist. Diese Unterscheidung hängt vom Ausmaß der Inanspruchnahme von Kapazitäten des Rettungswesens und von den Auswirkungen des Ereignisses auf die Lebensgrundlagen von Menschen ab [3]. Ein Kernkraftwerksunfall mit möglichen Auswirkungen auf Menschen in der Umgebung und auf eben diese Umgebung ist sicher als ein großer Unfall einzustufen. Der „Leitfaden für medizinische Maßnahmen bei Kernkraftwerksunfällen“ wurde erstmals im Jahre 1986 als Band 4 von der Strahlenschutzkommission veröffentlicht. In ihrer Auswertung der SSK-Klausurtagung von 1992 zu „medizinischen Maßnahmen bei Strahlenunfällen“ [4] stellt die SSK das unbedingte Erfordernis zur Erstellung eines Handbuches für die Erste Hilfe bei Arbeits- und Transportunfällen mit radioaktiven Stoffen fest. Dies geschah dann 1996 im Band 32. Strahlenunfälle mit wenigen Be-

troffenen, wie sie beispielsweise in Forschungslabors, in der Industrie (einschließlich Kernkraftwerk) und beim Transport radioaktiver Stoffe auftreten können, überfordern den Rettungsdienst in Deutschland nicht kapazitiv, stellen aber wegen ihrer Seltenheit und besonderer Anforderungen an Gefährdungseinschätzung und Unfallmanagement ein speziell zu schulendes Rettungsereignis dar. Im Herbst 2007 wurden nun beide Bände 4 und 32 durch die SSK neu aufgelegt.

2. Konzeption

Die Überarbeitung der beiden Bände wurde erforderlich, nachdem auch die Strahlenschutzverordnung [5] sowie die Empfehlungen für die Iodblockade der Schilddrüse [6] novelliert worden waren. Weiterhin erfolgte eine Anpassung an den aktuellen Stand der wissenschaftlichen Erkenntnisse. Eine besondere Prämisse der Überarbeitung war die Vermeidung von Redundanzen in den Empfehlungen zu medizinischen Maßnahmen bei Strahlenunfällen. So beschränkt sich Band 4 ausschließlich auf die bei einem Kernkraftwerksunfall mit katastrophalen Auswirkungen möglichen medizinischen Maßnahmen in Anbetracht einer hohen Zahl Betroffener, während Band 32 die bei einem Strahlenunfall mit wenigen Verunfallten zu treffenden maximalen individualmedizinischen Maßnahmen beschreibt. Umfassende Empfehlungen zur Lagebeurteilung, Sofortmaßnahmen, Selbstschutz und Behandlung mit Erläuterungen zu medizinischen und strahlenbiologischen Hintergründen werden ausschließlich in Band 32 getroffen. Auch wurde die Doppelbehandlung des Themas Notfallstation dadurch vermieden, dass eine Abstimmung mit der Arbeitsgruppe erfolgte, die die Aktualisierung der Rahmenempfehlungen für den Katastrophenschutz bearbeitete [7]. Die Rahmenempfehlungen für den Katastrophenschutz liegen gegenwärtig ebenfalls in überarbeitetem Entwurf vor und werden in Kürze von der Innenministerkonferenz in Kraft gesetzt werden. In den Rahmenempfehlungen werden sich im Gegensatz zur vorhergehenden Fassung keine Ausführungen mehr zum Betrieb einer Notfallstation finden, da diese ausschließlich im Band 4 behandelt werden. Die Rahmenempfehlungen richten sich an die Katastrophenschutzbehörden der Länder und regeln Zuständigkeiten und Alarmierungsfragen wie auch Bezüge zum Strahlenschutzvorsorgegesetz.

Der Übersicht halber hier die Inhalte der o.g. Veröffentlichungen zum Strahlenunfall mit sinngemäßer Gliederung:

Rahmenempfehlungen:

- Zusammenarbeit von Behörden und Betreiber der kerntechnischen Anlage
- Katastrophenschutzpläne und Alarmierung mit den Alarmstufen
- Maßnahmen, Übungen

Band 4:

- Schutzmaßnahmen
- Aufgaben der Strahlenschutzärzte
- Notfallstationen

Band 32:

- Vorgehensweise bei Strahlenunfällen
- Anwendung radioaktiver Stoffe, Unfallgeschehen
- Biologische Strahlenwirkungen
- Kontamination und Inkorporation

- Unfallmanagement und Behandlungsmöglichkeiten
- Diagnostische Maßnahmen

Bei allen diesen Empfehlungen ist zu berücksichtigen, dass dank des hoch entwickelten Strahlenschutzes in Deutschland solche Ereignisse extrem selten sind, so dass weder Rettungsärzte noch Mitarbeiter der Hilfsorganisationen in der täglichen Arbeit Erfahrungen im Umgang mit Betroffenen solcher Strahlenunfälle erlangen können.

3. Band 4

Da nach der überarbeiteten Konzeption nur noch im Band 4 das Thema Notfallstation behandelt wird, nimmt folgerichtig dieses Kapitel den größten Teil des Bandes ein. Vorher werden die verschiedenen Schutzmaßnahmen und die Aufgaben- und Einsatzgebiete der Strahlenschutzärzte erläutert.

3.1 Schutzmaßnahmen

Die Schutzmaßnahmen dienen dem Ziel, bei einem Kernkraftwerksunfall mit der Freisetzung radioaktiver Stoffe in die Umgebung deterministische Schäden zu verhindern und stochastische Gesundheitsrisiken zu begrenzen. Mögliche Maßnahmen sind:

- Aufenthalt in Gebäuden,
- Iodblockade der Schilddrüse,
- Warnung vor dem Verzehr frisch geernteter Nahrungsmittel,
- Beschränkungen für Futtermittel,
- Evakuierung.

Die Maßnahmen und deren Reihenfolge werden unter Berücksichtigung der Gegebenheiten des Einzelfalles durch die Katastrophenschutzleitung ausgewählt und angeordnet.

3.2 Aufgaben der Strahlenschutzärzte

Die Aufgaben der Strahlenschutzärzte können sein:

- die Beratung der Katastrophenschutzleitung in strahlenschutzmedizinischen Fragen,
- die ärztliche Leitung in der Notfallstation,
- die Durchführung erster medizinischer Maßnahmen in der Notfallstation,
- die Veranlassung weiterer ambulanter und stationärer medizinischer Maßnahmen.

Ein Strahlenschutzarzt wird in der Katastrophenschutzleitung und mindestens einer als ärztlicher Leiter in der Notfallstation benötigt. Die Strahlenschutzärzte müssen zur Durchführung der auf sie als Berater der Katastrophenschutzleitung bzw. als Leiter von medizinischem Personal in Notfallstationen zukommenden Aufgaben die notwendigen Kenntnisse in der Erstversorgung strahlenexponierter Personen besitzen. Damit sind in erster Linie

- Ermächtigte Ärzte (gemäß § 64 StrlSchV und § 41 RöV),
- Nuklearmediziner,
- Radiologen,
- Strahlentherapeuten

geeignet, wobei Ermächtigte Ärzte aufgrund der Lehrinhalte des Spezialkurses für zu ermächtigende Ärzte und als Betriebsärzte kerntechnischer Anlagen spezifisch vorgebildet sind [8]. Auch Ärzte anderer Fachrichtungen mit Kenntnissen der Notfall- und Katastrophenmedizin – insbesondere Leitende Notärzte – oder z. B. Arbeitsmediziner und Ärzte aus staatlichen Gesundheitsämtern können durch Fortbildungsmaßnahmen im medizinischen Strahlenschutz und

durch praktische Erfahrungen die fachliche Kompetenz erwerben. Sowohl der ärztliche Leiter einer Notfallstation als auch der Fachberater der Katastrophenschutzleitung müssen neben fachlicher Qualifikation auch durch die Teilnahme an Übungen auf ihre konkreten Aufgaben vorbereitet werden. Dafür sind von den zuständigen Behörden Ärzte in ausreichender Zahl zu benennen, zu Übungen zu laden und qualifikationsgemäß einzusetzen. Den für diese Aufgaben benannten Ärzten sind von den zuständigen Behörden die jeweiligen Länderplanungen zur Verfügung zu stellen.

3.3 Notfallstationen

Die Einrichtung und der Betrieb von Notfallstationen sind nur erforderlich, wenn zu erwarten ist, dass eine größere Anzahl von Betroffenen, d.h. exponierten bzw. kontaminierten Personen, zu versorgen ist. Dabei ist zu berücksichtigen, dass möglichst alle Betroffenen binnen 24 Stunden in einer der Notfallstationen beurteilt, betreut, beraten und weitergeleitet werden. Die Verteilung der betroffenen Personen nach den Kategorien

- keine weitere Betreuung notwendig,
- ambulante Diagnostik oder Behandlung indiziert,
- stationäre Betreuung erforderlich,
- intensivmedizinische, hämatologische Behandlung erforderlich,

erfolgt in der Notfallstation durch den Strahlenschutzarzt entsprechend den zur Verfügung stehenden Kapazitäten. Da die Behandlung eines akuten Strahlensyndroms in einer geeigneten Klinik erfolgen würde, sind in der Überarbeitung die in der vorherigen Auflage noch in Band 4 gegebenen Erläuterungen zum akuten Strahlensyndrom jetzt nur noch im Band 32 beschrieben. Um ambulant oder stationär weiterbehandelnden Ärzten Informationen zur Frühsymptomatik und Sequentialdiagnostik geben zu können, sind diese tabellarisch neben Band 32 auch in Band 4 aufgeführt. Es sei hier der Klarheit halber betont, dass keine Blutentnahmen oder Laboruntersuchungen in der Notfallstation erfolgen sollen, sondern Erfassung, Dekontamination, Dosisabschätzung und Weiterleitung die Hauptaufgaben der Notfallstation sind.
Die Anhänge zum Band 4 bieten neben einem Informationstext über die Notfallstation für Betroffene insbesondere einen standardisierten Erhebungsbogen zur Dokumentation von medizinischen Befunden und vor allem der abgeschätzten Dosis. Empfehlungen zur Dosisabschätzung und die Liste der RSZ [9] sind die weiteren Anhänge.

4. Band 32

Der Band 32 gliedert sich in zwei Abschnitte: Einen kurzen Leitfaden, in dem die am ehesten denkbaren Szenarien eines Strahlenunfalls (z.B. jährlich um die 450.000 Transporte radioaktiver Stoffe in Deutschland) mit Gefährdungsabschätzung erläutert werden, und weiterführende Informationen.

4.1 Leitfaden

Der Leitfaden gibt die für die ersten Rettungskräfte am Unfallort wichtigen Hinweise auf zu treffende Maßnahmen:

- Hilfe für die Betroffenen,
- Selbstschutz,
- Beseitigung der Gefahr,
- Schutz der Umgebung bzw. nicht unmittelbar Betroffener.

Im Gefahrenbereich sollen nur die unbedingt notwendigen, lebensrettenden Sofortmaßnahmen durchgeführt und der Verletzte dann unter Beachtung des Selbstschutzes [10] aus diesem Bereich gerettet werden, bevor weitere Maßnahmen der Ersten Hilfe erfolgen. Da das Rettungsdienstpersonal im Allgemeinen nicht über eine persönliche Schutzausrüstung verfügt, ist die Rettung von Personen aus dem Gefahrenbereich primär Aufgabe der Feuerwehren. Die Feuerwehren bzw. das betriebliche Fachpersonal übergeben den Patienten an der Grenze des Gefahrenbereiches an den Rettungsdienst. Beim Transport kontaminierter Personen ist für die Betreuenden Schutzkleidung zur Vermeidung einer Eigenkontamination oder Inkorporation in dem Maß ausreichend, wie sie auch zur Vermeidung von Infektionen üblich ist. Das sind Schutzhandschuhe, Schutzmaske und leichte Schutzanzüge (z.B. Einweg-Papierschutzanzüge). Hier wird nochmals betont, dass bei Einhalten der Maßnahmen des Selbstschutzes durch die „4 A“ und der Vermeidung von Kontamination und der Verhinderung einer Inkorporation keine realistische Gefährdung für das Hilfspersonal besteht und daher Erste Hilfe Maßnahmen in keinem Fall unterbleiben dürfen.
Die Dosisrichtwerte für das Einsatzpersonal nach Strahlenschutzverordnung und Feuerwehrdienstvorschrift [11] werden ebenso erläutert wie das richtige Absetzen eines Notrufes und Krankentransportfragen. Detailliert wird die Organisation der Rettungsmaßnahmen nach der Alarmmeldung dargestellt. Grundlagen des Strahlenschutzes schließen diesen Teil, der auch kostenlos als Leitfaden für Erstmaßnahmen in der Reihe „Informationen der SSK“ bei der SSK zu beziehen ist, ab.

4.2 Weiterführende Informationen

In den weiterführenden Informationen werden biologische Strahlenwirkungen übersichtlich und so umfassend behandelt, dass diese Veröffentlichung als Repetitorium für nicht ständig mit Strahlenschutzfragen befasstes medizinisches Personal geeignet ist. Auch wird das akute Strahlensyndrom mit seinen Behandlungsmöglichkeiten ausführlich behandelt und die Möglichkeiten der biologischen Dosimetrie beschrieben. Auch die Maßnahmen der Dekontamination werden erläutert [12], wobei die frühere Empfehlung, Dekontaminationsmaßnahmen an Augen und Ohren ausschließlich vom jeweiligen Facharzt durchführen zu lassen, da weder erforderlich noch praktikabel, verlassen wurde. Die beschriebene Spülung der Augen kann von eingewiesenem medizinischen Personal oder Ersthelfern durchgeführt werden. Die Dekontamination der Gehörgänge durch Ohrspülung hat unter otoskopischer Kontrolle zu erfolgen und bleibt daher einem Arzt, aber nicht zwingend einem Facharzt für HNO vorbehalten. Das Vorgehen bei kontaminierter Wunde mit primärer Umgebungsreinigung, möglicher Wundstauung und anschließender Wundspülung wird ebenso beschrieben wie Fragen möglicher chirurgischer Intervention [13]. Inkorporationswege, Messungen und mögliche Dekorporationsverfahren und deren Indikationen werden detailliert diskutiert. Hierzu werden Möglichkeiten der Inkorporationsdiagnostik durch Ausscheidungsanalysen ebenso erläutert wie Dosisrekonstruktionen mittels der ausführlich dargestellten Sequentialdiagnostik.
Im Anhang werden Vorschläge zur Dokumentation der Befunde gegeben.

5. Literaturverzeichnis

[1] Medizinische Maßnahmen bei Kernkraftwerksunfällen, Veröffentlichungen der Strahlenschutzkommission Band 4, 3., überarbeitete Auflage 2007, H. Hoffmann - Fachverlag, Berlin

[2] Der Strahlenunfall, Ein Leitfaden für Erstmaßnahmen, Veröffentlichungen der Strahlenschutzkommission Band 32, 2., überarbeitete Auflage 2007, H. Hoffmann – Fachverlag, Berlin

[3] Kirchinger, W.: Ärztliche Maßnahmen bei Strahlenunfällen und Strahlenkatastrophen, in Katastrophenmedizin, BMI , 4. überarbeitete Auflage, Berlin 2006

[4] Medizinische Maßnahmen bei Strahlenunfällen, (Veröffentlichungen der Strahlenschutzkommission, Band 27), G. Fischer, Stuttgart 1994 ISBN 3-437-11633-9

[5] Strahlenschutzverordnung (StrlSchV) vom 20.Juli 2001 BGBl. I, 2001, S. 1714, (2002, 1459), zuletzt geändert durch Art. 2, §3 Abs. 31 Gv. 1.9.2005 (BGBl. I S. 2618)

[6] Strahlenschutzkommission: SSK-Empfehlung „Verwendung von Iodtabletten zur Iodblockade der Schilddrüse bei einem kerntechnischen Unfall“ (verabschiedet in der 192. Sitzung am 24./25. Juni 2004)

[7] Rahmenempfehlungen für den Katastrophenschutz in der Umgebung kerntechnischer Anlagen, GMBl. 1999 (in Überarbeitung, Entwurf 26.09.2007)

[8] Richtlinie zur Strahlenschutzverordnung und zur Röntgenverordnung, Arbeitsmedizinische Vorsorge beruflich strahlenexponierter Personen durch ermächtigte Ärzte (GMBl. Nr. 19 vom 27.02.2004, S. 350)

[9] Handbuch für Regionale Strahlenschutzzentren. Stand 2005, Institut für Strahlenschutz der Berufsgenossenschaft der Feinmechanik und Elektrotechnik und der Berufsgenossenschaft der chemischen Industrie

[10] List, V.: Strahlenschutzmedizinische Aufgaben im Rahmen des Notfallschutzmanagements bei kerntechnischen Unfällen S. 235ff. In: Strahlenschutz in Forschung und Praxis, Band 48/49 2007, Deutsche Gesellschaft für Medizinischen Strahlenschutz

[11] Feuerwehr-Dienstvorschrift 500 [FwDV 500, 2005]

[12] Maßnahmen nach Kontamination der Haut mir radioaktiven Stoffen. Veröffentlichungen der Strahlenschutzkommission, Band 18, Gustav Fischer Verlag, Stuttgart, 1992

[13] List, V.: Erkennen und Beurteilen von möglichen Strahlenexpositionen über die gesetzlich zulässigen Dosen hinaus: Befunde und Maßnahmen S. 147ff. In: Strahlenschutz in Forschung und Praxis, Band 42 1999, Urban und Fischer, München Jena

WEITERE PUBLIKATIONEN ZUR MEDIZINISCHEN VERSORGUNG VON STRAHLENUNFALLVERLETZTEN

G. Seitz

Berufsgenossenschaft Elektro Textil Feinmechanik, Köln, Deutschland

MANAGEMENT DES MASSENANFALLS BEI CBNR(E)-LAGEN

MANAGEMENT OF CBNR(E)-STATE MASS ATTACKS

P. Sefrin

Klinik und Poliklinik für Anästhesiologie, Universität Würzburg, Deutschland

Zusammenfassung
Der Massenanfall von Verletzten und Erkrankten (MANV) bezeichnet eine Situation, bei der eine große Zahl von Betroffenen versorgt werden muss, z.B. bei Bombenattentaten oder einem Flugzeugabsturz. Es werden vier Stufen unterschieden. Für solche Großschadensfälle kommen so genannte Schnelleinsatzgruppen (SEG) zum Einsatz (Bsp: SEG-ABC-San ist eine Schnelleinsatzgruppe für Verletztendekontamination).

Summary
Mass attack of injured and diseased person is a situation where a great number of person concerned must be provided e.g. in case of a bomb attack or an air crash. There are four levels. In such cases so called emergency response teams are come into operation (example: (germ.) SEG-ABC-San is an emergency response team for decontamination of casualties)

Schlüsselwörter *Massenanfall, CBNRE, Sondereinsatzgruppe, SEG*
Keywords *mass attack, CBNRE, emergency response team*

Der Massenanfall ist in rettungsdienstlicher Sicht inzwischen in den Rettungsdienstgesetzen der Länder definiert und in der deutschen Industrienormung genormt. Es handelt sich gemäß DIN 13050 um einen Notfall mit einer größeren Anzahl von Verletzten oder Erkrankten, sowie anderen Geschädigten oder Betroffenen, die mit der vorhandenen Vorhaltung des Rettungsdienstes aus dem Rettungsdienstbereich versorgt werden können.

Gemäß der „Neuen Strategie zum Schutz der Bevölkerung“ des Bundes und der Länder entspricht diese Schadenslage der Schutz- und Versorgungsstufe II, bei der die nicht alltäglichen, aber mit den lokal vorhandenen eigenen Kräften zu bewältigende Gefahrenlagen bewältigt werden können. Hierbei kommen besonders die aufgestellten Schnell-Einsatz-Gruppen mit der Möglichkeit über das täglich normale Maß an Leistungen hinausgehende medizinische und soziale Versorgung und Betreuung zum Einsatz.

Obwohl für den Massenanfall oder den Katastrophenschutz nicht für alle Eventualitäten spezielle Einheiten - weder vom Staat noch von den Hilfsorganisationen vorgehalten werden können - sind für den Fall von chemischen, biologischen, nuklearen und radiologischen Gefahren CBNR(E) spezielle SEGn im Rahmen der Weltmeisterschaft aufgestellt worden. Nach der Wiedervereinigung war man von politischer Seite davon ausgegangen, dass es keine Notwendigkeit einer spezialisierten Schutzes mehr bedarf. Erst durch die neue Terrorgefahr und die Sicherheitsverpflichtungen des Bundes für die Weltmeisterschaft war dieses Thema wieder aktuell geworden, nachdem Erkenntnisse einer akuten Bedrohungslage vorlagen.

Bei einer Großschadenslage mit einer Vielzahl von Verletzten oder Erkrankten liegt die Koordination und Führung grundsätzlich in der Hand der **Sanitätseinsatzleitung**, bestehend aus einem Leitenden Notarzt und einem Organisatorischen Leiter – auch bei einer CBNR(E)-Lage. Die Sanitätseinsatzleitung leitet und koordiniert den Einsatz der zur Verfügung stehenden Kräfte mit dem Ziel einer bestmöglichen medizinischen Versorgung. Sie greift damit auch auf die (speziellen) SEGn über die Leitstelle zu. Hierzu gehört als Special Support Unit die SEG-GSG (Gefährliche Stoffe und Güter). SEG stellen die kleinste taktische Einheit innerhalb des komplexen Hilfeleistungssystems des BRK in Bayern dar. Ihre Aufgabe ist eine adäquate medizinische Hilfe im kontaminierten Gebiet und Räumen zu leisten. Zu diesem Zweck wurde seitens des BRK für die Weltmeisterschaft, bei der kurzfristig bei jedem Behandlungsplatz eine Dekontaminationseinheit vorgeschalten werden musste, ein Schulungsprogramm kreiert, das inzwischen im DRK verbindlich ist. Zu den wesentlichen Aufgaben der SEG-GSG gehört die Dekontamination getrennt nach Verletzten (DekonV) und unverletzten Personen (DekonP). Die DekonV umfasst liegende, kontaminierte und sichtbar Verletzte. Bei der Durchführung der Dekontamination werden die SEG-Mitglieder durch die Kräfte der Feuerwehren unterstützt. Bei der DekonP handelt es sich um gehfähige Kontaminierte und nicht sichtbar Verletzte, wobei die Durchführung primär bei Angehörigen der Feuerwehr mit Unterstützung SEG-GSG liegt. Darüber hinaus errichtet bzw. betreibt die SEG

- mobile Wascheinrichtungen zur Verletztendekontamination
- bietet technische Unterstützung bei der Personendekontamination
- bietet Transportunterstützung
- leistet medizinische Versorgung von Betroffenen im Einflussbereich gefährlicher Stoffe und Güter im Kontaminationsbereich
- bietet Sicherung der Einsatzkräfte durch Bereitstellung speziell ausgebildeter Helfer.

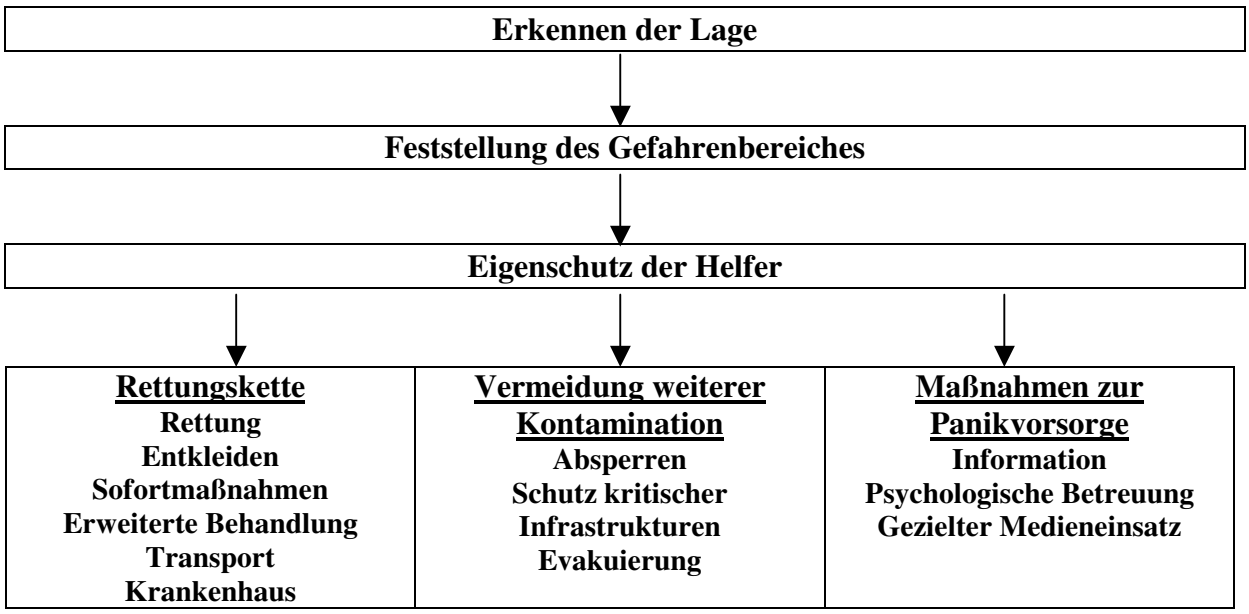
Neben einem Einsatzführer gibt es einen Rettungstrupp, der die „Dekon-Sichtung“ und die Versorgung und Betreuung dekontaminierten Personen durchführt, sowie den Dekon-Trupp unterstützt. Der Dekon-Trupp baut eine Dekontaminationsstelle auf, führt die Dekontamination durch und leitet die Patienten weiter.

Das Problem bei der CBNR(E)-Lage wird sein, dass diese speziellen Einheiten, die nicht flächendeckend verfügbar sind, nicht rechtzeitig am Schadensort einen Dekontaminationsplatz aufbauen können, dadurch, dass sie z.B. längere Anfahrtswege haben. Ein weiteres Problem wird sein, dass Betroffene sich fluchtartig und unkontrolliert vom Schadensort entfernen.

Grundsätzlich gelten auch beim Strahlenunfall trotz MANV die allgemeinen Versorgungsprinzipien. Nach der Rettung aus dem Gefahrenbereich erfolgt eine Ablage an der Verletztenablage. Nach Sichtung sind bei akut vital Bedrohten erste lebensrettende Maßnahmen erforderlich, bevor eine Dekontamination getrennt nach Verletzten und Nichtverletzten durchgeführt wird. Erst danach sollte der Abtransport zur stationären Versorgung erfolgen, wobei die Strahlenschutzmöglichkeiten berücksichtigt werden sollten.

Literaturverzeichnis

DIN 13050-DIN Deutsches Institut für Normung e.V., Beuth Verlag


Erkennen der Lage
Feststellung des Gefahrenbereiches
Eigenschutz der Helfer
Rettungskette
Rettung
Entkleiden
Sofortmaßnahmen
Erweiterte Behandlung
Transport
Krankenhaus
Vermeidung weiterer Kontamination
Absperren
Schutz kritischer Infrastrukturen
Evakuierung
Maßnahmen zur Panikvorsorge
Information
Psychologische Betreuung
Gezielter Medieneinsatz

EINSATZMITTEL DER KERNTECHNISCHE HILFSDIENST GMBH BEI DER VERSORGUNG RADIOLOGISCHER NOTFÄLLE / BEI DER VERSORGUNG RADIOLOGISCH BELASTETER PERSONEN

MEANS PROVIDED BY THE KERNTECHNISCHE HILFSDIENST GESELLSCHAFT MBH FOR THE ATTENDANCE OF CONTAMINATED PERSONNEL

S. Prüßmann

Kerntechnische Hilfsdienst GmbH, Eggenstein-Leopoldshafen, Deutschland

Zusammenfassung

In der Bundesrepublik Deutschland wird der Betreiber einer kerntechnischen Anlage durch den § 53 StrlSchV verpflichtet, für die Beseitigung und Eindämmung der Folgen von Unfällen und Störfällen Vorsorge zu treffen. Diese Aufgabe kann einer geeigneten fremden Einrichtung übertragen werden.

Zu diesem Zweck wurde 1977 die Kerntechnische Hilfsdienst GmbH (KHG) als private Gemeinschaftseinrichtung von insgesamt 42 Einzelfirmen gegründet. Aufgabe der KHG ist die Bereitstellung von Ausrüstung und die Vorhaltung von geschultem Personal für Störfallsituationen.

Zur Versorgung von kontaminiertem Einsatzpersonal stehen

- *ein Atemschutzauflieger, mit Persönlicher Schutzausrüstung und Atemschutzwerkstatt*
- *mobile Personendekontaminationseinheiten mit Tankcontainern zur Übernahme kontaminierter Abwässer*
- *ein mobiler Bodycounter mit 2 Messplätzen*
- *diverse Schnellaufbauzelte*

zur Verfügung.

Für diese Aufgaben ist die KHG über eine Rufbereitschaft ständig erreichbar.

Summary

In the Federal Republic of Germany the owners of a nuclear facility are obliged to take technical and personnel precautions to minimize and eliminate the effects caused by an accident. It is possible to delegate parts of these precautions to an appropriate institution.

For this reason the Kerntechnische Hilfsdienst GmbH was founded in 1977 by 42 individual companies. KHG is responsible to hold ready materials and the training of emergency staff.

For the ambulant treatment of contaminated personnel KHG provides

- *a semi trailer with respiration protection material and protective clothing*
- *two mobile personnel decontamination units with tank containers for liquid waste*
- *a mobile BodyCounter with two measuring units*
- *a range of self-erecting air chamber tents*

KHG can be alerted day and night by on-call duty.

Schlüsselwörter *Notfallschutzeinrichtung, Strahlenschutz, Manipulatortechnik,*

Keywords *accident management, health physics, remote controlled manipulator vehicles*

1. Einleitung

In der Bundesrepublik Deutschland ist der Notfallschutz einer Kerntechnischen Anlage in zwei Bereiche unterteilt, den Bereich des Katastrophenschutzes und den Bereich des innerbetrieblichen Notfallschutzes.
Maßnahmen zum Schutz der Bevölkerung werden vom Katastrophenschutz wahrgenommen. Diese Maßnahmen werden von den zuständigen Landesbehörden organisiert und koordiniert. Der Betreiber der Anlage hat hier vor allem Informations- und Beratungspflichten.
In den § 53 (1) der Strahlenschutzverordnung wird der Betreiber einer Kerntechnischen Anlage verpflichtet zur Eindämmung und Beseitigung der durch Unfälle oder Störfälle auf seinem Betriebsgelände entstandenen Gefahren Vorsorge zu treffen. Er hat hierfür geschultes Personal und Geräte vorzuhalten. Die Strahlenschutzverordnung lässt es zu, diese Pflichten ganz oder teilweise einer geeigneten Einrichtung zu übertragen.
Aus diesem Grund haben sich 1977 die Betreiber von Kernkraftwerken, die Firmen des Kernbrennstoffkreislaufs und die Kernforschung betreibenden Großforschungszentren entschieden Teilbereiche der Notfallvorsorge einer privaten Gemeinschaftseinrichtung zu übertragen und zu diesem Zweck die Kerntechnische Hilfsdienst GmbH (KHG) gegründet.
Die KHG ist in der Nähe des Forschungszentrums Karlsruhe angesiedelt, da die Einrichtungen des Kerntechnischen Hilfszugs, einer Organisationseinheit des Forschungszentrums, teilweise übernommen worden sind.
Auf Grund der sehr spezialisierten Anforderungen an eine solche Einrichtung und der geringen Häufigkeit der Zwischenfälle ist es sinnvoll die Geräte und Einrichtungen in einer Organisation für eine große Anzahl von Nutzern vorzuhalten. Auf diese Weise kann der Aufwand für den einzelnen Gesellschafter niedrig gehalten werden, obwohl Personal und Gerätschaften auf sehr hohem Niveau gehalten werden. Überlegungen, Zweigstellen einzurichten, die über das Gebiet der BRD verteilt sind, wurden wegen der geringen Anzahl der Einsätze nicht realisiert. Sie hätten auch der o. g. hohen Spezialisierung bei vertretbarem Aufwand widersprochen.

2. Organisation der KHG

Die Kerntechnische Hilfsdienst GmbH ist eine Privatorganisation ohne direkte staatliche Beteiligung. Getragen wird die KHG von drei Betreibergesellschaften:

- BEK GbR, Beteiligungsgesellschaft der Energieversorgungsunternehmen an der KHG, Anteil 87,6 %
- GNS, Gesellschaft für Nuklear-Service GmbH, Anteil 4,7 %
- WAK, Wiederaufarbeitungsanlage Karlsruhe Rückbau und Entsorgungs GmbH, Anteil 1,1 %
- FZJ GmbH, Forschungszentrum Jülich, (stellvertretend für die Großforschungszentren), Anteil 6,6 %

Diese vier Gesellschafter repräsentieren 42 Firmen, mit denen die KHG Verträge für Einsätze in Störfallsituationen abgeschlossen hat. Hinzu kommen noch einige sog. Drittbenutzer, die nicht dem Gesellschafterkreis angehören, aber Benutzerverträge mit der KHG abgeschlossen haben.
Mit einer festangestellten Stammmannschaft von 23 Mitarbeitern werden die Einrichtungen der KHG geplant, Geräte beschafft und einsatzbereit gehalten. Unterstützt wird diese Stammmannschaft durch den sog. Fachpersonalpool. Dieser Pool besteht aus 140 Personen, die durch KHG Mitarbeiter an den vorhandenen Einrichtungen geschult werden. Das Fachpersonal ist bei Dienstleistungsunternehmen in der Kerntechnik angestellt und in den Bereichen Strahlenschutz, Dekontamination und Fernhantierungstechnik tätig. Dadurch

werden Anlagenkenntnisse und Erfahrung im Umgang mit radioaktiven Stoffen garantiert. Gemeinsam mit den KHG Mitarbeitern trainiert das Fachpersonal an den Einrichtungen und Gerätschaften der KHG und zeigt die Einsatzbereitschaft durch regelmäßige Übungen im Gesellschafterkreis.
Die KHG kann ständig über Telefon alarmiert werden. Nach einer Alarmierung wird eine Gruppe von 6 Personen des KHG Stammpersonals die Vorbereitung des Einsatzes durchführen. Die Rufbereitschaft der KHG setzt sich folgendermaßen zusammen:

- 6 Personen Eigenpersonal innerhalb 1 Stunde zu KHG
- 10 Personen Fachpersonal innerhalb 2 Stunden zu KHG
- 60 Personen Fachpersonal innerhalb 8 Stunden zum Einsatzort
- 60 Personen Fachpersonal innerhalb 24 Stunden zum Einsatzort

Nach dem Eintreffen der Rufbereitschaft ist die Marschbereitschaft der Einsatzmittel nach 2 Stunden hergestellt. In der Einsatzzentrale der KHG werden die wichtigsten Daten zu den möglichen Einsatzorten vorgehalten:

- Einsatzpläne mit Adressen,
- wichtigen Telefonnummern und Sprechfunkfrequenzen
- die Namen der anforderungsberechtigten Personen
- Anfahrtspläne
- Übersichts- und Lagepläne der Anlage
- Unterlagen für die Durchführung des anlagenspezifischen Störfallmessprogramms:
- Lage- und Anfahrtsbeschreibung der Messpunkte/Dosimeterstandorte
- Angabe der durchzuführenden Messungen
- spezielle Atlanten im fahrzeugtauglichen Format
  mit topografischen Karten, Maßstab 1:50.000 als Übersichtskarten
  und
  Umgebungskarten der Anlage, Maßstab 1:25.000 zur Messpunktauffindung.

Über vertragliche Vereinbarungen kann im Bedarfsfall auf Fahrer ortsansässiger Speditionen zurückgegriffen werden, um weitere Gerätschaften an den Einsatzort zu befördern.

3. Einsatzmittel der KHG

Die KHG verfügt über Einsatzmittel in den Bereichen

- Infrastruktur
  - Eine mobile Einsatzzentrale
  - Funkübertragungstechnik
  - Mobile 68 - und 196 kVA Aggregate zur Versorgung der KHG Einrichtungen
  - Aufenthalts- und Umkleidecontainer
- Strahlenschutz
  - Ein mobiles Strahlenmesslabor in einem Sattelauflieger
  - Laborausstattung mit Isotopenabzügen in einem 20’ Container zur Behandlung kontaminierter Proben
  - Drei Strahlenmessfahrzeuge mit umfangreicher messtechnischer Ausstattung zur Überwachung belasteter Bereiche (allradbetriebene Transporter der 3,5t Klasse)
  - Mobiler BodyCounter
  - Diverse Strahlenmesstechnik (BeO Dosimeter, Hochdosismesstechnik, Kontaminations- und Dosisleistungsmessgeräte, NBR (Natural Background Reduction) Messgeräte

- Atemschutz
    - Atemschutzauflieger
- Dekontamination
    - Mobile Filteranlagen mit Tropfen- und Nebelabscheidern, Vorfiltern, Schwebstofffiltern, Jodfiltern und Ventilatoren
    - Eine mobile Dekontaminationsanlage zur Dekontamination hochbelasteter Gegenstände, um diese Instandsetzen zu können.
    - Kabelgesteuerte Geräte zur Dekontamination von Bodenflächen
    - Tankcontainer zur Übernahme von leicht radioaktivem Abwasser
    - Zwei Personendekontaminationscontainer
    - Sonstige Dekontaminationsgeräte, wie Bodenreinigungsmaschinen, Wasser- und Industriesauger zum Teil mit vorgeschalteten Zyklonenabscheidern
- Manipulatortechnik

Im Bereich Fernhantierungstechnik besitzt die KHG Manipulatorfahrzeuge unterschiedlicher Größe und Funktion. Mit diesen Fahrzeugen sollen Inspektions- und Arbeitseinsätze in Bereichen höchster Dosisleistung durchgeführt werden. Die Fahrzeuge werden von Fachfirmen nach den Vorgaben der KHG angefertigt, und ständig weiterentwickelt. Um die erforderliche Strahlenresistenz zu erreichen werden die leichten Manipulatorfahrzeuge mit Spezialelektronik ausgerüstet. Bei dem Schweren Manipulator Fahrzeug (SMF) und dem Raupenbagger ist die strahlungsempfindliche Elektronik in Abschirmbehältern untergebracht, das entstehende Mehrgewicht des Fahrzeugs kann vernachlässigt werden. Zur Steuerung der Fahrzeuge, und zur Übermittlung von Bildinformationen über das Einsatzgebiet werden strahlenresistente Röhrenkameras eingesetzt. Die Auslegung von Elektronik und Kameras geht von einer Mindeststandzeit von 100 h in einem Strahlenfeld mit einer Dosisleistung von 100 Gy/h aus. Die Leitstände der Manipulatorfahrzeuge sind in speziell ausgebauten LKW installiert.

Abb. 1: Übersicht über die Manipulatorfahrzeuge der KHG

4. Einsatzmittel zur Versorgung radiologisch belasteter Personen

4.1 Ausstattung der Hilfskräfte, Schleusentechnik

Die Einsatzkräfte der KHG und des Betreibers müssen mit Atemschutzmaterial und persönlicher Schutzausrüstung ausgestattet werden.
In einem Atemschutzauflieger ist eine mobile Atemschutzwerkstatt mit den erforderlichen Geräten zur Instandsetzung und anschließenden Prüfung von Atemschutzgeräten untergebracht. Der Mittelteil des Aufliegers ist Lagerraum für das Atemschutzmaterial und Umkleidebereich. Im hinteren Drittel des Fahrzeugs ist in 2 Etagen, über eine hydraulische Ladebühne zugänglich, Stauraum für Atemluftversorgungseinrichtunge, Kompressoren zum Befüllen von Atemluftflaschen, Schleusenzelte, Pumpen und Abwasserbehälter für Dekoduschen und Rollwagen mit Schutzkleidung.
Die Konzepte für Atemschutz und Schutzkleidung sind an Kraftwerkstandards angelehnt, um bei dem Einsatzpersonal Umstellungsschwierigkeiten zu vermeiden.
Eingesetzt werden:

- leichte Vliesanzüge mit Hand- und Überschuhen,
- Vollmaske mit Filter
- einteilige Folienoveralls mit einem batteriebetriebenen umluftabhängigen Belüftungssystem
- einteilige Folienanzüge mit Schlauchversorgung zur Kühlung des Anzugs und einer Atemluftversorgung mit Lungenautomat und Überdruckmaske
- Chemikalienschutzanzüge mit Pressluftatmer

Für den Indoor- und den Outdoorbereich stehen eine Reihe von Zelten zur Verfügung, aus denen Schleusen für den Zugang zu kontaminierten Bereichen errichtet werden können. Die Zelte für den Innenbereich (4 Stück) sind Folienzelte, die von einem Außenrahmen gehalten werden. Sie sind mit Durchführungen für Kabel und Schläuche und Stutzen für den Anschluss von Lüftungsanlagen ausgerüstet. Die Zelte für den Außenbereich (4 Stück, 24 und 40 m² Grundfläche) werden mit Hilfe von Druckluftröhren aufgespannt. Diese Zelte können mit wenig Personaleinsatz schnell errichtet werden. Sie sind zudem mit vorhandenen elektrischen oder mit Diesel betriebenen Heizgebläsen beheizbar. An die Zelte können in beiden Fällen (In- und Outdoor) Schutzanzugduschen gekoppelt werden. Mit diesen Duschen können Kontaminationsverschleppungen wirkungsvoll verhindert werden. Die benötigten Ver- und Entsorgungseinrichtungen werden im Atemschutzauflieger mitgeführt.
Neben dem Einsatz als Schleusen können die Zelte zu heißen Werkstätten oder Dekontaminationszelte für Manipulatorfahrzeuge mit Ein- und Ausschleusbereichen gekoppelt werden. Weitere Verwendungsmöglichkeiten sind der Einsatz als Wetterschutz für das Einsatzpersonal oder die Unterbringung von Material.
Die jährliche Atemschutzausbildung wird für das Eigen- und Fachpersonal in einer KHG – eigenen Atemschutzstrecke durchgeführt, um ein optimales Training der Einsatzkräfte zu erreichen.

Abb. 2: Atemschutzauflieger

4.2 Dekontamination von Personen

Für die Dekontamination von Einsatzpersonal stehen 2 gleichartig ausgerüstete Container zur Verfügung, die in unterschiedliche Arbeitsbereiche unterteilt sind. In einem Eingangsbereich wird die Arbeitsbekleidung und Unterwäsche abgelegt. Im nachfolgenden Behandlungsraum wird die Kontamination mit Messgeräten lokalisiert und eine entsprechende Behandlung festgelegt. Mit Hilfe eines Handwaschbeckens (höhenverstellbar) und einer Kopfdusche können Teilkörperdekontaminationen, in einer Duschkabine Ganzkörperdekontaminationen durchgeführt werden. Nach erneutem Ausmessen und erfolgreicher Dekontamination erfolgt im Ausgangsbereich die Neueinkleidung. Die Container haben eine integrierte Warmwasseraufbereitung. Die Zuluft wird gefiltert und klimatisiert. Die Abluft kann über die mobilen Filteranlagen gereinigt werden, oder an das Abluftsystem einer Anlage gekoppelt werden. Das Abwasser wird mit einem Tankcontainer aufgenommen.

Abb. 3: Innenansicht des Personendekontaminationscontainers

Abb. 4: Vollständige Personendekontaminationseinheit mit Tankcontainer und Stromversorgung

4.3 Inkorporationsüberwachung

Im Verlauf einer Störfallsituation kann es zu erheblichen Zufuhren von radioaktiven Stoffen beim Einsatzpersonal kommen. Die Inkorporationsmessplätze der Betreiber stehen unter Umständen nicht mehr zur Verfügung, da sie sich innerhalb oder in unmittelbarer Nähe der havarierten Anlage befinden.
Um das Einsatzpersonal überwachen zu können, wurde ein Sattelauflieger mit zwei Messplätzen und einem Umkleidebereich ausgestattet. Die Messplätze bestehen aus jeweils 2 4l NAJ Detektoren mit eine 10 cm (4 t) Abschirmung aus aktivitätsarmen Schiffsstahl. Die Kapazität dieses Systems liegt bei einem Personendurchsatz von etwa 30 Messungen pro Stunde mit einer Nachweisgrenze von 200 Bq für Cs-137.

Abb. 5: Sattelauflieger mit BodyCounter

5. Einsatzkonzepte

Abhängig von dem jeweiligen Störfallverlauf werden die Einsatzmittel der KHG zu Funktionseinheiten zusammengefügt. Die Schnellaufbauzelte werden hierbei als Empfangsstationen, mit einer messtechnischen Ausstattung, oder als Aufenthaltsbereiche für die zu versorgenden Personen eingesetzt. Oft können die Einrichtungen der KHG nur in einiger Entfernung zum eigentlichen Einsatzort aufgestellt werden. Hierfür kommen radiologische, aber auch einfache Platzprobleme als Ursache in Frage. Dann können mit Personentransportern Transportmöglichkeiten von der verunfallten Anlage zu den Einrichtungen der KHG zur Verfügung gestellt werden. Wenn kontaminiertes Einsatzpersonal transportiert werden soll, werden die Fahrgastbereiche mit Folie ausgelegt und, ebenfalls mit Folie, der Fahrerbereich vom Fahrgastbereich getrennt.

Abb. 6: Einsatz von Personendekontamination und BodyCounter

6. Weitere Entwicklungen

Neben der ständigen Weiterentwicklung der vorhandenen Einsatzgeräte stellt die Informationsübermittlung eine große Herausforderung dar. Übungen haben gezeigt, dass die Übermittlung von Messdaten eine der wesentlichen Fehlerquellen bei Einsätzen ist. Aus diesem Grund wird in den meisten Notfallschutzorganisationen eine elektronische Datenhaltung und Verarbeitung angestrebt. KGH muss Schnittstellen zu diesen elektronischen Lagedarstellungen schaffen, um die auflaufenden Informationen, nach der Freigabe durch den Betreiber der Anlage, übermitteln zu können. Darüber hinaus besteht auf der Seite der Krisenstäbe und für Entscheidungen verantwortlichen Personen das Interesse möglichst umfangreich und übersichtlich über einen Einsatz informiert zu werden.
Zur Verwaltung und Darstellung dieser Informationen und Daten soll ein Internet basiertes Informationssystem eingerichtet werden. Hier können berechtigte Personen ortsunabhängig auf den Datenbestand zugreifen.

BEDROHUNG DURCH RADIOLOGISCHEN/NUKLEAREN TERROR – LEHREN AUS UNFÄLLEN

THREAT OF RADIOLOGICAL AND NUCLEAR TERRORISM – LESSONS FROM ACCIDENTS

W. Rosenstock

Fraunhofer-Institut für Naturwissenschaftlich-Technische Trendanalysen INT, Euskirchen, Deutschland

Zusammenfassung
Nach Einschätzung verschiedener, auch staatlicher Organisationen ist ein Terroranschlag mit radioaktiven bzw. nuklearen Stoffen durchaus möglich. Da es Terroristen mittlerweile darum geht einen möglichst großen Schaden mit vielen Toten zu erzeugen wird der Aufwand für eine selbstgebaute Kernwaffe betrachtet. Wesentlich wahrscheinlicher ist jedoch der Bau einer sogenannten „schmutzigen Bombe“ (radiologische Bombe). Unfälle mit radioaktiven oder nuklearen Stoffen sowie der illegale Handel damit zeigen das hohe Gefährdungspotential derartigen Materials in den Händen von Terroristen auf. So wurden nach dem Unfall in Goiânia mit einer Cs-Quelle 112 000 Personen untersucht und 3500 m^3 radioaktiver Abfall entsorgt. Bei Kritikalitätsunfällen zeigt sich, dass diese oft sehr schwer beherrschbar sind und auch zu massiven Zerstörungen führen können. Ein gut geplanter Terroranschlag mit radioaktivem bzw. nuklearem Material kann leicht deutlich weiter reichende Folgen haben als ein Unfall. Auch wenn die Umsetzung einer „schmutzige Bombe“ nicht sofort viele Menschenleben fordert, so kann doch die Angst vor der Bestrahlung und das Risiko einer langfristigen Erkrankung Panik hervorrufen und zu einer Destabilisierung der öffentlichen Ordnung führen. Durch die radioaktive Kontamination können Stadtzentren über Jahre unbewohnbar werden, da eine Dekontamination praktisch nicht erfolgreich möglich ist. Entscheidend ist die Bedrohung frühzeitig zu erkennen und entsprechende Schutzvorkehrungen sowie vorbeugende Maßnahmen zu treffen.

Summary
According to information by different, also governmental organizations a terrorist attack with radioactive respectively nuclear material is within the realms of possibility. Since terrorists aim to maximize the damage and the number of dead, the investment is considered for producing an improvised nuclear device. More likely is the assembly of a so called “dirty bomb”, a Radiological Dispersal Device (RDD). Accidents with nuclear or other radioactive material as well as illicit trafficking indicate the risk potential of such material in the hands of terrorists. For example 112 000 persons were examined and 3500 m^3 of radioactive waste had to be disposed after the accident in Goiânia with a Cs source. Criticality accidents give evidence that they are often difficult to control and may lead to significant destruction. A well planned terrorist attack with radioactive respectively nuclear material may have far-reaching consequences than an accident. Even though the detonation of a “dirty bomb” will not result in many dead the fear of radiation and subsequent disease may cause panic and destabilize law and order. Due to radioactive contamination centres may become uninhabitable for years since effective decontamination is not possible. It is essential to detect the threat at an early stage and then make effective provisions for protection and response.

Schlüsselwörter *Nuklear-Terrorismus, schmutzige Bombe, radiologische Unfälle, R&N Terror, Kritikalitätsunfall*

Keywords *nuclear terrorism, dirty bomb, radiological accidents, R&N terror, criticality accident*

1. Einleitung – Mögliche Szenarien

Wir leben in einer Zeit, in der eine latente, wenn auch geringe, Gefahr durch terroristische Anschläge besteht. Dabei sind auch Anschläge in Verbindung mit radioaktiven bzw. nuklearen Stoffen im Bereich des Möglichen. So hält der Präsident des Bundesverfassungsschutzes, Heinz Fromm, Terroranschläge mit einer „schmutzigen Bombe“, die radioaktives Material enthält, in Deutschland als eine Option der Terroristen für möglich. Deutschland ist nach Einschätzung des Verfassungsschutzes (Jan. 2008) inzwischen nicht nur Rückzugsraumsondern auch ein Operationsraum für Terroristen. Nach Aussagen des Bundesnachrichtendienst (BND) wird die terroristische Nutzung radiologischer Anordnungen immer wahrscheinlicher [1]. EUROPOL will sogar den Diebstahl einer Nuklearwaffe nicht ausschließen (November 2007).

Die Ziele des Terrorismus haben politischen, ideologischen oder religiösen Ursprung. Die Terroranschläge sollen in der gesamten Bevölkerung Angst verbreiten und Panik sowie Verunsicherung erzeugen und so auf Regierungen Druck ausüben oder die Gesellschaft einschüchtern. Die Anzahl möglicher Ziele ist nahezu unbegrenzt. Dabei bestimmt mittlerweile eine möglichst große Zahl von Todesopfern die Planungen der Täter. So zeigen die Anschläge, wie z.B. in Istanbul (November 2003), Madrid (März 2004) und London (Juli 2005), dass kaum zu schützende "weiche" Ziele im Visier der Täter sind. Ein Terroranschlag mit radioaktivem bzw. nuklearem Material wird zunächst sicher ein Einzelfall sein, daher ist die Wahrscheinlichkeit dafür nicht quantifizierbar und somit auch nicht maßgebend. Der Anschlag am 11. September 2001 war seinerzeit auch nicht wahrscheinlich. Daher darf die Tatsache, dass bisher noch kein radiologischer Anschlag erfolgt ist, nicht zu einer falschen Sicherheit führen.

Auch in dem Bericht der Bundesregierung zur Rüstungskontrolle, Abrüstung und Nichtverbreitung [2] wird im Bereich von Massenvernichtungswaffen das größte Risiko durch Terroristen im Einsatz einer radiologischen Waffe (schmutzige Bombe, dirty bomb) gesehen. Allerdings gab es bereits seit den 90er Jahren Befürchtungen hinsichtlich der terroristischen Nutzung von radioaktivem und nuklearem Material [3], insbesondere in Hinblick auf den terroristischen Einsatz von selbstgebauten Kernwaffen. Inzwischen werden derartige Befürchtungen wieder vermehrt geäußert. So kommt das Internationale Institut für strategische Studien (International Institute for Strategic Studies, IISS) in London in seiner Analyse zu dem Schluss, dass es Terrorgruppen, wie z.B. El Quaida, in naher Zukunft möglich sein wird in den Besitz von Kernwaffen bzw. dem entsprechenden Material zu deren Bau zu gelangen [4]. Das hätte zur Folge, dass eine länderübergreifende Terrororganisation Nuklearmacht werden könnte.

Ein Problem ist der hohe Stellenwert von Kernwaffen: Nationale Sicherheitsstrategien beruhen darauf, genau dies veranlasst weitere Staaten eigene Kernwaffen zu entwickeln oder zu beschaffen, aber sie bringen auch politisches Gewicht (z.B. Nordkorea). Diese große politische Bedeutung von Kernwaffen veranlasst eben auch Terrororganisationen danach zu streben.

Angesichts der großen Menge von weltweit ca. 1 700 Tonnen militärisch genutztem hochangereichertem Uran (HEU) und ca. 250 Tonnen Plutonium ist nicht auszuschließen, dass es Terroristen gelingen könnte, sich Zugriff auf waffenfähiges Nuklearmaterial zu verschaffen [1]. Über 60 Staaten betreiben nukleare Einrichtungen und von diesen verfügen mindestens 40 über die technischen und wissenschaftlichen Fähigkeiten innerhalb kurzer Zeit auch Kernwaffen zu bauen, so sie es denn wollen.

Kernwaffen stellen im Vergleich zu B und C Waffen eine besondere Klasse für Terrororganisationen dar: Nach der Zündung erfolgt praktisch sofort eine massive Zerstörung, gegen die es dann keinen Schutz mehr gibt. Im Gegensatz dazu können bei frühzeitiger Erkennung von B- und C-Bedrohungen effektive Gegenmaßnahmen ergriffen werden. Ziel der Terroristen sind

keine schleichenden Prozesse sondern eine Fanal-Wirkung, die direkt zu einer massiven Verunsicherung der Bevölkerung führt. Die Vermittelbarkeit der Ziele hat offenbar keine Bedeutung mehr, unter diesem Gesichtspunkt wird keine Rücksicht auf die Öffentlichkeit genommen.

Das Prinzip und die Technik zur Herstellung einer Kernwaffe sind allgemein gut verstanden und die notwendige Technologie ist grundsätzlich auch in nicht hoch entwickelten Ländern verfügbar, insbesondere wenn man bedenkt, dass die ersten Kernwaffen vor mehr als 60 Jahren gebaut wurden.

Bereits in den 80zigern stellte das Office of Technology Assesment (USA) und auch andere Experten fest, dass nur wenige Spezialisten ausreichen, um eine simple Kernwaffe zu bauen [5]. Für eine solche improvisierte Kernwaffe (improvised nuclear device, IND) sind einige 10 kg hochangereichertes Uran (U-235) erforderlich.

Terrororganisationen, wie El Quaida, haben bisher noch keine nukleare Anordnung eingesetzt. Aber wenn sie genügend angereichertes Uran zur Verfügung hätten und weitere Teile im Internet erwerben, könnte ein kleines Terroristenteam eine Kernwaffe (IND) in einigen Monaten zusammenbauen. Es gab immer wieder Versuche pakistanische Wissenschaftler mit Kenntnissen zum Kernwaffen-Bau anzuwerben. Auch haben US-Soldaten in Afghanistan (Kabul) Dokumente zu Aufbau von Kernwaffen gefunden.

Die folgende Abschätzung stammt von Zimmermann et al. [6], einem ehemaligen Mitarbeiter der U.S. Arms Control and Disarmament Agency. Einige Terrororganisationen wollen ein Zeichen setzen und möglichst viele Menschen bei geringen Kosten bzw. Aufwand töten. An dem immer wieder zitierten 9/11 (9. Sept. 2001) wurden über 3000 Menschen in New York (World Trade Center) und auf einem Feld in Pennsylvania (Ziel war das Pentagon) getötet. Betrachtet man die Kosteneffizienz so lagen die Kosten pro Mord beim 9/11 bei 170 $ pro Mord, beim Madrid-Anschlag (2004) bei 50 $ pro Mord, USS Cole (Okt. 2000) bei 590 $ pro Mord. Unter diesem Gesichtspunkt sind Kernwaffen billig und können dabei gegen hochwertige, gut geschützte Ziele eingesetzt werden und haben gleichzeitig eine hohe politische Wirkung. Selbst eine Fehlzündung mit einer Energiefreisetzung von einigen zehn Tonnen TNT-Äquivalent kann in einem Stadtzentrum, vollbesetztem Stadion oder Finanzdistrikt zur Hauptverkehrszeit bis zu 10 000 Menschen töten. Nimmt man Herstellungskosten von 10 Mio $ und 100 000 Tote an so ergibt sich 100 $ pro Mord.

Tabelle 1: Herstellungsschritte und Kosten einer improvisierten nuklearen Anordnung für Terroristen nach [6]

Tätigkeiten	**Kosten US $**
Physik + Simulation (3 Physiker)	200 000
Gebäude (entlegener Bauernhof)	200 000
Metallurgie, Formung (4 Pers., Ausstattung)	270 000
Konstruktion (4 Pers., Werkstatt)	230 000
Tests und Zusammenbau (4 Pers.)	230 000
Elektronik, Zündmechanismus (2 Techniker)	150 000
Spaltmaterial (HEU) - Beschaffung	4 000 000
Transport (2 Pers., Reisen)	153 000
Insgesamt	**5 433 000**

Das hypothetische Model für die Herstellung und die damit verbundenen Kosten ist in Tabelle 1 zusammengefasst (nach Zimmermann[6]). Terroristen erwerben eine Halle in einem Industriepark wo sie den Zusammenbau und weitere theoretische Überlegungen überprüfen können. Man kann aber auch einen einsam liegenden Bauernhof (Farm) nehmen, den Technikbereich zur Bearbeitung des Urans nutzen, die große Scheune umbauen zum Test und Aufbau einer Kanonrohranordnung. Bei der Kalkulation der Kosten wird von den USA ausgegangen, wo auch der Anschlag erfolgen soll. Der Transport einer einsatzbereiten Waffe aus dem Ausland scheint aufwändiger und auch risikoreicher. Auch die Beschaffung der notwendigen Geräte und Elektronik scheint in einem hochentwickelten Land einfacher. Für keines der „alten" Gebraucht-Geräte sind spezielle Genehmigungen zum Erwerb erforderlich. Betrachtet wird eine Kanonenrohranordnung ähnlich wie in Hiroshima; dazu sind viele technische Informationen im Internet verfügbar. Bei dem 9/11 Anschlag waren 19 Personen beteiligt, daher werden hier auch 19 Personen angenommen, davon 3 Physiker. Eine schwierige Aufgabe ist die Gießen des Uranmetalls, es erfordert spezielle metallurgische Kenntnisse und Erfahrungen, die jedoch mit abgereichertem Uran gesammelt werden können. Auf Grund seiner hohen Dichte von $\rho = 18.95$ g/cm^3 hat eine Masse von 20 kg Uran nur etwa ein Volumen von 1 Liter. Nimmt man als maximale Länge der Anordnung 9 Fuß (2.74 m) an, so passt sie ohne weiteres in einen Van, Geländewagen oder Pickup Kleintransporter). Am aufwendigsten und mit den höchsten Kosten verbunden ist sicherlich die Beschaffung von hoch angereichertem Uran, hier wird im Mittel von 4 Mio. US$ ausgegangen. Findet man einen überzeugten Innentäter, so können die Kosten auch deutlich niedriger sein.

Der Schwerpunkt der folgenden Betrachtungen wird die so genannte schmutzige Bombe sein. Radioaktive Quellen können in Verbindung mit Sprengstoff von Terroristen für eine „schmutzige Bombe" - Radiological Dispersal Device (RDD) - genutzt werden oder, wenn der radioaktive Stoff sich leicht dispergieren lässt, nach Öffnen des Behälters ausgebracht werden. Eine schmutzige Bombe (dirty bomb) enthält zwar radioaktives Material, dies wird aber nicht zur nuklearen Energieerzeugung genutzt, wie bei einer Kernwaffe. Sie besteht im allgemeinen aus konventionellem Sprengstoff mit einer radioaktiven Beiladung, bei der Detonation wird dann im ungünstigen Fall das radioaktive Material dispersiv verteilt. Die Folgen können neben dem Schaden durch den Sprengstoff eine großflächige Kontamination mit radioaktivem Material sein. Somit richtet sich eine radiologische Waffe vorwiegend gegen Personen, da durch die Radioaktivität selbst im Allgemeinen keine Zerstörung erreicht wird. Bisher hat es allerdings erst zwei tatsächliche Drohungen mit einer ‚dirty bomb' gegeben: So haben im November 1996 tschetschenische Rebellen im Izmailovo-Park in Moskau eine derartige Anordnung (mit Cs-137) deponiert und mit der Explosion gedroht [7]. Der Behälter wurde rechtzeitig gefunden und unter entsprechenden Sicherheitsvorkehrungen geborgen.

Besonders weit verbreitet ist die Nutzung umschlossener radioaktiver Stoffe in der Industrie und Medizin, hier besteht auch ein entsprechend der großen Stückzahl höheres Verlust- bzw. Diebstahlrisiko. Dort aufgetretene Unfälle zeigen u.a. das mögliche Schadensausmaß sowie die Verfügbarkeit radioaktiver Stoffe für terroristische Aktionen auf. Folgende radioaktive Isotope mit zum Teil recht hohen Aktivitäten (TBq und mehr) sind weit verbreitet im Einsatz:

Caesium – 137	(Cs-137) zur med. Bestrahlung, Messung der Strömungsgeschwindigkeit, Füllstandsmessung
Kobald – 60	(Co-60)zur med. Bestrahlung, Materialprüfung und Sterilisation von Lebensmitteln
Iridium – 192	(Ir-192) und Selen – 75 (Se-75) zur Materialprüfung.
Strontium – 90	(Sr-90) zur Stromerzeugung in thermoelektrischen Generatoren (RTG)
Californium – 252	(Cf-252) zur Feuchtemessung

Die Mengen der radioaktiven Stoffe liegen typisch im Gramm und sub- Gramm Bereich, einzige Ausnahme sind gebrauchte Brennelemente.

Derzeit sind über 10000 Radiotherapieeinrichtungen (med. Bestrahlung), über 12000 Geräte zur Materialprüfung (Radiografie) und ca. 300 Bestrahlungseinrichtungen (überwiegend zur Sterilisation) im Einsatz. Durch die vorhandenen Sicherheitseinrichtungen und den Strahlenschutz wird gewährleistet, dass im Normalbetrieb keine Gefährdung für das dort arbeitende Personal und erst recht nicht für die allgemeine Bevölkerung ausgeht.

Entscheidend für die Terroristen ist bei der Vorbereitung der Tat die möglichst ungefährliche Handhabung. Viele der Gamma-Quellen sind bei Abschirmung mit etwas Blei (10 cm) und einfachen Manipulatorsystemen (Greifer, Zange) so handhabbar. Akzeptiert man für die Vorbereitung der Tat eine Dosis von 0.5 Sv, so entspricht dies bei einer Dauer der Arbeiten von 4 Stunden einer Dosisleistung von 125 mSv/h. Die Wirkung wird sich auf überwiegend vorübergehende Effekte beschränken, zusätzlich ist mit einer erhöhten Krebsinzidenz zu rechnen.

Aktionen gegen Einzelpersonen, wie die Tötung des ehemaligen russischen Geheimdienstagenten A. W. Litwinenko mit Po-210 im November 2007 in London, werden hier nicht betrachtet.

2. Unfälle mit radioaktiven Quellen

Unzureichend kontrollierte radioaktive Quellen haben wiederholt zu radiologischen Unfällen geführt; einige davon sogar zu schwerwiegenden Erkrankungen bis zu Todesfällen sowie zu massiven Störungen der Volkswirtschaft. Zu vielen Unfällen gibt es von der Internationalen Atomenergie-Organisation (IAEA) umfassende Dokumentationen, auf die hier Bezug genommen wird. Laut IAEA gehen in der Europäischen Union ca. 70 radioaktive Quellen pro Jahr verloren, bei ca. 30 000 nicht mehr benutzten Quellen besteht ein Verlustrisiko. In den USA sind im Zeitraum 1996 – 2001 nach Angaben der NRC 1 500 Quellen verloren gegangen, davon wurde nur knapp die Hälfte wiedergefunden

Einen umfassenden Eindruck von einigen potentiellen Folgen eines Anschlags mit radioaktiven Stoffen gibt der Strahlenunfall in Goiânia (Brasilien) im September 1987. Dort wurde eine medizinische Strahlenquelle in ihrem Abschirmbehälter aus einem stillgelegten Krankenhaus zum Verkauf an Schrotthändler entwendet und dabei mit Gewalt weiter zerlegt. Die dort eingebaute Cäsiumquelle hatte eine Aktivität von 52 TBq, ein durchaus typischer Wert für eine medizinische Therapiequelle. Die Personen, die die Quelle zerlegten, zeigten Symptome einer Überexposition. Diese Erkrankungen wurden jedoch zunächst nicht richtig diagnostiziert. Insgesamt dauerte es 16 Tage bis die richtige Ursache erkannt wurde, erst danach wurden Maßnahmen zum Schutz ergriffen. In der Zwischenzeit wurden bereits etliche Gebäude und Personen kontaminiert.

Die Folgen des Unfalls von Goiânia für die Menschen sind in Tabelle 2 zusammengestellt. Insgesamt gab es vier Todesfälle, 54 Personen mit akuter Radiodermitis und über 112.000 Personen mussten auf Kontamination untersucht werden. Nachdem man viele Kontaminationen festgestellt hatte wurden systematische Messungen durchgeführt. Insgesamt mussten 200 Personen aus 41 Gebäuden evakuiert werden; 85 Gebäude waren signifikant kontaminiert, von denen 7 nicht mehr weiter bewohnbar waren und abgetragen werden mussten. Danach gab es von Seiten der Bevölkerung großen Druck zur Wiederherstellung des alten Zustandes wie vor dem Ereignis.

Tabelle 2: Unfall Goiânia, Anzahl der überprüften bzw. erkrankten Personen (nach [8])

Personen	**Anzahl**
Überprüft insgesamt	112.800
Kontaminiert	249
davon nur äußere Kontamination	120
äußere und innere Kontamination	129
Radiodermatitis	28
in Krankenhaus	21
Knochenmarksyndrom	14
Schweres Strahlungssyndrom	8
Todesfälle	4

Im Falle einer Dispersion dieser Aktivität ist es durchaus möglich, damit eine Fläche von 1000 km² so zu kontaminieren, dass sie entsprechend den Regelungen der deutschen Strahlenschutzverordnung bis zu einer Dekontamination nicht mehr betreten werden darf. In einem bebauten Gebiet kann eine vollständige Dekontamination viele Monate dauern, wenn sie denn überhaupt vollständig möglich ist. Ein ähnliches Risiko besteht auch, wenn eine Cs-Quelle aus Nachlässigkeit in den Metallschrott gelangt, und dieser eingeschmolzen wird. Dann verdampft das Cs und kann über die Abluft freigesetzt werden, wie es in. Algeciras (Spanien) im Juni 1997 passiert ist.

Die effektive Halbwertzeit (HWZ) von Cs-137 (physikalische HWZ = 30.17 a) im menschlichen Körper beträgt beim Erwachsenen nach Ingestion etwa 2 bis 3 Monate; bei Kindern ist sie etwas kürzer. Da Cs ein ähnliches physiologisch/biochemisches Verhalten hat wie Kalium (K) hat lagert es sich zum größten Teil in den Muskeln an; es bleibt also nicht so lange im Körper wie etwa die "Knochensucher" Strontium (Sr) oder Plutonium (Pu).

Ende Januar 2000 ereignete sich ein radioaktiver Unfall in Samut Prakarn, Thailand [10]. Eine nicht mehr benutzte Bestrahlungstherapieanlage mit einer Co-60 Quelle wurde aus einem ungesicherten Gebäude genommen teilweise zerlegt. Anschließend wurde die Teile, Blei und Edelstahl, an einen Schrotthändler verkauft. Abbildung 1 zeigt den zerlegten Strahlerkopf (links) sowie auch die bei der Zerlegung heraus gefallene Quelle (A = 15.7 TBq, Durchmesser 2.5 cm).

Abb. 1: Unfall Samut Prakarn, zerlegter Strahlerkopf in Schuppen und ausgebaute radioaktiven Quelle [10]

Die Dosisleistung am Eingang des Schrottplatzes betrug 10 mSv/h, im Büro des Schrotthändlers 50 mSv/h, auf der vorbeiführenden Strasse bis zu 800 µSv/h, im benachbarten Schönheitssalon sowie einem Lebensmittelgeschäft wurden Werte von 200 µSv/h gemessen. Insgesamt erhielten mindestens 10 Personen recht hohe Dosen von dieser Quelle, davon starben 3 innerhalb von 2 Monaten als Folge der Bestrahlung.

Im Zeitraum 1960 – 2001 haben sich im Gebiet der ehemaligen Sowjetunion 176 Strahlenunfälle ereignet bei denen 344 Fälle akuter Strahlenkrankheit auftraten, davon 76 mit tödlichem Ausgang [9]. Darin sind nicht die Unfälle enthalten, die durch mangelnde, aber geduldete, Sicherheitsvorkehrungen in den Industriebetrieben aufgetreten sind. Im April 1997 entwickelten sich bei Angehörigen der Grenzschutztruppen in Georgien Hautverbrennungen an etlichen Stellen [11]. Bei Untersuchungen, die mit Unterstützung der IAEA erfolgten, wurde eine große Anzahl herrenloser Quellen mit Aktivitäten zwischen 10 MBq und 164 GBq gefunden. Im Einzelnen 12 Cs-137 Quellen, davon 8 ohne jegliche Abschirmung, eine Co-60 und 200 Ra-226 Quellen. Dies führte zu einer massiven Bestrahlung von 11 Soldaten, 7 von ihnen wurden in Deutschland behandelt, 4 in Frankreich. Bei weiterer Suche in Georgien wurden im Jahr 1998 u.a. im Dorf Matkhoij 3 Quellen mit Aktivitäten bis zu 150 GBq gefunden. Zufällig wurde Ende 1998 bei der Ortschaft Khaishi, im Westen von Georgien, 4 Quellen mit Aktivitäten von 1.5 PBq (40 kCi) gefunden. Die Analyse zeigte, daß es sich um Sr-90 aus thermoelektrischen Generatoren (RTG = Radionuclide Thermo-elctric Generator) handelte. Schließlich tauchten Aufzeichnungen auf, dass 8 derartige RTGs entlang des Flusses Inguri installiert waren. Bei der Suche vom Hubschrauber aus wurde nur eine Cs-137 Quelle mit einer Aktivität von 740 GBq gefunden, die im Abfall zwischen 2 Gebäuden in der Stadt Poti lag. Inzwischen wurden in Georgien weit über 300 radioaktive Quellen gefunden.

Den immensen Aufwand, der nach der dispersiven Ausbreitung von Radioaktivität entsteht, zeigt der Fall des Plutoniumschmuggels aus der Wiederaufarbeitungsanlage Karlsruhe, im Juli 2001, auf [12]. Radioaktives Material (ca. 16 MBq) war von einem Mitarbeiter in Glasröhrchen, die er in zwei Gummihandschuhe verpackt hatte, entwendet worden. Zu einem späteren Zeitpunkt waren die beiden Glasröhrchen zerbrochen. Die von ihm und seiner Lebensgefährtin genutzten Fahrzeuge, sowie die Wohnungen waren stark mit Transuranen kontaminiert. Der Täter hatte einige seiner kontaminierten Kleidungstücke in einen Altkleider-Container entsorgt. Dieser war allerdings kurz vor Bekanntwerden der Tat geleert worden, daher musste die gesamte Lagerhalle durchsucht werden. Dabei wurden etliche kontaminierte Kleidungstücke sichergestellt. Alle Wohnungen und Treppenhäuser der Mehrfamilienhäuser, in denen sich die beiden Wohnungen des Täters und seiner Lebensgefährtin befanden, wurden umfassend auf Kontamination untersucht. Noch zwei Jahre nach diesem Vorfall wurden sämtliche Staubsaugerbeutel der Hausbewohner auf Radioaktivität überprüft. Während hier in keiner der benachbarten Wohnungen eine Kontamination nachgewiesen wurde, wurden geringe Kontaminationen in Wohnungen festgestellt, die vom Täter bzw. seiner Lebensgefährtin besucht wurden. In einem Fall mußte ein kontaminierter Sessel eingezogen werden. Die bei den beiden Personen festgestellten Inkorporationen führen zu einer 50-Jahre Folgedosis von 100 mSv und 5 Sv. Die α-Kontamination in den beiden eigenen Wohnungen lag zwischen 6 - 20 Bq/cm², der Grenzwert gemäß der deutschen Strahlenschutzverordnung beträgt jedoch nur 0,1 Bq/cm². Zur Dekontamination der Wohnungen wurde eine spezielle Infrastruktur geschaffen. Dazu wurden Container an den jeweiligen Balkon angedockt und es erfolgte ein Zutritt über einen weiteren Schleusencontainer. Alle Arbeiten mussten in fremd belüfteten Vollschutzanzügen inklusive Atemschutz durchgeführt werden. Selbst der Fußbodenbelag und die Tapeten mussten flächendeckend entfernt, da die Dekontamination nicht erfolgreich war. Die reinen Dekontaminationsarbeiten dauerten ca. zwei Monate; hinzukommen noch die Planung und der Aufbau der Container. Der gesamte Aufwand überschritt die Summe von 5 Mio. Euro.

Wie bereits oben erwähnt handelte es sich hier um eine Aktivität von < 20 MBq. In der Industrie liegen jedoch häufig Aktivitäten vor, die um eine Million und mehr höher sind.

Ein gut geplanter Terroranschlag erhöht die Ausmaße erheblich: Größere Dichte von Menschen in Hochhäusern, Stadtzentren, Großveranstaltungen. Auch wenn eine schmutzige Bombe nicht sofort viele Menschenleben fordert, so kann doch die Angst vor Bestrahlung und das Risiko einer langfristigen Erkrankung Panik hervorrufen. Durch die Kontamination können Stadtzentren über Jahre unbewohnbar werden.

Die Auswirkungen der Explosion einer radiologischen Bombe können durchaus ganze Stadtteile betreffen. Nach einer Studie von Levi und Kelly wird durch die explosive Umsetzung einer Cs-137 Quelle (Aktivität 130 TBq) im Südwesten von Manhattan in New York eine Fläche von 800 km² derart kontaminiert, dass sie entsprechend amerikanischen Gesetzen nicht mehr bewohnbar ist [13]. Selbst wenn nur wenige Personen durch die Strahlung massiv gesundheitlich beeinträchtigt werden so wird dadurch doch das gesamte Wirtschaftsleben total gestört mit derzeit unabsehbaren volkswirtschaftlichen Folgen. Bei Südwind würde sich der Fallout über gesamt Manhattan verteilen.

3. Unfälle mit kritischen Anordnungen

Seit 1953 (bis 2001) hat es weltweit ca. 60 offiziell bestätigte Kritikalitätsunfälle gegeben, davon 33 in USA und 19 in der UDSSR. Zweidrittel dieser Unfälle ereigneten sich in Forschungszentren, die anderen im Brennstoffkreislauf. Als typische Ereignisse werden dazu zwei Kritikalitätsunfälle kurz beschrieben.

Bei dem Kritikalitätsunfall in der JCO Uran Konversionsanlage in Tokai Mura, Japan, im September 1999, wurden 2 angereicherte Uranlösungen (zusammen 16 kg) in ein Gefäß gegossen. Es handelte sich um Uran-Nitratsäure mit einer Anreicherung von 19 %. Statt der vorgesehenen Menge von 2.4 kg wurden 16 kg eingefüllt. Während dem Einfüllen trat ein blauer Kritikalitätsblitz auf und es entstand eine sich selbst aufrechterhaltende Kettenreaktion (die kritische Masse war um ca. das 3-fache überschritten) [14]. Es wurde eine Gaswolke mit radioaktiven Uranteilchen herausgeschleudert die zu einer Kontamination in der Umgebung führte. Zusätzlich lief Kühlwasser in den Behälter das als Moderator wirkte und so wurde eine oszillierte Kettenreaktion aufrechterhalten. Die höchste Dosisleistung, die am Zaun der Anlage (in 74 m Entfernung) gemessen wurde, betrug 4 mSv/h, so dass sich die Behebung dieses Unfalls recht schwierig gestaltete [15]. Insgesamt 49 Mitarbeiter deutlich erhöhter Strahlung ausgesetzt, 3 Arbeiter erhielten eine tödlicher Dosis von 8 Sv und verstarben.

Abb. 2: Kritikalitätsunfall Tomsk, Bild des zerstörten Gebäudes [16]

Im April 1993 ereignete sich in der russischen Wiederaufarbeitungsanlage bei Tomsk während des Auflösens von bestrahltem Uranbrennstoff in Salpetersäure ein schwerer Unfall. Die entscheidende Unfallursache war die nicht ausreichende Durchmischung beim Einfüllen der Salpetersäure. Es trat Oxidation und in Folge eine autokatalytische exotherme Reaktion auf. Nach ca. 2 Stunden stieg der Druck in wenigen Minuten auf 18 bar und brachte das Reaktionsgefäß zum platzen. Die Temperatur betrug 450 ˚C, es entwichen Gas und kleine organische Tröpfchen, diese Wolke explodierte und zerstörte die Betondecke und anschließend die Außenfront. Dies führte zu einer ausgedehnten Kontamination, nicht nur auf dem Anlagengelände, sondern auch in der Umgebung bis zu einer Entfernung von 28 km. Insgesamt wurden 216 Mio. Rubel für Maßnahmen zur Dosisreduzierung aufgewendet ohne einen deutlichen Effekt.

4. Lehren – Zusammenfassung

Viele Unfälle mit radioaktiven Stoffen zeigen ein hohes Schadenspotential auf. Es sind zwar meistens nur wenige Personen massiv betroffen, jedoch sind die volkswirtschaftlichen Folgen, einschließlich der Kosten der Beseitigung der Kontamination erheblich. So verursachten in den USA im Metallschrott gefundene bzw. mitverarbeitete radioaktive Quellen (Aktivität typisch einige hundert GBq) Kosten für die Dekontamination von im Mittel 12 Mio. $ pro Jahr. Die Folgen der detonativen Freisetzung radioaktiver Stoffe sind stark abhängig von der Aktivität, dem Nuklid, der chemische Form (Metall, Salz usw.), der Orographie und den meteorologischen Bedingungen. Verteilt man z.B. die Aktivität A = 51 TBq (dies war die Aktivität der Quelle in Goiânia) einer Cs-137-Quelle gleichmäßig auf einen Quadratkilometer, so beträgt die Dosisleistung im 1 m Höhe 120 µSv/h; d.h. in einem Jahr ergibt sich eine Dosis von 1 Sv. Dieser Wert liegt deutlich oberhalb aller zulässigen Grenzwerte.

Wenn Terroristen schon den Aufwand betreiben sich derartiges Material gezielt zu beschaffen, werden sie sich auch genau überlegen, wie sie die aus ihrer Sicht beste Wirkung erzielen. Somit erhöht ein gut geplanter Terroranschlag die Schadensausmaße gegenüber einem Unfall erheblich. Allerdings wird die Bandbreite der Konsequenzen eines radiologischen Terroranschlages extrem weit sein, von vernachlässigbarer Gefährdung bis hin zur Kontamination und Sperrung ganzer Stadtteile. Großveranstaltungen oder Stadtzentren sind wegen ihrer hohen Menschenkonzentrationen besonders empfindlich auf terroristische Angriffe mit radiologischen bzw. nuklearen Stoffen. Auch wenn eine schmutzige Bombe nicht sofort viele Menschenleben fordert, so kann doch die Angst vor Bestrahlung und die Unsicherheit hinsichtlich möglicher gesundheitlicher Folgen (stochastische Effekte) Panik hervorrufen. Durch die Kontamination können ganze Stadtzentren über Jahre unbewohnbar werden und somit unermessliche volkswirtschaftliche Schäden hervorrufen.

Wichtig ist die Bedrohung frühzeitig zu erkennen und dann zutreffende Maßnahmen einzuleiten: Informieren aller Einsatzkräfte, die weitere Ausbreitung bzw. Verschleppung der Kontamination muss vermieden werden; Krankenhäuser rechtzeitig über das Ereignis und Einlieferung kontaminierter Personen informieren. So wird eine zutreffende Diagnose ermöglicht, da die Wirkung oft verzögert und in nicht bzw. schwer vorhersehbarer Weise eintritt. Problematisch ist ob die Bevölkerung Informationen und Anweisungen der Behörden, akzeptiert; so wurde z. B. in der Vergangenheit Tamiflu trotz gegenteiliger Empfehlungen der Behörden in großen Mengen für die Therapie einer möglichen Virusgrippe (Vogelgrippe) gekauft. Auf Grund der weit verbreiteten Radiophobie könnten Terroristen eine schmutzige Bombe als eine kostengünstige Massenzerrüttungswaffe in Betracht ziehen.

5. Literaturverzeichnis

[1] Hanning, A.: Kampf gegen den Terror. Vortrag DWT – Jahrestagung 2005, 07. April 2005, Stadthalle Bad Godesberg.

[2] Bericht der Bundesregierung zur Rüstungskontrolle, Abrüstung und Nichtverbreitung 2004. Reihe Berichte und Dokumentationen, Auswärtiges Amt, 10117 Berlin. 15. Juni 2005 und Jahresabrüstungsbericht 2006, Drucksache 16/5211 (27. 04. 2007)

[3] Kamp, K.-H.: Nuklearterrorismus: Fakten und Fiktionen. Konrad-Adenauer-Stiftung, Interne Studien Nr. 96/1994, Dezember 1994, Sankt Augustin

[4] Nicoll, A. and Mazo, J. (eds.): Strategic Survey 2004/5. Nuclear Proliferation: Avoiding the 'Greatest Possible Danger'. International Institute for Strategic Studies, IISS), London, GB; May 2005

[5] Mark, J.C.; Taylor,T. et al.: Can Terrorists Build Nuclear Weapons? in Leventhal and Alexander: Preventing Nuclear Terrorism, pp. 58. Lexington, MA, USA, Lexington Books, 1987

[6] Zimmermann, P. D. and Lewis, J. G.: The Bomb in the Backyard. Foreign Policy, Band 157, Nov./Dec. 2006, pp. 33 – 39

[7] Wallace, Bill: Terrorists shop in Russia for nuclear 'dirty bombs'. San Francisco Chronicle, December 10, 2001

[8] The Radiological Accident in Goiania. IAEA (STI/PUB/815), Wien 1988, ISBN 92-0-129088-8

[9] Iljin, L.A.: Strahlenunfälle in der ehemaligen Sowjetunion. Strahlenschutzpraxis 3/2002, pp. 43 – 46, TÜV-Verlag GmbH Köln (Orig. Atomnaja Energija, Band 92, Heft 2, Februar 2002)

[10] The Radiological Accident in Samut Prakarn, IAEA (STI/PUB), Wien 2002, 52 pp.; 28 figures

[11] The Radiological Accident in Lilo. IAEA (STI/PUB), Wien 2000, 103 pp.; 39 figures; 2000, ISBN 92-0-101300-0

[12] Höfer. H.: Der WAK Nachsorgefall. In: Praxis des Strahlenschutzes: Messen, modellieren, dokumentieren. S. 407-414, TÜV-Verlag Köln, April 2002 , ISBN3-8249-0706-2

[13] Levi, M.A. und Kelly, H.C.: Schmutzige Bomben als Terrorwaffen. Spektrum der Wissenschaft, März 2003, pp. 28 – 35

[14] Report on the preliminary fact finding mission following the accident at the nuclear fuel processing facility in Tokaimura, Japan. IAEA, Vienna, 1999

[15] Fuijimoto, K.: Nuclear Accident in Japan. SSI News, 18, No.3, 13-17 (2000)

[16] The Radiological Accident in the Reprocessing Plant at Tomsk. 77 pp.; 33 figures; 1998, ISBN 92-0-103798-8

STRAHLENUNFÄLLE IM BEREICH DER MEDIZIN

RADIATION ACCIDENTS AND EMERGENCIES IN MEDICINE

H.-L. Kronholz

Universitätsklinikum Münster, Zentrum für Strahlenmedizin, Klinik und Poliklinik für Strahlentherapie – Radioonkologie

Zusammenfassung
Vorkommnisse, die Dosen von mehr als 50 mSv zur Folge haben, kommen in der Medizin selten vor. Aus der Röntgendiagnostik und Nuklearmedizin werden derartige Vorkommnisse nicht berichtet. Anders in der Strahlentherapie (Teletherapie und Brachytherapie), dort hat es bis in die jüngste Zeit Vorkommnisse mit Unfallcharakter und teilweise leider vielen geschädigten Patienten gegeben. Die Ursachen reichen von technischen Problemen bis zu menschlichem Fehlverhalten. Auch für die Zukunft können Unfälle offenbar nicht mit Sicherheit ausgeschlossen werden.

Summary
Except in Radiotherapy accidents with more than 50 mSv exposure to patients or personnel are rare in medicine. From the beginning of Radiotherapy to the recent years accidents have happened unfortunately sometimes with big numbers of affected patients. Potential for accidents in radiotherapy are human error and equipment malfunction. Radiotherapy is a combination of very different activities from the very manual (such as tailored organ shielding preparation in the workshop), to very sophisticated computer assisted techniques and high technology equipment. There is much fear that this will not have the last accidents

Schlüsselwörter *Unfall, Strahlenmedizin, Medizin, Strahlentherapie, Röntgendiagnostik Nuklearmedizin*
Keywords *Accident, Medicine, Oncology, Radiation Therapy, Nuclear Medicine*

1. Einleitung

Seit in der Medizin ionisierende Strahlen angewendet werden, ist es auch zu Unfällen gekommen. Selbst aus neuerer Zeit, zuletzt 1982-1991 (England, 1045 betroffene Patienten) sind Unfälle bekannt geworden. Es ist sehr wichtig aus jedem einzelnen Vorkommnis / Unfall zu lernen und Strategien zur Vermeidung zu erarbeiten. Dabei spielen Qualitätssicherung und Training des Personals die entscheidende Rolle. Zur Zeit sind Trends beobachtbar mit immer weniger Personal, oft auch schlechter ausgebildet (Arzthelferin statt MTA-R), immer mehr Patienten pro Schicht zu bestrahlen. Dabei werden die Patienteneinstellung und die Bestrahlungstechniken aufwendiger, der Vorgang läuft teilautomatisiert ab, die Bestrahlungszeiten werden kürzer.

2. Hauptteil

An großen Krankenhäusern sind die Anwender ionisierender Strahlung oft in einem Zentrum für Strahlenmedizin zusammengefasst. An Universitätskliniken ist zusätzlich ein Forschungsbereich (Forschungslabore, Tierexperimentelle Abteilung) angegliedert, in der in speziellen

Laborräumen mit radioaktiven Stoffen sehr geringer Aktivität umgegangen wird. In kleineren Häusern sind die einzelnen Kliniken / Abteilungen auf sich alleine gestellt und unterstehen jeweils einem Chefarzt.

Ionisierende Strahlung wird in der Röntgendiagnostik, der Nuklearmedizin und Strahlentherapie verwendet. Die Bereiche unterscheiden sich erheblich in ihrem Gefährdungspotential.

So ist die Höhe einer unbeabsichtigten Strahlenexposition im Zusammenhang mit technischem Versagen bzw. fahrlässiger Handlung in der Röntgendiagnostik eher gering und dürfte für Feldgrößen bis 30 cm x 30 cm im ungünstigsten Fall bei weniger als 2 Gy Oberflächendosis liegen. Größere Felder sind nur bei größerem Abstand möglich, eine Strahlenexposition damit entsprechend geringer. Letztlich ist das maximal mögliche mA- Sekunden - Produkt (mAs– Produkt, entspricht der geflossenen Ladungsmenge zwischen Kathode und Anode) limitierend. Es ist auf 600 mAs begrenzt, bzw. die Durchleuchtungszeit auf wenige Minuten. Unfälle im Zusammenhang mit ionisierender Strahlung sind aus **Röntgendiagnostik-**abteilungen kaum bekannt. Vorkommnisse sind dagegen relativ häufig. Das Spektrum reicht von der Dosisüberhöhung im Eintrittsfeld des Nutzstrahlenbündels, hervorgerufen durch notwendige, lange Durchleuchtungszeiten aber versehentlich ungünstiger Wahl der Durchstrahlungsrichtung durch den Patienten z.B. bei Interventionen, bis zum „nur“ festgeklemmten Fußschalter des Durchleuchtungsgerätes der unbeachtet geblieben war und zur dauernd angeschalteten Strahlung im Raum führte. Auch ungeschützte Personen im Raum, die direkter Strahlung ausgesetzt sind, weil z.B. durch eine Fehlbedienung statt einer Untersuchung in einer Ebene versehentlich beide Ebenen zur Untersuchung geschaltet wurden und die Beteiligten direkt vor dem geparkten Strahler der zweiten Ebene stehen, kommen vor. Schon länger zurückliegend ist eine Serie von Vorkommnissen mit teils erheblichen Personenschäden bekannt, bei der es durch Versagen von Bauteilen zu Verletzungen und Verbrennungen bei Patienten und Wartungspersonal bis hin zum Ausbrennen einer Praxis kam (siehe Abb.: 1)**.** Die damals erkannten Ursachen sind durch Aussondern der betroffenen Generatoren seit Jahren behoben [4, 5].

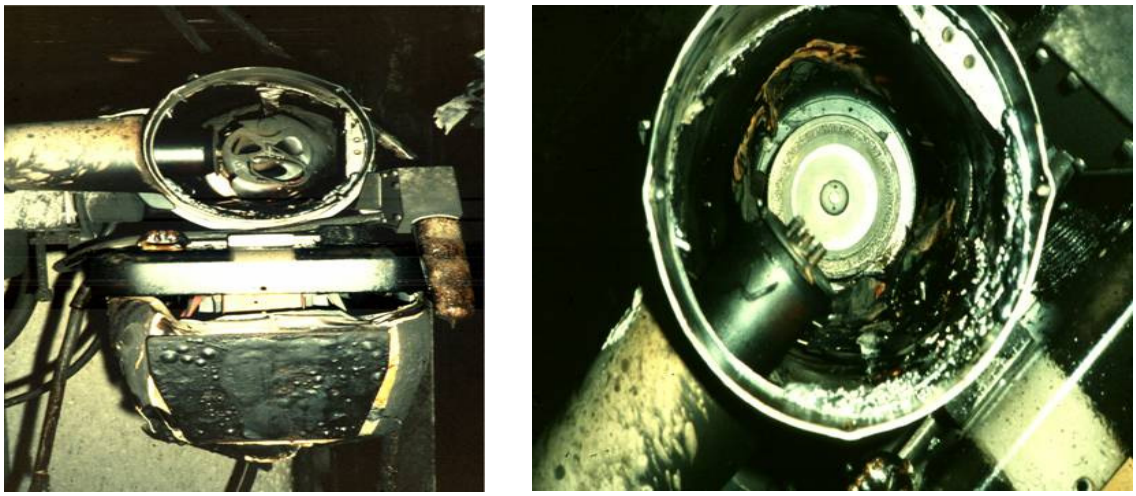


Abb.1: Durch technisches Versagen (nicht Abschalten der Strahlung am Ende der Aufnahmezeit) kommt es durch Überhitzung zur Zerstörung des Anodentellers (rechtes Bild). Bruchstücke werden von innen gegen den Glaskolben der Röntgenröhre geschleudert und zerstören diesen. Isolationsöl dringt ein und wechselt schlagartig seinen Aggregatzustand von flüssig auf gasförmig (Volumenzunahme um Faktor 1300!). Das Schutzgehäuse hält dem schlagartig ansteigenden Druck nicht stand. Das Unheil nimmt seinen Lauf.

In **nuklearmedizinischen Abteilungen** wird zwischen Diagnostik und Therapie unterschieden. Letztlich sind die Aktivitätsmengen aber begrenzt. Die durch fehlerhafte Handlung möglichen Expositionen erreichen daher nicht lebensbedrohend hohe Werte. Aus Nuklearmedizinischen Abteilungen sind Unfälle mit ionisierender Strahlung nicht öffentlich geworden.

In der **Strahlentherapie** werden in Kombination mit modernsten bildgebenden Verfahren, unter Verwendung neuester Erkenntnisse der Informatik und Strahlenbiologie, beliebig irregulär geformte Tumoren in interdisziplinärer Zusammenarbeit behandelt. Dazu sind sehr komplexe, teilweise auch kombinierte Radiochemotherapieansätze in Verwendung. Nur so können auch Tumore in anatomisch schwieriger Umgebung konformal bei gleichzeitig maximaler Schonung des Normalgewebes bestrahlt werden. Bis zur Bestrahlung sind eine Vielzahl von Arbeitsschritten, teilweise hoch komplex wie z.B. das Überlagern von CT oder PET-CT Schnitten mit MR Untersuchungsergebnissen, das Konturieren des Tumors und der Risikoorgane in teilweise bis zu 90 Schichten, notwendig. Ärzte, Medizinisch Technische Radiologieassistentinnen (MTA-R) und Physiker arbeiten gemeinsam oder nacheinander an den Patientendaten bis die Bestrahlungssituation endgültig festgelegt werden kann. Nachdem eine immer konformalere Bestrahlung und damit eine immer bessere Schonung des gesunden Gewebes möglich geworden ist, wird in den letzten Jahren in zahlreichen Studien eine Dosiseskalation zur noch besseren Tumorkontrolle untersucht.

Die Bestrahlungsmethoden können nach dem Abstand zwischen Strahlenquelle und Tumor oder nach der verwendeten Strahlenart eingeteilt werden. So beträgt der Abstand zur „Strahlenquelle“ bei der **Teletherapie** in der Regel 1 m (bis zum Isozentrum), während bei der **Brachytherapie** radioaktive Quellen direkt auf die Haut aufgelegt (Kontakttherapie), in Körperhöhlen eingeführt (intrakavitäre Therapie) oder in Form von Drähten oder umschlossenen Strahlern in das zu bestrahlende Gewebe eingebracht werden (interstitielle Therapie).
Beim **Afterloadingverfahren** werden spezielle Applikatoren in Uterus oder Vagina appliziert oder es werden interstitiell Hohlnadeln eingebracht (z.B. Prostata). Die in einem strahlensicheren Behälter gehaltene radioaktive Quelle wird danach motorisch entsprechend dem berechneten Bestrahlungsplan nacheinander in die Applikatoren eingefahren und am Ende der Bestrahlung in den Tresor zurückgezogen.
Will man nach der verwendeten Strahlenart einteilen, wird von energiearmer (weicher), energiereicher (harter) und ultraharter Röntgenstrahlung und von Gammastrahlung gesprochen. Ausserdem werden Elektronen, Protonen und Neutronen zu Therapiezwecken eingesetzt.

Der Energiebereich der verwendeten Photonen-/ Röntgenstrahlung reicht von 20 keV bis 20 MeV, d. h. von **Röntgenbestrahlungseinrichtungen** (Strahlenquelle ist eine Röntgenröhre, höchste Röhrenspannung 250 kV) bis zum Linearbeschleuniger, von der Gammabestrahlungsanlage (Kobalt 60) bis zum Zyklotron.
Die verordneten Dosen liegen zwischen o,1 Gy und 8 Gy für eine einzelne Bestrahlung und erreichen eine Gesamtdosis von bis zu 75 Gy. Werden beim Afterlodingverfahren bis zu 2 Gy / min in 2 cm Abstand von der Quelle erreicht, so ist eine Dosisleistung von bis zu 9 Gy / min in 1 m Abstand bei der Verwendung von Linearbeschleunigern einstellbar.
Schon bei der Applikation eines einzelnen Bestrahlungsfeldes an einer Röntgenbestrahlungseinrichtung tritt im ungünstigsten Fall, bei Verwechslung des Filters, eine Dosisüberhöhung um den Faktor 1000 auf [8].

Aus Sicht von Sicherheit und Strahlenschutz ist die Strahlentherapie (Teletherapie und Brachytherapie) damit einzigartig in der Strahlenmedizin. Es müssen Strahlenquellen hoher Dosisleistung absichtlich in den Körper eingeführt oder Strahlenfelder auf den Tumor gerichtet und dabei absichtlich gesundes Gewebe durchstrahlt werden. Tumor und gesundes Gewebe erhalten partiell sogar nahezu gleich hohe Dosen.
Damit ist zu erwarten, dass Fehler am Gerät oder bei der Bestrahlung fatale Konsequenzen für die behandelten Patienten haben können. Leider ist es bis in die jüngste Zeit immer wieder zu sehr schweren Unfällen gekommen. So 1974-76 in den USA mit 450 betroffenen Patienten, 1986-87 in Deutschland mit 86 Betroffenen, 1988 in England mit 207 Betroffenen, 1990 in Spanien mit 27 Betroffenen und zuletzt in England mit 1045 betroffenen Patienten (ausführliche Listen, auch mit Unfällen mit weniger Beteiligten finden sich im Internet z.B: www.iaea.org).

In den jährlichen Parlamentsberichten des BMU, welche die an die Landesbehörden gemeldeten Vorkommnisse summieren, betreffen den Bereich Medizin nur 8 % aller Meldungen bei N = 294 Vorfällen insgesamt.

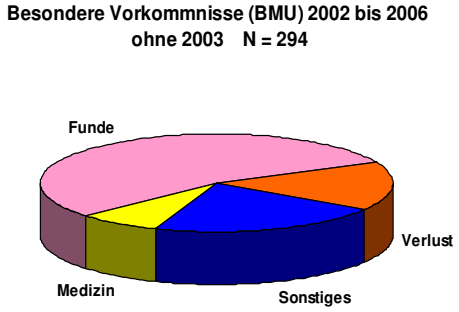


Abb. 2: Besondere Vorkommnisse im Zusammenhang mit ionisierender Strahlung, Zusammengestellt aus den Jahresmeldungen des BMU an das Deutsche Parlament. Bei 294 Meldungen betreffen nur 8 % die Medizin.

Werden die gemeldeten Vorfälle in der Medizin weiter aufgeschlüsselt (Abb.: 3), so sind die Afterloadinganlagen mit 49 % und die Beschleuniger mit 33 % die am häufigsten genannten. Allerdings ist die absolute Zahl der Vorkommnisse mit N = 33 in 4 Jahren gering. Eine Dunkelziffer von mehr als 100 % scheint nicht zu hoch gegriffen (private Mitteilungen).

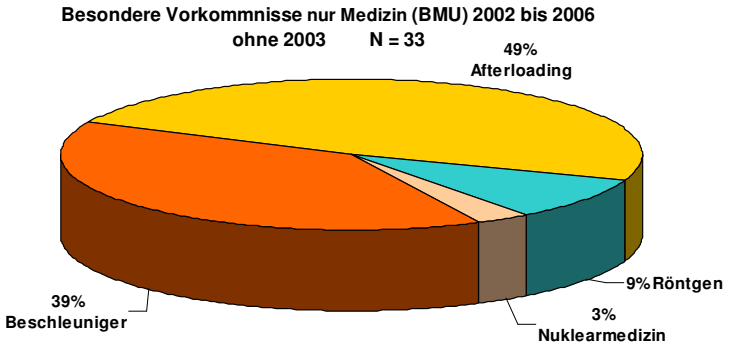


Abb. 3: Besondere Vorkommnisse in der Strahlenmedizin, aufgeteilt nach „Sparten“. Zahlen aus Parlamentsberichten BMU. Daten für 2003 standen nicht zur Verfügung.

Unfälle beim Umgang mit Strahlenquellen oder ionisierender Strahlung werden aus Industrie, Medizin, Brennelementekreislauf etc. gemeldet. Zahlenmässig ist der Anteil der Medizin mit 9 % eher gering [3], siehe Abb.: 4.

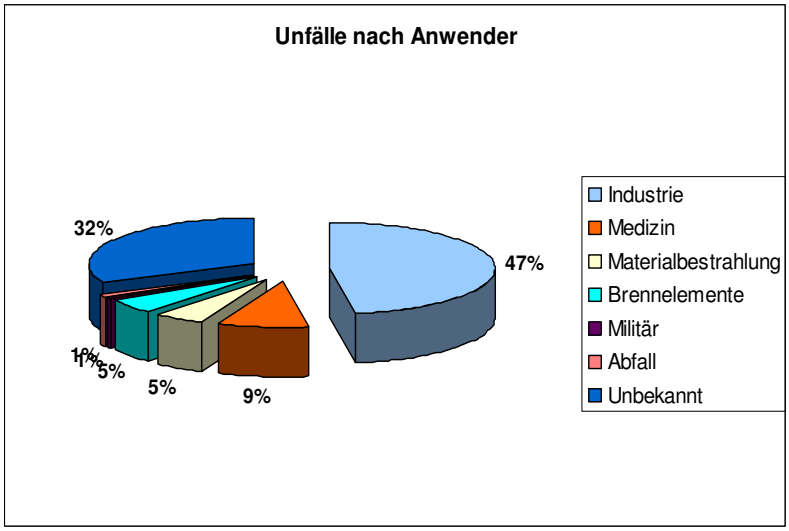


Abb. 4: Unfälle aufgeschlüsselt nach Anwendern (Unterlagen, IAEA). Mit ca. 9 % ist der Anteil der Medizin gering.

Als häufige Ursachen von Vorkommnissen und Unfällen an **Afterloadinganlagen** werden Probleme beim Zurückziehen der Quelle am Ende der Bestrahlung und Fehler bei Dosimetrie und Bestrahlungsplanung genannt (IAEA). Tatsächlich muss mit einem „Festsitzen der Quelle“ am Ende jeder Bestrahlung gerechnet werden. Alle Vorsorge zielt darauf hin, diesen Zwischenfall in kurzer Zeit zu beherrschen. Dies ist in der Regel durch einfache Maßnahmen ohne Strahlenexposition für das daran beteiligte Personal möglich. Greifen diese allerdings nicht, ist die noch zur Verfügung stehende Zeit zur Extraktion des Applikators incl. Quelle kurz. Im Patienten ist mit einer Dosisleistung von 2 Gy / min in 2 cm Abstand von der Quelle zu rechnen, das im Bestrahlungsraum agierende Personal wird mit ca. 50 mSv / h exponiert [2,6]. Technologische Probleme bei der Verbindung Quelle / Führungsdraht, mit der Folge dass die Quelle unbemerkt im Patienten verblieben war, hatten in der Vergangenheit zu Todesfällen geführt. Dieses Problem ist ebenfalls seit Jahren erledigt, wird aber immer wieder diskutiert. Dagegen scheint die permanente Applikation von SEEDS im Hinblick auf Vorkommnisse und mögliche Exposition ein geringeres Risiko zu haben [7].
Bei der Bestrahlung mit **Gammabestrahlungsanlagen** (Kobalt 60) ist der größte zu erwartende Zwischenfall das Klemmen der Quelle und die dann notwendige Bergung des Patienten. Bei trainiertem Ablauf kann das in weniger als 1 Minute erledigt sein, bei einer Exposition des Personals von unter 1 mSv. Fehler bei der Dosimetrie oder bei der Verwendung der Bestrahlungstabellen sind möglich und kommen auch vor. Trotz sorgfältigster Arbeit sind sie auch nicht vollständig auszuschließen. Die Anzahl der in Gebrauch befindlichen Gammabestrahlungsanlagen verringert sich ständig.
Für moderne gewebeschonende Bestrahlungstechniken sind diese Geräte nur noch bedingt geeignet. Ein schnelles Verschwinden des Restbestandes schon in den nächsten Jahren zeichnet sich ab.

Bei Unfällen mit **Therapiebeschleunigern** werden falsche Kalibrierung (33 %) und Fehler bei der Bestrahlungsplanung (31 %) besonders häufig genannt (Abb.: 5). Die Kalibrierung liegt im alleinigen Verantwortungsbereich der Medizin-Physik-Experten (Physiker), während die Planung in Zusammenarbeit aller Gruppen (MTRA, Ärzte, Physiker) abläuft.

Weitere Ursachen von Vorkommnissen und Unfällen liegen im Bereich der Technik, Probleme bei und nach Reparaturen / Wartungen, Fehler bei Dosimetrie, Bestrahlungsplanung und Simulation. Auch rechts- links Verwechslungen kommen (selten) vor. Verwechslung von Patienten und Bestrahlung von im Bestrahlungsraum befindlichen Mitarbeitern sind offenbar nicht sehr selten (private Mitteilungen). Ursache sind u .A. hoher Zeitdruck sowie eine psychisch und physisch stark belastende Arbeitssituation. Deutlich sind Tendenzen, immer mehr Patienten bei immer dünnerer Personaldecke zu bestrahlen, erkennbar. Derzeit sind 60 bis 120 Patienten pro Gerät bei 1,5 Schichten am Tag fast Standard. Dabei werden zwischen ca. 300 und über 1500 Bestrahlungsfelder, teils vollautomatisiert abbestrahlt.
Zusätzlich werden die Zeiten für die Lagerung der Patienten wegen der diffizileren Bestrahlungstechniken länger, während die Bestrahlungszeiten pro Patient trotz der aufwendigeren Techniken bei neuesten Geräten deutlich kürzer geworden sind.
Wegen des hohen Patientendurchsatzes ist es sehr wichtig, Fehler möglichst nicht zu machen oder aber schnell zu erfassen und abzustellen. Andernfalls könnten, wie ja geschehen, viele Patienten betroffen sein.

Es sind aber auch schon häufiger für Patienten kritische Situationen aufgetreten, ohne dass ionisierende Strahlung beteiligt war. Gemeint sind Vorkommnisse mit den kraftbetätigten Zugangstüren zum Bestrahlungsraum. Lassen sich diese z.B. nicht mehr öffnen und ein mit Narkosegasen aus Flaschen versorgter Patient (häufig Kind) kann nicht mehr erreicht werden, ist mit schlimmsten Folgen für den Patienten zu rechnen, wenn der Gasvorrat zur Neige geht.

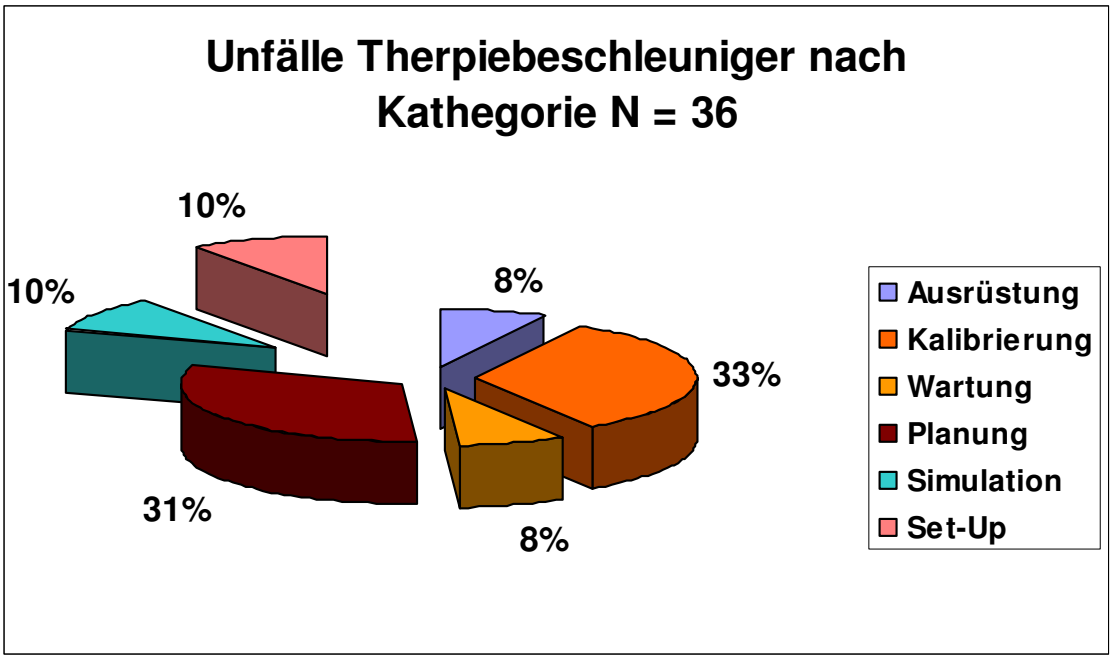


Abb. 5: Unfälle mit Therapiebeschleunigern aufgeschlüsselt nach Unfallursachen. Kalibrierung und Planung überwiegen bei weitem. Die Kalibrierung wird von den für das Gerät verantwortlichen Physikern durchgeführt und verantwortet. Die Planung ist Gemeinschaftsarbeit Arzt / Physiker und wird von beiden verantwortet. Simulation und Setup sind von Arzt , MTA-R und Physiker zu verantworten.

3. Zusammenfassung

Im Vergleich zur Röntgendiagnostik und zur Nuklearmedizin ist der Umgang mit radioaktiven Stoffen / ionisierenden Strahlen in der Strahlentherapie (Teletherapie, Brachytherapie) mit dem höchsten Gefahrenpotential für Patient und Personal in der Medizin verbunden. Fast 90 % aller gemeldeten Vorkommnisse / Unfälle betreffen die Strahlentherapie. Wobei ungefähr 10 mal mehr Vorkommnisse für den Bereich der Brachytherapie verglichen mit der Teletherapie zu verzeichnen sind, wenn man sich auf die Anzahl der behandelten Patienten bezieht.

Als Ursachen sind technisches und menschliches Versagen, in wenigen Fällen auch (grobe) Fahrlässigkeit zu vermerken.
In den zurückliegenden Jahrzehnten bis heute ist es leider wiederholt zu Unfällen mit teilweise sehr hoher Zahl von Betroffenen gekommen. Dabei liegen keineswegs Länder mit reduziertem technischen Standard an der Spitze der Ereignisse.
Alle Unfälle sind sorgfältig analysiert worden, mit dem Erfolg immer größer werdender Abstände zwischen den Unfällen. Auch die intensivierte Ausbildung und Schulung aller Beschäftigten hat dazu beigetragen und sollte noch gesteigert werden. Trotzdem ist nicht abzusehen, dass für die Zukunft Vorkommnisse / Unfälle mit Sicherheit ausgeschlossen werden können.
Die Erfolge der Strahlentherapie in den letzten Jahrzehnten sind unbestritten, die Zahl der bestrahlten Patienten steigt. In den letzten Jahren haben sich die Bestrahlungstechniken noch einmal stark weiterentwickelt und die damit erreichten Verbesserungen (z.B. Intensitätsmodulierte Bestrahlung) bei den Patienten sind offensichtlich. Die sich daraus ergebenden Veränderungen im Arbeitsablauf auch:
immer aufwändigere Lagerungstechniken, die bei allen Beteiligten höchste Konzentration erfordern, Bestrebungen mit immer weniger geeignetem Personal diese Hochpräzisionstechnik durchzuführen, immer kürzer werdende Bestrahlungszeiten pro Patient (= keine Ruhephase für die Assistentinnen, Bestrahlung läuft teilautomatisiert ab) und letztlich die psychisch belastende Arbeitsituation mit der Notwendigkeit zur Hinwendung zum Patienten.
Es verwundert daher kaum, dass bei aller Kenntnis Fahrlässigkeiten vorkommen können.
Letztlich, auch wegen der immer komplizierteren Technik, sind leider wohl auch in der Zukunft Unfälle nicht auszuschließen.

4. Literaturverzeichnis

[1] BMU, Parlamentsberichte
http://www.bmu.de/downloads/verschiedenes/doc/20294.php?

[2] Gosh, I., Sicherheitstechnisch bedeutsame Ereignisse an Afterloadinganlagen, Untersuchungen zur Strahlenexposition, Folgerungen zur Sicherheit von Personal und Patient. Diplomarbeit: Berufsakademie Karlsruhe / Strahlentherapie Uni Münster (1991)

[3] IAEA, Safty Reports Series No 17, Lessons Learnd From Accidential Exposures In Radiotherapy, International Atomic Energy Agency, Vienna 2000

[4] Kronholz, H.-L., J.Schütz: Über die Sicherheit bei älteren Röntgengeneratoren. Tagungsband: Med.Phys. hrsg. von F. Nüsslin Gilde, Tübingen 1988, 63-66

[5] Kronholz, H.-L., J.Schütz: Wie sicher sind ältere Röntgengeneratoren ? Radiologe 29 (1989), 396-398

[6] Kronholz, H.-L., Kügler, R., Herzig, A., Schneider, J., Strahlenschutz von Patient und Personal bei Afterloadingapplikationen. - Gedanken zur Patientenbergung beim allfälligen Zwischenfall - Tagungsband: Medizinische Physik, hrsg. von J. Richter DGMP (1995), 142-143

[7] Sütterle, M., Strahlenschutzaspekte bei der permanenten Seed – Implantation zur Bestrahlung der Prostata, Semesterarbeit: Berufsakademie Karlsruhe / Strahlentherapie Uni Münster (2005)

[8] Möller, D.; H.-L. Kronholz, H.-L., Schütz, J., Qualitätssicherung bei Röntgeneinrichtungen zur Therapie gemäß Röntgenverordnung, Strahlenther. Onkol. 167 (1991) 412-415

MEDIZINISCHE ASPEKTE VON UNFÄLLEN MIT STRAHLENEIN-WIRKUNG - ARBEITSPLATZ UND PRÄKLINISCHE VERSORGUNG

MEDICAL ASPECTS OF ACCIDENTS WITH RADIATION EXPOSURE-WORKINGPLACE AND PRECLINICAL CARE

V. List

Medizinische Abteilung, Forschungszentrum Karlsruhe, Deutschland

Zusammenfassung

Strahlenunfälle sind an Arbeitsplätzen seltene und zum Teil schwierig erkennbare Unfallereignisse. Auf Grund zahlreicher gesetzlicher Vorgaben und Verantwortlichkeiten an Arbeitsplätzen mit beruflicher Strahlenexposition, liegen vielseitige Daten zur regelmäßigen und bei besonderem Anlass erforderlichen Gefährdungsbeurteilung vor. Im Rahmen der Personendosimetrie, der arbeitsmedizinischen oder sonstigen messtechnischen Überwachung, können Situationen mit möglicher Grenzwertüberschreitung erkannt und Anlass zu besonderer arbeitsmedizinischer Vorsorge werden. Neben der Erfassung deterministischer Symptome und Befunde, ist auch die prognostische Wertung stochastischer Spätrisiken, nicht zuletzt in Zusammenhang mit einer möglichen Berufskrankheit durch ionisierende Strahlung BK 2402, erforderlich. Strahlenschutzmedizinische Kenntnis und Vorgehensweisen werden dementsprechend erörtert. Nach einer Auflistung von Unfallhäufigkeiten und Mechanismen, wird im Einzelnen das Vorgehen im Rahmen der Ersten Hilfe nach der berufsgenossenschaftlichen Information 668 erläutert. Wesentlich sind der Vorrang lebensrettender Maßnahmen, das Zuziehen von Fachkompetenz innerbetrieblich wie extern, im Sinne eines gestuften Vorgehens nach Dosisabschätzung, hervorzuheben sind Dokumentation und Meldebögen, Vorgehen bei Transport und stationärer Einweisung sowie die ausreichende Effizienz einfacher Selbstschutzmaßnahmen für das betreuende Personal.

Summary

Radiation accidents at workplaces are rare events that are sometimes difficult to notice. Due to a number of legal provisions and responsibilities at workplaces with an occupational exposure to radiation, a variety of data are available for regular and, on special occasions, necessary hazard assessment. Personnel dosimetry, examinations within the framework of occupational medicine or supervision by measurements help to identify situations in which limit values have been exceeded and may result in special preventative medical examinations. Apart from the acquisition of deterministic symptoms and findings, a prognostic assessment of stochastic risks later on, not least in connection with a potential occupational disease due to ionizing radiation BK 2402, is required. The related aspects of radiation protection medicine and procedures shall be explained. After listing frequencies of accidents and mechanisms, first aid measures according to information 668 issued by the employer's liability insurance will be outlined. The priority of life-saving measures and the integration of the expert competence available internally and externally are major features of the stepwise proceeding after dose estimation. Documentation and report forms, the proceeding during transport and hospitalization as well as sufficient efficiency of simple self-protection measures for the helping staff will be highlighted.

Schlüsselwörter *Strahlenunfall, Gefährdungsbeurteilung, besondere arbeitsmedizinische Vorsorge, Erste-Hilfe-Maßnahmen nach BGI 668, Strahlenunfall-Erhebungsbogen*

Keywords *Radiation accident, risk assessment, special surveillance of exposed workers, first aid arrangement according to information 668 by the employer's liability insurance associaton*

Einleitung

Strahlenunfälle sind sehr selten!
Insbesondere die deutsche Spezialklinik, die Berufsgenossenschaftliche Strahlenunfallklinik in Ludwigshafen hat in den letzten 10 Jahren lediglich einen Patienten zur operativen Versorgung einer kontaminierten Verletzung stationär betreuen müssen.
Im beruflichen Umfeld ist bisher in der Bundesrepublik Deutschland kein Patient im Sinne eines akuten Strahlensyndroms bei Ganzkörper-Überexposition aufgetreten.
Auch Verdachtsfälle für langfristige oder chronische berufliche Überexposition im Sinne einer Berufskrankheit durch ionisierende Strahlung (BK 2402) sind vergleichsweise selten. So war die Berufsgenossenschaft für Feinmechanik und Elektrotechnik zuletzt mit rund 4000 Betrieben mit Anwendungen ionisierender Strahlung mit ca. 30.000 beruflich strahlenexponierten Personen der Kategorie A - etwa 10 Prozent aller in Deutschland beruflich strahlenexponierten Personen - mit jährlich etwa 20 Verdachtsfällen dieser Berufskrankheit konfrontiert. Dagegen stehen ca. 3500 Verdachtsfälle der übrigen Listen-Berufskrankheiten.

In Kontrast zu diesem seltenen Aufkommen stehen jedoch die ausgeprägten emotionalen und öffentlichen Wirkungen im Falle von unter der Einwirkung ionisierender Strahlung verunfallten Personen.

Im Gegensatz zu dem völlig unvorhersehbaren und nicht planbaren Unfallgeschehen im öffentlichen Bereich bestehen an Arbeitsplätzen mit beruflicher Strahlenexposition zahlreiche Regelungen, die es bei einem Unfall mit Personenschaden meist ermöglichen sollten, alle sachdienlichen Informationen zu einer zielstrebigen Klärung der Lage und zur Durchführung der erforderlichen Maßnahmen zu erhalten.

1. Gefährdungsbeurteilung

Zunächst hat der Arbeitgeber nach § 5 des Arbeitsschutzgesetzes [1] die Arbeitsbedingungen im Sinne einer Gefährdungsermittlung zu erfassen. Dabei wird er nach dem Arbeitssicherheitsgesetz § 3 [2] durch die Betriebsärzte, in diesem Fall meist zugleich ermächtigte Ärzte nach Strahlenschutz- [3] und Röntgenverordnung [4], unterstützt. Nach § 9 des Arbeitsschutzgesetzes [1] sind bei besonderen Gefahren Anweisungen an die Arbeitnehmer zu geben. Nach § 10 müssen Este Hilfe und Notfallmaßnahmen geregelt werden. Auch bei der Organisation der Ersten Hilfe im Betrieb unterstützt wiederum nach dem Arbeitssicherheitsgesetz § 3 [2] der ermächtigte Betriebsarzt.
Bei der Gefährdungsbeurteilung sind zunächst die verschiedenen **Anwendungsgebiete ionisierender Strahlen** zu differenzieren:

- Medizinische Anwendungen
  - Röntgendiagnostik
  - Nuklearmedizinische Diagnostik
  - Strahlentherapie
- nicht medizinische Bereiche

    - Kernenergie und Brennstoffkreislauf
    - Radiometrie (Messen, Steuern, Regeln)
    - Materialprüfung
    - Strahlerherstellung
    - Strahlenmessgeräte
    - Großquellen
    - Radio-Pharmazeutika
- Forschung
- Strahlenschutz
- natürliche Strahlenexposition:
    - Bergbau
    - Wassergewinnung
    - Radonheilbäder

Bezüglich der Strahlenquelle können

- offene und umschlossene radioaktive Stoffe
- Röntgen-Strahler
- Beschleuniger
- Neutronenquellen

unabhängig von den oben angegebenen Anwendungen differenziert werden.
Hinsichtlich der möglichen Unfallgefährdung kann auch die etwaige Erfordernis einer **Anzeige** oder **Genehmigungspflicht** Hinweise geben.
Vollschutzgeräte dürfen unter üblicher Bestimmung nicht mehr als 1 mSv pro Jahr effektive Personendosis erzeugen, Hochschutzgeräte maximal 25 µSv pro Stunde, weshalb sie eventuell in einem Überwachungsbereich geführt werden müssen.
Störstrahler > 30 kV wie Elektronenstrahl-Schweißanlagen oder Elektronenmikroskope können einen begrenzten Kontrollbereich erfordern, ein **Strahlenschutzbeauftragter** muss benannt sein, und es kann erforderlich sein, **beruflich strahlenexponierte Personen der Kategorie A und B** zu definieren.
Beruflich strahlenexponierte Personen der Kategorie A müssen jährlich durch einen ermächtigten Arzt nach Strahlenschutz- [3]oder Röntgenverordnung [4] arbeitsmedizinisch untersucht werden, wobei der ermächtigte Arzt alle **Angaben über die Personendosis** wie auch die oben dargelegten **Angaben zur beruflichen Strahlenexposition** abfragen muss und in der Gesundheitsakte zu dokumentieren hat [5]. Dort ist ebenfalls ein Wechsel der persönlichen Aufgaben von Jahr zu Jahr niederzulegen. Unabhängig von den formal mitgeteilten Angaben hat der ermächtigte Arzt das Recht und die Pflicht im Sinne der arbeitsmedizinischen Arbeitsweise, sich auf einem aktuellen Informationsstand über die Arbeitsplätze und Tätigkeitsbereiche zu halten, was üblicherweise durch regelmäßige Begehungen der betreuten Bereiche erfolgt.
Ein weiterer Hinweis über potenziell höher gefährdete Arbeitsplätze ergibt sich aus der **Richtlinie zur Arbeitsmedizinischen Vorsorge beruflich strahlenexponierter Personen durch ermächtigte Ärzte nach Strahlenschutz- und Röntgenverordnung vom 18.12.2003** [5]**.** Danach ist auf Grund der erhöhten Gefährdung die grundsätzlich gegebene Möglichkeit, die jährliche Untersuchung auf 2-jährliche Abstände auszudehnen, bei folgenden Aufgabenstellungen nicht gegeben:

- Tätigkeiten in Kerntechnischen Anlagen oder Einrichtungen
- Wartungs- und Instandsetzungsarbeiten an Anlagen zur Erzeugung ionisierender Strahlen oder an Störstrahlern
- Umgang mit offenen radioaktiven Stoffen

- Tätigkeit mit der Möglichkeit hoher Teilkörperexpositionen wie mobile zerstörungsfreie Materialprüfung, Grobstruktur-Einrichtungen, Radionuklid-Produktion und interventionelle Radiologie

Eine **messtechnische Überwachung** in Strahlenschutzbereichen ist nach § 39 der Strahlenschutzverordnung [3] im Sinne von Ortsdosis oder Ortsdosisleistung, Konzentration radioaktiver Stoffe in der Luft oder Kontamination des Arbeitsplatzes möglich.
Alle Personen, die sich im Kontrollbereich aufhalten, müssen dosimetrisch überwacht werden. Die festzustellende Körperdosis kann sich aus Ortsdosis, Ortsdosisleistung, Konzentration radioaktiver Stoffe in der Luft oder Kontamination des Arbeitsplatzes ergeben. Im Sinne der regelmäßigen Inkorporationsüberwachung kann auch die Körperaktivität oder die Aktivität der Ausscheidung gemessen werden.

Die Dosisgrenzwerte nach § 55 Strahlenschutzverordnung [3] für die Effektivdosis und die verschiedenen Organdosen sind grundsätzlich einzuhalten.

Bei **Grenzwertüberschreitung** der Dosisgrenzwerte für die effektive Dosis, die Organdosis Augenlinse oder die Organdosis Haut, hat unverzüglich eine Vorstellung beim ermächtigten Arzt im Sinne der besonderen arbeitsmedizinischen Vorsorge Strahlenschutzverordnung § 63 [3]/Röntgenverordnung § 40 [4] zu erfolgen.
Auf Grund aller genannten gesetzlichen Bestimmungen kann sich also im Bereich beruflicher Strahlenexposition der Verdacht auf einen Strahlenunfall im Zusammenhang mit auffälligen Messwerten bzw. Dosiswerten oder Abschätzungen ergeben.
Symptome und Befunde auf Grund Grenzwert überschreitender Strahlendosen ergeben sich allerdings bei akuter Einwirkung lediglich bei Überschreiten von deterministischen Schwellendosen:

– Ganzkörperexposition / Schädigung des Knochenmarks	ab 0,5 Gray
– Akute Strahlenkrankheit	ab 1 bis 1,5 Gray
– Teilkörperexposition: Epilation und/oder Hauterythem	ab 3 Gray
– Beim Mann passagere Störung der Spermienbildung	ab 0,1 Gray

Zwischen den deterministischen Schwellenwerten einerseits und der Notwendigkeit Dosisabschätzung oberhalb der Grenzwerte zur prognostischen Bewertung der stochastischen Späteffekte klaffen Welten. Insbesondere zur Erfassung des stochastischen Spätrisikos ist bei Verdacht auf Überschreiten der Effektivdosis von 50 mSv deshalb die biologische Dosimetrie wichtig. Die Nachweisschwelle liegt hier abhängig vom methodischen Aufwand bei 0,1 Gray für den Nachweis von dizentrischen Chromosomen.
Bei Einwirkung vor längerer Zeit bzw. langfristiger Exposition, ist auch der Nachweis stabiler Translokationen durch die Fluoreszenz in situ-Hybridisierung (FISH) möglich.

Im **Ereignisfall** sind aus strahlenschutzärztlicher Sicht folgende Aspekte zu beachten:

- Kenntnis der verschiedenen Strahlenarten und Szenarien
- Erhebung der individuellen Unfallvorgeschichte
- Prüfung auf deterministische Symptome und Befunde wie oben dargelegt
- Veranlassung der biologischen Dosimetrie
- Einbeziehung der Ergebnisse der physikalischen Dosimetrie
  - extern und intern
  - regelmäßig sowie aus besonderem Anlass
- Im Einzelfall zusätzlich Veranlassung

    - von in vivo-Messungen im Ganz- oder Teilkörperzähler
    - in vitro-Messungen im Sinne von Ausscheidungsanalysen in Urin oder Stuhl etc.
  - Beteiligung bei Dosisabschätzung und Prognosestellung
  - Erforderlichenfalls Veranlassung stationärer Behandlung, ambulanter Sequenzialdiagnostik, ggf. Dekorporationsbehandlung

Unfallart und Häufigkeiten:
In einer Übersicht aus den Jahren 1944 bis 1999 wurden im UNSCEAR-Bericht 2000 folgende Zahlen für ursächliche Quellen dokumentiert:

– Kritikalitätsunfälle (Reaktoren, chemische Aufarbeitung)	22
– Bestrahlungsgeräte (Röntgen, Beschleuniger, geschlossene Strahlenquellen)	305
– Offen Radionuklide (Medizin, Forschung, Industrie)	84

Folgende Strahlenmechanismen können im Einzelnen auftreten:
  - Lediglich externe Bestrahlung von außen:
    - Ganzkörper
    - Teilkörper
  - Äußere Kontamination
  - Inkorporation (Inhalation, Ingestion, kontaminierte Verletzung)
  - Kombination der oben genannten Strahlenmechanismen
  - Kombinierte Bestrahlung und sonstige Verletzungsmechanismen
    - Verbrennung
    - Mechanische Verletzung (Sturz, Quetschung etc.)

2. Erste Hilfe am Arbeitsplatz (Sperrbereiche, Kontrollbereiche, Überwachungsbereiche) bei erhöhter Einwirkung ionisierender Strahlung

Wegen der Allgemeingültigkeit wird insbesondere auf die berufsgenossenschaftliche Information BGI 668 (früher ZH1/546) [6] verwiesen. Als erster Schritt, abhängig vom Ort des Notfalls, sollte der betroffene Patient möglichst aus der Gefahrenzone entfernt werden. Dies betrifft unter Berücksichtigung des Selbstschutzes der Retter, insbesondere hohe Ortsdosisleistung (Sperrbereich) sowie hohe Raumkontaminationen, was für das Rettungspersonal ggf. Atemschutzmaßnahmen notwendig macht. Deshalb kommt zur Rettung, soweit ausreichend rasch einsetzbar, meistens die Feuerwehr zum Einsatz. Es ist aber zu betonen, dass die Gefährdung des Rettungspersonals im Allgemeinen minimal ist, bezüglich der Ortsdosis ebenso wie bezüglich der Raumkontaminationen. Zu beachten ist, dass am Arbeitsplatz die mögliche Inkorporationsgefährdung mit Blick auf Ganzkörper- oder Organgrenzwerte auf eine jährliche Arbeitszeit von 2000 Stunden bezogen wird, während das Rettungspersonal im Allgemeinen wenige Minuten zur Entfernung der betroffenen Personen aus dem Gefahrenbereich bedarf. Somit wären meist einfache Atemschutzmaßnahmen im Sinne einer FFP3-Schutzmaske völlig ausreichend.
Bei fehlender Möglichkeit, die Person aus der Gefahrenzone zu entfernen (z. B. eingeklemmte Patienten) und grundsätzlich immer außerhalb der Gefahrenzone besteht absoluter Vorrang für Maßnahmen der Lebensrettung sowie der Organ- und Funktionserhaltung. In nahezu allen denkbaren Fällen ist bei dieser Indikation eine relevante Gefährdung des Einsatzpersonals auszuschließen. Nach erfolgter Stabilisierung bei lebensrettenden Sofortmaßnahmen, kann

eine sofortige Krankenhauseinweisung bzw. notärztlicher Transport vor weiteren Maßnahmen vor Ort, erforderlich sein.
Bei fehlender Akuität der Verletzung sollte als nächster Schritt Fachkompetenz zum Strahlenschutz, zur Strahlenexposition und zu strahlenmedizinischen Maßnahmen zugezogen werden: Dies geschieht durch Zuziehen des betrieblichen Strahlenschutzes, des Strahlenschutzbeauftragten sowie des zuständigen strahlenschutzermächtigten Arztes.
Bei bestehender äußerer Kontamination und Verdacht der Inkorporation geht es des Weiteren um die Minimierung der radioaktiven Kontamination und Inkorporation durch externe Dekontaminationsmaßnahmen. Abhängig von Art und Ausdehnung sowie Verletzungsart, können einfache Dekontaminationsmaßnahmen wie Entfernung kontaminierter Kleidung und das Waschen kontaminierter Hautpartien mit Wasser und Flüssigseife, schon vor Ort erfolgen.
Für die Durchführung spezieller Dekontaminationsmaßnahmen, weiterer Diagnostik und besonderer Behandlung bei kontaminierten Verletzungen sowie Überlegungen zu einer speziellen Dekorporationsbehandlung, sollte grundsätzlich das zuständige Regionale Strahlenschutzzentrum kontaktiert werden, s. Anhang A3 [6].
Bei Zeichen einer Strahlenkrankheit bzw. Befunden mit Überschreitung von deterministischen Schwellenwerten (Haut, Blutbild), wird eine Krankenhausaufnahme erforderlich. In Frage kommt in erster Linie die BG-Unfallklinik in Ludwigshafen, zu vermitteln über ein Regionales Strahlenschutzzentrum. Idealerweise kommt diese Klinik in Betracht bei Kombinationsverletzungen mit externer Strahleneinwirkung und/oder Kontamination.
Bei akutem Strahlensyndrom kämen ebenfalls die vom RSZ Würzburg in einer Liste zusammengestellten Universitäts- und Großkliniken in Frage [6].

Über Erste-Hilfe-Maßnahmen hinaus, sind abhängig von der Dosisabschätzung gestuft, folgende weitergehenden Maßnahmen zu veranlassen:

Strahlenbelastung > 30 mSv: Strahlenschutzarzt verständigen
Strahlenbelastung > 0,1 bis 1 Sv: sofortige Kontaktaufnahme mit RSZ
Blutentnahme für Blutbild und Blutchemie (20 ml EDTA-Blut)
Blutentnahme für Chromosomenanalyse (10 ml heparinisiertes Venenblut). Dem hierfür zuständigen Labor am Bundesamt für Strahlenschutz, Institut für Strahlenhygiene in Oberschleißheim, ist für die Zuordnung und Interpretation des Befundes ein Formblatt auszufüllen mit Angaben der Personalien, der Art und des Zeitpunkts der fraglichen Strahlenexposition, Zeitpunkt der Blutentnahme, Angaben über berufliche und/oder medizinische Strahlenexposition, Einnahme von Medikamenten, Angabe zu Virusinfekten in den letzten 6 Wochen.

Generell ist vor Ort sowie für jeden Transport von Personen oder Proben eine eindeutige und ausführliche Dokumentation des Unfallgeschehens zu erheben. Als Muster kann hierzu aus der BGI 668 [6] der dreiseitige Strahlenunfall-Erhebungsbogen genutzt werden. Auf Blatt 1 werden durch den betrieblichen Strahlenschutz, Ersthelfer oder Betriebssanitäter, Angaben zur Person, zu Zeitpunkt und Ort des Unfalls, eine Unfallskizze z. B. bei externer Exposition gegenüber einer Strahlenquelle, Angaben zur Dosisabschätzung und zu fraglicher Kontamination oder Inkorporation gemacht.
Auf dem Bogen 2, ebenfalls durch den betrieblichen Strahlenschutz, Ersthelfer oder Betriebssanitäter, wird zu Personenkontamination und fraglicher Inkorporation Stellung genommen unter Angabe von Messwerten und Messgeräten.
Auf dem dritten Bogen schließlich folgen die Angaben des Arztes zu Symptomen und klinischen Befunden am betroffenen Patienten sowie die daraus folgende ärztliche Beurteilung und weitere Maßnahmen.

Bei Erfordernis eines Transportes zu einer weiter betreuenden Klinik ist entsprechend dem Strahlenunfall-Erhebungsbogen ein Begleitpapier mit vergleichbaren Angaben mitzugeben. Insbesondere muss deutlich erkennbar sein, ob eine Kontamination vorliegt oder nicht. Bei Kontamination reichen zur Vorbereitung des Transports eine Abdeckung des Patienten mit Einmaldecke oder Folie sowie eine Abdeckung der Transportliege aus.
Die Begleitung durch einen betrieblichen Strahlenschützer mit Messgerät, Dekontaminations- und Entsorgungsmaterialien kann erforderlich und hilfreich sein.

Literaturverzeichnis

[1] Gesetz über die Durchführung von Maßnahmen des Arbeitsschutzes zur Verbesserung der Sicherheit und des Gesundheitsschutzes der Beschäftigten bei de Arbeit (Arbeitsschutzgesetz – ArbSchG vom 07.08.1996)

[2] Gesetz über Betriebsärzte, Sicherheitsingenieure und andere Fachkräfte für Arbeitssicherheit (ASiG vom 12.12.1973)

[3] Verordnung über den Schutz vor Schäden durch ionisierende Strahlen (Strahlenschutzverordnung – StrlSchV, zuletzt geändert am 13.12.2007)

[4] Verordnung über den Schutz vor Schäden durch Röntgenstrahlung (Röntgenverordnung – RöV vom 30.04.2003)

[5] Richtlinie zur arbeitsmedizinischen Vorsorge beruflich strahlenexponierter Personen durch ermächtigte Ärzte nach Strahlenschutz- und Röntgenverordnung vom 18.12.2003

[6] BG-Information BGI 668: Erste Hilfe bei Einwirkung ionisierender Strahlung vom August 1997, aktualisierter Nachdruck 2004, Institut für Strahlenschutz

[7] Veröffentlichung der Strahlenschutzkommission Band 32: Der Strahlenunfall, ein Leitfaden für Erstmaßnahmen, 2. überarbeitete Auflage. H. Hoffmann GmbH-Fachverlag, Berlin, 2007

PSYCHOLOGISCHE AUSWIRKUNGEN

PSYCHOLOGICAL BINDINGS

W.R. Dombrowsky

KFS, Katastrophenforschungsstelle, Christian-Albrechts-Universität, Kiel

Der Begriff „Strahlenunfall“ erscheint klar definiert,[1] doch verwunderte es, wenn *definiens* und *definiendum* unumstritten wären. Dies bezieht sich weniger auf medizinische Fragen und die Ableitung von Dosis- und Kontaminationswerten als vielmehr auf Wirkzusammenhänge, die im weitesten Sinne als psychologisch und/oder psychosomatisch bezeichnet werden können.

Wie kompliziert die Zusammenhänge sind, zeigen Unfallabläufe, die anfangs in der Öffentlichkeit, – teils auch von den Betroffenen selbst, – gar nicht als „typische“ Nuklearunfälle wahrgenommen wurden. Dazu zählen kontinuierliche Expositionen durch vagabundierende Strahlungsquellen (Mexiko 1962; Argentinien 1968; Algerien 1978; Brasilien, 1987; Estland 1994 – vgl. Paulsen 2002:40-43; Fliedner 1993), anfänglich anders attribuierte Unfälle (Absturz SNAP 9A, 1964; Kosmos 954, 1988), schleichende Kontaminationen (Ziffernblattmalerei, vgl. Leenhouts/Brugmans 2000; Rößing 1942) oder verdeckte Zufügungen (Leonhard 2000; Zinkant 2006). In allen Fällen zeigten sich Symptome, die jedoch erst relativ spät zutreffend diagnostiziert, teilweise auch nicht aufgeklärt werden konnten und die deshalb zumeist ganz andere Erklärungen, Zuordnungen, Reaktionen und mithin auch psychische Verarbeitungsformen fanden.

Kranksein als kulturelle Konstruktion

In der Selbstwahrnehmung erfuhren sich die Betroffenen als „krank“, jedoch konnten sie ihre akute Befindlichkeit nicht in einen Ursache-Wirkungszusammenhang bringen. Zumeist werden Ähnlichkeitsmuster bemüht, um darstellungs- und handlungsfähig zu werden,[2] doch weicht die sichtbare Symptomatik so sehr von den biographisch wie interaktiv verfügbaren Ähnlichkeitsmustern ab, dass sich extreme kognitive Dissonanzen (Festinger 1957) einstellen.

In keinem Gemeinwesen kann man einfach „krank“ sein (Gerhardt 1989). Bis in die Moderne finden sich schuldhafte Zuschreibungen, von denen der Betroffene exkulpiert und rituell in einen Sonderstatus überführt werden muss, der ihn temporär von seinen Funktionspflichten entbindet. Medizinmann wie Arzt bekleiden die kulturell angemessenen Rollen, um sozial akzeptabel zu exkulpieren. Ob böse Geister in den Körper gefahren sind oder Viren ist aus

[1] Allgemein wird bei einem „Strahlenunfall“ von einer unkontrollierten Freisetzung ausgegangen, die bei Personen zu einer Exposition führt, die höchstzulässige Dosen überschreitet. Zugrunde gelegt werden die Kriterien der IAEA, denen sich ICRP, NCRP (US) und WHO anschlossen, vgl. Anhang 1 der SSK-Publikation „Maßnahmen zur Organisation und Optimierung der medizinischen Versorgung von Strahlenunfall-Patienten in der Bundesrepublik Deutschland“, Bonn 2002:8

[2] „Krankheit“ muss als Status legitimiert und sozial ausgedrückt werden, ansonsten wäre man nicht „krank“, sondern „Drückeberger“ oder „Blau-Macher“. Der von einem dazu Berechtigten verliehene Status beinhaltet zugleich die Grundlagen zur Vermittlung (was man „hat“), zum Verhalten („Bettruhe“) und zum Umgang („Schonung“).

dem Blickwinkel sozialer Interaktion mit Krankheit und Kranken nicht bedeutsam, wohl aber das jeweilige kulturelle Verfahren, durch das der Verlust von Gesundheit dem „Befallenen“ und seinen Mitmenschen sinnhaft erklärt wird.

Alle Gegenteile von „Gesundheit“ sind deswegen so bedrohlich, weil sie „Strafe“ sein könnten für schuldhafte Verfehlungen. Nichts fürchtete man in vormodernen Zeiten mehr, als sein Heil zu verlieren, oder schlimmer, ins Unheil anderer gezogen und heillos zu werden. Krankheit war somit nicht nur physisch riskant, sondern in weit höherem Maße sozial. Erschien ein „Befallener“ als unheilbar, bedeutete dies zugleich seinen sozialen Ausschluss oder das erweiterte Risiko, die mit ihm Verbundenen ins Unheil zu stürzen. In den Begriffen „heilen“ und „Heilkunst“ spiegelt sich bis heute die Hoffnung, Krankheit überwinden und dadurch vermitteltes Unheil abwenden zu können.

So gesehen erscheinen bestimmte Krankheitssymptome unentrinnbar als „unheilvoll“. Man kann dies als evolutionären Mechanismus interpretieren, der Distanz und Meidung bewirken soll, um naturwüchsig Gefahren vorzubeugen. Tatsächlich wirken überkulturelle Meidungs- und Abscheumuster, die keineswegs allein auf Abweichungen vom Durchschnitt reagieren. Dazu zählen insbesondere Verkrüppelungen, Verwachsungen, Hauterkrankungen und –verfärbungen (z.B. Lepra, Pocken). Die Symptome bei Strahlenkrankheit passen in diese archaischen Meidungs- und Abscheumuster.

Wissen Befallene nicht um die tatsächliche Verursachung, so nehmen sie sich selbst als monströs wahr und in ihrer Umwelt Abscheu, Ekel und Meidungswünsche, – vor allem aber wachsende Angst vor Unheil.[3] Vermag dann auch der kulturell zuständige Deuter und Heiler nicht zu deuten und zu heilen, wandelt sich dieser doppelte Mangel in empirische Realität, als Aversion und Attacke. Beides gerät desto stärker außer Kontrolle, je größer allen Beteiligten die Kluft zwischen sichtbarer Monstrosität und Unerklärbarkeit erscheint: „So etwas Schlimmem muss etwas noch Schlimmeres zugrunde liegen“. Die Tore zur Magisierung beginnen sich zu öffnen (vgl. Clausen 1978; Fillipetti/Trotereau 1978).

Strahlenkrankheit als soziale Dekonstruktion

Ganz andere Abläufe erwartet man innerhalb kultureller Kontexte, die sich der Zusammenhänge zwischen ionisierender Strahlung und Exposition bewusst sind. Gleichwohl ist die Kluft zwischen institutionalisierter und psycho-mentaler Vorbereitung beachtlich. Strahlenunfälle, auch mit Todesfolge, ereigneten sich bereits während des „Manhatten Project“ (Groves 1962), doch reicht die Erkenntnisgeschichte und damit die Attribuierbarkeit von Symptomen mit Verursachung bis in die experimentellen Anfänge zurück.[4] Wie bei jedem Vorstoß ins Unbekannte gilt auch hier, dass anfängliche Unwissenheit Schaden und Scheitern unvermeidbar einschließt. Aufschlussreich ist jedoch die Ausdehnung des Übergangsfeldes, also die

[3] Dies gilt selbst in besonderem Maße für die Opfer der ersten Atombombe. Die Bewohner Hiroshimas hatten nur vereinzelte Gerüchte von einer neuen, furchtbaren Bombe der Amerikaner gehört, aber keinerlei Vorstellung von ihren Auswirkungen. Die Schilderungen der Überlebenden ihrer eigen Symptome verdeutlicht besonders eindringlich das Gefühl von Selbstekel und Scham, so furchtbar auszusehen.

[4] Rolf Michel illustrierte „Biologische Strahlenwirkungen“ in einer Präsentation des ZSR, Leibnitz Universität Hannover. Bemerkenswert sind seine Darstellungen früher Röntgenkarzinome, Laborunfälle und vor allem der frühen Euphorie über Radium-Anwendungen. (Download: http://www.zsr.uni-hannover.de/folien/biolstra.pdf)

Zeit, bis alle Effekte einer Entdeckung ursächlich zugeordnet werden können.[5] Tatsächlich stand zu keiner Zeit das Streben nach vollständiger Information im Vordergrund, sondern, im Gegenteil, nach spezifischem Anwendungswissen. Um dieses Wissens willen wurden häufig, aus sehr unterschiedlichen Motiven, Zuordnungsunklarheiten billigend oder bewusst in Kauf genommen, teilweise sogar der Eintritt von Schadwirkungen.
Für das Manhatten Project sind diese Zusammenhänge belegt; unter den Abwägungszwängen des Krieges erscheinen sie nachvollziehbar. Dennoch bergen diese Abwägungen alle Momente zukünftiger Wahrnehmungen und Bewertungen, sozusagen das psycho-mentale Klima für den Umgang mit den daraus entstehenden „Verfahren".

Verfahren meint dabei wesentlich mehr als nur die Transformation des Experimentellen in seine großtechnische Anwendung. Verfahren meint auch, wie mit allen Beteiligten verfahren wird, wie das Übergangsfeld von Wagnis zu Risiko gestaltet wird, wie mit Schaden und Scheitern umgegangen wird. So besehen ließe sich eine Entwicklung zu „Technikfeindlichkeit" und Risikoaversion auch als Ergebnis aus negativen Erfahrungen in dem Sinne verstehen, dass zu häufig das Übergangsfeld der Nebenwirkungen um der Vorteile schneller Anwendbarkeit willen verdunkelt statt erhellt worden ist.

Aus der Gestaltung dieses Übergangsfeldes lassen sich mindestens drei spezifische Wahrnehmungsformen herleiten; sie determinieren die psychischen Auswirkungen von Strahlenunfällen.

Die erste Wahrnehmungsform erwächst dem Ge- oder Missbrauch von Menschen als „Versuchkaninchen". Zu ihnen zählen all jene Soldaten und Zivilisten, die im Zuge von oberirdischen Atomtests Strahlung ausgesetzt wurden.[6] Auch wenn allen Beteiligten der Zusammenhang mit den jeweiligen Tests bekannt gemacht worden war, lassen sich gleichwohl Tendenzen erkennen, die erstrebten Erkenntnisgewinne nicht durch allzu offensichtliche Nebenwirkungen beeinträchtigen zu lassen. Die dadurch provozierten Gefühle, hintergangen und missbraucht worden zu sein, verschärften sich noch, als beim Eintritt möglicher Folgeschäden die Anerkennung und daraus folgende Entschädigungen verweigert wurden.

Noch extremer verlief diese negative Stigmatisierung von Opfern in Japan. Die „Hibakusha" wurden über Jahrzehnte diskriminiert, zum einen, weil anfänglich befürchtet, dass die „Strahlenkrankheit" ansteckend sei, zum anderen, weil kein kulturelles Muster verfügbar war, mit einer derart extremen Niederlage und den sie sichtbar Ausdrückenden umgehen zu können. Insofern verbanden sich Opfer-Sein, Unheil in Form von Ansteckung und Meidungswünsche in besonderer Schärfe und verliehen der Strahlensymptomatik einen bis heute währenden Grusel. Er verband sich zudem mit einer besonders naïven Form wissenschaftlicher Neugier. Um möglichst viele Erkenntnisse gewinnen zu können, wurden Krankheitsverläufe und Behandlungen filmisch dokumentiert und dadurch die Opfer neuerlich zum Opfer einer entblößenden Ausstellung und zu medizinischen Versuchskaninchen machten. Dieser Grusel ging um die Welt und bebilderte die Vorstellungsgehalte von Strahlungsfolgen.

Die zweite Wahrnehmungsform erwuchs der Geheimniskrämerei und einer damit einhergehenden gezielten Verharmlosung. Die übergroße Differenz zwischen destruktiver Omnipo-

---

[5] Dem inhärenten ethischen Problem von Assessment und Application steht Wissenschaft unverändert gegenüber. Die Frage allerdings, wann aus dem Experiment Verfahren werden darf, hat sich dramatisch verschärft, seitdem das Labor die Realität selbst ist.
[6] Darunter befinden sich auch prominente Schauspieler. John Wayne soll aufgrund seiner Kriegsfilme an Krebs erkrankt sein. The Conqueror (1956) in der Nähe eines Atombombentestgeländes in Utah gedreht.

tenz, ihrer propagandistischen Überhöhung zu einer Annihilierungsdrohung, die durch ihre Zerstörungskraft von ihrem Einsatz abschreckt und Frieden schafft und einer Verniedlichung nach Innen, die suggerieren sollte, mit einer Aktentasche oder dem Familienspiel „Duck and Cover“ der Destruktionskraft begegnen zu können, lässt sich aus der Distanz nur als psychodynamisches Großexperiment zur Induzierung von Geisteskrankheiten, wahlweise Schizophrenie oder Paranoia[7], interpretieren (vgl. Anders 1956; Jaspers 1958).

Die dritte Wahrnehmungsform entwickelte sich aus dem politischen Pazifizierungsprogramm „Atoms for Peace“, mit dem Präsident Eisenhower[8] dem Atomkrieg die Utopie eines atomaren Wohlstands für alle entgegensetzen wollte. Bereits früh mischte sich in die anfängliche Technikeuphorie nachhaltiges Bedenken. Es nährte sich zum einen durch zunehmende Erkenntnisse aus Entstehung und Verlauf der militärischen Atomrüstungsprogramme der beiden Hegemonialmächte und den aufkeimenden Begehrlichkeiten ihrer Satelliten nach eigenen Atomwaffen, zum anderen aus einem Gemisch aus Gerüchten, Halbwahrheiten und Aufdeckungen von Unfällen und Beinahe-Katastrophen.[9]

Aus psychologischer Sicht ist es aus einer solchen Gemengelage heraus, unabhängig vom „wahren“ Gehalt einer jeden Position, unmöglich, Vertrauen zu entwickeln. „Vertrauen“, als soziale Vorschussleistung, die aus vorgängigem Wohlwollen gewährt wird, muss sich nach ihrer Gewährung interaktiv bewähren, also das Wohlwollen durch Wohltaten habitualisieren. Empirisch ereignete sich das Gegenteil: Die Hoffnungen Eisenhowers Wohl-*Wollens* wurden nicht durch nachfolgende Wohltaten eingelebt, sondern durch immer neue Aufdeckungen verspielt.[10]

Letztlich gelang es nicht, den moralisch tragfähigen und weltweit akzeptierten Transformationsprozess in eine friedliche Atomkraft zu realisieren. Auch dies stellt ein Übergangsfeld dar, dessen reale Gestaltung darüber befand, wie sich alle späteren Beurteilungen und Bewertungen formierten. Das Programm „Atoms for Peace“ vermochte es nicht, sich aus seinem militärischen Ursprung und seiner fortbestehenden militärischen Dominanz zu lösen, was sich ideologisch durch die Synonymisierung von Atomkraft und Atombombe ausdrückte, technisch in der lange dominanten Bauart von Reaktoren, die auch zur Produktion von waffenfähigem Material genutzt werden konnten.[11]

Vor allem im Nachkriegsdeutschland amalgamierte ein starker moralischer Impuls mit übergroßen Identifizierungswünschen. Aus dem „Nie wieder Krieg“ wurde eine Ostermarsch- und Friedensbewegung und zusammen mit Umweltaktivisten wurde daraus eine Anti-Atom-Bewegung. Sie fand immer neue Nahrung und Zulauf, vor allem durch das sich selbst verstärkende Wechselspiel aus Schäden und Vertuschungsversuchen. In der langen Reihe von Ereig-

---

[7] Edward Dmytryks Verfilmung des Romans „Die Caine war ihr Schicksal“ von Herman Wouk setzt Verfolgungswahn eindringlich in Szene.

[8] Titel seiner Rede am 8. Dezember 1953 vor den Vereinten Nationen. Unter dem Dach einer internationalen Atomenergie-Behörde, der späteren IAEO, sollte die Kernenergie alle Bereiche des Lebens verbessern, vor allem unbegrenzt billigen Strom bereitstellen.

[9] Besonderes Aufsehen erregte das Bekanntwerden der dramatischen Abläufe im Enrico Fermi Reaktor bei Detroit im Oktober 1966 (vgl. Fuller 1975; Gofman/Tamplin 1971) sowie die vielfältigen Gerüchte um riesige Nuklearkatastrophen in der Sowjetunion. Der Unfall von Majak, der sich 1957 ereignete und den Schores Medwedjew 1976 öffentlich machte, wurde erst 1988 offiziell bestätigt.

[10] Dazu gehören auch Skandale der bundesdeutschen Nachkriegsgeschichte, wie die Entlassung von Oberst Bogislaw von Bonin, der gegen den NATO-Beitritt Deutschlands war, oder die „Affäre Strauß“.

[11] Der Tschernobyl-Reaktortyp ist dafür besonders geeignet: Seine Brennstäbe lassen sich im Betrieb nach Eignung ziehen.

nissen, die Misstrauen bestärkten, nahmen Browns Ferry and Three Mile Island in den USA, Majak, Cheliabinsk und Tschernobyl in der UdSSR herausragende Stellungen ein. Aus ihnen wurden die Droh- und Strafkatastrophen, die jedes moralische Sendungsbewusstsein braucht, um zu Kursänderungen zu bewegen.

Im Kontext der Vernutzung von Scheitern als Strafe oder Strafandrohung schließt sich der Bogen zu einem Krankheitsverständnis, das Erkrankung als kausale Folge falschen Lebens oder begangener Sünden interpretiert. Diese Transformation ist in sich logisch, auch wenn sie zu überwunden geglaubten archaischen Verständnismustern zurückkehrt: Indem Atomkraft als menschliche Entscheidung angesehen wird, die, wegen ihrer Schadensträchtigkeit als unbeherrschbar interpretiert wird, muss jeder weitere Strahlenunfall als vermeidbar erscheinen – und, tritt er dennoch ein, als willkürlich. Diese Logik kann, ebenso folgerichtig, nur durch die Aufgabe von Atomkraft außer Kraft gesetzt werden. Damit ist Strahlenkrankheit als Krankheit dekonstruiert, weil sie, als willentlich eingegangenes Erkrankungsrisiko, tatsächlich schuldhaft mitverursacht wird. So gesehen kann die soziale Rolle des Arztes nicht mehr legitimierend wirken: Wie der Raucher für sein Raucherbein verantwortlich erscheint, erscheint nunmehr auch der Strahlenkranke als aktiver „Risk-Taker“ des (vermeidbaren) Strahlenunfalls.

Die Subjektivierung von Strahlenunfall und Strahlenkrankheit

Die Versuche von Naturwissenschaften und Medizin, den Strahlenunfall und seine Erkrankungsfolgen als zellulären Vorgang erscheinen zu lassen, der allein naturgesetzlichen Zusammenhängen entspricht, müssen zwangsläufig scheitern, weil sie die psychologischen Einbettungen dieser Prozesse weitgehend ausblenden. Indem sie diese Ausblendungen in Kauf nehmen oder sogar selbst bewirken, schüren sie, gewollt oder nicht, Wahrnehmungs-, Deutungs- und Bewertungsvorgänge, die sie selbst unter Ideologieverdacht stellen. So lange es nicht gelingt, sich aus diesem Verdacht dadurch zu lösen, dass man die sozialen Konstruktion von Krankheit einbezieht, wird Strahlenkrankheit auch weiterhin Grusel und Menetekel bleiben und damit das Drohpotenzial für falsche Psychologisierungen von Kernkraft.

Im Extrem werden diese Psychologisierungen dazu führen, dass auch die nächste Etappe im Umgang mit der friedlichen Nutzung der Kernkraft misslingen wird, nämlich der so genannte „Ausstieg“. Unabhängig davon, ob man ihn für richtig oder falsch hält, bleibt es eine Tatsache, dass er nicht von den Risiken der Nutzung befreit. Allein schon deshalb bedürfte es eines erneuerten, grusel- und meidungsfreien Umgangs mit den Hinterlassenschaften eines gescheiterten Programms. Es wäre jedoch ein großer Fehler, dem Scheitern von „Atoms for Peace“ ein weiteres Scheitern folgen zu lassen. Deswegen braucht es nach der falschen Subjektivierung in überkommene Schuldkategorien eine Objektivierung des Strahlenunfalls im Sinne einer akzeptablen sozialen Konstruktion.

Literatur

Anders, Günther: Die Antiquiertheit des Menschen: Über die Seele im Zeitalter der zweiten industriellen Revolution. München: C.H. Beck 1956

Clausen, Lars: Tausch. Entwürfe zu einer soziologischen Theorie. München: Kösel 1978

Festinger, Leon: A Theory of Cognitive Dissonance. Stanford, CA: Stanford University Press 1957

Fillipetti, Hervé/Trotereau, Janine: Zauber, Rituale und Symbole. Magisches Brauchtum im Volksglauben. Freiburg i.Br.: Hermann Bauer Verlag 1992 (Paris 1978)

Fliedner, T. M./Weiss, M./Hofer, E. P./Tibken, B./Fan Y.: Blutzellveränderungen nach Strahleneinwirkung als Indikatoren für die ärztliche Versorgung von Strahlenunfallpatienten, in: Holeczke, F./Reiners, C./Messerschmidt O. (Hrsg.): Strahlenexposition bei neuen diagnostischen Verfahren – Biologische Dosimetrie 6 Jahre nach Tschernobyl. Strahlenschutz in Forschung und Praxis Band 34, Stuttgart: Gustav Fischer Verlag 1993:135ff

Fuller, John G.: We almost lost Detroit. New York: Reader´s Digest Press 1975

Gerhardt, Uta: Ideas about illness. An intellectual and political history of medical sociology, New York, NY: New York Univ. Press 1989

Goffman, John W./Tamplin, Arthur R.: Poisoned Power. Emmaus, Pa.: Rodale Press 1971

Gottlöber, P./Krähn, G./Peter, R.U.: Das kutane Strahlensyndrom, Der Hausarzt Vol. 51, 2000, 8: 567-574

Groves, Leslie R.: Now it can be told - The story of the Manhattan Project. Introduction by Edward Teller. New York: Da Capo Press 1962

Jaspers, Karl: Die Atombombe und die Zukunft des Menschen. Politisches Bewusstsein in unserer Zeit. München: Piper 1958

Leenhouts, H.P./Brugmans, M.J.P.: Ananalysis of bone and head sinus cancers in radium dial painters using a two-mutation carcinogenesis model, Journal of Radiol. Prot. 20 (2000) 169–188

Leonhard, Paul: Tödliche Strahlung. Die Staatssicherheit der DDR steht im Verdacht, Regimegegner radioaktiv verseucht zu haben, Junge Freiheit 16, 14.04.2000

Kirchinger, W. /Zollner, C.: Strahlenunfall. Personenrettung und Maßnahmen an der Unfallstelle, Notfall & Rettungsmedizin, Vol. 5, 2002, 1: 39-44

Paulsen, Carola: Morbidität bei 80 akzidentell seit 1949 chronisch strahlenexponierten Anwohnern des Techa-River (Süd-Ural). Pilotstudie zur Entwicklung der Grundlage für die Erforschung von nicht-neoplastischen Wirkungen infolge chronischer Strahlenexposition. Ulm: Universität Ulm 2002 (Diss.)
Rößing, P.: Über eine ungewöhnliche Form der Radiumvergiftung in der Leuchtfarbenindustrie, International Archives of Occupational and Environmental Health, Vol. 11, 1942, 3: 395-401

Schulz, Erich H.: Vorkommnisse und Strahlenunfälle in kerntechnischen Anlagen. München: Thiemig 1966

Zinkant, Kathrin: Element des Bösen, Die Zeit-Online 1.12.2006 (http://www.zeit.de/online/2006/48/polonium)

Ziegler, A.: Strahlenunfall, in: Notfallmedizin. Leitfaden für Notärzte

Zola, Irving K.: Medicine as an institution of social control, Sociological Review 4/1972: 487-504

D Krankheitsbilder und medizinische Maßnahmen

DIE HÄMATOLOGISCHE FORM DES AKUTEN STRAHLEN-SYNDROMS UND SEQUENTIALDIAGNOSTIK

THE HAEMATOPOIETIC SYNDROM OF THE ACUTE RADIATION SYNDROME AND SEQUENTIAL DIAGNOSTIC FINDINGS

M. Port, A. Ganser

Klinik für Hämatologie, Hämostaseologie, Onkologie und Stammzelltransplantation, Medizinische Hochschule Hannover, Deutschland

Zusammenfassung
Störungen der Hämatopoese durch Ganzkörperbestrahlung führt zu klinischen Symptomen, wie Infektanfälligkeit, Blutungsneigung oder Wundheilungsstörungen, die unter dem Begriff hämatopoetische Form des akuten Strahlensyndroms zusammengefasst werden. Pathophysiologisch lässt sich das hämatopoetische Syndrom am besten mit der Strahlenempfindlichkeit und der damit verbundenen Schädigung der Stammzellen des Knochenmarks durch radioaktive Bestrahlung erklären. Der zeitliche Verlauf von Lymphozyten, Granulozyten und Thrombozyten ist typisch für eine bestimmte Ausprägung des hämatopoetischen Syndroms und kann für ein klinisches Klassifikationssystem herangezogen werden. Die wiederholte Messung von Einzelparametern wird unter dem Begriff Sequentialdiagnostik subsumiert. Entscheidend für den klinischen Verlauf ist die Möglichkeit der zeitnahen autochthonen Regeneration durch vitale Stammzellen. Das Klassifikationssystem ermöglicht einen effektiven Einsatz der therapeutischen Optionen: ambulante Befunderhebung, Supportivtherapie, Antibiotika, Virostatika, Antimykotika, Substitution von Blutprodukten, Applikation von Wachstumsfaktoren, Umkehrisolation oder sogar allogene Stammzelltransplantation. Kombinationsschäden oder Begleiterkrankungen gehen mit stark gesteigerter Morbidität und Mortalität einher.

Summary
Impairment of the haematopoiesis by whole body irradiation leads to clinical symptoms like susceptibility to infections, bleeding disorders or wound healing disorders, which are summarized under the term haematopoietic syndrome of the acute radiation syndrome. The radio sensitivity of the haematopoietic stem cells and their damage in the bone marrow is the pathophysiologic background of the haematopoietic syndrome. The change of lymphocyte, granulocyte and platelet counts over time can be used for a clinical based classification system. The repeated measurement of single parameters is subsumed under the term "Sequentialdiagnostik". The possibility of early autochthone regeneration via viable stem cells is crucial for the clinical course. The classification system allows choosing therapeutic options effectively, like ambulant assessment of diagnostic findings, antibiotics, antifungal or antiviral agents, substitution of blood products, application of growth factors, reverse isolation or even allogenic stem cell transplantation. Combined injuries or secondary disorders result in considerably increased morbidity and mortality.

Schlüsselwörter: *Hämatopoetisches Syndrom, Sequentialdiagnostik, hämatopoetische Stammzelle, klinisches Klassifikationssystem, Supportivtherapie*
Keywords *haematopoietic syndrome, sequential diagnostic findings, haematopoietic stem cell, clinical classification system, supportive therapy*

1. Grundlagen des hämatopoetischen Syndrom des ARS

Die zellulären Komponenten des Blutes sind essentiell für diverse Aufgaben im menschlichen Organismus. Exemplarisch seien einige Aufgaben kurz angesprochen wie Erhalt der Organperfusion durch die Erythrozyten, z.B. O_2- und CO_2-Transport und –Austausch, Reparatur mit Hilfe von Thrombozyten und Leukozyten oder Aufrechterhaltung der Immunität mittels spezifischer und nicht-spezifischer Abwehrmechanismen durch Leukozyten und Thrombozyten.

Um die vielfältigen Aufgaben des peripheren Blutes gewährleisten zu können, hat der Organismus das dynamische System der Hämatopoese geschaffen, welches ständig neue zelluläre Komponenten liefert, um verbrauchte Zellen zu ersetzen. Störungen der Hämatopoese durch Ganzkörperbestrahlung (TBI) oder weitgehender Schädigung des Knochenmarks durch radioaktive Strahlung führt zu diversen klinischen Symptomen, die unter dem Begriff hämatopoetische Form des akuten Strahlensyndroms (HS) zusammengefasst werden [1]. Die klinische Manifestation des HS ist charakterisiert durch Hypoplasie oder Aplasie des Knochenmarks, resultierend in Panzytopenie, Prädisposition für Infektionen, Blutungen oder stark beeinträchtigter Wundheilung. Obwohl die Wahrscheinlichkeit der Schädigung der Hämatopoese mit steigender Dosis zunimmt, gibt es keinen sicheren Schwellenwert für das Auftreten des HS. Vereinfacht kann man zwar ab Ganzkörper-Dosen von ca. 1-1,5 Gy mit einem HS rechnen, jedoch ist das Dosis-Effekt-Konzept von geringer Bedeutung für das klinisch basierte Grading für Prognose und Therapie von strahlenexponierten Individuen [2, 3]. Fliedner et al. haben ein basierend auf der Datenbank SEARCH (System for Evaluation and Archiving of Radiation accidents based on Case Histories) klinisches Klassifikationssystem geschaffen, dass es erlaubt, evidenzbasiert den klinischen Verlauf des HS zu beschreiben und autochthone Regeneration vorherzusehen [4].

Pathophysiologisch lässt sich das hämatopoetische Syndrom am besten mit der Strahlenempfindlichkeit und der damit verbundenen Schädigung der Stammzellen des Knochenmarks durch radioaktive Bestrahlung erklären. Die sich schnell teilenden Zellen des Knochenmarks produzieren ca. 10^{11} Zellen pro Tag. Ausgefeilte hierarchische Strukturen stellen sicher, dass der kontinuierliche Zellersatz sich den Transitzeiten der Blutzellen sowie dem ggf. modifizierten tatsächlichen Bedarf anpasst. Es gilt zu beachten, dass die Transitzeiten der einzelnen Blutkomponenten deutlich different sind. So haben Erythrozyten eine Halbwertszeit von ca. 120d, Thrombozyten eine von ca. 28d, während Leukozyten sehr variable Transitzeiten von wenigen Stunden bis zu vielen Jahren aufweisen.

Die peripheren Blutmarker, welche in den ersten Tagen einer Strahlenexposition als wichtig angesehen werden, das hämatopoetische Syndrom zu klassifizieren, sind Lymphozyten, Granulozyten und Thrombozyten. Aufgrund ihrer langen Transitzeit im Blut scheiden Erythrozyten für das akute Strahlensyndrom als Marker aus, jedoch können sie Hinweise für Begleitschäden, wie okkulte Blutungen liefern. Ein Anteil der Erythrozyten, die Retikulozyten, können jedoch ebenfalls Hinweise für ein noch aktives Knochenmark liefern. Das Antwortmuster der peripheren Blutmarker, als eine Funktion der Zeit, ist geprägt von verschiedenen Phasen. Der absteigende Teil der Kurve steht hierbei für den peripheren Verbleib und den Verbrauch, er wird gefolgt von einem Nadir, wobei dessen Dauer die Größenordnung des Stammzellschadens reflektiert und schließlich einer ansteigenden Kurve, welche für die Rekonstruktion des hämatopoetischen System als Marker dienen kann. Der Verlauf der einzelnen Kurven der Blutzellmarker ist typisch für eine bestimmte Ausprägung des hämatopoetischen Syndroms und kann in den einzelnen Phasen als diagnostisches Mittel für das akute Strahlensyndrom mit seinem klinischen Verlauf eingesetzt werden.

Die entscheidende klinische Frage für die Prognose des akuten Strahlensyndroms und dessen Verlaufs ist, ob der im Skelettsystem verteilte hämatopoetische Stammzellspeicher noch in der Lage ist, eine autochthone Regeneration der Hämatopoese zu bewerkstelligen. Hierzu müssen im Gesamtorganismus noch so viele vitale Stammzellen vorhanden sein, dass diese Regeneration in einer für das Individuum - unter gegebenenfalls umfangreicher Supportivtherapie - akzeptablen Zeit von vermutlichen 30-40 Tagen erfolgen kann. Eine autochthone Regeneration setzt entweder voraus, dass die tatsächliche Exposition doch so inhomogen war, dass zumindest einige Skelettanteile, wie Wirbelknochen, Schädelkalotte oder einzelne Extremitätenknochen, geringer exponiert waren oder die Gesamtexposition war von einem Ausmaß, welches einigen Stammzellen das Überleben im Knochenmark ermöglichte. Nicht einmal Ganzkörperdosen von 5-8 Gy schließen eine autochthone Regeneration aus, da entscheidend die akquirierte Dosis im Knochenmark ist, sowie die Strahlenempfindlichkeit des Individuums. Eine inhomogene Bestrahlung erhöht zudem die Chance für die Wiederherstellung der Hämatopoese.

Als Indikatoren für eine autochthone Regeneration der Hämatopoese kann der Verlauf der Lymphozyten-, Granulozyten- und Thrombozytenwerte in den ersten 10 Tagen angesehen werden (Abb. 1).

Ein sehr empfindlicher Parameter für die akquirierte Strahlendosis ist die Lymphozytopenie, sie erlaub aber keine hinreichende Aussage über die Regenerationsfähigkeit des Knochenmarks. Bezüglich der Granulozyten zeigt sich zunächst eine initiale Granulozytose (1-2 Tage), welche gefolgt wird von einem Abfall. Bei der reversiblen Schädigung ist dieser Abfall jedoch moderat in den erstem 10 Tagen, oft tauchen im Blutbild mitosegeschädigte Granulozyten, wie z.B. Riesen- oder doppelkernige Granulozyten oder myeloische Zellen mit Karyomeren, auf. Die Granulozytenzahl unterschreitet nicht 200-500 Zellen pro µl, was als Zeichen für weiterhin gebildete Vorläuferzellen und deren Ausreifung gewertet werden kann. Typisch ist auch ein langsamer Abfall der Thrombozyten mit einem Nadir zwischen dem 20. und 30. Tag. Hinweis für eine irreversible Schädigung ist ein sehr schneller „dramatischer“ Abfall der Granulozyten, sowie ein Abfall auf Zellzahlen < 200/µl.

2. Klinische Einteilung des hämatopoetischen Syndroms

2.1. Grad H1 – autochthone Regeneration sicher ohne kritische Phase

Klinische Symptome wie Blutungen oder Infektionen sind in dieser Ausprägung nicht typisch für den Strahlenschaden. Die niedrige akquirierte Strahlendosis schädigt nur die sensitivsten Zellen, das Stammzellkompartiment ist in der Lage eine ausreichende Anzahl peripherer Effektorzellen aufrecht zu halten.
Die zu beobachtenden Zellzahlen sind weitgehend im normalen Bereich, bzw. an deren unterer Grenze. Im Detail finden sich die folgenden Messwerte: Lymphozyten 1,5-3,5x10^9/l (einzelne Abfälle bis auf 1,0x10^9/µl sind noch tolerabel), Granulozyten 4-9x10^9/l (Zellzahl nie <1,0x10^9/µl) und Thrombozyten 150-350x10^9/l (einzelne Abfälle bis auf 100x10^9/µl sind noch tolerabel). Aufgrund der ausreichenden Funktion des hämatopoetischen Systems zu allen Zeiten ist eine spezifische Therapie für Strahlenopfer mit einem H1-Grading nicht erforderlich.

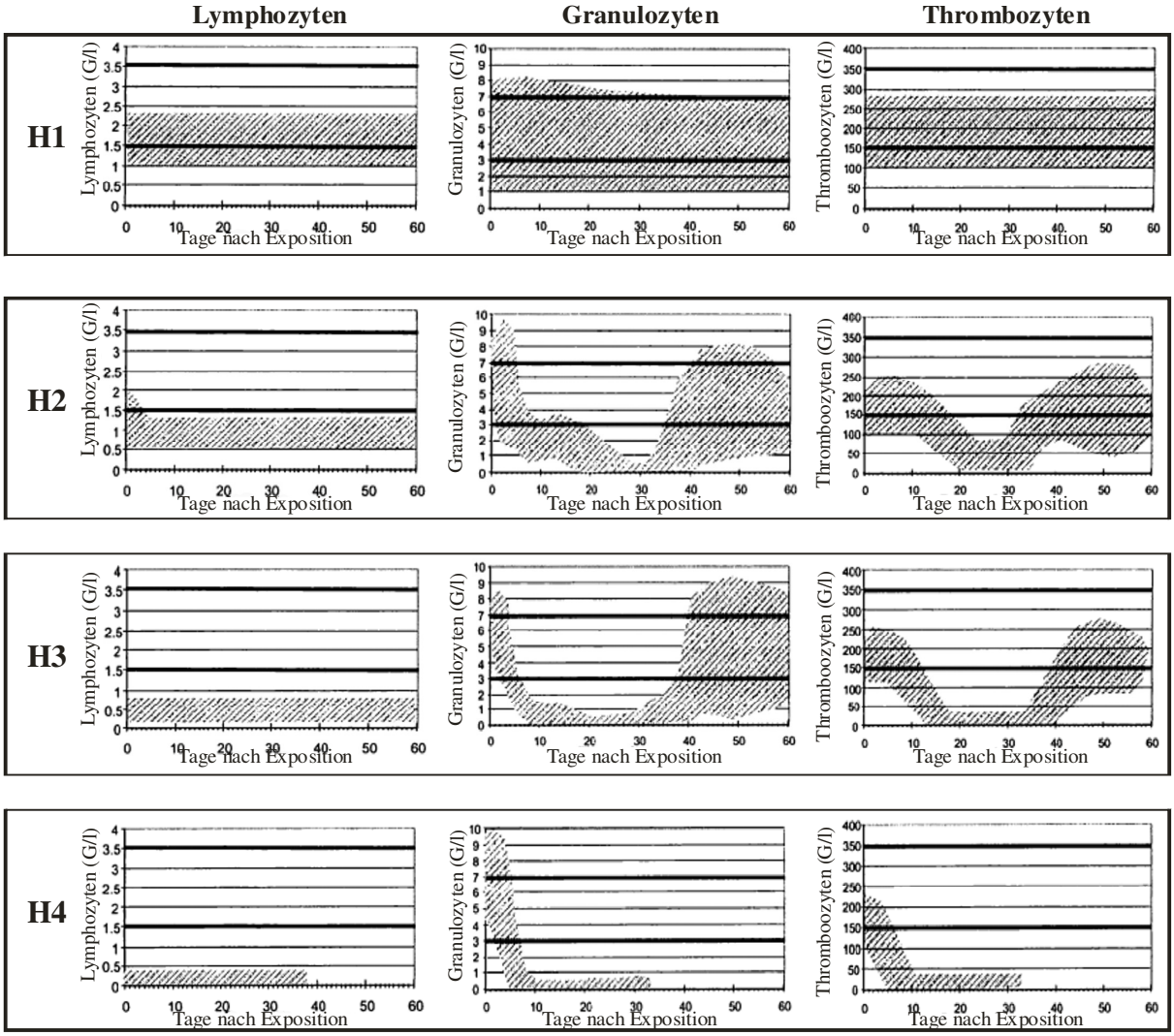


Abb. 1: Schematische Darstellung des Verlaufs der Lymphozyten, Granulozyten und Thrombozyten im zeitlichen Verlauf nach Ganzkörperbestrahlung. H1-4 stehen für den klinischen Schweregrad des hämatopoetischen Syndroms

2.2. Grad H2 – autochthone Regeneration sicher mit niedrigem Risiko einer kritische Phase

Patienten mit diesem Grading haben ein erhöhtes Risiko für Infektionen oder Blutungen. Insgesamt findet sich nur eine moderate Beeinträchtigung des hämatopoetischen Systems.
Die stärkere Schädigung des Stammzellkompartimentes führt zu einer transienten Verminderung von Effektorzellen.
Die Lymphozyten fallen in den ersten 2 Tagen und verbleiben in einem Bereich zischen $0{,}5x10^9$/l und $1{,}5x10^9$/l. In den ersten Tagen kommt es zu einer Granulozytose aufgrund der Freisetzung von reifen Granulozyten sowohl aus dem Knochenmark als auch aus dem so genannten „marginal Pool“. Nach einem folgenden Abfall kommt es zwischen Tag 5 und 10 zu einem „abortive rise“ (erklärt durch die Theorie der verletzten Stammzelle) und schließlich zu einem langsamen Abfall auf ca. $1x10^9$/l mit einem Nadir um Tag 20. Die Thrombozyten fallen initial auf bis zu $100x10^9$/l, zeigen eine Schulter um dann den Nadir bei ca. $50x10^9$/l um Tag 22 zu erreichen. Die Regeneration erfolgt nach ca. 30 Tagen. Die Therapie sollte sich an der Klinik orientieren, Antibiotika und ggf. Transfusionen beinhalten. Eine autochthone Regeneration ist sicher.

2.3. Grad H3 – autochthone Regeneration sicher mit hohem Risiko einer kritische Phase

Das Muster der Zellverläufe ähnelt bei H3-Patienten dem von H2-Patienten, jedoch ist die Beeinträchtigung des hämatopoetischen Systems stärker ausgeprägt. Auch bei dieser Schädigung ist eine endogene Regeneration sicher, vorausgesetzt, dass die höheren Risiken für Blutungen oder Infektionen durch Supportivtherapie erfolgreich überbrückt werden können. Der Abfall der Lymphozyten in den ersten 48h erfolgt auf $0{,}25 \times 10^9$ bis $1{,}0 \times 10^9$/l. Die initiale Granulozytose fällt bis Tag 5, auch hier wird ein abortiver Anstieg beobachtet, der eine Zellzahl von etwa $1{,}0 \times 10^9$/l für 5-8 Tage stabilisiert. Danach fallen die Granulozyten auf ein Niveau unter $0{,}5 \times 10^9$/l. Die Thrombozyten bleiben bis zum Tag 5-10 über 100×10^9/l, fallen dann, so dass ein Nadir von $0\text{-}50 \times 10^9$/l an Tag 16-18 erreicht wird. Erst um den Tag 35-40 ist dann wieder mit der zumeist undulierenden Regeneration zu rechnen. Um die autochthone Regeneration zu ermöglichen sind Transfusionen, Antibiotikatherapien inklusiver selektiver Darmdekontanimation und ggf. Cytokine/ Wachstumsfaktoren erforderlich. Das Risiko eines tödlichen Ausgangs ist jedoch gegeben. Für die Überbrückungstherapie ist eine stationäre Therapie in einem Zentrum, das prinzipiell mit vergleichbaren Patienten Erfahrung hat, erforderlich.

2.4. Grad H4 – autochthone Regeneration höchst unwahrscheinlich

In dieser Kategorie ist die Schädigung der Stammzellen zu hoch um eine autologe Regeneration zu ermöglichen. Patienten sind einem sehr hohen Risiko für Blutungen und Infektionskrankheiten ausgesetzt. Die Lymphozytenzahlen fallen steil und nahezu linear in den ersten 24 h ab und bleiben auf einem Wert von ca. $0{,}1\text{-}0{,}25 \times 10^9$/l über mehrere Wochen. Ein initialer Anstieg der Granulozyten kann auch hier gesehen werden, jedoch fällt dann ihr wert auf $0\text{-}0{,}5 \times 10^9$/l an Tag 5-7 ab, einen „abortive rise“ ist nicht zu beobachten. Der Nadir dauert mindestens mehrere Wochen, je nach Strahlenschaden ist eine Regeneration nicht mehr möglich. Auch die Thrombozyten fallen linear ab und erreichen ihren Nadir von unter 50×10^9/l um Tag 10 und verbleiben in diesem Bereich für mehrere Wochen.
Die meisten Patienten in dieser Kategorie werden die ersten 2 Wochen nicht überleben, da die Beeinträchtigungen auch anderer Organsysteme die Sterblichkeit stark erhöht. Autologe Regeneration ist weitgehend unwahrscheinlich. Falls die Schädigung anderer Organe nur sublethal ist, sollte eine Stammzelltransplantation in Erwägung gezogen werden, welche jedoch nur mit ausgefeilter Supportivtherapie inklusive Substitution von Blutprodukten und Gabe von Wachstumsfaktoren ausreichend Erfolg zeigen dürfte.

Zusammenfassend hilft das klinische Gradingsystem Entscheidungen für den Umfang und den Ort der weiteren Versorgung von Strahlenopfern zu treffen. Das von Prof. Fliedner et al. in Metropol [2] vorgeschlagene klinische Gradingsystem für das Hämatopoetische System hat 4 Stufen, es gibt jedoch auch Alternativvorschläge, die die Kategorie H1 und H2 zusammenfassen [5]. Letztlich ist wichtig, dass die Patienten der Kategorie H1 und H2 nur wenig professionelle klinische Hilfe benötigen und mit großer Wahrscheinlichkeit komplett im ambulanten Rahmen betreut werden können, eine adäquate psychologische Betreuung ist für Einzelne aber erforderlich. Die Kategorien H3 und H4 benötigen stationäre Überwachungen und Therapien, deren Umfang individuell festzulegen ist. Bezüglich der Versorgung der Patienten ist jedoch klar auszudrücken, dass das hämatopoetische Syndrom nur einen Teilaspekt des akuten Strahlensyndroms darstellt. Die Schädigung anderer Organsysteme macht zum Teil auch eine intensivere Therapie des hämatopoetischen Syndroms erforderlich. Kombinationsschäden oder gar eine Multiorganbeteiligung erhöhen drastisch die Morbidität und Mortalität.

Tabelle 1: Einteilung des hämatopoetischen Syndroms nach Strahlenexposition in klinische Grade nach [2, 6, 7]. *Die genannten Blutwerte stellen Vereinfachungen des Verlaufes der Blutbildveränderungen dar.*

Symptom/ Laborwert	Grad H1	Grad H2	Grad H3	Grad H4
Lymphozyten[a]	≥ 1.500/µl	1.000-1 .500/µl	500-1.000/µl	< 500/ µl
Granulozyten[b]/ Granulozytose	≥ 2.000/µl	1.000-2.000/µl	500-1.000/µl	< 500/µl oder initiale Granulozytose
Thrombozyten[c]	≥ 100.000/µl	50.000-100.000/µl	20.000-50.000/µl	< 20.000/ µl
Blutverlust	Petechien, Hämatome, normaler Hb-Wert	milder Blutverlust mit < 10%Hb-Abfall	stärkerer Blutverlust mit 10-20% Hb- Abfall	Spontanblutung oder Blutverlust mit > 20 % Hb-Abfall

[a]Referenzwert Lymphoyten (1,5-4)x10^9/l
[b]Referenzwert Granulozyten (4-9)x10^9/l
[c]Referenzwert Thromboyten (140-400)x10^9/l

3. Therapie des hämatopoetischen Syndroms

Der Verlauf des HS gibt zwangsläufig die therapeutischen Strategien vor. Gering strahlenexponierte Patienten benötigen neben einer Überwachung in aller Regel keine medizinischen Therapien für das akute Strahlensyndrom, es sei denn Kombinationsschäden erfordern einen Eingriff. Über die Basistherapie des hämatopoetischen Syndroms gibt es inzwischen Konsens [5, 8, 9], wenn auch Details wie z.B. die Stammzelltransplantation oder die Gabe von Wachstumsfaktoren weiterhin unter Diskussion und Forschung sind. Von europäischer Seite ist auf ein Faltblatt hinzuweisen, dass wesentliche Ergebnisse der Konsensuskonferenz der „European Group for Blood and Marrow Transplantation“ (EBMT) aus 2005 zusammenfasst (http://www.ebmt.org/7Directory/committees/nuclear.htm).
Da der Abfall der peripheren Blutkomponenten insbesondere bei H2- und H3-Patienten transitorischen Charakter hat, gilt es die den Organismus gefährdenden Minderleistungen, wie insuffiziente Abwehr oder Blutstillung, zu unterstützen und temporär zu „überbrücken“. Zu den empfohlenen Supportivtherapien gehört bei Lymphopenie die Gabe von Aciclovir. Derzeit sind systemische Prophylaxen mit Antimykotika nicht empfohlen, jedoch eine topische Prophylaxe mit Amphomoronal. Bei ausgeprägter Infektgefährdung bei Neutrophilenzahlen <0,5x10^9/l in Kombination mit weiteren Risikofaktoren ist eine Sterilbettbehandlung indiziert, hierzu gehört evtl. auch eine „selektive Dekontamination“ des Gastrointestinaltrakts mit Antibiotika. Bei auftretenden Infektionen sind eine schnelle und umfassende antibiotische Therapie erforderlich. Ein mikrobiologisches Monitoring insbesondere bei längeren Verläufen ist obligat.
Transfusionen haben das Ziel, Blutungen zu verhindern. Hierzu reicht es in aller Regel Thrombozytenwerte über 10x10^9/l. Im Allgemeinen entsprechen diese Empfehlungen den

therapeutischen Maßnahmen, wie man sie auch bei der Behandlung von schweren aplastischen Anämien anwenden würde. Zur Vermeidung einer Graft-versus-Host-Erkrankung müssen alle Blutprodukte ausreichend bestrahlt sein (ca. 25-30 Gy). Schleimhautblutungen kann durch orale Antifibrinolytikagabe (Tranexamsäure) vorgebeugt werden, was zu einer Reduktion zu transfundierenden Thrombozytenkonzentrate führt. Bei diffusen unstillbaren Blutungen sollte der Einsatz von aktiviertem Gerinnungsfaktor VII erwogen werden. Es können auch weitere Blutprodukte erforderlich sein, beispielhaft seinen Erythrozytenkonzentrate, FFP-Gaben oder Granulozytentransfusionen genannt. Die Indikation insbesondere für die Granulozytentransfusionen ist sicher eng zu stellen, eine Applikation sollte nur in einem Zentrum erfolgen, das die nötige Vorerfahrung mit solchen Supportivtherapien besitzt.

Der Einsatz von hämatopoetischen Wachstumsfaktoren beim hämatopoetischen Strahlensyndrom wird weiterhin kontrovers diskutiert. In einer europäischen Konsensuskonferenz [5] hat man sich für den Einsatz ausgesprochen. So sollen Granulozyten-Koloniestimulierender Faktor (G-CSF; incl. der pegylierten Form Pelfilgrastim) und Keratinozyten-Wachstums-Faktor (KGF) insbesondere bei H3-Patienten möglichst früh und für ca. 14-21 Tage eingesetzt werden. Die Gabe von Thrombozyten-stimulierenden Substanzen, Erythropoetin und weiteren Wachstumsfaktoren ist weiterhin umstritten, neuere Entwicklungen insbesondere bei den Thrombozyten-stimulierenden Agonisten sollten hier jedoch beachtet werden. Weiterhin ist zu berücksichtigen, dass keiner dieser Faktoren für die Therapie nach akzidenteller Strahlenexposition zugelassen ist.

Die Möglichkeit einer allogenen Stammzelltransplantation für H4-Patienten wird immer wieder erörtert und wurde bereits mehrfach durchgeführt. Jedoch gibt es bisher keinen einzigen Fall einer letztlich erfolgreichen Stammzelltransplantation [9]. In einer Konsensuskonferenz der European Group for Blood and Marrow Transplantation (EBMT) im Jahre 2005 [5] wurde folgendes Vorgehen vorgeschlagen:
Findet sich nach 14-21 Tagen trotz Therapie mit Wachstumsfaktoren kein Anzeichen einer Knochenmarkregeneration und bestätigt sich die fehlende Hämatopoese auch in eventuell gewonnenen Knochenmarkpunktaten, besteht prinzipiell die Indikation zur allogenen hämatopoetischen Stammzelltransplantation. Erforderliche weitere Voraussetzungen sind das Fehlen von irreversiblen Multiorganschäden (gastrointestinal, pulmonal, etc.) und weiteren Funktionsstörungen/Begleiterkrankungen, die ein Gesamtüberleben als äußerst unwahrscheinlich erkennen lassen. Zwei wesentliche Ziele der Transplantation sind die langfristige Übernahme der Blutbildung durch die allogenen Stammzellen (auch eine nur überbrückende Übernahme wäre akzeptabel) sowie die Vermeidung einer Graft-versus-Host-Erkrankung. Als mögliche Transplantate kommen Knochenmark ($2x10^8$ nukleäre Zellen/kg), periphere Stammzellen ($2x10^6$ CD34 Zellen/kg) und Transplantate aus Nabelschnurblut ($3x10^7$ nukleäre Zellen) in Frage. Die Spender sollten in der folgenden Reihenfolge ausgesucht werden: identischer Zwilling, Familienspender (HLA>7/8 matched), Fremdspender (HLA>9/10 matched), Nabelschnurblut (>4/6 matched). Eine milde nicht-myeloablative Konditionierung ist zur Vermeidung der Transplantatabstoßung erforderlich (z.B. Fludarabin 30 mg/m² d1-3 +/- Antilymphozytenglobulin). Cyclosporin A und Mycophenolat können zur GvHD-Prophylaxe verwendet werden, Methotrexat ist kontraindiziert. Bei Indikation und zur Durchführung einer allogenen Stammzelltransplantation ist die Verlegung in ein Transplantationszentrum mit großer Erfahrung in der allogenen Stammzelltransplantation erforderlich.

Zusammengefasst lässt sich feststellen, dass die Diagnose „reversible Schädigung der Hämopoese" in den ersten 10 Tagen nach Strahleneinwirkung eindeutig an den Zeichen einer abortiven Regeneration durch entsprechende Laborbefunde belegt werden kann. Ein Abfall der

Granulozyten unter 200/µL nach 7-10 Tagen sollte nicht beobachtet werden. Die „Krise" stellt sich zwischen dem 15. und 30. Tag nach Strahleneinwirkung ein. Sie wird begleitet von deutlichem Haarausfall und geht einher mit der Entwicklung einer Granulozytopenie und Thrombozytopenie mit der Gefahr von bakteriellen Infektionen und thrombozytopenischen Blutungen. Die Spontanregeneration der Hämatopoese führt zwischen dem 30. und 35. Tag zu einer Erholung der Granulozyten- und Thrombozytenzahlen im Blut.

4. Sequentialdiagnostik

Der Verlauf der akuten Strahlenkrankheit macht deutlich, dass insbesondere, wenn eine große Zahl möglicher Strahlenexponierter auftritt, die Kapazitäten an Krankenhausbetten für diese Personen freizuhalten sind, die ein akutes Strahlensyndrom erleiden. Im ambulanten Bereich muss daher zunächst die Sequentialdiagnostik durchgeführt werden [7]. Der Begriff Sequentialdiagnostik soll deutlich machen, dass erst eine sequentielle Erfassung von Befunden und deren Bewertung im zeitlichen Verlauf, es ermöglicht therapeutische Konsequenzen (z. B. Krankenhauseinweisung zur weiteren Abklärung der Gesundheitsstörung) zu ziehen. Personen ohne akutes Strahlensyndrom können in ambulanter Versorgung verbleiben, bei geringer Anzahl von Betroffenen kann man diesen auch empfehlen, sich zu diagnostischen Abklärung und Dokumentation der Befunde vorübergehend in stationäre Beobachtung zu begeben. Eine Klinikeinweisung kommt auch bei vorbestehenden Erkrankungen oder zusätzlichen Verletzungen, die unter dem Aspekt eines gegenseitig komplizierenden Kombinationsgeschehens bedeutungsvoll werden könnten, in Frage. Personen mit geringen Ganzkörperexpositionen können bei akut- oder chronisch-entzündlichen Krankheitsprozessen, nach operativen Eingriffen oder bei gleichzeitigen traumatischen oder toxischen Einwirkungen mit schweren Krankheitsverläufen reagieren. So kann - insbesondere im Zeitraum zwischen dem 15. und 35. Tag nach der unfallbedingten Strahlenexposition - beispielsweise eine erhöhte Infektions- oder Blutungsbereitschaft auftreten, die möglicherweise auf radiogene Änderungen im Immunstatus zurückzuführen ist.
In der Initialphase (24 h) nach Strahlenexposition sollten möglichst alle 4 Stunden (mindestens aber alle 8 Stunden) ein komplettes Differentialblutbild (Hämoglobin, Leukozyten, Thrombozyten, Lymphozyten, Granulozyten, +/- Retikulozyten) bestimmt werden, anschließend zweimal täglich. Zwei Blutproben (15 ml Heparinblut), abgenommen im Abstand von 4 Stunden, müssen umgehend zur zytogenetischen Dosimetrie eingesandt werden. Leukozyten müssen sofort HLA-Klasse l typisiert und weitere Zellen zur Klasse-II-Typisierung eingefroren werden. Weitere Untersuchungen sind Blutgruppentypisierung, Standardbiochemie inklusive Messung der Amylase, Gewinnung von Faeces und Urin bei vermuteter Kontamination und Blutuntersuchung auf ^{24}Na bei vermuteter Exposition gegen Neutronen.
Mit der Sequentialdiagnostik kann jederzeit begonnen werden, lediglich der Ausgangspunkt (Tag 0) der Bestrahlung ist erforderlich. Zur Einordnung erhobener Befunde soll die Tabelle 2 dienen.

Tab. 2: Ablaufschema Sequentialdiagnostik bei Verdacht auf Vorliegen einer erhöhten Strahlenexposition aus [7]

Termine der Sequentialdiagnostik nach Strahlenexposition	bis 24 Std.	2.-3. Tag	5.-6. Tag	14.-16. Tag	20.-22. Tag	30.-32. Tag	60. Tag	> 90. Tag
ambulante Betreuung	S: keine oder geringfügig	S: keine oder geringfügig	S: keine oder geringfügig	S: keine, evtl. Epilation	S: keine, evtl. Epilation	S: keine, evtl. Epilation	S: Erholung	S: chron. Organveränderungen
	L: keine Lymphozytopenie	L: keine Lymphozytopenie, evtl. Granulozytose	L: Blutbild normal, evtl. leichte Granulozytopenie	L: stabiles Blutbild mit vorübergehender Granulozytenerholung	L: stabiles Blutbild, leichte Granulozytopenie und Thrombozytopenie	L: stabiles Blutbild	L: stabiles Blutbild	L: ---
Alle betroffenen Personen	T: keine	T: keine	T: keine	T: keine	T: keine	T: keine	T: keine	T: symptomatisch (6)
	B: ja	B: ja	B: ja	B: ja	B: ja	B: ja	B: ambulant	B: regelmäßig, ambulant, lebenslang
	S: erheblich bis schwer (Schock)	S: erheblich bis schwer (Schock)	S: erheblich bis schwer, Durchfälle, Ulzerationen von Haut und Mundschleimhaut	S: erheblich, bakt. Infekt, Blutungen, Ulzerationen von Haut und Mundschleimhaut	S: erheblich, Infekte, Blutungen, Durchfälle, Ulzerationen von Haut und Mundschleimhaut	S: evtl. Übelkeit, Durchfall, Infekte, Blutungen, Ulzerationen von Haut und Mundschleimhaut		
	L: Lymphozytopenie (< 500/µl)	L: Lymphozytopenie(< 500/µl)	L: Lymphozytopenie (< 200/µl), Granulozytopenie (< 200/µl)	L: Granulozytopenie (< 1.000/µl), Lymphozytopenie, Thrombozytopenie	L: Granulozytopenie (< 500/µl), Lymphozytopenie, Thrombozytopenie (< 50.000/µl)	L: Granulozytopenie (< 500/µl), Lymphozytopenie, Thrombozytopenie (< 50.000/µl)		
klinisch zu behandelnde Personen	T: stationär (1), (2), (3)?, (4)?	T: stationär (1), (2), (3)?, (4)?	T: stationär (1), (2), (3), (4) u. (5)	T: stationär (1), (2), (3), (4)	T: stationär (1), (2), (3), (4))	T: stationär (1), (2), (3), (4)		
	B: Intensivpflege	B: Intensivpflege	B: Intensivpflege	B: umgekehrte Isolation	B: umgekehrte Isolation	B: umgekehrte Isolation		

S: Objektivierbare Allgemein-Symptomatik oder Beschwerden (Übelkeit → Erbrechen → Durchfall → Schock)

L: Laboratoriumsdiagnostik, insbesondere Blutbilduntersuchungen mit Angabe der absoluten Zahlen pro µl Blut (Granulozyten, Lymphozyten, Thrombozyten)

T: Therapeutische Maßnahmen: (1) Elektrolytsubstitution wie bei „Verbrennung" der inneren Schleimhäute; (2) Therapie mit antibiotischer totaler oder selektiver Dekontamination und Sterilbett-Behandlung; (3) Therapie mit Zytokinen zur Stimulation der Hämatopoese und der Haut-/Schleimhautregeneration; (4) Transfusionstherapie „nach Maß" (Substitution der Thrombozyten, Erythrozyten und ggf. der Granulozyten); (5) Stammzellentransfusion (aus Knochenmark oder Blut) von kompatiblem Spender und ggf. Konditionierung wie bei aplastischer Anämie; (6) ggf. organspezifische Therapie (Haut, Lunge)

B: Weitere Beobachtung erforderlich (z. B. ambulant oder unter bestimmten Bedingungen)

Hier werden subjektive Symptome („S"), objektive Laborbefunde („L"), entsprechende Empfehlungen zur Therapie („T") und zur weiteren Beobachtung („B") bzw. für weitere Maßnahmen zusammengefasst.

5. Danksagung

Großer Dank gilt Herrn Prof. Dr. Dr. h.c. Theodor M. Fliedner, durch dessen unermüdlichen Einsatz für das Verständnis des hämatopoetischen Syndroms und seinen vielfältigen Aktivitäten in der Vermittlung der Kenntnisse um die akute Strahlenkrankheit die Autoren erst in die Lage versetzt wurden, sich fundiert dem Thema anzunähern.

6. Literaturverzeichnis

[1] Hall, E.J. (Hrsg.): Radiobiology for the Radiologist, 5th Edition. Lippincott Williams and Wilkins, Philadelphia, 2000

[2] Fliedner, T.M., Friesecke, I. and Beyrer, K. (Hrsg.): Medical Management of Radiation Accidents. Manual of the Acute Radiation Syndrome, British Institute of Radiology, 2001

[3] Friesecke, I., Beyrer, K. and Fliedner, T.M.: METREPOL team. Medical treatment protocols for radiation accident victims as a basis for a computerised guidance system. How to cope with radiation accidents: the medical management. Br J Radiol, 74: 121-122, 2001.

[4] Fliedner, T.M., Graessle, D., Meineke and V., Dörr, H.: Pathophysiological principles underlying the blood cell concentration responses used to assess the severity of effect after accidental whole-body radiation exposure: an essential basis for an evidence-based clinical triage. Exp Hematol, 35: 8-11, 2007.

[5] Gorin, N.C., Fliedner, T.M., Gourmelon, P., Ganser, A., Meineke, V., Sirohi, B., Powles, R., and Apperley, J.: Consensus conference on European preparedness for haematological and other medical management of mass radiation accidents. Ann Hematol. 85: 671-679, 2006.

[6] Dainiak, N., Waselenko, J.K., Armitage, J.O., MacVittie, T.J. and Farese, A.M.: The hematologist and radiation casualties. Hematology Am Soc Hematol Educ Program. 473-96, 2003.

[7] Ganser, A.: Die hämatopoetische Form in Der Strahlenunfall. Veröffentlichungen der Strahlenschutzkommission Band 32. Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit (Hrsg.), 66-79, 2007

[8] Waselenko, J.K., MacVittie, T.J., Blakely, W.F., Pesik, N., Wiley, A.L., Dickerson, W.E., Tsu, H., Confer, D.L., Coleman, C.N., Seed, T., Lowry, P., Armitage, J.O. and Dainiak, N.: Medical management of the acute radiation syndrome: recommendations of the Strategic National Stockpile Radiation Working Group. Ann Intern Med. 140:1037-1051, 2004.

[9] Weisdorf, D., Apperley, J., Courmelon, P., Gorin, N.C., Wingard, J. and Chao, N.: Radiation Emergencies: Evaluation, Management and Transplantation. Biology of Blood and Marrow Transplantation. 13:103-106, 2007

DAS STRAHLENINDUZIERTE MULTIORGANVERSAGEN

V. Meineke[1], H.D. Dörr[1], T.M.Fliedner[2]

[1] Institut für Radiobiologie der Bundeswehr in Verbindung mit der Universität Ulm. Liaison-Institut der WHO im Bereich Strahlenunfallmanagement, München, Deutschland
[2] Arbeitsgruppe Strahlenmedizinische Forschung und Liaison-Institut der WHO im Bereich Strahlenunfallmanagement, Medizinische Fakultät der Universität Ulm, Deutschland

ABSTRACT

Die pathophysiologische Reaktion und klinische Antwort nach akzidenteller Strahlenexposition bestimmt entscheidend die Prognose von Strahlenunfallpatienten. Bis vor kurzem war es üblich, das Ausmaß einer strahleninduzierten Schädigung anhand der Abschätzung des Schadensniveaus einzelner Organe zu bestimmen. Als wegweisend wurde in diesem Konzept das hämatopoetische System betrachtet. Zwar ist schon lange bekannt, dass auch andere Organe oder Organsysteme, wie das neurovaskuläre, gastrointestinale oder kutane System in ihrer Funktion entscheidend durch ionisierende Strahlung beeinflusst werden können. Nicht berücksichtigt wurde jedoch bisher, dass gerade das Zusammenspiel der verschiedenen Organschädigungen den klinischen Verlauf entscheidend beeinflussen kann.

Es gibt eine Reihe von klinischen Fallbeispielen aus dem medizinischen Strahlenunfallmanagement, welche eindeutig zeigen, dass nicht nur einzelne, geschädigte Organe unabhängig von anderen Organsystemen Verlauf und Prognose von Strahlenunfallpatienten wegweisend bestimmen können. Es zeigt sich aber auch vielmehr, dass die Organinteraktion nach Strahlenschaden individuelle Strahlenschäden potenzieren kann, so dass die Multioraninteraktion bis hin zum strahleninduzierten Multiorganversagen der entscheidende pathophysiologische, diagnostische und therapeutische Parameter eines Strahlenschadens sein muss. Aus diesem Grund ist es sinnvoll, die individuelle Schädigungshöhe auf Organebene mit Hilfe sogenannter Response Categories zu betrachten *(Manual on the Acute Radiation Syndrome, British Institute of Radiology 2001)* und das resultierende Ergebnis in der Gesamtschau zu werten.. Das hieraus resultierende pathophysiologische Konzept ist das des „Strahleninduzierten Multiorganversagens“ *(BJR Suppl 27, 2005).* Eine konsequente Anwendung dieses Konzepts in der Praxis der medizinischen Versorgung von Strahlenunfallpatienten bedeutet zugleich logistische und infrastrukturelle Voraussetzungen. Es genügt nun nicht mehr, die Strahlenunfallpatienten in die Hand eines Spezialisten oder einer Spezialistendisziplin zu geben. Im Gegenteil ist nun die frühzeitige interdisziplinäre Versorgung durch z.B. Intensivmediziner, Internisten, Dermatologen, Nuklearmediziner und Gastroenterologen Bedingung um diesem geänderten pathophysiologischen Konzept gerecht zu werden und den Strahlenunfallpatienten in bestmöglicher Weise zu behandeln. In gleicher Weise muss das Konzept der strahleninduzierten Multiorganinteraktionen bis hin zum Multiorganversagen die Grundlage neuer Forschungsanstrengungen auf diesem Gebiet sein.

DIE MUKO-KUTANE FORM DES AKUTEN STRAHLENSYNDROMS

THE MUCO-CUTANEOUS FORM OF THE ACUTE RADIATION SYNDROME

W. Dörr[1], V. Meineke[2]

[1]Strahlenbiologisches Labor, Medizinische Fakultät Carl Gustav Carus, TU Dresden, Deutschland
[2]Institut für Radiobiologie der Bundeswehr in Verbindung mit der Universität Ulm, München, Deutschland

Zusammenfassung

Radiogene Veränderungen an der Haut und den kutanen Schleimhäuten (v. a. Mundschleimhaut) stellen eine wichtige Komponente des akuten Strahlensyndroms dar. Sie beruhen auf einer komplexen Antwort aller Gewebskomponenten (Epithel, Gefäßsystem, Bindegewebe, Makrophagen) auf die Strahlenexposition; sie schließen an der Haut die Strahleneffekte an den Adnexen (Drüsen, Haarfollikel) ein. Frühe klinische Reaktionen sind in Abhängigkeit von der Expositionsdosis unterschiedlich ausgeprägt (z. B. Erythem, Ödem, Epitheliolyse, Blasenbildung). Ihnen folgen in der Regel nach Monaten bis Jahren chronische Veränderungen (Atrophie, Ulzera). Behandlung und Prognose orientieren sich an der klinischen Symptomatik. In schweren Fällen muss die Therapie in einer entsprechend ausgestatteten Spezialklinik stattfinden. Die Wundheilung im bestrahlten Gebiet ist zu frühen Zeitpunkten eher komplikationslos, bei chronischen Veränderungen häufig deutlich kompromittiert, was bei operativen Eingriffen zu beachten ist.

Summary

Radiation-induced changes in skin and cutaneous mucosae (particularly oral cavity) represent an important component of the acute radiation syndrome. The clinical effects are based on an orchestrated response of all tissue components (epithelium vascular system, soft tissue, macrophages) to the radiation exposure. The severity of early symptoms (erythema, oedema, epitheliolysis, blister formation) is related to the exposure dose. Usually, chronic changes (atrophy, ulceration) develop after latent times of months to years. Management and prognosis are dependent on the clinical symptoms. In severe cases, treatment must be performed in specialised, particularly equipped institutions. Wound healing in the irradiated area at short post-exposure intervals can be normal, but is usually significantly compromised at later time points, which must be considered for surgical procedures.

Schlüsselwörter: *Akutes Strahlensyndrom, Haut, Mundschleimhaut*
Keywords: *acute radiation syndrome, skin, oral mucosa*

1. Einleitung

Die kutane Form des akuten Strahlensyndroms (acute radiation syndrome, ARS) beinhaltet alle pathologischen Reaktionen nicht nur der Epidermis, sondern der gesamten Haut und ihrer Anhangsgebilde, auf eine Exposition mit einer signifikanten Dosis (s. u.) ionisierender Strahlung. Die Mundschleimhaut und andere kutane Schleimhäute (z. B. Anus) in Verbindung mit dem assoziierten Gefäß-Bindegewebe sind in Bezug auf die Pathophysiologie der Strahlenreaktion eher der Haut als den Schleimhäuten im unteren Magen-Darmtrakt vergleichbar. Sie werden deshalb mit der Hautreaktion als muko-kutane Form des ARS zusammengefasst [1].
Die lokale Dosis ist bei Ganzkörper- oder größerflächiger Teilkörperexposition - neben der individuellen Strahlenempfindlichkeit - derjenige Faktor, der den Schweregrad der klinischen Veränderungen bestimmt. Bei kleinflächigen Strahleneinwirkungen tritt noch die unterschiedliche Empfindlichkeit verschiedener Haut- und Schleimhautareale hinzu. Während besonders Hautfalten (zusätzliche mechanische und chemische Reizung) und die Haut am Hals und in den Beugezonen der Gelenke besonders empfindlich sind, ist die Haut an Kopf, Nacken, Gesicht, Handflächen und Fußsohlen relativ unempfindlich [2].
Anzumerken ist, dass beispielsweise bei einer Kontamination mit Betastrahlern, hohe lokale Dosen entstehen können, ohne dass systemische (gastrointestinale, hämatopoetische) Veränderungen klinisch manifest werden müssen. Diese Fälle stellen jedoch die Ausnahme dar. In der großen Mehrzahl der Strahlenexpositionen wird die Haut-Schleimhautreaktion eingebettet sein in eine Vielzahl anderer Veränderungen (Multiorgangeschehen), die bei den Betrachtungen zu möglichen therapeutischen Optionen und der Abschätzung der Prognose eingeschlossen werden müssen [1,3]. Dennoch soll in diesem Beitrag die Reaktion von Haut und kutanen Schleimhäuten als muko-kutanes Syndrom isoliert angesprochen werden.
Zu bedenken ist, dass radiogene Hautreaktionen möglicherweise durch Interaktion mit den Folgen thermischer oder mechanischer Einwirkungen zusätzlich verändert werden können. Auf derart komplexe Erscheinungsbilder soll an dieser Stelle nicht eingegangen werden. Jedoch wird die Problematik der Wundheilung nach Strahlenexposition kurz diskutiert (siehe 5.).

2. Pathogenese

Strahleneffekte in der Haut und in kutanen Schleimhäuten stellen eine komplexe Reaktion aller Komponenten des Gewebes, d. h. Oberflächenepithel, Haarfollikel, Gefäßnetz, Drüsen, Melanozyten und Bindegewebszellen, dar [4-9].
Bereits unmittelbar nach der Strahlenexposition sind in den Epithelien und dem darunter liegenden Gefäßbindegewebe auf molekularer Ebene Veränderungen nachzuweisen [5,10,11]. Dazu zählt die erhöhte Konzentration an reaktiven Sauerstoffspezies (oxidativer Stress), die von verschiedenen Zellpopulationen, v. a. von Makrophagen, gebildet werden. Über weitestgehend noch ungeklärte Signalwege kommt es zur Aktivierung von Oberflächenrezeptoren auf den Zellmembranen (z. B. Epidermal Growth Factor Receptor), sowie zur Stimulation von Transkriptionsfaktoren im Zellkern, die wiederum eine Fülle verschiedener Signalkaskaden anstoßen, aber auch zur Freisetzung von Wachstumsfaktoren, wie Tumor Growth Factor ß (Abb. 1). Letztendlich führen diese Prozesse zu einem komplexen Netzwerk von strahleninduzierten Veränderungen in der Signaltransduktion mit entsprechenden Auswirkungen auf die Proliferation, Differenzierung, aber auch den Zelltod (Apoptose) in den verschiedenen Zellpopulationen (Epithelzellen, Bindegewebszellen, Gefäßendothelzellen).

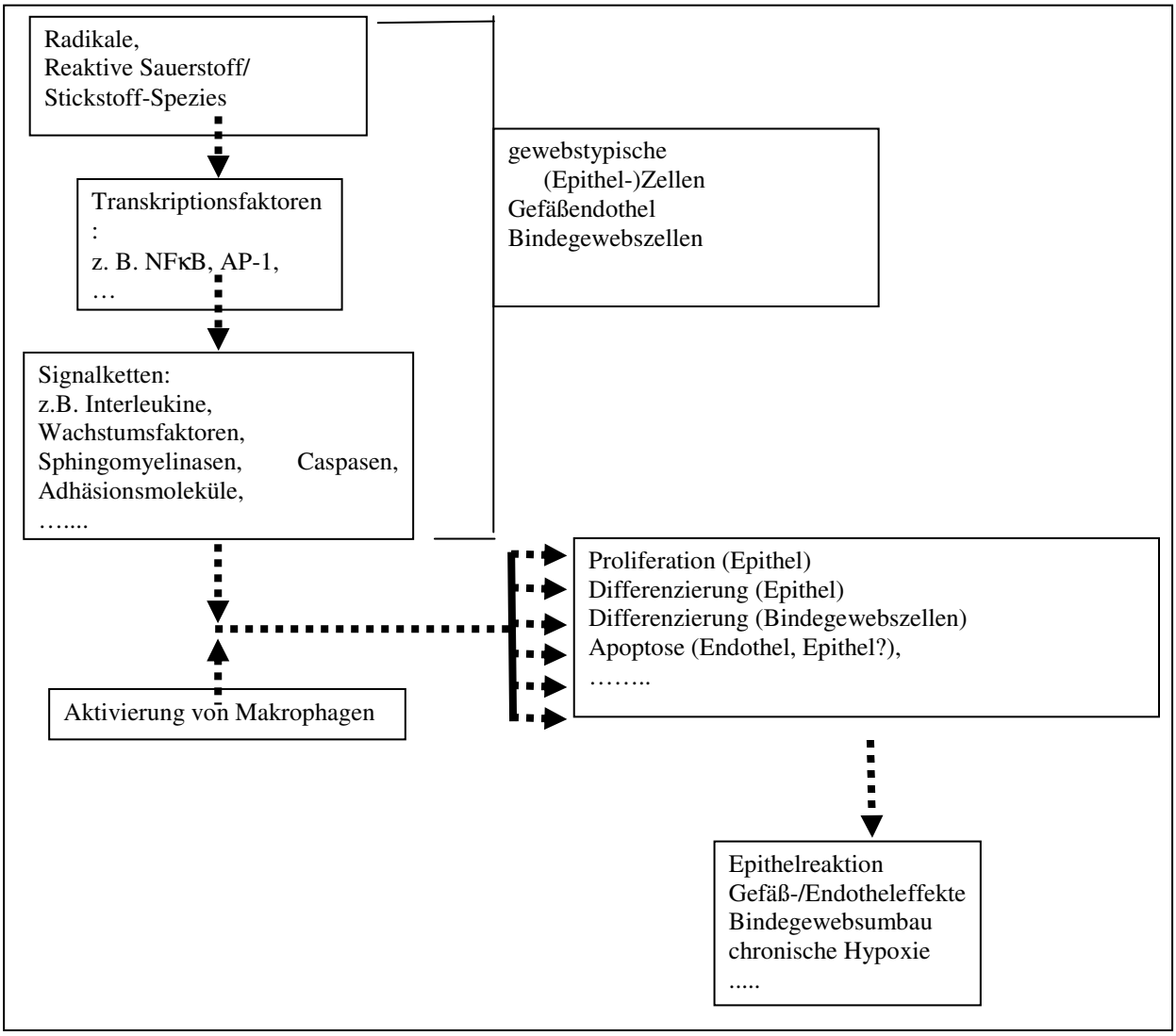


Abb. 1: "Molekulare" Pathologie der muko-kutanen Form des ARS

Strahlung induziert primär Radikale, die wiederum reaktive Sauerstoff und Stickstoff-Spezies generieren. Sekundär resultiert dies in der Aktivierung von Transkriptionsfaktoren, die wiederum verschiedenste Signaltransduktionsketten anstoßen. Die komplexe, interaktive Reaktion aller Gewebskomponenten, und zusätzlich die Beteiligung von Immunzellen wie etwa Makrophagen, bedingen die nachfolgenden Veränderungen sowohl auf dem zellulären wie auch dem geweblichen Niveau.

Die klinische Symptomatik in der Frühphase besteht im Wesentlichen aus drei Komponenten: der Gefäßreaktion, epithelialen Veränderungen und begleitenden Entzündungsprozessen. Inwiefern sich diese Komponenten gegenseitig beeinflussen ist unklar, Interaktionen sind jedoch anzunehmen.
Die Gefäßreaktion besteht in einer erhöhten Durchlässigkeit für Strukturen Blutserum und dessen Bestandteile. Bei niedrigen Dosen tritt dadurch ein Ödem auf, bei hohen Dosen mit massivem Flüssigkeitsaustritt kann es zur Bildung von Blasen kommen. Die Einwanderung und Aktivierung von Entzündungszellen begünstigt diesen Prozess. Im Epithel führt – in denjenigen Bereichen, die nicht von der Blasenbildung betroffen sind - die Strahlenexposition

zur Beeinträchtigung der Zellneuproduktion. Bei entsprechend hohen Dosen kommt diese vollständig zum Erliegen. Da die Differenzierungsvorgänge und der physiologische Zellverlust an der Oberfläche, welcher auf der mechanischen und, v. a. im Falle der Schleimhaut chemischen Beanspruchung beruht, jedoch nahezu unverändert weiter bestehen, kommt es zu einer progressiven Abnahme der Zellzahl (Hypoplasie) bis hin zum vollständigen Zellverlust (Ulzeration). Aufgrund dieses Mechanismus ist – außer bei sehr hohen Dosen – die Latenzzeit bis zur klinischen Manifestation der epithelialen Reaktion abhängig von den Umsatzzeiten (Zeit in der physiologisch alle Zellen einmal erneuert wurden) der Epithelien (Abb. 2), und weniger von der Strahlendosis.

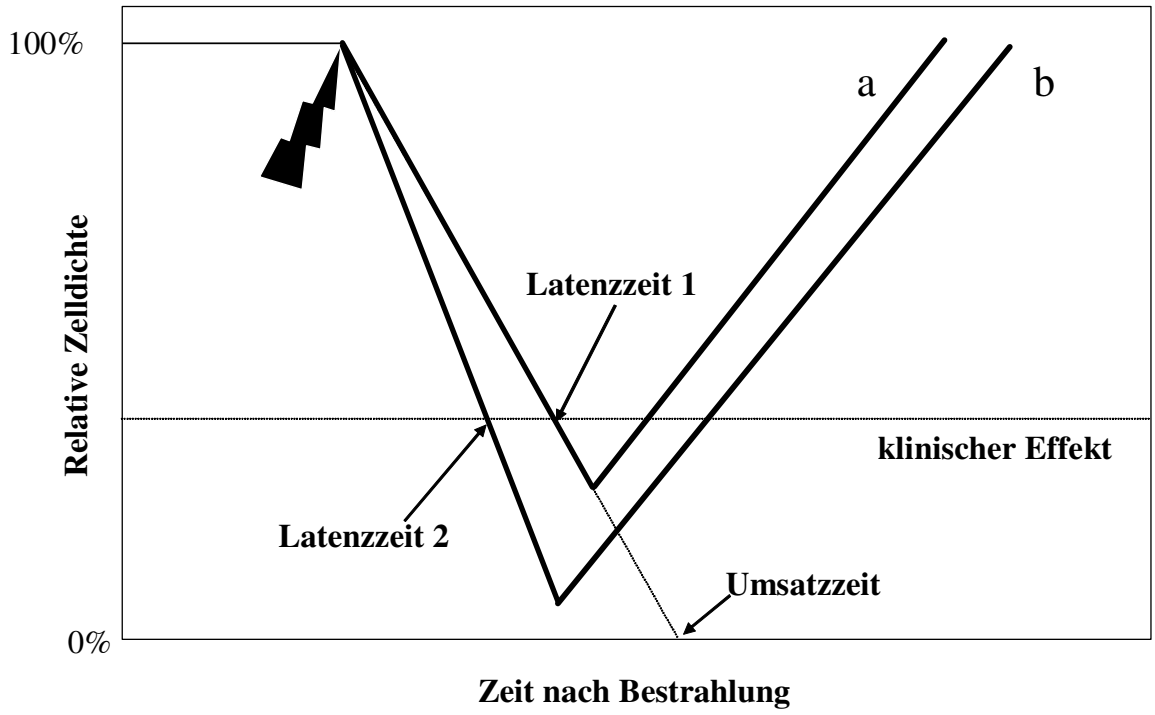


Abb. 2: Veränderungen der epithelialen Zellzahl

Die relative Zellzahl im Epithel ist für die Bestrahlung mit moderaten (durchgezogenen Linie) und sehr hohen Dosen (gestrichelte Linie) dargestellt. Ein klinischer Effekt im Epithel wird manifest, sobald eine gewisse Schwelle der Zellzahl unterschritten wird. Die Rate, mit der Zellen bei moderaten Dosen (mit einer Unterbrechung der Zellneubildung) verloren gehen, ist abhängig von der Umsatzzeit, und unabhängig von der Dosis (Verlauf a). Erst bei hohen Dosen, die auch bereits vorhandene, differenzierte Zellen abtöten und damit den Zellverlust beschleunigen, wird die Latenzzeit verkürzt (Verlauf b).

3. Klinisches Bild

Strahleneffekte an Haut und Mundschleimhaut sind gut zu beurteilen, jedoch werden Schleimhauteffekte im Vergleich zu Hautveränderungen deutlich seltener ausführlich dokumentiert. Zur Diagnostik dienen Ultraschall (anfangs täglich, später wöchentlich) und Kernspintomographie, Thermographie, sowie Kapillarmikroskopie bis hin zur Hautbiopsie

mit histologischer Untersuchung. Die Erfassung von Haut-Schleimhautreaktionen kann durch eine Photodokumentation unterstützt werden [1,12].
Die akute Strahlenreaktion kann nach sehr hohen Expositionsdosen (lokal >100 Gy) bereits innerhalb von Stunden eintreten (Früh-/Primärerythem, Ödem, Blasen), bei niedrigeren Dosen kann der Verlauf deutlich protrahiert sein (Epithelreaktion: trockene, bzw. feuchte Epitheliolyse, Ulzerationen). Nach höheren Dosen können sich auf der Basis der dargestellten Veränderungen tiefe Nekrosen entwickeln, die üblicherweise in einen chronisch-ulzerierenden Verlauf übergehen.
Anzumerken ist, dass Haut und Schleimhäute auch nach der kompletten klinischen Heilung der Frühreaktionen chronische Veränderungen entwickeln können. Dazu zählen die Fibrose auf Grund der Bindegewebsreaktion, und die Abnahme der Anzahl der Kapillaren und eine chaotische Umstrukturierung des Gefäßnetzes, teilweise mit pathologischer Erweiterung von Kapillaren (Teleangiektasien). Daraus wiederum resultiert eine Unterversorgung der nachgeschalteten Gebiete mit chronischer Hypoxie und sekundärer Atrophie, z. B. des Epithels. Dabei kann die Ausprägung der chronischen Veränderungen im Sinne von konsekutiven Späteffekten [13] durch Schweregrad und Dauer der akuten Symptomatik beeinflusst sein.
An der Haut sind auch Strahleneffekte an den Adnexen zu beachten [2,5,14]. Die Strahlensensibilität von Schweiß- und Talgdrüsen ist sehr hoch; die irreversible Schädigung führt zu einer Austrocknung der Haut und zum Verlust der Transpiration, und kann damit die epitheliale Reaktion verstärken. Strahleneffekte an den Haarfollikeln führen ab 3 Gy bis 5 Gy zur Epilation nach ca. 3 Wochen (kürzer bei höheren Dosen). Diese kann dosisabhängig reversibel oder irreversibel (ab ca. 10 Gy) sein, wobei nachwachsende Haare häufig Farbveränderungen zeigen (sowohl De- wie auch Hyperpigmentierung ist möglich).

Tab. 1: Klinische Erscheinungsformen des muko-kutanen Syndroms, nach [1].

Symptome/Merkmale	Zeitpunkt des Auftretens
Erythem/Enanthem	Stunden-Tage
Blasenbildung	Tage-Wochen
Schwellung/Ödem	Tage-Monate
Desquamation	Tage-Monate
Sensibilitätsverlust/Juckreiz	Stunden-Tage
Ulzeration/Nekrose	Tage-Monate
Haarverlust	Wochen
Nagelverlust/-wachstumsstörungen	Wochen-Monate
Hyper-/Depigmentierung	Monate
Atrophie	Monate
Vermehrte Hornbildung	Monate
Fibrose	Monate - Jahre
Teleangiektasien	Monate – Jahre

4. Therapie und Prognose

Im Hinblick auf Therapie (T) und Prognose (P) der Hautreaktion, analog auch der Schleimhautreaktionen, kann die initiale klinische Symptomatik (S) entsprechend der üblichen Graduierungssysteme als Orientierungshilfe dienen [1]:

- Hautreaktion Grad 1
  S: Früherythem temporär, Sekundärerythem nach ca. 5 Tagen, symptomfreies Intervall mindestens 20 Tage, dann Epilation und trockene Epitheliolyse (Radiodermatitis sicca);
  T: Ambulante Behandlung mit topischen Entzündungshemmern und systemischen Antihistaminika.
  P: Abheilung mit zarter Haut, Pigmentstörung gering.

- Hautreaktion Grad 2
  S: Fleckförmige Reaktionen in weniger als 10 % der Körperoberfläche.
  Früherythem deutlich, Sekundärerythem mit leichtem Ödem, ggf. Blasenbildung nach 5 - 10 Tagen; feuchte Epitheliolyse, Epilation;
  T: Ambulante Behandlung mit topischen Entzündungshemmern und Glukokortikoiden, Linolsäure-Creme und systemischen Antihistaminika, Infektionsprophylaxe möglichst nach Antibiogramm.
  P: Abheilung wie oben, Pigmentstörung stärker.

- Hautreaktion Grad 3
  S: Reaktionen fleckförmig bis konfluent in bis zu 40 % der Hautoberfläche. Blasenbildung ca. 5 Tage nach Exposition. Sekundärerythem ausgeprägt mit massivem Ödem und trockener bis feuchter Epitheliolyse, Ulzeration/Nekrose möglich.
  T: Behandlung stationär; Absaugen der Blasen, Debridement, topische Entzündungshemmer und essentielle Fettsäuren. Systemische Entzündungshemmer und Glukokortikoide, Analgesie, Infektionsprophylaxe.
  P: Veränderungen am Kapillarbett, Drüsenatrophie, Haarausfall, und Pigmentstörungen irreversibel. Übergang in den chronischen Verlauf (Radioderm).

- Hautreaktion Grad 4
  S: Reaktionen konfluent in mehr als 40 % der Hautoberfläche mit Beteiligung tieferliegender Strukturen, Früherythem ausgeprägt mit direktem Übergang in das Sekundärerythem, ausgeprägtes Ödem, Blasenbildung. Akute Nekrosen nach 10 - 14 Tagen.
  T: Stationäre Intensivpflege (Spezialkliniken) mit Absaugen der Blasen, Debridement, Infektionsprophylaxe, systemische Entzündungshemmer und Antihistaminika, Analgesie, ggf. Hauttransplantation oder Amputation.
  P: permanenter Haarverlust, Keratose, ausgeprägte Fibrose, Pigmentstörungen, Empfindlichkeit gegenüber sekundären Noxen.

In Bezug auf Prophylaxe und Behandlung der Haut- bzw. Schleimhautreaktionen sei auch auf die regelmäßig aktualisierten Leitlinien der Fachgesellschaften verwiesen (Deutsche Gesellschaft für Radioonkologie DEGRO: [15]; Arbeitskreis Supportive Maßnahmen in der Onkologie ASO: [14,16]).
Bei den leichteren Schweregraden mit Beeinträchtigung einer geringen Hautfläche ist eine ambulante Betreuung mit lokaler Applikation einer wässrigen entzündungshemmenden

Lotionen und – bei Juckreiz - von Antihistaminika ausreichend. Bei Vorliegen einer ausgeprägten oralen Mukositis und auch bei ausgedehnten Hautreaktionen ist eine effiziente Schmerzbehandlung nötig. Eine ausreichende Antibiose und Antimykose ist bei Sekundärinfektionen, meist durch opportunistische Keime, die in Folge der Barrierestörung begünstigt sind, angezeigt. Für die Prophylaxe bzw. Behandlung der Strahlenreaktion der Epidermis und der kutanen Schleimhäute werden Wachstumsfaktoren (z. B. Keratinozyten-Wachstumsfaktor, KGF) erprobt [17]. KGF hat sich in präklinischen Untersuchungen als effizient zur Verringerung der oralen Mukositis nach Einzeitexposition erwiesen [18]. Dabei ist die Applikation nach der Exposition möglich, muss jedoch mehrfach und innerhalb eines Zeitfensters von wenigen Tagen durchgeführt werden (Abb. 3); einzelne Injektionen sind wirkungslos [18]. KGF ist bei der Behandlung der oralen Mukositis im Rahmen der konditionierenden Behandlung (Ganzkörperbestrahlung und Hochdosis-Chemotherapie) vor Stammzelltransplantationen im klinischen Einsatz.

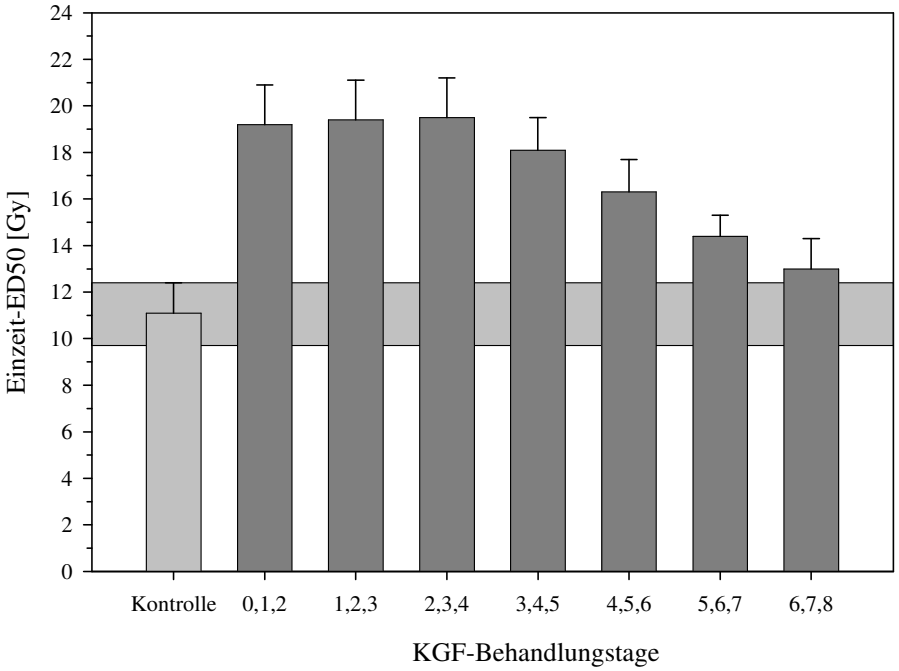


Abb. 3: Wirkung einer KGF-Applikation nach Strahlenexposition im Tiermodell

Die Abbildung zeigt die ED50 (Dosis, bei der bei 50% der exponierten Mäuse eine Ulzeration der Mundschleimhaut auftritt) für die alleinige lokale Strahlenexposition der Zungenschleimhaut, sowie für die Kombination mit einer dreimaligen Gabe von Keratinozyten-Wachstumsfaktor (KGF) an den angegebenen Tagen. KGF führt zu einer signifikanten Erhöhung der ED50-Werte, entsprechend einer Reduktion der Schleimhautreaktionen. Dieser Effekt verliert sich jedoch nach einigen Tagen. (Daten: Rajewski und Dörr, unveröffentlicht).

Zur Behandlung schwerer Formen (Grad 3-4) der frühen Strahlenreaktionen der Haut muss die Aufnahme in eine spezialisierte Klinik erfolgen, die neben einer leistungsfähigen dermatologischen Abteilung eine hämatologische Abteilung besitzt (z.B. Fachklinik Hornheide im Verbund der Regionalen Strahlenschutzzentren der Berufsgenossenschaften). Unter intensivmedizinischen Bedingungen werden Blasen punktiert und Nekrosen abgetragen.

5. Wundheilung nach Strahlenexposition

Die Wundheilung im bestrahlten Gebiet stellt eine besondere Problematik dar. Die kurz nach der Strahlenexposition vorliegende Situation im Gefäß-Bindegewebe, mit Gefäßweitstellung und intensiver Durchblutung des exponierten Volumens kann einen operativen Eingriff komplizieren. Allerdings ist auf Grund der radiogenen Stimulation der Gewebsregeneration (Repopulierung; [19,20]) auch in diesen Fällen nicht mit einer wesentlichen Störung der Wundheilung zu rechnen. Umfangreiche Untersuchungen hierzu liegen allerdings nicht vor. In der onkologischen Routine legt man zwischen Ende der Strahlentherapie und Operation einen ca. 4-6wöchigen Erholungszeitraum, in dem die Strahlenreaktionen an Haut und subkutanem Hautgewebe abklingen, so dass der operative Eingriff ohne Schwierigkeiten und in der Regel ohne erhöhte Komplikationshäufigkeit im Vergleich zu unbestrahltem Gewebe erfolgen kann. Allerdings gilt diese Regel im Falle der Mundschleimhaut nur bedingt, da chirurgische Narben in der Mundhöhle durch die Belastung mit Bakterien bei präoperativ bestrahlten Patienten mit einer höheren Rate von Wund-Dehiszenzen und Fisteln einhergehen [5].
Während also im relativ nahem Abstand zur Strahlentherapie die Wundheilung nicht wesentlich beeinträchtigt wird, wenngleich die Chirurgie heute durch geeignete Nahttechniken bei bestrahlten Patienten mit besonderer Sorgfalt die Voraussetzungen für eine ungehinderte Wundheilung schafft, ist die Situation Monate oder Jahre nach einer Strahlentherapie komplett verändert. Sofern eine chronische Strahlenreaktion von Haut und Bindegewebe mit entsprechenden Gefäßreaktionen vorliegt, ist eine Operation nur mit erhöhtem Risiko einer Wundheilungsstörung möglich. Untersuchungen (Strahlentherapie) aus neuerer Zeit zeigen darüber hinaus, dass unsachgemäß durchgeführte chirurgische Eingriffe chronische Strahlenreaktionen an Haut- und Bindegewebe sogar verstärken bzw. auslösen können. Insbesondere die Behandlung von Fisteln im chronisch atrophischen Bindegewebe nach Strahlenexposition stellt eine Herausforderung an den Chirurgen dar und führt trotzdem oft zu schlechten unbefriedigenden Heilungsergebnissen.

6. Literaturverzeichnis

[1] Strahlenschutzkommission: Der Strahlenunfall. Ein Leitfaden für Erstmaßnahmen, 2. überarbeitete Aufl. Veröffentlichungen der Strahlenschutzkommission Band 32. Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit (Hrsg.). H. Hoffmann, Berlin 2007

[2] Dörr, W.; Skin and other reactions to radiotherapy - Clinical presentation and radiobiology of skin reactions. Frontiers Radiat. Ther. Oncol. 39, 96-101, 2006

[3] Meineke, V., Fliedner, T. M.; Radiation-induced multi-organ involvement and failure: challenges for radiation accident medical management and future research. Brit. J. Radiol. 27, Suppl., 196-200, 2005

[4] Dörr, W., Herrmann, Th.; Akute Strahlenveränderungen der Gewebe. In: Bamberg, M., Molls, M., Sack, H. (eds): Radioonkologie. Band 1: Grundlagen. W. Zuckschwerdt Verlag GmbH, Germering/München, pp. 244-250, 2003

[5] Dörr, W., Herrmann, Th., Riesenbeck, D.; Prävention und Therapie von Nebenwirkungen in der Strahlentherapie. UNI-MED Science, Bremen, 2005

[6] Fajardo, L. F. L. G., Berthrong, M., Armstrong, R. E.; Radiation Pathology. Oxford University Press, New York, 2001

[7] Meineke, V.; The role of damage to the cutaneous system in radiation-induced multi-organ failure. Brit. J. Radiol. 27, Suppl., 85-99, 2005

[8] Trott, K. R., Kummermehr, J.; Radiation effects in skin. In: Scherer, E., Streffer, C., Trott, K.R. (Hrsg.): Radiopathology of organs and tissues. Springer, Berlin-Heidelberg, pp. 33-66, 1991

[9] Trott, K.-R., Herrmann, Th., Dörr, W.; Strahlenwirkungen auf Normalgewebe. Urban & Vogel, München, 2002

[10] Dörr, W., Groetz, K. A., Hartmann, J. T., Riesenbeck, D.; Orale Mukositis: Experimentelle und klinische Ansätze zur Prävention und Behandlung. Onkologe, 13, 150-157, 2007

[11] Müller, K., Köhn, F. M., Port, M., Abend, M., Molls, M., Ring, J., Meineke, V.; Intercellular adhesion molecule-1: a consistent inflammatory marker of the cutaneous radiation reaction both in vitro and in vivo. Brit. J. Dermatol. 155, 670-679, 2006

[12] Riesenbeck, D., Dörr, W.; Documentation of radiation-induced oral mucositis: Scoring systems. Strahlenther. Onkol. 174, Suppl. III, 44-46, 1998

[13] Dörr, W., Hendry, J. H.; Consequential late effects in normal tissues. Radiother. Oncol. 61, 223-231, 2001

[14] Hartmann, J. T., Ugurel, S., Ulrich, J., Dörr, W. Hauttoxizität. Leitlinie des Arbeitskreis Supportive Maßnahmen in der Onkologie, September 2007. http://www.onkosupport.de/aso/content/e974/e1109/e1704/071123_ASOLeitlinie_Haut.pdf. 28.11.2007

[15] Feyer, P., Bruns, F., Budischewski, K., Dörr, W., Feyerabend, T., Hänsgen, G., Heide, J., Höller, U., Rahn, A., Riesenbeck, D., Wenz, F., Wilkowski, R., Zimmermann, F.; Leitlinie in der Radioonkologie : Supportive Maßnahmen. http://www.uni-duesseldorf.de/awmf/ll-na/052-014.htm. http://www.degro.org/dav/html/download/pdf/LeitlinieSupportiveMaßnahmen.pdf. 2006

[16] Hartmann, J. T., Dörr, W., Steingräber, M., Grötz, K. A.; Schleimhauttoxizität. Leitlinie des Arbeitskreis Supportive Maßnahmen in der Onkologie, September 2007a. http://www.onkosupport.de/aso/content/e974/e1109/e1705/071123_ASOLeitlinie_Schleimhaut.pdf. 28.11.2007

[17] Dörr, W.; Oral mucosa: Response modification by keratinocyte growth factor. In: Nieder, C., Milas, L., Ang, K. K. (Hrsg.), Biological Modification of Radiation Response. Springer-Verlag, Berlin-Heidelberg-New York, pp. 113-122, 2003

[18] Kiliç, Y., Rajewski, K., Dörr, W.; Effect of post-exposure administration of Keratinocyte Growth Factor (Palifermin) on radiation effects in oral mucosa in mice. Radiat. Environ. Biophys. 46, 13-19, 2007

[19] Dörr, W.; Three A's of repopulation during fractionated irradiation in squamous epithelia: Asymmetry loss, Acceleration of stem-cell divisions and Abortive divisions. Int. J. Radiat. Biol. 72, 635-643, 1997

[20] Dörr, W.; Modulation of repopulation processes in oral mucosa: experimental results. Int. J. Radiat. Biol. 79, 531-537, 2003

UNFALLBEDINGTE INKORPORATION – SZENARIEN UND VORGEHEN ZUR DIAGNOSTIK UND BEHANDLUNG

ACCIDENTAL INTERNAL CONTAMINATION – SCENARIOS, DIAGNOSTICAL AND THERAPEUTICAL APPROACH

V. List

Medizinische Abteilung, Forschungszentrum Karlsruhe, Deutschland

Zusammenfassung

Bei beruflichem Umgang mit offenen radioaktiven Stoffen kann es zur Kontamination des Arbeitsplatzes und der beruflich strahlenexponierten Personen kommen. Eine Inkorporation ist über die gesunde Haut, Wunden, den Magen-Darmtrakt und die Atemwege möglich. Im medizinischen Bereich sind abgesehen von der Strahlentherapie mit Radiojod, Grenzwert überschreitende Inkorporationen für das beruflich strahlenexponierte Personal wenig wahrscheinlich. Auf Grund der Eigenschaften der Radionuklide ist eher im Bereich der Kerntechnik und in Forschungslabors damit zu rechnen. Im Rahmen der Gefährdungsbeurteilung und Organisation der Ersten Hilfe sind Absprachen zur Übergabe von Personen und für den internen wie externen Transport zu treffen. Im Ernstfall ergeben sich wichtige Hinweise aus Ergebnissen der regelmäßigen Inkorporationsüberwachung sowie Kontaminationsmessungen am Arbeitsplatz. Zum Verständnis der erforderlichen diagnostischen und therapeutischen Maßnahmen sind Kenntnisse der Biokinetik vonnöten. Auf der Basis bekannter Stoffwechseldaten der Nuklide hat die ICRP verschiedene Modelle zur Abschätzung der zugeführten Aktivität und darauf basierend zur Berechnung der Folge-Äquivalentdosen eingeführt. Kurz wird auf die Feststellung und Beseitigung von Haut- und Wundkontamination eingegangen. Für die Dekorporationstherapie ist zunächst eine Entscheidung über Notwendigkeit und Nutzen zu treffen. Erfordernisschwellen helfen dabei. Schließlich werden die Wirkprinzipien und die einzelnen therapeutischen Maßnahmen, ausgehend von in Frage kommenden Nukliden oder Medikamenten aufgelistet, und die wenigen in Frage kommenden Maßnahmen im Sinne einer Frühbehandlung benannt.

Summary

In occupational exposure to overt radioactive substances contamination of the working environment and of workers is possible. Internal contamination can be the consequence of external contamination of the healthy skin, dermal trauma, the gastrointestinal and the respiratory tract. In medical domains with exception of radiotherapy with I-131 an excess of limit-values is unlikely. It is more likely in nuclear technology and research- laboratories. During risk assessment and planning of first-aid arrangements written agreements should be met according to transfer and internal as well as external transportation of contaminated persons. In case of emergency important details arise from results of regular surveillance for internal contamination of workers and measurements for contamination in the working place Knowledge of the metabolism of radionuclides is essential for the understanding of diagnostical and therapeutical procedures. ICRP has introduced different models to calculate or estimate the committed effective and organ doses on the basis of metabolic data. A short paragraph is addressed to the problem of measuring and decontaminating skin- and wound-contamination. For starting decorporation treatment a risk-benefit-analysis has to be concluded. Action-levels can help in this decision-making process.

You will find active principles and listed treatment procedures based on radionuclides or drugs to be considered. The article is concluded with the few relevant urgent and/ or early decorporation treatment procedures.

Schlüsselwörter *Inkorporation radioaktiver Nuklide, Vorsorgemaßnahmen, Biokinetik, diagnostische in vivo und in vitro-Methoden, Entscheidungsschwellen, Dekorporationstherapie*

Keywords *Internal contamination, prevention- measures in place, metabolism of radionuclides, diagnostic in vivo- and in vitro- methods, decision- levels, decorporation treatment*

1. Einleitung

Bei Umgang mit offenen radioaktiven Stoffen oder bei unvorhergesehener Freisetzung, etwa Schädigung einer geschlossenen Strahlenquelle im Rahmen der Entsorgung, kann es zur Kontamination der Umgebung bezüglich Oberflächen und Raumluft, ebenso zur Kontamination der Körperoberfläche anwesender Personen kommen. Die Kontamination der Haut kann abhängig von der Strahlenart und Aktivitätshöhe eine Gefährdung der Basalzellschicht der Haut selbst darstellen, gibt aber, abhängig von der chemischen Beschaffenheit der Nuklide zusätzlich die Möglichkeit, über die gesunde Haut oder vorhandene offene Wunden in den Körper aufgenommen zu werden. Dies kann auch durch Verschleppung über Mund und Magen-Darmtrakt per Ingestion sowie über die Atemwege per Inhalation erfolgen [1].

2. Gefährdungsbeurteilung

Wie bereits im Übersichtsartikel zu Strahlenunfällen am Arbeitsplatz erläutert, gibt es im Vorfeld möglicher Strahlenunfälle gesetzliche Regelungen und Verantwortlichkeiten, die im Rahmen der Gefährdungsbeurteilung mögliche Risiken, dagegen gerichtete Maßnahmen sowie Maßnahmen bei Unfällen im Sinne der Ersten Hilfe festlegen lassen. Im Rahmen der Organisation der Erste-Hilfe-Maßnahmen ist deshalb auch eine Absprache zwischen ermächtigtem Arzt und Strahlenschutzverantwortlichem bezüglich Einrichtungen zur Personendekontamination, inner- und außerbetrieblichem Transport von kontaminierten Patienten, Klärung der Zuständigkeit für Bergungsmaßnahmen und Übergabe von kontaminierten Personen an Rettungskräfte an der Grenze des Gefährdungsbereichs erforderlich.

Zur Gefährdungsbeurteilung gehört insbesondere die Klärung, ob eine regelmäßige **Inkorporationsüberwachung** oder bei welchen Anlässen eine besondere Inkorporationsüberwachung bei Umgang mit den gegebenen radioaktiven Nukliden zu gewährleisten ist. Dies ist grundsätzlich im Sinne der regelmäßigen Inkorporationsüberwachung der Fall, wenn die zugeführte Aktivität zu einer Dosis > 1 mSv pro Kalenderjahr führen kann. Im Sinne einer individuellen Beurteilung werden zusätzliche Maßnahmen erforderlich, wenn eine Effektivdosis von 6 mSv als Nachforschungsschwelle überschritten wird [2].

Das Risiko von Dosisgrenzwertüberschreitungen ist zunächst von den Eigenschaften der Radionuklide abhängig:
Im Vordergrund stehen Isotope mit hoher Resorptionsfähigkeit über Haut oder Magen-Darmtrakt (80 bis 100 %), etwa Jod- oder Cäsium-Isotope langer, insbesondere biologischer

Halbwertszeit mit der Tendenz langfristig in Organen wie Skelett oder Leber zurückgehalten zu werden z. B. die Erd-Alkalimetalle Strontium-90, Radiumisotope oder Transurane wie Plutonium-Isotope.
Auf Grund der Anforderungen an Radionuklide in der Nuklearmedizin, sind hier Expositionen mit Grenzwertüberschreitung bei den beruflich strahlenexponierten Personen sehr unwahrscheinlich. Im medizinischen Bereich kommt lediglich die Strahlentherapie mit Radionukliden und in erster Linie Iod-131 in Betracht. Die genannten langlebigen Isotope sind in erster Linie im Bereich des Kernbrennstoffkreislaufs und in Forschungslabors anzutreffen.

3. Biokinetik

Zur Beurteilung der diagnostischen und therapeutischen Erfordernisse bei möglicher Inkorporation, sind Kenntnisse der Biokinetik im Sinne von Zufuhrpfaden und Metabolismus vorauszusetzen:
Die Internationale Strahlenschutzorganisation hat Modelle erarbeitet, die unter Anwendung der bekannten biokinetischen Fakten und der Strahlenart aus der Zufuhraktivität in Becquerel [Bq] die effektive oder Organ-Folgedosis in Sievert [Sv] berechnen lassen. Aus dem **systemischen Inkorporationsmodell** [3] ergeben sich die Zufuhr über Hautkontamination, Wunde, Ingestion oder Inhalation, die Aufnahme in das Transferkompartiment Blut bzw. Extrazellulärflüssigkeit, Resorptionsfaktoren aus dem Magen-Darmtrakt, Verteilungskoeffizienten zwischen Extrazellulärflüssigkeit und Zielorganen, in denen die Nuklide mit unterschiedlicher Organspezifität deponiert werden. Schließlich sind im systemischen Inkorporationsmodell auch die Ausscheidungswege, in erster Linie Urin und Stuhl, dargestellt.

Zur Beurteilung der Unfallsituation ist der **Zufuhrmodus** bedeutsam:
So kann eine regelmäßige Zufuhr zu einer kontinuierlich ansteigenden Aufnahme führen, eine zeitlich begrenzte einmalige Zufuhr kann im Blut und in den Ausscheidungsflüssigkeiten zunächst zum Anstieg und zu einem durchaus verzögerten Abfall führen. Letzteres ist ebenfalls möglich bei anfänglicher Depotbildung nach Zufuhr entweder über die Lunge oder eine Wunde. Mehrere unzusammenhängende Einzelaufnahmen führen zu nicht interpretierbaren Konzentrationsänderungen der Nuklide in Blut und Ausscheidungsflüssigkeiten. Im **Inhalationsmodell der ICRP** von 1994 [4] hängt es zunächst von der Partikelgröße der inhalierten Aerosole oder Stäube ab, in welchem Bereich der Atemwege die Hauptablagerung erfolgt. Die Resorption über die Alveolen mit Aufnahme in die Extrazellulärflüssigkeit ist dabei für Partikel mit 1 µm Durchmesser im Vergleich zu gröberen Körnungen höher. Neben der Partikelgröße ist des Weiteren der Absorptionstyp im Sinne mehr oder weniger rascher Aufnahme in die Körperflüssigkeiten, abhängig von der physiko-chemischen Löslichkeit des Substrats, bedeutsam. Die einzelnen Nuklide bzw. chemischen Verbindungen werden in drei unterschiedliche Absorptionstypen F, M und S eingeteilt. Die gut transportablen leicht löslichen Verbindungen der Kategorie F werden dabei innerhalb von einem Tag weitgehend resorbiert, während die schlecht transportablen und löslichen Substrate der Kategorie S ggf. Jahre zur vollständigen Resorption benötigen.
Im **Magen-Darmtrakt-Modell** geht es in erster Linie um den Anteil der Resorption bei der Darmpassage, der von Promilleanteilen (Transurane) bis zu annähernd 100 % (Cäsium) reichen kann. Ein wichtiger biokinetischer Aspekt, der auch therapeutische Relevanz hat, ist die Beachtung des hepatointestinalen Kreislaufs, wodurch über die Gallenwege ausgeschiedene Toxine bzw. Nuklide im tieferen Darmtrakt wieder resorbiert und damit ins System zurückgebracht werden, was die biologische Halbwertszeit verlängert.

Für die **Biokinetik bei Wundkontamination** gab es bis vor kurzem noch kein allgemein gültiges Modell, derzeit wird ein von NCRP 2007 entwickeltes Modell von ICRP übernommen [5]. Bisher wird konservativ bei einer Wundkontamination davon ausgegangen, dass die eingebrachte Aktivität vollständig per Injektion ins Gefäßsystem übergeht mit entsprechenden Konsequenzen für die Folgedosen.

4. Entscheidungsfindung im Ernstfall

Aus den bekannten regelmäßigen Inkorporations-Überwachungsdaten und Kontaminationsmessungen am Arbeitsplatz sind relevante Nuklide und Größenordnung der ggf. zur Inkorporation zur Verfügung stehenden Aktivität bekannt. Im besonderen Fall werden zusätzliche Raumluftmessungen, örtliche Kontaminationskontrollen sowie bei Alphastrahlern Schnäuzproben der betroffenen Kandidaten zur Erfassung der ggf. vorhandenen Aktivität untersucht. In jedem Fall sind örtliches Fachpersonal und betroffene Personen im Sinne einer Zwischenfallanamnese zu befragen und die Antwort zu dokumentieren. An der betroffenen Person sind Kontaminationsmessungen der gesamten Körperoberfläche sowie ggf. bei Alphakontamination mit Wundsonden an den Wunden durchzuführen. Zur Feststellung der möglichen Inkorporation besteht der Goldstandard in der Methode der **Messung der Körper- bzw. Organaktivität** von außen am Patienten, was jedoch lediglich bei ausreichend Photonenstrahlung aussendenden Nukliden möglich ist. Vor dieser Untersuchung muss bei zunächst bestehender Hautkontamination eine ausführliche Dekontamination durch Hautwaschung, ggf. mehrfache Dusch- und Nachmessvorgänge durchgeführt werden, um keine Verwechslung zwischen äußerer Kontamination und innerer Organ-Inkorporation zu ermöglichen.
Bei Radionukliden mit fehlender oder im Sinne der Nachweisgrenze zu gering ausgesendeter Photonenstrahlung zur Feststellung an der Körperoberfläche, bleiben lediglich **Ausscheidungsanalysen** in Urin, Stuhl, Blut, Wundsekret und Gewebs-Exzidat sowie Nasen- und Rachenabstrichproben zur radiochemischen Analytik und anschließenden Aktivitätsbestimmung durch Alphaspektrometrie, Flüssig-Szintillationsmessung oder massenspektroskopische Methoden. Diese sind zum Teil sehr zeitaufwändig, für betroffene Personen und Laborpersonal bezüglich des Probenmaterials unangenehm und können zu größeren Sammel- und Dosisabschätzfehlern führen. Die erforderlichen Urin- und Stuhlsammelbehälter sind im Allgemeinen von den vom zuständigen Bundesland anerkannten Ausscheidungs-Messstellen anzufordern, deren Adressen wiederum über die Regionalen Strahlenschutzzentren zu erhalten sind [1].
Für routinemäßig feststehende Arbeitsabläufe mit bekannten Nuklidvektoren wie im Regelbetrieb eines Kernkraftwerks, können mögliche Inkorporationen durch mit niedriger Nachweisbarkeitsschwelle im Ganzkörperzähler nachzuweisende Spalt- und Aktivierungsprodukte wie Cäsium-137 und Kobalt-60 – stellvertretend für alle anderen im Nuklidgemisch vorkommenden Nuklide – bestimmt werden.
Gerade für die reinen Alphastrahler, die zwar bezüglich des Nuklidvektors häufig vernachlässigbar sind, ist zum einen der hohe Dosisanteil auf Grund der langfristigen Folgeäquivalentdosen und zum anderen die nicht immer gleichmäßige Verteilung im Sinne von „Hot Spots“ zu beachten.
Bei Wundkontaminationen mit Alpha- oder schwachen Betastrahlern sollte grundsätzlich eine 24-Stunden-Urinuntersuchung durchgeführt werden, welche bei unauffälligem Ergebnis als Ausschlusskriterium für eine Inkorporation gewertet werden kann.
Bei Inhalation von reinen Alphastrahlern sind auf Grund der dargelegten differenzierten Verteilung der Partikel in den Atemwegen und Aufnahme ins Transportkompartiment hinsichtlich des zeitlichen Verhaltens mindestens drei 24-Stunden-Stuhl- und -Urinproben erforderlich, um erstens keine Inkorporation zu übersehen und zweitens aus der Verteilung in den drei 24-

Stunden-Stühlen auf die unterschiedlichen Partikelgrößen und Resorptionsverhältnisse rückschließen zu können, was für die Dosisabschätzung sehr unterschiedliche Resultate ergibt.

Die Ausscheidungsanalytik kann auf Grund der erforderlichen Sammelphase, der radiochemischen Vorbehandlung und der alphaspektrometrischen, lang dauernden Ausmessung zur Erhaltung ausreichend niedriger Nachweisgrenzen mindestens 6 bis7 Tage in Anspruch nehmen. Bei Vorlage der Zufuhrergebnisse aus in vivo- Aktivitätsmessung oder in vitro- Ausscheidungsmessung kann die **Folgeäquivalentdosis** aus dem Produkt von Zufuhr und Dosiskoeffizient leicht berechnet werden. Dosiskoeffizienten finden sich im Bundesanzeiger Nr. 160 a und b vom 28.8.2001.

5. Maßnahmen bei Kontamination der Körperoberfläche

Die Kleidung und die gesamte Körperoberfläche müssen mit Kontaminations-Messgeräten, die für die jeweilige Strahlungsart geeignet sind, ausgemessen und auf Messprotokollen dokumentiert werden. Zur Erfassung von Alphastrahlern ist dabei die entsprechende Umschaltung am Gerät vorzunehmen und auf den optimalen Abstand von etwa 1 cm von der Kleidungs- bzw. Hautoberfläche reproduzierbar zu achten.
Hautkontaminationen < 10 Bq/cm² – unabhängig von der Nuklidart – sind strahlenbiologisch für die Hautdosis selbst irrelevant, die Möglichkeit der Inkorporation über gesunde Haut, offene Wunden oder begleitend über Inhalation oder Ingestion, ist aber bei radiotoxischen Nukliden dennoch zu beachten.
Grundregeln für die Hautdekontamination sind Vermeidung einer deterministischen Hautdosis in Höhe von akut 5 Sv, Begrenzung von Inkorporationsmöglichkeiten oder Verschleppung insbesondere langlebiger Radionuklide. Die Dekontamination soll so schonend wie möglich und nur so aggressiv wie unbedingt nötig sein – Flüssigseife und Wasser reichen in 95 % aller Fälle, bei < 10 % Dekontaminationseffekt bezogen auf den jeweiligen Ausgangsstatus sollten zur Schonung der Haut weitere Dekontaminationsschritte vermieden werden. Zur Durchführung weiterer spezieller Dekontaminationsmaßnahmen über die genannten einfachen Methoden hinaus, sollte wiederum das Regionale Strahlenschutzzentrum einbezogen werden.
Bei Restkontamination > 10 Bq/cm² wird eine **Hautdosis-Abschätzung** erforderlich: Zuziehen des ermächtigten Arztes bzw. des Regionalen Strahlenschutzzentrums. Die zur Berechnung erforderlichen Äquivalent-Dosisleistungsfaktoren für die Haut können z. B. aus Band 43 der Veröffentlichungen der Strahlenschutzkommission entnommen werden [6]. Zur Berechnung sind darüber hinaus die Aktivität pro Fläche und die Zeitdauer der Kontamination zu definieren.

6. Abwägung der Behandlungserfordernis

Nach Vorlage der Dosisabschätzung, basierend auf den in vitro- und in vivo-Untersuchungen der zugeführten Aktivität, ist im Einzelfall zu entscheiden, ob eine spezielle Dekorporationsbehandlung erforderlich ist. Nur in sehr seltenen Fällen kommt es durch Inkorporation radioaktiver Nuklide zu deterministischen Schäden. Wenn diese nach Inkorporation bereits erkennbar sind, kommt jede Behandlung zu spät. Im Wesentlichen geht es bei der Dekorporationsbehandlung um die Reduktion der 50-Jahre-Folgeäquivalentdosis und damit um die Minimierung möglicher stochastischer Spätschäden. Nach ICRP 60 [7] ist pro Sievert in 7,3 % mit stochastischen Spätschäden, in erster Linie Krebserkrankungen sowie schweren vererbbaren

Wirkungen, zu rechnen. International wurden deshalb Entscheidungsschwellen definiert, auf Grund derer eine Behandlung zunehmend erforderlich wird:

< 20 mSv Folge-Effektivdosis:
keine Maßnahmen
20 bis 200 mSv Folge-Effektivdosis:
Behandlung erwägen
> 200 mSv Folge-Effektivdosis:
auf jeden Fall behandeln

Zur Entscheidungshilfe bei Inhalation wurde im Rahmen des europäischen Sicherheits-Forschungsprojekts TIARA für die in Frage kommenden Nuklide und die dazugehörigen inkorporationsdiagnostischen Methoden eine graphische Darstellung gewählt, die die Ergebnisse Inkorporationsdiagnostik in Form von farbigen Bandbreiten gemäß Behandlungserfordernis darstellt [8].

7. Dekorporationstherapie

Therapeutische Maßnahmen nach Inkorporation lassen sich gemäß Zeitpunkt und Einwirkort grundsätzlich in zwei Gruppen teilen:

- **Hemmung der Resorption – der Zufuhr**
  Verletzung: wundnahe venöse Stauung, Wundspülung, Wundrandexzision
  Bei Inhalation: Spülung von Mund, Nase, Rachen, Lungenspülung
  Bei Ingestion: Mundspülung, Magenausheberung, Emetika, Blockierung der Darmresorption, Beschleunigung der Darmpassage

- **Nach erfolgter Aufnahme in Blut bzw. Extrazellulärflüssigkeit Beschleunigung der Ausscheidung:**
  Verdünnungstherapie
  Beeinflussung der Organfunktion
  Blockade der Nuklid-Rückresorption aus dem Darm (enterohepatischer Kreislauf)
  Komplexbildner, Chelatbildner zum Abfangen der Nuklide in der Blutbahn und überwiegender Ausscheidung über Nieren und Urin
  Hämodialyse

Die therapeutischen Maßnahmen gehen im Einzelnen aus den folgenden Tabellen hervor, zum einen ausgehend von den in Frage kommenden Nukliden, zum anderen ausgehend von den Wirksubstanzen. [9]

Tab.1: Therapeutische Maßnahmen nach Inkorporation (nach Radionukliden)

Radio-nuklid	**T ½-effektiv**	**Bq / 20mSv Effektiv (Dosis-relevante Inkorporationsart)**	**Reduktion intestinaler Resorption**	**Effekt**	**Ausscheidungs-Intensivierung**	**Effekt**
Am-241	45 y	E +2 (Inhalation)	Adsorbens	+ -	DTPA	+++
Pu-339	50 y	E +2 (Inhalation)	Adsorbens	+ -	DTPA	+++
Cs-137	109 d	E +5 (Ingestion)	Pr. Blau	++	Pr. Blau	++
I-131	7,5 d	E +5 (Ingestion)	Iodid	++	Iodid, Perchlorat	++
H-3		E +9	Forc. Diurese	+ -	Forc.Diurese	+ -
U - 235	14 d	E +4 (Inhalation)	Adsorbens	++	Bicarbonat	(+)
Sr-90		E +4 (Inhalation)	Sulfat, Algi-nat Phosphat,	++	Ca, (Sr), NH4Cl	++

Tab.2: Therapeutische Maßnahmen nach Inkorporation (nach Wirksubstanz)

Wirksubstanz	**Radionuklide**	**Prinzip**	**Reduktion intestinaler Resorption**	**Ausscheidungs-Intensivierung**	**Anwen-dung**
Ca-/Zn- DTPA	Fe,Co,Ni,Cr, Mn, Zn,Zr Ak-tiniden-Am,Pu,Cm,Cf Lanthanide	Chelat-bildner		+	iv- Infusion 0,5 - 1g/d
Ferrihexa-cyanoferrat	Cs, Tl, Rb	Adsorption	+	+	6 x 0,5 g/d Kps. oral
Ba-sulfat	Ba, Ra, Sr	Adsorption	+		100 ml oral
Al-phosphat	Ba, P,Ra,Sr	Adsorption, Neutralisation	+		100 ml oral
Alginat	Ba, Ra, Sr	Adsorption	+		2 x 5 g oral
DMPS	Hg, Pb, Po	Chelator		+	oral
Kalium-Iodid	I	Dilution	+	+	130 mg oral
Na-Bicarbonat	U	Komplex-bildung		+	250 ml Infusion
Al- Hydroxid	F, Hg, K, P, Po	Adsorption, Neutralisation	+		100 ml oral

Eine **Frühbehandlung** bei Inkorporation ist definitiv selten notwendig. Eine Indikation ergibt sich abhängig von der Radiotoxizität des Nuklids, der Notwendigkeit einer Behandlung vor erfolgter Deposition in therapeutisch nicht mehr erreichbaren Zielorganen, einem nachgewiesenen Therapieeffekt der in Frage kommenden Methode bzw. Substanz und der Abwägung der möglichen Nebenwirkungen. In diesem Sinne kommen folgende Medikamente in Betracht:

- Nach erfolgter Inkorporation gut löslicher Plutoniumverbindungen sogar vor Vorliegen der Dosisabschätzung, Infusion von **Kalzium-DTPA**, bei längerfristiger Therapie von **Zink-DTPA.**
- Bei Inhalation von Radiojod bis zu 12 Stunden nach dem Ereignis **Kaliumjodid**-Tabletten
- Bei Inkorporation von radioaktivem Cäsium (insbesondere Ingestion) orale Einnahme von **Ferrihexacyanoferrat (Berliner Blau) Radiogardase**-Kapseln
- Magen-Darm-Absorptiva wie **Aluminiumphosphat**, besonders bei Ingestion von Erd-Alkalimetallen wie Radium und Strontium

8. Literaturverzeichnis

[1] BG-Information BGI 668 (bisherige ZH1/546): Erste Hilfe bei erhöhter Einwirkung ionisierender Strahlung Nachdruck 2004 Institut für Strahlenschutz

[2] Richtlinie für die physikalische Strahlenschutzkontrolle zur Ermittlung der Körperdosen, Teil 2: „Ermittlung der Körperdosis bei innerer Strahlenexposition (Inkorporationsüberwachung) (§§ 40, 41 und 42 StrlSchV)", RdSchr. d. BMU v. 12.01.2007, GMBl S. 623

[3] ICRP (1979) International Commission on Radiological Protection. Limits for Intakes of Radionuclides by Workers. Part 3, ICRP publication 30, Ann. ICRP **6** (2-3)

[4] ICRP (1994a) International Commission on Radiological Protection. Human Respiratory Tract Model for Radiological Protection, ICRP publication 66, Ann. ICRP **24** (1-3)

[5] NCRP Report No 156. Development of a Biokinetic Model for Radionuclide-contaminated Wounds and Procedures for their Assessment, Dosimetry and Treatment, Dec 2006

[6] SSK Veröffentlichungen der Strahlenschutzkommission Band 43. Berechnungsgrundlage für die Ermittlung von Körperdosen bei äußerer Strahlenexposition, 2. überarbeitete Auflage 2006

[7] ICRP (1990) International Commission on Radiological Protection. Recommendations of the International Commission on Radiological Protection, ICRP publication 60. Ann. ICRP **21**(1-3)

[8] Health Protection Agency. Dose Assessment of Inhaled Radionuclides in Emergency Situations. August 2007. email chiltoninformationoffice@hpa.org.uk

[9] Radiation Protection Dosimetry. Guidebook for the Treatment of accidental Radionuclide Contamination of Workers. Radiation Protection Dosimetry, Vol 41 No1, 1992

DIE IODBLOCKADE DER SCHILDDRÜSE

IODINE BLOCKADE OF THE THYROID

Chr. Reiners

Klinik und Poliklinik für Nuklearmedizin, Universität Würzburg, Deutschland

Zusammenfassung
Stabiles Iod in hoher Dosierung kann die Schilddrüse vor der Aufnahme von radioaktivem Iod im Falle eines Reaktorunfalls effektiv schützen. Die Verabreichung derartig hoher Dosen ist allerdings mit einem gewissen Risiko verbunden. Deswegen dürfen diese Iodtabletten nur auf behördliche Anweisung eingenommen werden.

Summary
Stable Iodine in high dosage can protect the thyroid effectively against uptake of stable iodine in case of a reactor accident. The application of such high dosages however is affiliated with certain rissk. Therefore these iodine tablets may only be administered after advise of the competent authority.

Schlüsselwörter *Reaktorunfall, Schilddrüse, Iodblockade*

Keywords *Reactor Accident, Thyroid, Iodine prophylaxis*

1. Radioaktives Iod und Schilddrüsenkarzinome

Zu den Spaltprodukten, die beim Betrieb von Kernreaktoren entstehen, gehören die verschiedenen radioaktiven Isotope des Iods. Da das Iod bei den in Kernreaktoren vorhandenen Temperaturen in gasförmigem Zustand vorliegt, muss bei Unfällen unter ungünstigen Umständen mit der Abgabe von radioaktivem Iod in die Luft gerechnet werden. Dieses radioaktive Iod wird sich auf den Boden und auf Pflanzen niederschlagen. Von dort kann es mit den Nahrungsmitteln – insbesondere mit der Milch – in den Körper des Menschen gelangen. Bei einem kerntechnischen Unfall kann aber auch radioaktives Iod mit der Atemluft aufgenommen und in der Lunge resorbiert werden und so in die Blutbahn und in die Schilddrüse gelangen. Dort kann es – wie nicht zuletzt die Erfahrungen der Reaktorkatastrophe von Tschernobyl gezeigt haben – zur Induktion von Schilddrüsenkrebs kommen. Besonders gefährdet sind Kinder und Jugendliche.

Nach den vorliegenden Daten (WHO 2006) wurden zwischen 1992 und 2000 in Weißrussland, Russland und in der Ukraine circa 4.000 Fälle von Schilddrüsenkrebs bei Kindern und Jugendlichen jünger als 18 Jahre diagnostiziert, wobei etwa 3.000 Fälle in der Altersgruppe jünger als 14 Jahre auftraten (die Angaben beziehen sich jeweils auf das Alter zum Zeitpunkt der Reaktorkatastrophe).

2. Iodblockade der Schilddrüse bei nuklearen Unfällen

Das Ausmaß der Speicherung von Radioiod in der Schilddrüse hängt von ihrem Funktionszustand ab, beim euthyreoten insbesondere vom Iodangebot mit der Nahrung. Je geringer das Iodangebot in der Nahrung ist, desto höher ist die prozentuale Speicherung in der Schilddrüse. In Deutschland, wo die alimentäre Iodaufnahme immer noch nicht ausreichend ist, wird bei einem Euthyreoten zwischen 30% und 50% des resorbierten radioaktiven Iods in der Schilddrüse gespeichert. In Ländern mit ausreichender Iodversorgung ist die Aufnahme des radioaktiven Iods um den Faktor 2 bis 3 geringer.

Hohe Iodid-Dosen, die den Bereich der alimentären Zufuhr um 2 bis 3 Größenordnungen übersteigen, können die Aufnahme radioaktiven Iods in die Schilddrüse praktisch vollständig blockieren. Dabei kommt es sehr auf den Zeitpunkt der Verabreichung des stabilen Iods an: Erfolgt diese innerhalb von 24 Stunden vor der Exposition mit Radioiod, so ist eine Verringerung des Uptakes radioaktiven Iods um mehr als 95% möglich. Zwei Stunden nach Exposition gegeben, beträgt diese Reduktion immer noch ca. 80%. Erfolgt die Iodgabe 8 Stunden nach Inkorporation, so lässt sich noch eine Reduktion der Speicherung radioaktiven Iods um 40% erzielen. Im Gegensatz dazu hat die Verabreichung von stabilem Iod später als 24 Stunden nach abgeschlossener Inhalation oder Ingestion keinen erheblichen Einfluss mehr auf die Speicherung und damit auf die Strahlenbelastung der Schilddrüse durch das radioaktive Iod. Werden hohe Dosen von stabilem Iod wesentlich später als 24 Stunden nach Inkorporation eingenommen, verlängert sich sogar die Verweildauer des radioaktiven Iods in der Schilddrüse. Feten nehmen etwa ab der 12. Schwangerschaftswoche Iod in die Schilddrüse auf. Ab dem 06.-09. Monat ist die Iodspeicherung in der fetalen Schilddrüse erheblich. Damit ist auch die Notwendigkeit einer Blockade der Schilddrüse des älteren Feten gegeben. Iod wird während der Stillzeit in individuell unterschiedlicher Menge in die Muttermilch abgegeben. Da hierdurch eine ausreichende Iodblockade beim gestillten Kind nicht gewährleistet ist, sollten auch Neugeborene bzw. Säuglinge Iodtabletten erhalten (s. Dosierungsschema).

Frauen, die während der Schwangerschaft und Stillzeit mit hohen Dosen Iod behandelt worden sind, sollten darauf hingewiesen werden, dies dem Geburtshelfer und dem Kinderarzt mitzuteilen, damit diese beim Neugeborenen besonders auf eine Kropfbildung oder mögliche Schilddrüsenfunktionsstörungen achten.

Nach den Empfehlungen der Strahlenschutzkommission zur Verwendung von Iodtabletten zur Iodblockade der Schilddrüse bei einem kerntechnischen Unfall (SSK 2004) wird für die im Rahmen der Notfallbevorratung vorrätig gehaltenen 65 mg-Kaliumtabletten folgendes Dosierungsschema empfohlen:

Personengruppe	**Tagesabgabe in mg Iodid**	**Tagesabgabe in mg Kaliumiodid**	**Tagesabgabe in Kaliumiodid**
< 1 Monat	12,5	16,25	¼
1-36 Monate	25	32,5	½
3-12 Jahre	50	65	1
13-45 Jahre	100	130	2
> 45 Jahre	0	0	0

(Diese Dosierung gilt nur für die 65 mg-Kaliumiodidtabletten aus der Notfallbevorratung; bei Tabletten mit anderen Kaliumiodidgehalten bitte die jeweiligen Dosisangaben beachten; im Regelfall reicht eine einmalige Einnahme aus)

Iodtabletten sind nur nach Aufforderung durch die zuständige Behörde einzunehmen. Schwangere und Stillende erhalten die gleiche Ioddosis wie die Gruppe der 13- bis 45-Jährigen. Im Regelfall ist eine einmalige Einnahme der Iodtabletten ausreichend, da sie im wesentlichen nur vor der Inkorporation von Radioiod durch Inhalation schützen sollen. Gegen die Inkorporation von radioaktivem Iod mit Nahrungsmitteln (Milch, Blattgemüse) sind andere Maßnahmen zu ergreifen (Verbot des In Verkehrbringens).

Dem Dosierungsschema ist zu entnehmen, dass Iodtabletten Personen, die älter als 45 Jahre sind, nicht empfohlen werden. Die Gründe dafür liegen in dem geringen Risiko der Karzinominduktion durch radioaktives Iod bei älteren Menschen und der zunehmenden Häufigkeit funktioneller Autonomien mit Krankheitswert bei fortschreitendem Lebensalter. Iod in hohen Dosen kann hier eine Hyperthyreose induzieren, die beim älteren Menschen unter Umständen sehr schwer verläuft.

Personen mit einer bekannten Überempfindlichkeit gegenüber Iod dürfen die Tabletten mit hohem Iodgehalt nicht einnehmen (sehr seltende Erkrankungen wie echte Iodallergie, Dermatitis herpetiformis Duhring, Iododerma tuberosum, hypokomplementämische Vaskulitis, Myotonia congenita). Iodtabletten können selten auch zu Hautausschlägen, Gewebswassereinlagerungen, Halsschmerzen, Augentränen, Schnupfen, Speicheldrüsen-schwellungen und Fieber führen. In sehr seltenen Fällen können sich Zeichen einer Überempfindlichkeit gegen Iod (echte Iodallergie), z.B. Iodschnupfen oder Iodexanthem, bemerkbar machen.

Bei Vorerkrankungen der Schilddrüse, auch wenn sie bis dahin asymptomatisch verliefen (insbes. bei Knotenkröpfen mit funktioneller Autonomie), kann eine Hyperthyreose innerhalb von Wochen bis Monaten ausgelöst werden. Wegen der hohen Prävalenz der funktionellen Autonomie bei älteren Menschen in Deutschland wird die Iodblockade der Schilddrüse bei Personen älter als 45 Jahre nicht empfohlen (s.o.). Umgekehrt neigen besonders Neugeborene und Säuglinge bei länger dauernder Iodverabreichung zu Hypothyreose.

Bei Kontraindikationen gegen die Verabreichung hoher Iod-Dosen oder bei Patienten, die an einer Schilddrüsenüberfunktion leiden, kann alternativ Perchlorat eingesetzt werden. Empfohlen werden 60 Tropfen Natriumperchlorat (900 mg) initial sowie anschließend über 7 Tage alle 6 Stunden 15 Tropfen (entsprechend 900 mg/Tag).

3. Internationale Empfehlungen

Die Vorgehensweise in Deutschland basiert auf den Empfehlungen der Weltgesundheits-organisation (WHO), aber auch andere internationale Organisationen, wie die EU, IAEA und ICRP haben zur Iodblockade der Schilddrüse Empfehlungen abgegeben. Zur Zeit bemüht man sich, auch auf europäischer Ebene innerhalb verschiedener Arbeitsgruppen zur grenzüberschreitenden Harmonisierung der Iodblockade und anderer damit verbundener Schutzmaßnahmen in den ersten Stunden nach einem Reaktorunfall. Über die aktuellen Entwicklungen auf diesem Gebiet soll berichtet werden.

4. Literaturverzeichnis

[1] Strahlenschutzkommission beim Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit: Verwendung von Iodtabletten zur Iodblockade der Schilddrüse 2004; Internet: www.ssk.de

[2] World Health Organization (WHO). Health Effects of the Chernobyl Accident and special Healthcare Programmes. Report of the UN Chernobyl Forum Expert Group "Health" (EGH) Working draft August 31, 2005;
Internet: http://www.who.int/ionizing_radiation/a_e/_chernobyl/EGH

DAS KONZEPT DER DEKONTAMINATION VON EINSATZKRÄFTEN DER BUNDESPOLIZEI EINSCHLIESSLICH VERLETZTEN-DEKONTAMINATION

M. Friedel

Bundespolizeipräsidium, Polizeiärztlicher Dienst, Fuldatal, Deutschland

ZUSAMMENFASSUNG

Die Bundespolizei verfügt über mobile Dekontaminationsanlagen zu dem Zweck, die Aufgabenwahrnehmung der Bundespolizei in nuklearen, radiologischen, aber auch biologischen oder chemischen Gefahrenlagen zu ermöglichen. Ausgangspunkt für die Entwicklung des Einsatzkonzeptes ist die gesetzliche Verpflichtung des Arbeitgebers bzw. des Dienstherren, insbesondere für physikalische, chemische und biologische Gefährdungen Vorkehrungen zu treffen (ArbSchGes § 5), sowie für die medizinische Versorgung Maßnahmen zu treffen (ArbSchGes § 10).

Der polizeiärztliche Dienst der Bundespolizei hat die Aufgabe, die medizinische Versorgung im Einsatz sicherzustellen, da sich je nach Art des Polizeieinsatzes besondere Gefährdungen für die eingesetzten Beamten ergeben können. Das gilt natürlich erst recht im Einsatz unter ABC-Bedingungen. Dementsprechend nimmt der polizeiärztliche Dienst seinen Auftrag auch beim polizeilichen Einsatz unter ABC-Bedingungen war. Die Bundespolizei ist in der Lage, im Einsatzkonzept Personendekontamination eigene Rettungssanitäter und eigene Ärzte zu integrieren und entsprechend fortzubilden.

Die Dekontaminationsanlagen der Bundespolizei sind also eine notwendige Massnahme der Eigensicherung bei der Aufgabenwahrnehmung der Bundespolizei unter ABC-Bedingungen, eingeschlossen die medizinische Versorgung:

- lebensrettende Sofortmaßnahmen
- Auswahl und Anwendung von Antidoten und Dekontaminationsmitteln
- Dekontamination von Verletzten
- Behandlung von verletzten Kontaminierten
- Beratung über notwendige Schutzausstattung und Dekonmittel
- Bewertung des Dekontaminationsergebnisses
- Einleitung weiterführender Massnahmen (Quarantäne, weiterführende Behandlung, Postexpositionsprophylaxe, Dekorporation)

Ziel des Konzeptes ist also die Qualität der Massnahmen, weniger der Durchsatz pro Zeiteinheit.

Der Dekontaminationsplatz besteht aus einem Container, der im Wesentlichen folgende Komponenten enthält:

- Technik: Wasserbereitstellung und Stromverteilung
- zwei Personenduschen
- jeweils ein Anbauzelt auf der roten und der grünen Seite
- ein Zelt Liegenddekontamination auf der roten Seite
- ein Zelt Nachbehandlung auf der grünen Seite
- Ein Wasserwerfer zur netzunabhängigen Trinkwasserversorgung

- ein Bereich Abwassertanks
- einen Rettungswagen
- eine sog. Vordekontamination zur Dekontamination geschützter Einsatzkräfte

Das Konzept sieht drei „Produktionsstrassen“ vor:

1) Einsatzkräfte mit persönlicher Schutzausstattung
2) Einsatzkräfte ohne oder mit beschädigter persönlicher Schutzausstattung
3) infolge Verletzung nicht mehr gehfähige Einsatzkräfte

Es ist auf der unreinen Seite ein Sammelplatz eingerichtet, an dem die ankommenden Einsatzkräfte registriert werden und auf die drei Produktionsstrassen verteilt werden. Die Registrierung erfolgt verschleppungsfrei mittels vernetzter Computer: Name, fortlaufende Nummer, offensichtliche Kontamination, ggf. erstes Messergebnis – danach Übermittlung in den sauberen Bereich.

1) Einsatzkräfte mit persönlicher Schutzausstattung

Diese Einsatzkräfte werden an die Außenseite des Kontainers geleitet, wo nach einer äußerlichen Dekontamination mit Wasser oder Schaum das Ablegen der Schutzausrüstung mit anschließender Kontaminationsmessung erfolgt.

2) Einsatzkräfte ohne oder mit beschädigter Schutzausrüstung

Es wird am Sammelplatz eine erste Kontaminationsmessung durchgeführt, um Hot Spots zu lokalisieren. Danach Ablegen der Oberbekleidung, welche wie auch alle Ausrüstungsgegenstände in Säcke verpackt und mit der zugeteilten Nummer gekennzeichnet werden. Weiter im roten Zelt wird die restliche Kleidung abgelegt und eine Dekontamination der Hot Spots durchgeführt. Dazu gehört bei Kontamination des Kopfes auch eine Ohrspülung, eine Augenspülung und eine Spülung der Mundhöhle, sowie falls erforderlich eine Wunddekontamination. Es folgt die eigentliche Hautdekontamination:

3 x pH-neutraler Hautreiniger, Abduschen mit Wasser
3 x Abriebpaste und Abduschen mit Wasser.

Nach jedem Dekontaminationsschritt wird die Körperoberfläche mittels Flächenzählrohr ausgemessen und der Hautzustand durch einen Polizeiarzt begutachtet.
Dabei wird die Dekontamination eingestellt bei einem Dekontaminationseffekt von weniger als 10% im Vergleich zur vorherigen Messung oder auch bei unterschreiten von 10 Bq/cm^2.
Nicht entfernbare Kontamination wird okklusiv abgedeckt, weitere Maßnahmen erfolgen in einem solchen Fall dann später in der weiterbehandelnden Einrichtung.
Nach erfolgreicher Dekontamination erfolgt im Anbauzelt des grünen Bereiches die Ausgabe eines Bekleidungssets, die Vervollständigung der Dokumentation und dann die Entlassung zum Sammelpunkt oder falls notwendig die Vorstellung im Zelt Nachbehandlung zur Festlegung der weiterführenden Massnahmen oder zum Abschluss der Behandlung.

3) Verletzte Einsatzkräfte

Kontaminierte Einsatzkräfte, die nicht mehr gehfähig sind und die eben beschriebene Prozedur nicht bewältigen können, werden in der Verletztendekontamination, also im Zelt des roten Bereiches in gleicher Weise dekontaminiert. Dafür sind in der Verletztendeko ein Polizeiarzt, zwei Rettungssanitäter und ein Sanitätshelfer vorgesehen. Dabei dürfen Messungen und Dekontaminationsmassnahmen die Versorgung lebensbedrohlicher Verletzungen nicht verzögern. Das heißt, ein Schwerverletzter würde dann gegebenenfalls lediglich aus der Kleidung geschnitten und dann notfallmedizinisch versorgt und transportiert.

Dabei wird zur Dekontamination ausschließlich Trinkwasser bereitgestellt, was bedeutet, daß nur zertifizierte Schlauchleitungen verwendet werden und für Wasserwerfer und Dekonanlage ein Hygieneplan eingehalten und regelmäßig eine Beprobung der Wasserqualität durchgeführt werden muss. Die Trinkwasserverordnung ist eindeutig und läßt hier keinen Ermessensspielraum zu. Das Konzept hat sich aus Sicht der Bundespolizei in zahlreichen Übungen und im Einsatz bewährt. Es können etwa 20 - 30 ungeschützte Personen pro Stunde dekontaminiert werden. Für die Versorgung eines Schwerverletzten unter Reanimationsbedingungen wurde in Übungen etwa 1 Stunde benötigt. An medizinischem Personal werden für den vollen Wirkbetrieb über 8 Stunden 6 Rettungssanitäter und 3 Notärzte eingesetzt.

STOCHASTISCHE STRAHLENWIRKUNGEN NACH EINEM UNFALL

STOCHASTIC RADIATION EFFECTS AFTER AN ACCIDENT

K. Martignoni

Ehemals Bundesamt für Strahlenschutz, Fachbereich Strahlenschutz und Gesundheit, Neuherberg, Deutschland

Zusammenfassung
Im Strahlenschutz werden grundsätzlich zwei Kategorien von Strahlenwirkungen unterschieden, die deterministisch und stochastisch genannt werden. Während deterministische Strahlenwirkungen direkt bei bestrahlten Personen beobachtbar sind, lassen sich stochastische Strahlenwirkungen nur mit statistischen Methoden aufgrund von Wahrscheinlichkeitsbetrachtungen bestimmen. Die notwendigen Überlegungen und die Berücksichtigung zahlreicher Parameter bei Risikoabschätzungen waren in der Vergangenheit oft Anlass für kontroverse Diskussionen über zu erwartende gesundheitliche Beeinträchtigungen nach einer Bestrahlung. Neue Erkenntnisse deuten darauf hin, dass bei einer Risikobewertung sozialpsychologische Faktoren oft eine entscheidende Rolle spielen.

Summary
In radiation protection two categories of radiation effects are considered in principle: deterministic and stochastic radiation effects. While the deterministic radiation effects are directly observable at the irradiated person, it is only possible to determine the stochastic radiation effects by statistical methods on the basis of probability calculations. The necessary considerations and the mult-parameter approach gave rise to controversies about the consequences of some radiation exposure in the past. New findings indicate that socio-psychologic factors often determine the risk assessment.

Schlüsselwörter *Strahlenwirkung, stochastisch, Krebs, Leukämie, Risikobewertung, Nocebo-Effekt*
Keywords *radiation effect, stochastic, cancer, leukaemia, risk assessment, nocebo effct.*

1. Definition „stochastischen Strahlenwirkungen“

Grundsätzlich wird im Strahlenschutz zwischen deterministischen und stochastischen Strahlenwirkungen bei bestrahlten Personen unterschieden, die deren Gesundheit beeinträchtigen.
Deterministische Strahlenwirkungen wie Hemmung der Blutbildung, Linsentrübung oder Infertilität sind dadurch charakterisiert, dass sie als Folge einer Inaktivierung vielen Zellen gesehen werden. Eine Schädigung tritt ein, wenn durch eine relativ hohe Strahlendosis ein so großer Zellanteil eines Gewebes geschädigt wird, dass dessen Funktion beeinträchtigt ist. Strahlenschäden zeigen sich dann, wenn eine Schwellendosis überschritten wird und nicht mehr genug Zellen überleben, um die Gewebe- oder Organfunktion aufrecht zu erhalten. Die Schwere einer deterministischen Strahlenwirkung nimmt mit der Dosis und dem Ausmaß des Bestrahlungsbereiches im Körper zu. Der Begriff „deterministisch“ bedeutet, dass ein ursächlicher Zusammenhang zwischen Strahlenwirkung und beobachtbarer Schädigung besteht [1].

Die Schwellendosen für deterministische Strahlenwirkungen unterscheiden sich für die verschiedenen Organe und Gewebe im Körper stark. Am empfindlichsten sind die Haut und die Blutbildung, weil sie einem relativ schnellen natürlichen Verschleiß unterliegen und auf Nachschub aus dem Stammzellenpool angewiesen sind. Wenn wegen der Abtötung durch die Strahlung keine Zellen mehr nachgeliefert werden können, zeigt sich eine Schädigung oder Funktionseinbuße des Gewebes oder Organs. Je kürzer die Zeitspanne, über die eine Dosis akkumuliert wird, umso eher und stärker tritt die deterministische Wirkung ein. Schwellendosen für verschiedene deterministische Strahlenwirkungen sind in der Tabelle 1 zusammengestellt. Unterhalb einer Dosis von 100 mGy braucht selbst mehrere Jahre nach einer Bestrahlung nicht mehr mit deterministischen Strahlenwirkungen gerechnet werden [2].

Tab. 1: Deterministischen Strahlenwirkungen

Organ	Wirkung	Dosis (Gy)
Ganzkörper	Erbrechen	0,5
Knochenmark	Tod	1
Haut	Erythem, Haarausfall	3
Lunge	Pneumonitis	5
Schilddrüse	Unterfunktion	10

Angaben: ICRP 40, 1977.

Im Unterschied zu den deterministischen beruhen die stochastischen Strahlenwirkungen nicht auf Zellinaktivierungen sondern auf Zellveränderungen (somatischen Mutationen), die durch die Strahlung in der Zell-DNA verursacht wurden. Zu den stochastischen Strahlenwirkungen gehören bösartigen Neubildungen (Leukämien und Krebs), die Jahre und Jahrzehnte nach einer Bestrahlung bei betroffenen Personen vermehrt auftreten, sowie Erbschäden, die erst bei den Nachkommen der bestrahlten Personen erkennbar werden.

Die Begriffe stochastisch und deterministisch gelten nur für die endgültige Auswirkung einer Strahlung, weil den vorausgehenden Prozessen insbesondere der Strahlungsabsorption stochastische Prozesse zu Grunde liegen. Daher bezeichnet die Internationale Strahlenschutzkommission (International Commission on Radiological Protection = ICRP) in ihren neuen Empfehlungen [2] die deterministische Strahlenwirkung auch synonym als Gewebereaktion (engl. Tissue Reaction). Die Bezeichnung „stochastisch“ soll den zufälligen Charakter der beobachtbaren Strahlenwirkung ausdrücken. Stochastisch kommt aus dem Alt-Griechischen und bedeutet „raten“. Es betrifft etwas, das sich erraten, aber nicht mit Sicherheit voraussagen lässt. Stochastische Strahlenwirkungen lassen sich nicht wie die deterministische Strahlenwirkung bei einzelnen bestrahlten Personen erkennen, sondern nur dadurch, dass bei einzelnen Personen in einer bestrahlten Gruppe vermehrt bösartige Neubildungen nach einer gewissen Latenzperiode feststellbar werden. Die Krebsfälle sind zusätzlich zu den spontanen oder natürlichen Krebsfällen zu sehen. Für die bestrahlte Einzelperson heißt dies, dass sie in Abhängigkeit von der Dosis mit einem gewissen Zusatzrisiko für bösartige Neubildungen rechnen kann.

Nach den bisherigen Erfahrungen ist nach einem Strahlenunfall oft nur ein relativ kleiner Personenkreis so hohen Dosen (größer 100 mGy) ausgesetzt gewesen, dass deterministische Strahlenwirkungen mit sofort erkennbaren gesundheitlichen Schäden aufgetreten sind. Wenn daher nach einem Unfall unmittelbar, d.h. nach Tagen und Wochen bis wenigen Monaten, keine deterministischen Strahlenwirkungen erkennbar wurden, dann muss doch in

Abhängigkeit von der Dosis in einer Personengruppe mit vermehrten stochastischen Strahlenwirkungen gerechnet werden.
Die Schwierigkeit für die Feststellung stochastischer Strahlenwirkungen besteht darin, dass sich strahlenbedingte bösartige Neubildungen oder genetische Schäden nicht von denen unterscheiden lassen, die auch spontan relativ häufig beobachtet werden. Es sind bisher keine Merkmale bekannt, durch die sich spontane Erkrankungen von strahlenbedingten unterscheiden lassen. Der Nachweis für eine Strahleninduktion kann nur mit statistischen Methoden erfolgen, wenn vermehrt Leukämien, Tumoren oder Erbschäden in einer Bevölkerung beobachtet werden. Dabei ist wichtig, dass auch Daten für eine geeignete Vergleichspopulation vorliegen, die keiner zusätzlichen Strahlung ausgesetzt war.

Abgesehen von der Unterscheidung nach stochastisch und deterministisch lassen sich noch somatische, genetische und teratogene Strahlenwirkungen unterscheiden, je nachdem ob Körperzellen, Keimzellen oder das sich entwickelnde Leben im Mutterleib von der Strahlung getroffen wurden. Das Ausmaß der teratogenen Strahlenwirkung wird nicht nur von der Höhe der Dosis, sondern von der Keimentwicklung zum Zeitpunkt der Bestrahlung bestimmt. Es muss davon ausgegangen werden, dass der Embryo bzw. der Fetus besonders strahlenempfindlich ist. Als teratogene Schäden nach Bestrahlung sind bekannt: Wachstumshemmung, Fehlbildungen, Funktionsstörungen und Tod sowie vermehrt Leukämie- und Krebserkrankungen im Kindesalter. Die ICRP [2] geht davon aus, dass bei niedrigen Dosen unterhalb einer Schwelle von 100 mGy mit keiner teratogenen Strahlenwirkung zu rechnen ist („Risks of maleformation after in-utero exposure to doses well below 100 mGy are not expected“). Dies und die Zunahme der Schwere des Effektes mit der Dosis sprechen dagegen, dass die teratogene Wirkungen zu den stochastischen Strahlenwirkungen gehört und sollen daher hier auch nicht weiter betrachtet werden.

2. Bestimmung stochastischer Strahlenwirkungen

2.1 Strahlenbiologische Ergebnisse

Grundsätzliche strahlenbiologische Erkenntnisse gehen davon aus, dass durch Strahlung in allen Organen und Geweben bösartige Neubildungen ausgelöst werden können, selbst wenn es bisher keine epidemiologischen Befunde dafür vorliegen. Bisher wird nur die Induktion durch Strahlung von einigen wenigen bösartigen Neubildungen wie der chronisch lymphatischen Leukämie ausgeschlossen [3]. Nach dem Bericht der deutschen Radarkommission [5] gibt es keine Daten für eine Strahleninduktion für folgende Erkrankungen:

- Morbus Hodgkin
- Non Hodgkin Lymphome
- Uteruskrebs
- Prostatakrebs
- Malignes Melanom.

Entsprechend der Zahl verschiedener Zellarten lässt sich eine Vielzahl von Krebsarten unterscheiden, die spontan insbesondere mit zunehmendem Alter immer häufiger auftreten. Es lassen sich mindestens 200 verschiedene Krebsarten unterscheiden. Nur für wenige Krebsarten gibt es auch Abschätzungen für das Strahlenrisiko. Die Risikoabschätzungen werden überwiegend aus den Studien bei den Atombomben-Überlebenden von Hiroshima und Nagasaki abgeleitet, weil dort Frauen und Männer aller Altersgruppen sowie Kinder einer

Ganzkörper-Exposition ausgesetzt waren. Epidemiologische Studien bei Strahlentherapie-Patienten oder bei beruflich strahlenexponierten Personen gibt es nur für besondere Altersgruppen (erhöhtes Alter bei Patienten, Alter 18 bis 65 Jahren bei Berufstätigen) und für bestimmte Bestrahlungsbedingungen. Außerdem liegt bei den Strahlentherapie-Patienten eine Grunderkrankung vor, die sie u. U. strahlenempfindlich machen könnte.

Neben epidemiologischen sind auch strahlenbiologische Erkenntnisse, wie sie durch Zellkultur- und Tierexperimente gewonnen werden, für Risikobewertungen wichtig. Die Unterschiede in der Strahlenempfindlichkeit der einzelnen Organe und Gewebe wird durch die Zahl der somatischen Mutationen bestimmt, die für die Krebsausprägung notwendig sind. Im Vergleich zu zahlreichen Chemikalien ist die ionisierende Strahlung in Bezug auf die Zellinaktivierung nur ein schwaches Karzinogen [2].Strahlung ist eher ein Initiator und nur ein schwacher Promotor für bösartige Neubildungen. Die Zellkultur- und Tierexperimente weisen darauf hin, dass die Wahrscheinlichkeit für eine Tumorauslösung linear proportional bzw. linear-quadratisch für Leukämien mit der Dosis zunimmt. Es wird angenommen, dass es keine Schwellendosis der Unwirksamkeit für stochastische Strahlenwirkungen gibt [3].

Zum genetischen Strahlenrisiko gibt es bisher keine epidemiologischen Befunde beim Menschen. Selbst die Studie von mehreren Tausend Nachkommen der Atombomben-Überlebenden ergab keinen Hinweis für vermehrte genetische Schäden. Daher werden grundsätzliche strahlenbiologische Überlegungen herangezogen, um die bei Mäusen und anderen Tieren experimentell gewonnenen Daten über genetische Strahlenwirkungen auf den Menschen für Risikoabschätzungen zu übertragen [2].

2.2 Epidemiologische Ergebnisse

Die Abschätzungen des Strahlenrisikos beruht auf epidemiologischen Studien bei bestrahlten Personengruppen wie:

- Patienten nach Strahlenbehandlung (Strahlentherapie, Röntgendiagnostik)
- Atombomben-Überlebenden
- Gruppen von beruflich strahlenexponierten Personen (z.B. Beschäftigte in kerntechnischen Anlagen, Uranbergarbeiter)
- von Atombombenversuchen und kerntechnischen Unfällen betroffene Bevölkerungsgruppen.

Die wichtigsten Ergebnisse der epidemiologischen Studien werden von UNSCEAR [3] und dem so genannten BEIR VII-Komitee der National Akademie der Wissenschaften der USA [4] bewertet. Diese Veröffentlichungen sind die wichtigsten Quellen für die Risikoabschätzungen der ICRP. Die den neuen ICRP-Empfehlungen 103 (2007) [2] zugrunde liegenden Risikoabschätzungen stammen aus dem UNSCEAR-Bericht 2000 [3] und dem BEIR-VII-Report [4].

Die verschiedenen epidemiologischen Studien zeigen, dass strahlenbedingte bösartige Neubildungen erst Jahre und Jahrzehnte nach Strahlenexposition vermehrt auftreten. Die kürzeste Latenzperiode zeigt die Leukämie mit zwei Jahren; für die anderen bösartigen Neubildungen müssen längere Latenzperioden angesetzt werden, die mit Ausnahme von Schilddrüsenkrebs oft bei mehr als zehn Jahren liegen. Die Tabelle 2 listet die mittlere Latenzperiode für die verschiedene Krebsarten auf [6].
Allgemein gilt, dass strahlenbedingte Krebserkrankungen in dem Alter auftreten, in dem auch die Spontanrate ansteigt.

Tab. 2: Mittlere Latenzperiode für verschiedene Krebsarten [mod.6]

Krebsart	Mittlere Latenzperiode (Jahre)
Gehirn	27
Darm	26
Lunge	25
Larynx; Pharynx	24
Haut	24
Brust	22
Schilddrüse, Erw.	20
Magen	14
Knochen	10 - 15
Leukämie	7 - 10

Während die Abschätzungen des Strahlenrisikos bisher fast ausschließlich auf den Studien bei den Atombomben-Überlebenden in Hiroshima und Nagasaki beruhen, werden in Zukunft auch Ergebnisse von epidemiologischen Studien bei beruflich strahlenexponierten Personen und von Populationsgruppen aus dem Umfeld der Atombomben-Produktion der ehemaligen UdSSR eine Rolle spielen.

Die wesentlichen Punkte für Risikoabschätzungen sind:

- Strahlung ist im Vergleich zu den anderen Risikofaktoren im Leben einer Person nur ein schwaches Karzinogen, wie Tabelle 3 mit den Abschätzungen für die natürliche Todesursachen andeutet.

Tab. 3: Natürliche Todesursachen und ihre Risikofaktoren

Risikofaktor	Prozent aller Krebstodesfälle
Rauchen	29 - 30
Ernährung	20 - 50
Infektionen	10 - 20
Strahlung (incl. UV)	5 - 7
Umweltverschmutzung (Luft, Wasser, Nahrung)	1 - 5

Daten nach [7]

- Die bisherigen Auswertungen der Daten bei den Überlebenden von Hiroshima und Nagasaki (Tabelle 4) ergaben, dass von 1958 bis 1998 in der betrachteten Kohorte der exponierten Überlebenden von 44.455 Personen unter 7.851 Krebsfällen 850 Fälle auf die Strahlung zurückführbar sind; das sind rund 11 % der Fälle (Annahmen: ERR-Modell, LNT-Dosis-Wirkungsbeziehung, Personendosis > 5 mGy) [8].

Tab. 4: Zusätzliche Krebsfälle bei den Atombomben-Überlebenden, 1958 -1998

Dosis (Gy)	Personen	Abstand (m) A-Bombe	Fälle	zusätzlich	Attrib. %*
Not in city	25.427	-	3.994	0	0
<0,005	35.545	3969	5.603	3	0
0,005 – 0,1	27.789	2114	4.406	81	1,8
0,1 – 0,2	5.527	1608	968	75	7,6
0,2 – 0,5	5.935	1430	1.144	179	15,7
0,5 - 1	3.173	1260	688	206	29,5
1 – 2	1.647	1118	460	196	44,2
2 +	564	934	185	111	61,0
Insgesamt	105.427		17.448	853	10,7

* der Strahlung zuschreibbare (attributable) Anteil, Daten nach [8]

Für Leukämie wurden zusätzlich rund 100 Fälle identifiziert, das sind rund 35 Prozent der Fälle. Diese Zahlen wissenschaftlicher Studien stehen im Widerspruch zu den Medienberichten, die regelmäßig zu den Jahrestagen der Atombombenabwürfe veröffentlich werden. Die höheren Angaben in den Medien kommen häufig dadurch zustande, dass alle in einem gewissen Zeitraum gestorbenen Personen aus Hiroshima und Nagasaki der Strahlung zugeschrieben werden. Es wird nicht berücksichtigt, dass es auch natürliche Todesursachen gibt.

Bisher liegen kaum epidemiologische Studien vor, bei denen alle erfassten Personen vom Bestrahlungszeitpunkt bis zu ihrem Tod hätten beobachtet werden können. Weil bis Ende des Jahrs 2005 noch 40 Prozent der Atombomben-Überlebenden lebten, kann das Lebenszeit-Risiko nur durch Extrapolation auf der Grundlage bisheriger Erfahrungen abgeschätzt werden. Die Modellrechnungen, die dazu benutzt werden, änderten sich in den vergangenen Jahren und damit auch die Höhe der Risikoabschätzungen. Das wissenschaftliche Komitee der Vereinten Nationen über die Wirkung der atomaren Strahlung UNSCEAR (= United Nations Scientific Committee about the Effects of Atomic Radiation) [3] und die ICRP [2] geben für 15 Krebsarten einen Risikokoeffizienten (als zusätzliches absolutes Lebenszeitrisiko für Mortalität) an. Diese sind in der Tabelle 5 aufgeführt.

Tab. 5: Strahlenbedingte Krebsmortalität pro Sv (mod. nach [3])

Krebsart	Mortalitätsrisiko (%) pro Sv
Knochen	0,035
Kolon	0,98
Brust	0,78
Leukämie	0,91
Leber	0,86
Lunge	2,76
Pankreas	0,17
Haut	0,039
Magen	0,30
Schilddrüse	0,059
Alle anderen	2,60
Alle zusammen	10,2 (3,5 – 28,5)

- Abgesehen von Leukämien und soliden Tumoren weisen neue Studien - insbesondere bei den Atombomben-Überlebenden - darauf hin, dass durch Strahlung vermehrt Herz-Kreislauf- und Atemwegs-Erkrankungen ausgelöst werden können. Außerdem zeigen einige epidemiologische Studien, dass langfristig das Immunsystem durch die Strahlung beeinträchtigt wird, mit den Folgen einer Lebererkrankung nach Virusinfektionen oder Herz-Kreislauf-Erkrankung in Folge von Entzündungsprozessen. Allerdings ist die Datenlage nach Ansicht der ICRP [2] nicht so gesichert, dass sich zuverlässige Angaben zum Strahlenrisiko machen lassen. Die ICRP weist darauf hin, dass die Studien bei den Strahlentherapie-Patienten und bei beruflich strahlenexponierten Personen kein erhöhtes Herz-Kreislauf-Erkrankungsrisiko erkennen lassen [2].

2.3 Angaben des Risikos für stochastische Strahlenwirkungen

Für die stochastischen Strahlenwirkungen liegen Risikoabschätzungen vor, wie sie zusammengefasst in Tabelle 6 aufgeführt sind.

Tab. 6: Abschätzung des Risikos für stochastische Strahlenwirkungen

Angabe	Wert	Referenz
Zusätzliche absolute Krebs-+ Leukämiemortalität über Lebenszeit (EAR)	12 % pro Sv	UNSCEAR, 2000[3]
Detriment* (Bevölkerung)	7,3 % pro Sv	ICRP, 1991[1]
Detriment* (Bevölkerung)	5,7 % pro Sv	ICRP, 2007 (= BEIR VII, 2006) [2]
Zusätzliche absolute Krebsmortalität pro Jahr der Beobachtung	10 pro 10 000 Personen-Jahre und Sv	UNSCEAR, 1988[9]

* Detriment ist eine Strahlenschutzgröße, die neben der Mortalität auch gewichtet die Morbidität und den Verlust von Lebensjahren berücksichtigt. Außerdem wird ein Dosis- und Dosisraten-Effektivitätsfaktor (DDREF) 2 für den Bereich niedriger Dosen berücksichtigt.

In epidemiologischen Studien wird die stochastische Strahlenwirkung in der Regel als zusätzliches Krebsrisiko (Krebsrate) relativ zur spontanen Krebsrate oder absolut als Differenz zur spontanen Krebsrate ausgedrückt. Von der ICRP wurde bisher generell die Angabe des absoluten Risikos bevorzugt, selbst wenn für deren Bestimmung relative Risikomodelle herangezogen wurden, z.B. für die Extrapolation von der Beobachtungsdauer auf die Lebenszeit einer Population oder für den Transfer auf andere Populationen (als die japanische Bevölkerung z. B.).
Wenn das spontane Krebsmortalitätsrisiko bekannt ist (z.B. für rund 25 % aller Todesfälle in Deutschland wird als Ursache Krebs angegeben [10]), lässt sich das zusätzliche absolute Strahlenrisiko - angenommener Wert 12 % pro Sv - auch in ein zusätzliches relatives Risiko umrechnen.
Das relative Risiko RR für eine Dosis von 1 Sv berechnet sich zu: RR = (25 + 12)/ 25 = 1,48 und
das zusätzliche RR (ERR = Excess Relative Risk) = RR – 1 = 0,48 pro Sv oder 48 % pro Sv.
Für Risikoabschätzungen pro Dosiseinheit wird anstelle des relativen Risikos (RR) das zusätzliche relative Risiko (ERR) verwendet.
Die Verdoppelungsdosis (RR = 2 bzw. ERR = 1), d.h. die Dosis bei der das strahlenbedingte Krebsrisiko die spontane Häufigkeit erreicht, ist in diesem Fall 2,33 Sv. Während die ICRP bei ihren Abschätzungen für das Krebsrisiko auf die intuitiv verständlicheren absoluten Angaben zurückgreift, wird für die Angabe des genetischen Risikos eher die relative Angabe in Form der Verdoppelungsdosis gewählt. Dies hat historische Gründe.

Da das zusätzliche Risiko nicht nur von der Dosis, sondern noch von weiteren Parametern wie Geschlecht, Alter bei Exposition, Zeit seit Exposition oder Dosisverteilung abhängt, ist die Angabe eines über alle Alter und über die Beobachtungszeit gemittelte Risikoangabe eine Vereinfachung. Aus diesem Grund sollte im Einzelfall für Risikoabschätzungen möglichst epidemiologische Studien herangezogen werden, die der Bestrahlungssituation und der Bevölkerung am nächsten kommt, für die Abschätzungen vorgenommen werden sollen.

3. Behandlung stochastischer Strahlenwirkungen

Für strahlenbedingte Leukämie- oder Krebserkrankungen sowie Erbkrankheiten gibt es keine besonderen medizinischen Therapien, sondern die üblichen Verfahren zur Krebstherapie kommen zur Anwendung. Strahlenschutzstoffe (z.B. Radiogase, Heidelbeer-Extrakt), wie sie u. U. bei deterministischen Strahlenwirkungen benutzt werden können, machen zur Abwehr stochastischer Strahlenwirkungen aufgrund allgemeiner medizinischer Erfahrungen für bösartige Erkrankungen keinen Sinn. Wichtig ist allerdings die Vorsorge und Vorbeugung, wie sich bei den Atombomben-Überlebenden und den jugendlichen Fällen von Schilddrüsentumoren nach dem Tschernobyl-Unfall gezeigte hat.

Zur Vorbeugung gehört die geeignete und ausreichende Information der von einer Strahlenexposition betroffenen Personen. Da im Einzelfall die Ursache für eine Krebserkrankung oder einen Erbschaden nicht nachweisbar ist, muss auf eine verständliche Angabe des Strahlenrisikos viel Wert gelegt werden. Die Problematik, dass Wahrscheinlichkeiten von Laien und Experten unterschiedlich wahrgenommen werden, muss dabei berücksichtigt werden. Weil der Umgang mit Wahrscheinlichkeits-Angaben bzw. Risiken für Laien nicht einfach ist, kann der vorsichtige Vergleich mit anderen Risiken des täglichen Lebens hilfreich sein. Studien zeigten, dass Angaben des absoluten Risikos in der Regel besser als die für relative Risiken verstanden werden. Besonders kritisch wird es, wenn sich die Angabe des Lungenkrensrisikos wie im Fall des Radons auf eine Aktivitätskonzentration und keine Dosis bezieht.

Es gibt genügend Hinweise, dass durch unverständliche oder missverständliche Risikoangaben, Befürchtungen und Ängste bei empfindlichen Personengruppen ausgelöst werden können, die über Stressreaktionen schließlich zu gesundheitlichen Beeinträchtigungen unterschiedlicher Art führen. Solche Gesundheitsschäden beschränken sich nach bisheriger Erfahrung nicht nur auf Tumorerkrankungen. In der Medizin ist seit Jahrzehnten der Placebo-Effekt bekannt, wenn Medikamente mit inaktiven Bestandteilen einen Heilungserfolg bringen. Es gibt Abschätzungen, dass dieser Placebo-Effekt in bis zu 30 Prozent der Medikamentengaben wirksam ist [11]. Es gibt aber auch den gegenteiligen Effekt, dass Patienten, nachdem sie die Nebenwirkungen eines Medikaments in einem Beipackzettel genau studiert hatten, auch die meistens an erster Stelle aufgeführten Nebenwirkungen beobachteten. Dieser Nocebo-Effekt (= ich werde schaden) [12] wird inzwischen ernst genommen und sollte auch beim Strahlenschutz bedacht werden.
Wenn nach einem Unfall übertriebene Schadenserwartungen in der Öffentlichkeit verbreitet werden, dann muss bei empfindlichen Personengruppen mit einem Nocebo-Effekt gerechnet werden. Bisher gibt es Hinweise, dass der Nocebo-Effekt als Folge einer Erwartungshaltung und Konditionierung eintritt und durch physiologische Veränderungen bei den Betroffenen nachweisbar ist.

4. Literaturverzeichnis

[1] Empfehlungen der Internationalen Strahlenschutzkommission. Veröffentlichungen der ICRP 60, 1991. Deutsche Ausgabe. Gustav Fischer Verlag, Stuttgart, 1993

[2] The 2007 Recommendations of the International Commission on Radiological Protection. ICRP Publication 103, Elesevier, Amsterdam, 2007

[3] United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation. Sources and Effects of Ionizing Radiation. Vol. II Effects. 2000 Report to the General Assembly with Scientific Annexes, United Nations, New York, 2000

[4] Health Risks from Exposure to Low Levels of Ionizing Radiation: BEIR VII Phase 2. Board on Radiation Effects Research. NRC, Washington, D.C., 2006

[5] Bericht der Radarkommission, www.bfs.de, 2003 (besucht am 9.2.2008)

[6] Mettler, F.; Upton, A.: Medical Effects of Ionizing Radiation. 2nd Edition. W.B. Saunders Company, Philadelphia, 1995

[7] Doll R.: Epidemiological evidence of the effects of behavior and the environment on the risk of human cancer. Recent Results in Cancer Research, 154:3-21, 1998

[8] Preston, D.; Shimizu, Y.; Pierce; D.A.; Suyama, A.; Mabuchi,K.: Studies of mortality of atomic bomb survivors. Report 13: Solid cancer and noncancer disease mortality, 1950 – 1997. Radiation Research 160: 381-407, 2003

[9] United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation: Sources, Effects and Risks of Ionizing Radiation.United Nations, New York, 1988

[10] Arbeitsgemeinschaft Bevölkerungsbezogener Krebsregister in Deutschland: Krebs in Deutschland, Häufigkeit und Trends, Saarbrücken, 2004.

[11] Internet: http://de.wikipedia.org/wiki/Placebo (besucht am 5.2.2008)

[12] Internet: http://de.wikipedia.org/wiki/Nocebo-Effekt (besucht am 5.2.2008)

E Physikalische und biologische Dosimetrie

BILDUNG VON BIODOSIMETRIE-NETZWERKEN ZUR VORBEREITUNG AUF EINEN GROßEN STRAHLENUNFALL

ESTABLISHING OF BIODOSIMETRY-NETWORKS TO BE PREPARED IN CASE OF A LARGE SCALE RADIATION ACCIDENT

H. Romm, U. Kulka, U. Oestreicher

Bundesamt für Strahlenschutz, Neuherberg, Deutschland

Zusammenfassung
Die biologische Dosimetrie auf der Basis der Analyse dizentrischer Chromosomen ist international eine anerkannte, eigenständige Methode im Rahmen des beruflichen Strahlenschutzes vor allem in Ergänzung zur physikalischen Dosimetrie. Sie wird vor allem bei unklarer Strahlenexposition zur individuellen Dosisabschätzung eingesetzt. In den letzten Jahren erfährt sie eine neue Herausforderung. Als Vorbereitung auf einen großen Strahlenunfall mit einer hohen Anzahl an potentiell exponierten Personen haben sich auf internationaler Ebene etablierte zytogenetische Laboratorien zusammengeschlossen um möglichst effizient handeln zu können. Allgemeine Erfahrungen sowie Ergebnisse aus bereits durchgeführten Ringversuchen werden aufgezeigt und Möglichkeiten für die Zukunft diskutiert.

Summary
Biological dosimetry, based on the analysis of dicentric chromosomes, is an internationally established, independent method applied in the area of radiation protection. The biodosimetry is mainly performed, in addition to physical dosimetry, with the aim of individual dose assessment, especially after unclear or suspected radiation dose exposures. However, a new biodosimetrical challenge has emerged in recent years in the form of a possible large scale radiation accident potentially involving large numbers of exposed persons. In order to be prepared to act in an efficient manner in such an accident, the established cytogenetic laboratories have increased their cooperation at the international level. General experience and results of intercomparisons will be reported and future options will be discussed.

Schlüsselwörter *biologische Dosimetrie, dizentrische Chromosomen, Dosisabschätzung, Strahlenunfall, Biodosimetrie Netzwerk*
Keywords *biodosimetry, dicentric chromosomes, dose estimation, radiation accident, biodosimetry network*

1. Einleitung

Unter biologischer Dosimetrie versteht man die Quantifizierung einer Exposition mit ionisierender Strahlung anhand eines biologischen Indikators. Grundsätzlich stehen Indikatoren auf molekularer, zytogenetischer und zellulärer Ebene zur Verfügung. Sie sind unterschiedlich weit ausgereift und stehen hinsichtlich ihrer Eignung und Aussagekraft zum Teil noch in Diskussion. An einen biologischen Indikator zum Nachweis einer Strahlenbelastung werden unterschiedliche Anforderungen gestellt. Zu diesen Kriterien gehören eine niedrige spontane Häufigkeit, eine charakteristische Reaktion auf ionisierende Strahlung, klare und reproduzierbare Dosiswirkungsbeziehungen, eine Persistenz des Effektes über eine

ausreichend große Zeitspanne nach der Exposition und eine minimal invasive Probenentnahme. Gegenwärtig erfüllt die Analyse struktureller Chromosomenaberrationen in Lymphozyten des peripheren Blutes die genanten Anforderungen am besten.

Die Methode der Chromosomenanalyse ist standardisiert [1, 2] und wird inzwischen in vielen Ländern als Methode der Wahl im Rahmen des beruflichen Strahlenschutzes, vor allem in Ergänzung zur physikalischen Dosimetrie eingesetzt. Die biologische Dosimetrie kann die physikalische Dosimetrie bei der Dosisrekonstruktion unterstützen und stellt eine zusätzliche, unabhängige Informationsquelle dar, die bei der Annerkennung von Berufskrankheiten eine Rolle spielen kann.

In der Arbeitsgruppe Biologische Strahlenwirkungen, Biologische Dosimetrie des Bundesamtes für Strahlenschutz (BfS) wird zentral für die Bundesrepublik Deutschland die Aufgabe der Biologischen Dosimetrie wahrgenommen. Auf Beschluss des Länderausschusses Atomkernenergie wurde 1982 das Institut für Strahlenhygiene des Bundesgesundheitsamtes, jetzt Fachbereich Strahlenschutz und Gesundheit beim Bundesamt für Strahlenschutz, für diese Aufgabe bestimmt. Bisher wurden von über 300 vermutlich oder tatsächlich strahlenexponierten Personen Chromosomenanalysen im Rahmen des so genannten kleinen Strahlenunfalles durchgeführt [3-5].
Im folgenden wird auf die neuen Herausforderungen für die biologische Dosimetrie im Rahmen der Vorbereitung auf einen möglichen großem Strahlenunfall eingegangen.

2. Grundlagen der biologischen Dosimetrie

Nach einer akuten Strahlenexposition ist für die biologische Dosimetrie die Analyse dizentrischer Chromosomen aus Metaphasen von peripheren Lymphozyten die Methode der Wahl. Das dizentrische Chromosom tritt spontan mir einer niedrigen Frequenz auf, ist charakteristisch für ionisierende Strahlung und ermöglicht anhand seiner Verteilung auf die Zellen eine Aussage über die Homogenität der Strahlenexposition, d.h. eine Unterscheidung zwischen Ganz- und Teilkörperexposition.

Für die Chromosomenanalyse wird Blut aus der Armvene benötigt, die Blutentnahme sollte zeitnah nach der Bestrahlung mit Lithium-Heparin beschichteten Röhrchen erfolgen. Bei der Analyse werden nur Zellen mit vollständigem Chromosomensatz berücksichtigt und die Häufigkeit an dizentrischen Chromosomen (Abb. 1) bestimmt.

Abb. 1: Metaphase mit strukturellen Chromosomenaberrationen, dizentrisches Chromosom (dic) und assoziiertes azentrisches Fragment (ace)

Dizentrische Chromosomen sind an zwei Einschnürungen (Zentromeren) zu erkennen. Sie entstehen durch eine fehlerhafte Reparatur von je einem Doppelstrangbruch in zwei Chromosomen und werden in der Regel von Chromosomenbruchstücken ohne Zentromer (azentrische Chromosomen) begleitet.
Für eine zuverlässige Dosisabschätzung existieren im BfS laboreigene Kontrolldaten von 53 gesunden, nicht strahlenexponierten Personen mit einer mittleren Spontanrate von rund 1 dizentrischen Chromosom in 1000 ausgewerteten Zellen. Weiterhin existieren Kalibrierkurven für verschiedene Strahlenqualitäten. Um eine Dosis abschätzen zu können, muss die bei einer exponierten Person beobachtete Aberrationshäufigkeit signifikant höher sein als der Kontrollwert. Auf der Basis dieser Kontrollen, Kalibrierkurven und 1000 analysierten Zellen einer exponierten Person liegt die untere Nachweisgrenze mittels dizentrischer Chromosomen bei 100 mGy für locker ionisierende Strahlung und für dicht ionisierende Strahlung bei 50 mGy. Nach einem kleinen Strahlenunfall werden im Rahmen der biologischen Dosimetrie in der Regel 500 bis 1000 Zellen für eine individuelle Dosisabschätzung ausgewertet und spezielle statistische Verfahren [6] bei der Begutachtung eingesetzt. Mit dem System der Regionalen Strahlenschutzzentren ist die Arbeitsgruppe beim BfS in das Unfallmanagement bei beruflichen Strahlenunfällen eingebunden [7].

3. Bedarf für Biodosimetrie Netzwerke

In den letzten Jahren wurden in mehreren Ländern Vorbereitungen getroffen, um bei einem großen Strahlenunfall möglichst effizient reagieren zu können. Da nach einem großen Strahlenunfall oder terroristischen Anschlag mit einer großen Anzahl an potenziell bestrahlten Personen zu rechnen ist, stellt die Triage (Klassifizierung der Unfallopfer nach dem Schweregrad der Strahlenexposition) einen wichtigen ersten Schritt für die medizinische Versorgung der Bestrahlten dar. Hierbei spielen die klinischen Symptome der Betroffenen zunächst die entscheidende Rolle, dosimetrische Aspekte sind von untergeordneter Bedeutung. Im weiteren Verlauf der Versorgung werden jedoch genauere Angaben zur Höhe und Art der Strahlenbelastung benötigt, um die medizinische Behandlung auf eine möglichst fundierte Expositionsbestimmung gründen zu können. Hier kann die biologische Dosimetrie durch eine erste Dosisabschätzung auf individueller Ebene für die medizinische Begleitung und als Information für die Betroffenen hilfreich sein [8]. Weiterhin kann die zytogenetische Triage bestätigen, ob die beobachteten Symptome auf Strahlung zurück zu führen sind oder möglicherweise eine andere Ursache haben.

Zu einem späteren Zeitpunkt gewinnen zusätzliche individuelle Dosisangaben an Bedeutung, um fundiert einschätzen zu können, in welchem Umfang und Ausmaß die Strahlenexposition deterministische oder stochastische Effekte zur Folge haben können. Hier kann die biologische Dosimetrie in Form einer umfangreicheren Chromosomenanalyse eine realistische Dosisabschätzung auf individueller Ebene liefern.

Die Chromosomenanalyse ist eine relativ zeitaufwendige Methode, da die Lymphozyten 2 Tage kultiviert und anschließend manuell ausgewertet werden. Im Falle eines großen Strahlenunfalls ist daher beabsichtigt, für eine schnelle und zuverlässige Abschätzung von hohen Strahlendosen (> 1 Gy) pro Person zunächst 20 bis 50 Zellen zu analysieren bzw. maximal bis eine Anzahl von 30 dizentrischen Chromosomen erreicht ist. Diese Vorgehensweise wurde experimentell untersucht [9] und erlaubt eine individuelle Dosisabschätzung mit einer Unsicherheit von ± 0,5 Gy. In dieser Form ist es möglich die klinische Triage zu ergänzen und zu unterstützen. Je nach Art und Umfang der Unfallsituation werden für eine zeitnahe Analyse die Anzahl der zu analysierenden Zellen zunächst von der Anzahl der zu

untersuchenden Personen abhängig gemacht. Zu einem späteren Zeitpunkt besteht die Möglichkeit, bei Bedarf im Einzelfall durch eine Aufstockung der Zellzahl die Expositionsdosis genauer zu bestimmen.

Damit die biologische Dosimetrie nach einem Strahlenunfall auch bei einer großen Anzahl betroffener Personen (über 100 Personen) durchgeführt werden kann, ist es notwendig, fachkundige biologische Dosimetrielaboratorien miteinander zu vernetzen. Einzelne Laboratorien sind für eine derart umfangreiche Analyse nicht ausgestattet und stoßen aufgrund der begrenzten Ressourcen von geschultem Personal schnell an ihre Grenzen.

4. Aufbau von Biodosimetrie Netzwerken

Zur Vorbereitung auf einen großen Strahlenunfall wurde 2004 ein Netzwerk für biologische Dosimetrie zwischen der Health Protection Agency (HPA, Großbritannien), dem Institut de Radioprotection et de Sûreté Nucléaire (IRSN, Frankreich) und dem Bundesamt für Strahlenschutz (BfS, Deutschland) aufgebaut, um die Kapazität insgesamt zu erhöhen und flexibel auf Ereignisse reagieren zu können. Weitere europäische Staaten haben Interesse bekundet, sich an dem Netzwerk zu beteiligen.

Die Form der Zusammenarbeit wurde von den drei teilnehmenden Institutionen in Form eines „Memorandum of Understanding“ geregelt. Bei einem Ereignisfall mit radiologischen Auswirkungen auf eine größere Anzahl von Personen bekommt das Labor die leitende und koordinierende Funktion im Netzwerk, in dessen Land das Ereignis stattgefunden hat. Dieses Labor wird entscheiden, ob und in welchem Umfang das Netzwerk aktiviert wird. Alle Ergebnisse werden in dieses Labor geschickt, dort zusammengefasst und an die zuständigen Einrichtungen weitergeleitet. Dieses Labor ist auch zentraler Ansprechpartner für die behandelnden medizinischen Einrichtungen.

Neben diesem europäischem Netzwerk wurden auch in anderen Staaten auf nationaler Ebene in Amerika, Kanada, Japan und international in Südamerika Netzwerke etabliert [10-12]. Durch einen Ringversuch konnte 2007 gezeigt werden, dass auch eine gegenseitige Unterstützung auf weltweiter Ebene möglich ist. Die WHO plant derzeit den Aufbau eines globalen Biodosimetrie Netzwerkes im Zusammenhang mit einem weltweit unterstützend agierendem Notfallmanagement.

5. Erfahrungen mit Biodosimetrie Netzwerken

Ein großer Strahlenunfall bedeutet für ein zytogenetisches Labor, innerhalb kurzer Zeit mit einem hohen Durchsatz an Proben konfrontiert zu sein. Neben dem Management der Blutproben, inklusive Kultivierung und Aufarbeitung ist die zügige Auswertung der Proben zu bewältigen. Durch eine Vernetzung der biologischen Labors können personelle und technische Engpässe überwunden werden. Im Rahmen der internationalen Netzwerke werden Blutproben auf die einzelnen Labors verteilt. Da die mikroskopische Analyse am zeitaufwendigsten ist, liegt die Auslöseschwelle für die Aktivierung des Netzwerkes bei einem Eingang von mehr als 100 Proben. Bei weniger als 100 Proben kann die Auswertung durch eine Reduzierung der zu analysierenden Zellen von 500 Zellen auf 20 bis 50 Zellen oder maximal 30 dizentrischen Chromosomen gewährleistet werden. Die permanente Vorratshaltung aller notwendiger Verbrauchsmaterialien für mind. 100 Proben ist eine Vorgabe für jedes Labor im Netzwerk. Innerhalb eines Netzwerkes werden die erforderlichen Daten für eine ständige Erreichbarkeit ausgetauscht. Es werden Vereinbarungen hinsichtlich

des Verfahrensablaufes getroffen, z.B wie die Proben verschickt, angesetzt, ausgewertet und welche Informationen zurückgemeldet werden. Während das auslösende Labor die Analysen federführend koordiniert und im Zentrum der Kommunikation mit allen beteiligten Institutionen steht, werden die anderen Labore die Präparate erstellen, auswerten, analysieren und zum Schluss anhand eigener Dosiseffektkurven eine Dosisabschätzung vornehmen und zurückmelden. Dieses Daten werden dann an die behandelnden Zentren weitergeleitet. Das Verfahren wurde kürzlich einvernehmlich zwischen zytogenetischen Laboren auf internationaler Ebene abgestimmt und wird bald als ISO Standard analog zu dem ISO Standard für die Biologische Dosimetrie publiziert [2].

Unter Beteiligung der im europäischen Netzwerk organisierten zytogenetischen Labore fand 2002 in dem Forschungsreaktor SILENE (Valduc, Frankreich) eine internationale Übung zur vergleichenden biologischen Dosimetrie nach einem Strahlenunfall statt. Die Übung wurde gemeinsam von dem IRSN (Institut de Radioprotection et de Sûrete Nucleaire, Frankreich) und der OECD Nuclear Energy Agency mit finanzieller Unterstützung durch die EC organisiert und geplant. Es wurden drei charakteristische Szenarien für einen kritischen Unfall in der Anlage experimentell simuliert, hierbei wurde von einer simultanen hochgradigen Exposition mit Neutronen- und Gammastrahlung (1, 2, und 4 Gy) ausgegangen. Bei einer vierten Bestrahlung (2 Gy) handelte es sich um eine reine ^{60}Co-Gammastrahlung.

Die bestrahlten Blutproben wurden im IRSN kultiviert [13]. Anschließend wurden Zellsuspensionen an die teilnehmenden Labore zur vergleichenden Auswertung verschickt. Von einem Versand von Blutproben wurde wegen den möglichen Verzögerungen beim Versand ins Ausland Abstand genommen. Durch das gewählte Verfahren waren die Zellkulturen für alle Teilnehmer gleich und führten nicht zu einer zusätzlichen Variablen.

Bei dem Vergleich der erzielten Ergebnisse hinsichtlich der Häufigkeit an dizentrischen Chromosomen von 13 Laboren ergab sich, dass ca. 75% der Labore eine Aberrationsrate im Bereich des Mittelwertes ± SD erzielten. Einige Labore hatten bisher wenig Erfahrung mit Neutronenstrahlung und den daraus resultierenden verhältnismäßig hohen Aberrationsraten. Möglicherweise beeinflusste in Einzelfällen der lange Transport die Qualität der Zellsuspension. Es waren nur 4 Labore in der Lage eine Dosisabschätzung für die Proben nach Neutronen/Gammastrahlung vorzunehmen [14]. Für die Probe nach Gammabestrahlung machten 10 von 12 Laboren (83%) eine korrekte Dosisabschätzung von 2 Gy ± 20%. Dies zeigt, dass die Variation zwischen den Laboren geringer ausfällt, wenn anstelle der Aberrationsraten die abschätzten Dosen verglichen werden und spricht dafür, dass die Auswertekriterien in den Labors unterschiedlich sind.

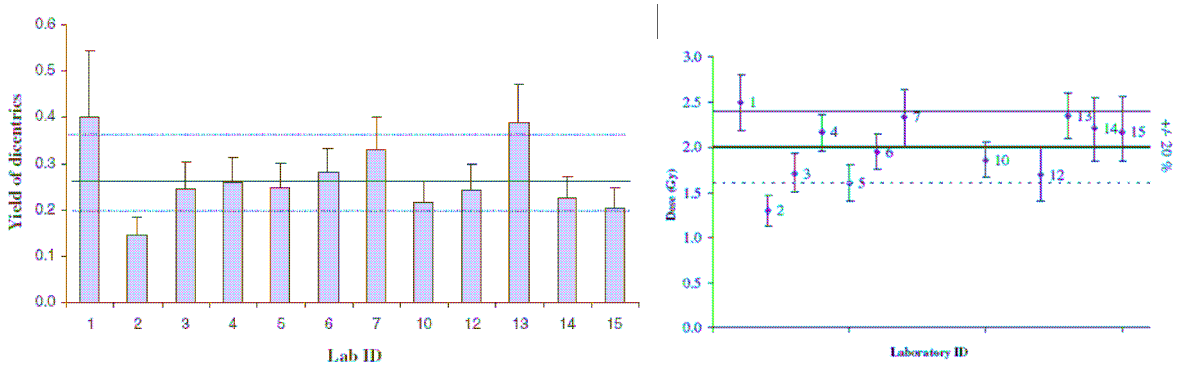


Abb. 2: Ergebnisse des SILENE Experiments von 12 Laboren nach Bestrahlung mit 2 Gy ^{60}Co-Gammastrahlung, links sind die Aberrationsraten, rechts die abgeschätzten Dosen dargestellt. Quelle: [13].

Auf Basis des neuen ISO-Standards zur biologischen Dosimetrie [2] wurde 2007 unter Federführung des Armed Forces Radiobiology Research Institute (AFRRI, Bethesda, USA) ein Internationaler Ringversuch zur dizentrischen Analyse im Rahmen der biologischen Dosimetrie durchgeführt [15]. Die 5 teilnehmenden Biodosimetrielabors (AFRRI; Radiation Emergency Assistance Center, Oak Ridge, USA; Health Canada Consumer and Clinical Radiation Protection Bureau, Ottawa, Canada; National Institute of Radiological Sciences, Chiba, Japan und Bundesamt für Strahlenschutz) haben im Rahmen des Projektes jeweils eigene Kalibrierkurven für Gammastrahlung erstellt. Das Blut wurde im AFRRI bestrahlt und als Vollblut an die teilnehmenden Laboratorien versandt. Im zweiten Teil des Ringversuches wurden jeweils 4 codierte Proben versendet. Die Aufgabe bestand darin, dass jedes Labor eine eigene Dosiseffektkurve erstellt und anhand deren dann eine Dosisabschätzung für die vier mit verschieden Dosen bestrahlten Blindproben erfolgt.

Die Ergebnisse zeigten hinsichtlich der Vergleichbarkeit der Kalibrierkurven eine gute Übereinstimmung. Unterschiede gab es lediglich im hohen Dosisbereich zwischen zwei Labors. Bei den kodierten Blindproben stimmte bei allen 5 Labors die bestrahlte Dosis mit der abgeschätzten Dosis überein. Damit konnte gezeigt werden, dass in dem applizierten Dosisbereich der Blindproben von 0,75 bis 4,5 Gy eine exakte Dosisabschätzung von allen beteiligten Labors möglich ist. Das heißt, dass der Versand von Vollblut trotz unterschiedlicher Transportzeiten von bis zu 60 Stunden keinen Einfluss auf das Ergebnis hatte. Einvernehmen bestand darin, dass jedes Labor für eine Dosisabschätzung nur seine selbst erstellte Kalibrierkurve verwenden sollte. Durch diese erfolgreiche Durchführung des Ringversuches konnte die Funktionsfähigkeit einer internationalen Kooperation demonstriert werden [15].

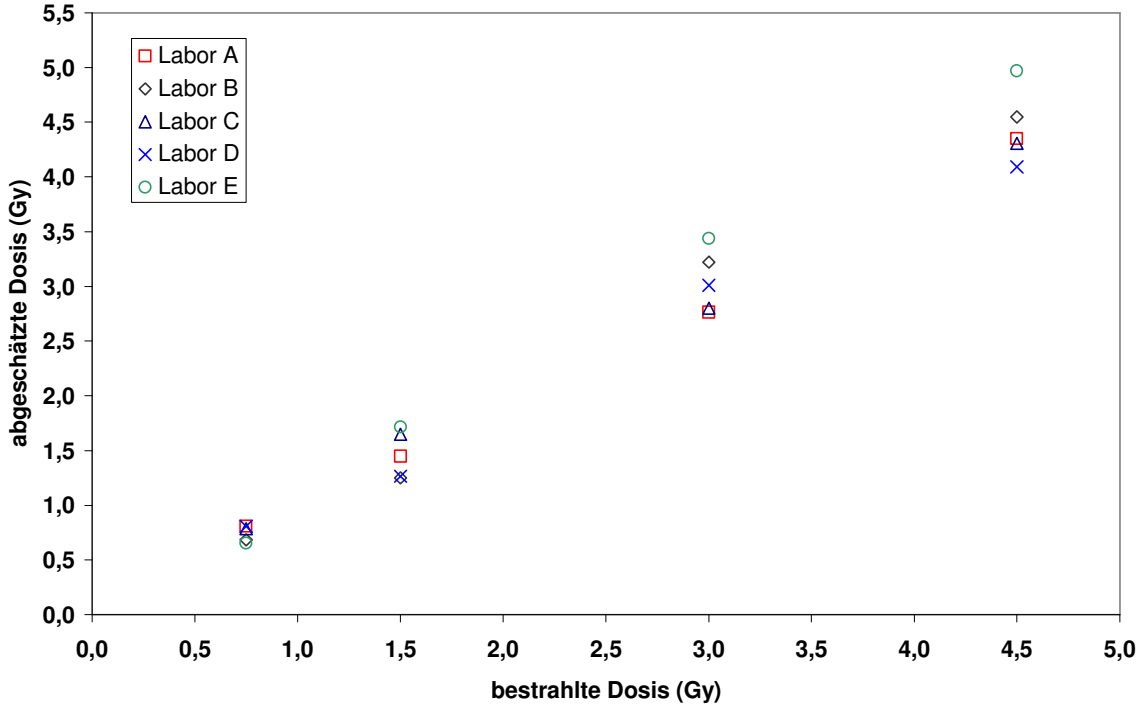


Abb. 3: Ergebnis der Dosisabschätzungen von kodiert versandten Vollblutproben aus dem Ringversuch mit 5 beteiligten Biodosimetrie Laboren

6. Zukünftige Entwicklung

Derzeit wird in den Laboren intensiv nach neuen biologischen Indikatoren gesucht. Es werden Verfahren entwickelt und getestet, die in der Zukunft ein schnelles und leistungsfähiges Screening ermöglichen sollen. Die Verfahren in der Zytogenetik werden weiterentwickelt. Die Kultivierung und Präparation der Zellen kann weitgehend automatisiert werden [16]. Viele technische Neuerungen wie z.B. die Motorisierung der Mikroskope, die automatisierte Bilderfassung und Digitalisierung und die dazugehörigen Computerprogramme gestalten die Auswertung effizienter und schneller. Die Absuche eines Präparates kann mit Hilfe eines Metaphasefinders innerhalb von Minuten erfolgen und automatisch die Koordinaten der auswertbaren Zellen erfassen. Die Analyse erfolgt jedoch noch immer manuell durch einen erfahrenen Zytogenetiker.

Durch leistungsfähige Kamerasysteme können grundsätzlich alle Metaphasen auf einem Objektträger hochauflösend digital erfasst und abgespeichert werden. Bei ausreichender Qualität der Bilder kann über das Internet die Meinung von Kollegen eingeholt bzw. die Auswertung auf mehrere Labors verteilt werden. Durch eine Weiterentwicklung der semi-automatisierten Analyse von dizentrischen Chromosomen [17] könnte die Aussagekraft des Verfahrens zukünftig für eine schnelle erste Bewertung der Ausmaßes eines Unfalles geeignet sein.

Auf nationaler Ebene könnte ein Biodosimetrielabor bei Unterstützung durch die klinisch bzw. forschend ausgerichteten zytogenetischen Labore ein Netzwerk aufbauen, bei dem die Auswertung der Metaphasen dezentral erfolgt. Wichtig wäre hier ein entsprechendes Training aller beteiligten Institutionen hinsichtlich der Auswertekriterien, um einheitliche Ergebnisse zu erzielen. Durch Ringversuche wäre eine Qualitätssicherung zu dokumentieren.

Die internationale Vernetzung der Biodosimetrie Labore wird voraussichtlich weiter voranschreiten. Dieser Prozess wird von der Erarbeitung entsprechender Standards, Abgleich der Verfahren und Protokolle, der Weiterentwicklung und Evaluierung der Methoden zur Bewältigung großer Probendurchsätze begleitet.

7. Danksagung

Für die permanente Unterstützung und die sorgfältige Durchführung der Chromosomen-analysen sei Frau Dana Westpfahl und Frau Sabine Wenzel herzlichst gedankt.

8. Literaturverzeichnis

[1] IAEA, Cytogenetic Analysis for Radiation Dose Assessment, A Manual, in Technical Reports Series No. 260. 2001, International Atomic Energy Agency: Vienna.

[2] ISO 19238: Radiation protection -- Performance criteria for service laboratories performing biological dosimetry by cytogenetics, ed. I.I.O.f. Standardization). 2004.

[3] Stephan, G., U. Oestreicher, and H. Romm, Biological Dosimetry. , in Chromosomal Alterations – Methods, Results and Importance in Human Health., O.G.u. Vijayalaxmi, Editor. 2007, Springer: Heidelberg. p. 341-349.

[4] Romm, H., U. Oestreicher, and G. Stephan, Welche Möglichkeit bietet die biologische Dosimetrie für den beruflichen Strahlenschutz? Strahlenschutzpraxis, 2005. **1**: p. 37-42.

[5] Romm, H. and G. Stephan, Chromosome analysis - a routine method for quantitative radiation dose assessment. Kerntechnik, 1990. **55**: p. 219 - 225.
[6] Deperas, J., et al., CABAS: a freely available PC program for fitting calibration curves in chromosome aberration dosimetry. Radiat Prot Dosimetry, 2007. **124**(2): p. 115-23.
[7] SSK, Der Strahlenunfall. Veröffentlichungen der Strahlenschutzkommission. Band 32. 2007
[8] Alexander, G.A., et al., BiodosEPR-2006 Meeting: Acute dosimetry consensus committee recommendations on biodosimetry applications in events involving uses of radiation by terrorists and radiation accidents. Radiation Measurements 2007. **42**(6-7): p. 972-996.
[9] Lloyd, D.C., et al., The role of cytogenetics in early triage of radiation casualties. Applied Radiation and Isotopes, 2000. **52**(5): p. 1107-1112.
[10] Albanese, J., et al., Building Connecticut's clinical biodosimetry laboratory surge capacity to mitigate the health consequences of radiological and nuclear disasters: A collaborative approach between the state biodosimetry laboratory and Connecticut's medical infrastructure. Radiation Measurements 2007. **42**(6-7): p. 1138-1142
[11] Yoshida, M.A., et al., The Chromosome Network for biodosimetry in Japan. Radiation Measurements 2007. **42**(6-7): p. 1125-1127.
[12] Miller, S.M., et al., Canadian Cytogenetic Emergency network (CEN) for biological dosimetry following radiological/nuclear accidents. Int J Radiat Biol, 2007. **83**(7): p. 471-7.
[13] Roy, L., et al., International intercomparison for criticality dosimetry: the case of biological dosimetry. Radiat Prot Dosimetry, 2004. **110**(1-4): p. 471-6.
[14] Voisin, P., et al., Criticality accident dosimetry by chromosomal analysis. Radiat Prot Dosimetry, 2004. **110**(1-4): p. 443-7.
[15] Wilkins, R.C., et al., Inter-laboratory comparison of the dicentric assay for radiation biodosimetry in mass casualty events. Radiat Res, 2008. **in press**.
[16] Martin, P.R., et al., Sample Tracking in an Automated Cytogenetic Biodosimetry Laboratory for Radiation Mass Casualties. Radiat Meas, 2007. **42**(6-7): p. 1119-1124.
[17] Schunck, C., et al., New developments in automated cytogenetic imaging: unattended scoring of dicentric chromosomes, micronuclei, single cell gel electrophoresis, and fluorescence signals. Cytogenet Genome Res, 2004. **104**(1-4): p. 383-9.

DOSISABSCHÄTZUNG IN DER NOTFALLSTATION

DOSE ASSESSMENT IN THE EMERGENCY CARE CENTRE

H. Schnadt

TÜV Rheinland Industrie Service GmbH, Köln, Deutschland

Zusammenfassung
In einer Notfallstation werden Personen, die sich nach der unfallbedingten Freisetzung von Radionukliden während oder nach Durchzug der radioaktiven Wolke im betroffenen Gebiet aufgehalten haben, im Hinblick auf die weitere medizinische Behandlungsbedürftigkeit untersucht und beraten. Die Untersuchung beinhaltet eine Dosisabschätzung auf der Grundlage der Aufenthaltsorte und –zeiten und den dort vorherrschenden Kontaminationsbedingungen, insbesondere den Ortsdosisleistungen. Die dafür notwendigen Informationen müssen von der Katastrophenschutzleitung bzw. vom radiologischen Lagezentrum zur Verfügung gestellt werden. Die Dosisabschätzung in der Notfallstation kann manuell oder einfacher, schneller und weniger fehlerträchtig mit einem Rechenprogramm durchgeführt werden. Ein solches Programm wird vorgestellt.

Summary
In an emergency care centre persons, who after an accidental release of radioactivity stayed in the area affected by the radioactive cloud are examined with respect to the need of further medical treatment and examination. The examination contains a dose assessment on the basis of the places of residence and - times and the contamination conditions prevailing there, in particular the local dose rates. The information necessary for the assessment must be provided by the disaster control centre resp. by the radiological assessment centre. The dose assessment in the emergency care centre can be done manually on the basis of forms or more easily, quickly and less error prone by a computer code. Such a computer code is presented.

Schlüsselwörter *Dosisabschätzung, Notfallstation, Katastrophenschutz*
Keywords *Dose assessment, emergency care centre, civil protection*

1. Einleitung

Falls es nach einem kerntechnischen Unfall zu einer größeren Freisetzung von Radionukliden kommt und dabei es dabei in Gebieten außerhalb der kerntechnischen Anlage zu Kontaminationen und Strahlenexpositionen der Bevölkerung kommen sollte, können nach Anweisung durch die Katastrophenschutzleitung Notfallstationen eingerichtet werden [1]. Das Konzept der Notfallstation wird in Band 4 der Veröffentlichungen der Strahlenschutzkommission „Medizinische Maßnahmen bei Kernkraftwerksunfällen“ [2] beschrieben. Einen Überblick vermittelt der Beitrag von Miska [3] in diesem Band. Es existieren länderspezifische Ausgestaltungen dieses Konzeptes, z. B. in Bayern, Baden-Württemberg, Hessen und Rheinland-Pfalz. In diesem Beitrag wird das Konzept des Landes Rheinland-Pfalz zugrunde [4] gelegt, welches sich - in der derzeitig in Überarbeitung befindlichen Fassung - stark an den Vorgaben der Strahlenschutzkommission orientiert.

Ein nicht unwesentlicher Bestandteil des Konzeptes ist die Dosisabschätzung, die individuell für die Betroffenen als Grundlage der strahlenmedizinischen Beurteilung durchgeführt werden soll. Ergebnis der ärztlichen Beurteilung soll die Feststellung sein, ob weitere ambulante Maßnahmen oder Beobachtungen erfolgen sollten oder ob eine sofortige Einweisung in eine Klinik erforderlich ist. Der Strahlenschutzarzt muss ebenso in der Lage sein, ggf. den Betroffenen auf der Grundlage der jeweiligen individuellen Situation zu erläutern, dass medizinische Maßnahmen nicht notwendig sind.

2. Rahmenbedingungen

Von Bedeutung ist in diesem Zusammenhang, dass Notfallstationen unmittelbar im Anschluss an die Strahlenexposition zu betreiben sind. Dies wird ggf. nach einer Evakuierung erfolgen, die nach Durchzug einer radioaktiven Wolke und der Kontamination eines Gebietes angeordnet werden muss. Die Notfallstation wird etwa einen halben bis einen Tag nach einer Freisetzung aufgebaut und dann für einen oder mehrere Tage betrieben werden.

In die Notfallstation kommen Betroffene daher sehr bald nach der potenziellen Strahlenexposition. Es ist nur in seltenen Fällen möglich, wenn nämlich eine sehr hohe Strahlenexposition, etwa in der Größenordnung von einigen Gy Ganzkörperbestrahlung stattgefunden hat [5], die Behandlungsbedürftigkeit aus der Frühsymptomatik des akuten Strahlensyndroms abzuleiten. Wenn die Schwellendosen für deterministische Effekte in der Größenordnung von 0,5 Gy bis 1 Gy nur knapp überschritten sind, sind die Symptome wie Übelkeit, gelegentlich Erbrechen in der Regel ziemlich unspezifisch und können durchaus auch andere Ursachen, etwa im psychischen Bereich, haben.

Man benötigt daher zusätzliche Indikatoren, die den Verdacht auf eine hohe Strahlenexposition stützen. Solche Indikatoren sollen aus der Kenntnis der Ortsdosisleistungen während und nach Durchzug der Wolke und den Aufenthaltsorten der Betroffenen während dieser Zeit gewonnen werden. In [2] wird diese Methode als fehlerträchtig eingestuft, allerdings ohne nähere Begründung. Man darf aber vermuten, dass als Vergleichsmaßstab eine genaue, nachträgliche Dosimetrie angesehen wird. Eine solche Dosimetrie ist unter den Bedingungen einer Notfallstation nicht möglich. Allenfalls sollen die Befunde in der Notfallstation Hinweise dafür ergeben, dass eine genauere Dosimetrie erforderlich sein kann.

3. Verfahren und Datenbereitstellung

Theoretisch ist die Durchführung einer Dosisabschätzung sehr einfach. Man nehme die Dosisleistung am Aufenthaltsort und multipliziere sie mit der Aufenthaltsdauer. Falls die Personen Schutz im Haus gesucht haben, dividiere man das Ergebnis durch einen passenden Schutzfaktor und erhält die Strahlendosis. Bei mehreren Aufenthaltsorten und –zeiten wird diese Prozedur mehrfach durchgeführt und die erhaltenen Teildosen addiert. Dieses Verfahren kann mit einem in [2] dargestellten Formblatt manuell durchgeführt werden.

Notwendig für dieses Verfahren ist die Kenntnis der Dosisbeiträge an den möglichen Aufenthaltsorten für alle in Frage kommenden Zeitintervalle. In Rheinland-Pfalz wurden Prozeduren etabliert, wonach diese Daten vom radiologischen Lagezentrum im Ministerium für Umwelt, Forsten und Verbraucherschutz über die elektronische Lagedarstellung (ELD) den Notfallstationen als Datei zur Verfügung gestellt.

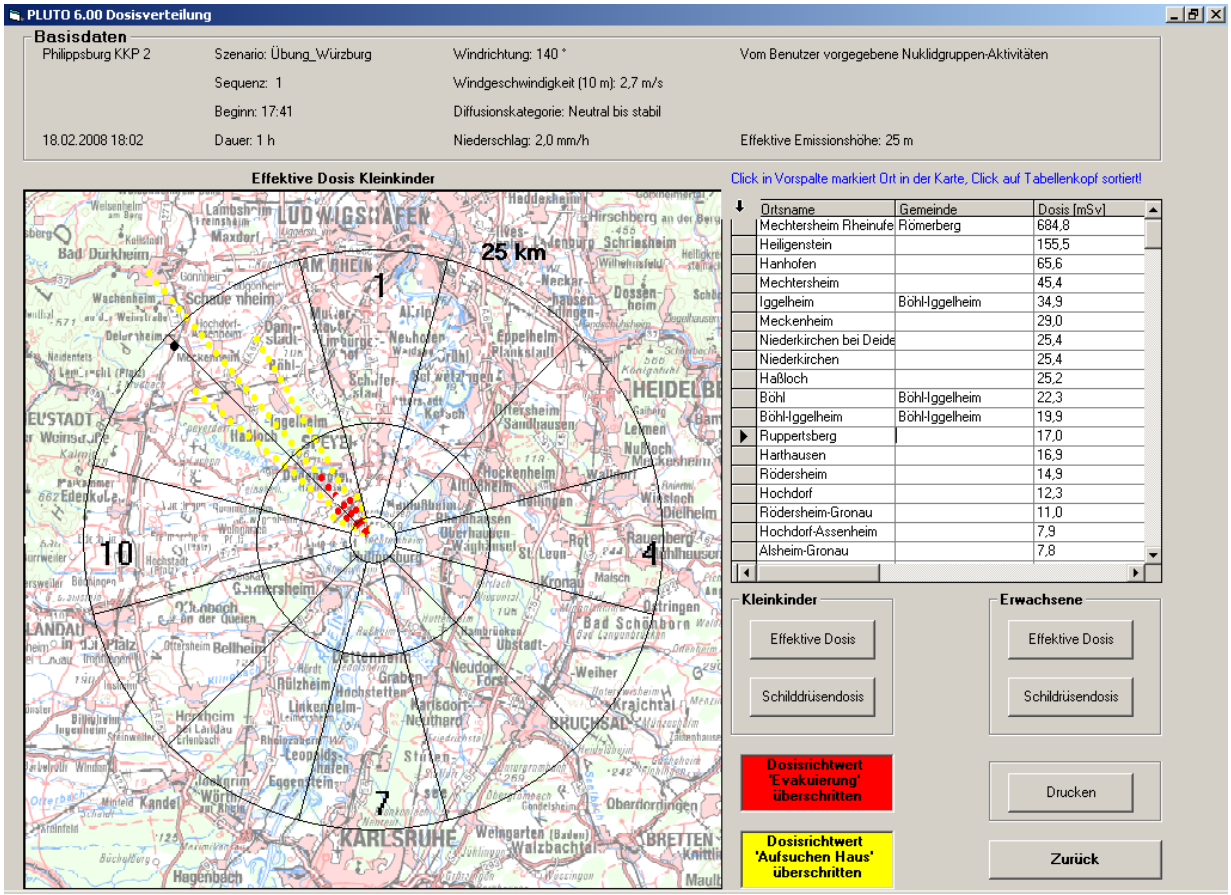


Abbildung 1: Darstellung von Ergebnissen in PLUTO 6.0

Bei Übungen werden diese Daten durch einfache Ausbreitungsrechnungen mit dem Rechenprogramm PLUTO 6.0 [6] erzeugt (siehe Abbildung 1). Bei einem tatsächlichen Kernkraftwerksunfall sollen diese Daten aus Messungen der Ortsdosisleistung an den kontinuierlich arbeitenden Messstationen gewonnen werden. Für die Abschätzung der Inhalationsdosisbeiträge werden zusätzlich Messungen der Aktivitätskonzentration von Jod und Schwebstoffen in der Luft notwendig, allerdings nicht ortsspezifisch. Ergebnisse sind in jedem Fall Exceltabellen, wie sie in Abbildung 2 auszugsweise für die Schilddrüsendosis dargestellt sind. Neben den orts- und zeitabhängigen Dosisbeiträgen zur Schilddrüsendosis sind auch die Dosisbeiträge zur externen Dosis aus Wolken- und Bodenstrahlung in der Exceltabelle angegeben (in Abbildung 2 weggelassen).

Das manuelle Verfahren ist relativ zeitraubend und auch fehleranfällig. Deshalb wurde ein Rechenprogramm auf Excel-Basis (Visual Basic for Applications) entwickelt, mit dem die Dosisabschätzung ziemlich einfach durchgeführt werden kann.

4. Rechenprogramm Notfallstation_10

Das in Rheinland-Pfalz eingeführte Rechenprogramm „NOTFALLSTATION_10“ benutzt das gleiche Verfahren wie das oben beschriebene manuelle Verfahren. Die vom radiologischen Lagezentrum erstellten Daten der Dosisbeiträge kommen als Exceldatei mit integriertem Auswertungsprogramm. Die Datei wird in Arbeitsplatzrechner an der Teilstation „Dosisabschätzung“ übertragen. Nach dem Start des Programms wird eine Folge von Formularen aufgerufen. Das Formular, welches bei Eintreffen einer Person an der Teilstation „Dosisabschätzung“ aufgerufen wird, wird in Abbildung 3 dargestellt. Da an der Station, abhängig von

den Ergebnissen der rechnerischen Abschätzung, eine Ortsdosisleistungsmessung an der Schilddrüse vorgenommen wird, wird mit diesem Formular auch die Nullrate eingelesen.

Microsoft Excel - N_Würzburg_II.xls

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	Inhalation SD Kleinkinder					Stunde				
2	Ortsname	Zone	Entfernung km	16:00	16:30	17:00	17:30	18:00	18:30	19:00
3	Mechtersheim Rheinufer	Z	1	0,0	4016,6	4590,5	573,9	0,0	0,0	0,0
4	Mechtersheim	M	3	0,0	132,3	239,0	106,7	0,0	0,0	0,0
5	Berghausen	M	5	0,0	4,8	22,4	17,6	0,0	0,0	0,0
6	Heiligenstein	M	5	0,0	189,9	695,0	505,1	0,0	0,0	0,0
7	Dudenhofen	M	8	0,0	0,0	14,1	18,3	4,2	0,0	0,0
8	Harthausen	M	8	0,0	0,0	45,5	58,9	13,4	0,0	0,0
9	Hanhofen	M	10	0,0	0,0	87,0	197,9	110,9	0,0	0,0
10	Iggelheim	A	15	0,0	0,0	0,0	43,1	74,5	31,4	0,0
11	Böhl-Iggelheim	A	17	0,0	0,0	0,0	12,3	38,6	26,3	0,0
12	Böhl	A	18	0,0	0,0	0,0	9,7	41,7	32,1	0,0
13	Haßloch	A	18	0,0	0,0	0,0	9,5	46,7	37,2	0,0
14	Dannstadt	A	21	0,0	0,0	0,0	0,0	0,8	0,9	0,2
15	Hochdorf	A	22	0,0	0,0	0,0	0,0	11,3	18,4	7,1
16	Meckenheim	A	22	0,0	0,0	0,0	0,0	21,7	42,0	20,3
17	Dannstadt-Schauernheim	A	23	0,0	0,0	0,0	0,0	0,3	0,6	0,3
18	Alsheim-Gronau	A	24	0,0	0,0	0,0	0,0	3,5	10,6	7,1
19	Gimmeldingen	A	25	0,0	0,0	0,0	0,0	0,3	1,0	0,7
20	Haardt an der Weinstraße	A	25	0,0	0,0	0,0	0,0	0,1	0,3	0,2
21										
22										

Abbildung 2: Beispielhafter Auszug aus der Datenbereitstellung: Dosisbeiträge (Inhalation Schilddrüse Kleinkinder) in mSv nach Ort und Zeit, resultierend aus dem einstündigen Durchzug einer Aktivitätswolke

Beim Verlassen dieses Eingangsformulars wird das Formular „Erfassung der Aufenthalte“ aufgerufen (Abbildung 4). Hier werden alle Orte in der Umgebung aufgeführt und durch Anclicken ausgewählt. Außerdem sind die Zeitintervalle und der jeweils dabei genossene Schutz durch Anclicken auszuwählen. Nach Betätigen der Befehlsschaltfläche „Übernehmen“ werden die Zwischenergebnisse angezeigt. Man kann dann den nächsten Ort und die nächsten Zeitintervalle aufrufen. Mit „Ende der Abschätzung“ wird ein Protokoll erstellt. Sofern die rechnerische Abschätzung eine Schilddrüsendosis von 100 mSv oder mehr ergibt, fordert das Programm zur Messung der Ortsdosisleistung an der Schilddrüse (siehe Beitrag von Miska in diesem Band) auf. Anschließend wird eine Zusammenfassung (Abbildung 5) der Ergebnisse präsentiert, die sowohl programmintern gespeichert wird als auch in einen Erhebungsbogen (siehe Abschnitt 5) übertragen wird. Diese Ergebnisse werden dem Strahlenschutzarzt an der folgenden Station „Ärztliche Beurteilung“ als eine Grundlage der Befundung übergeben. Im Programm folgt wieder das Formular „Neue Person“.

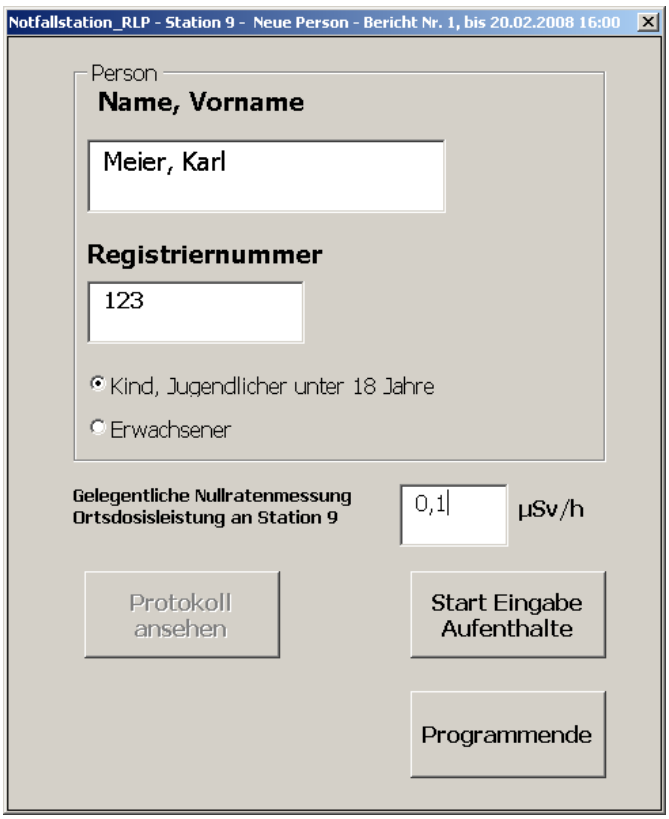


Abbildung 3: Formular zur Identifizierung der Person sowie zur Erfassung der an der Teilstation vorherrschenden Nullrate der Ortsdosisleistung

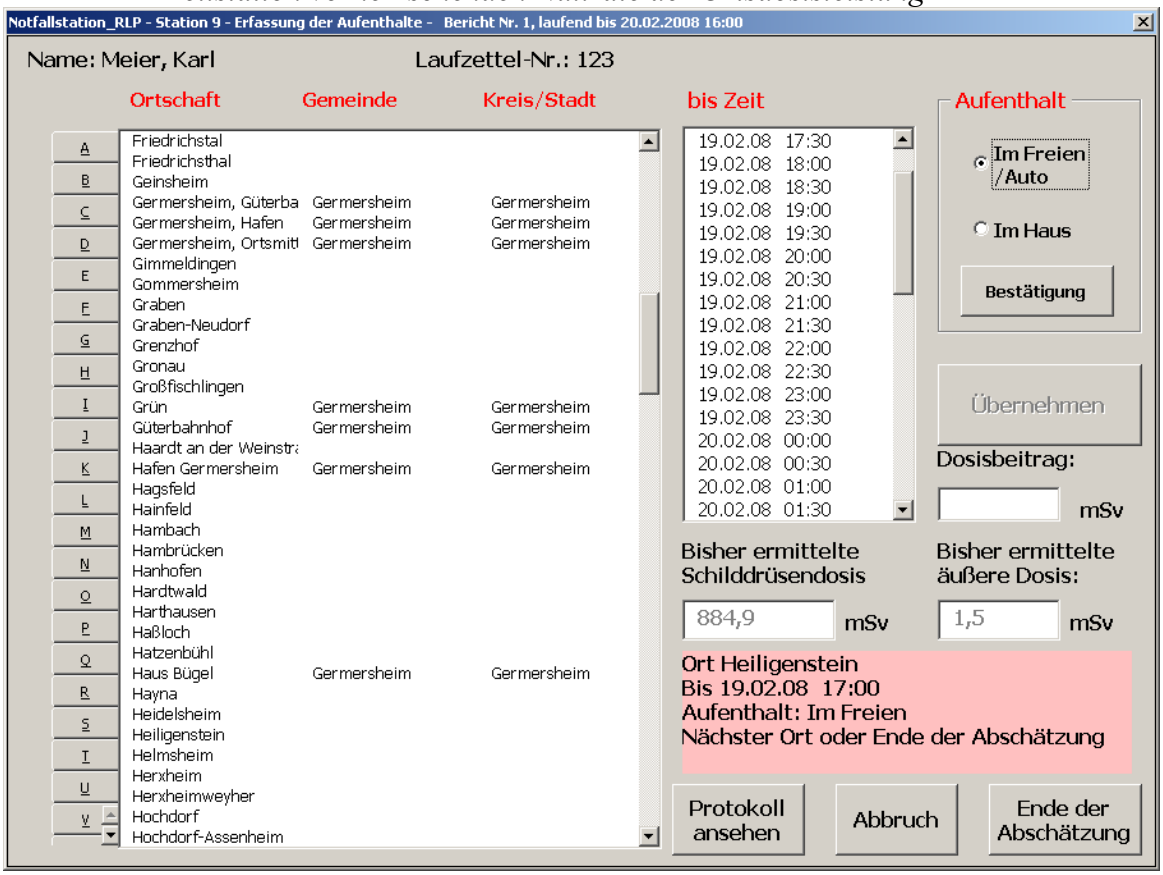


Abbildung 4: Formular „Erfassung der Aufenthalte"- erfasst wird Aufenthaltsort, Zeitpunkt des Aufenthaltsendes an diesem Ort, sowie genossener Schutz

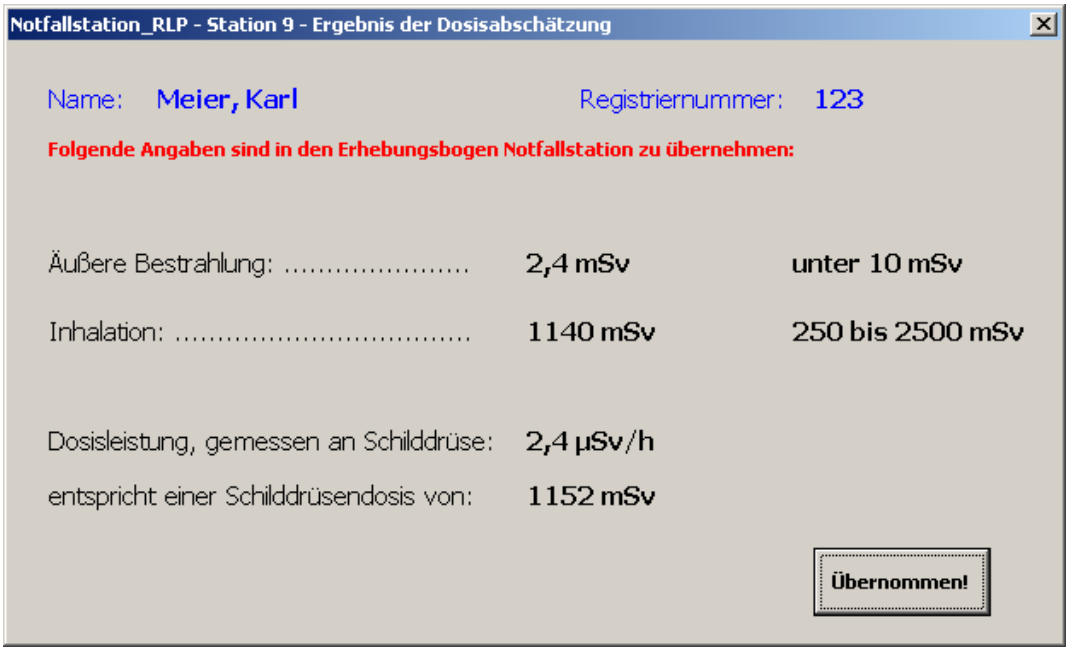


Abbildung 5: Formular zur zusammenfassenden Präsentation des Ergebnisses

Das Programm NOTFALLSTATION_10 wurde bei mehreren Übungen erfolgreich eingesetzt. Dabei reichte jeweils eine kurze Einweisung, damit die Einsatzkräfte das Programm sachgerecht anwenden konnten.

5. Beurteilungsmaßstäbe

Das in der SSK-Veröffentlichung [2] beschriebene Konzept der Notfallstation beruhte ursprünglich auf der Überlegung, dass nach einem Kernkraftwerksunfall mit vielen potenziell betroffenen Personen vor allem diejenigen identifiziert werden sollen, bei denen mit einem akuten Strahlensyndrom gerechnet werden muss. Diese Personen sollen dann nach fallweiser Notwendigkeit ambulant oder stationär medizinisch weiter untersucht und behandelt werden. Die medizinische Infrastruktur, insbesondere die Spezialkrankenhäuser mit sehr beschränkter Untersuchungs- und Behandlungskapazität (siehe Beitrag von R. Schneider [7] in diesem Band), sollte demnach nur mit solchen Personen zu tun haben, die am dringendsten der Behandlung bedürfen (Triage). Diese Zielvorstellung findet sich auch in der internationalen Literatur [8],[9],[10],[11], soweit dort ähnliche Einrichtungen wie die Notfallstation betrachtet werden.. Das ursprüngliche Konzept hat sich inzwischen dahingehend gewandelt, dass die Notfallstation ein Angebot an die Bevölkerung zur Verifizierung der tatsächlichen Betroffenheit, zur Dekontamination und zur Betreuung darstellt. Man rechnet allgemein damit, dass eine Vielzahl nicht oder nur sehr gering strahlenexponierter Personen die Notfallstationen aufsuchen[12].

Dem Strahlenschutzarzt stehen zur Beurteilung die in Abbildung 6 dargestellten Befunde zur Verfügung. Bei Vorbesprechungen zu Übungen wurde die Frage nach einer Systematik von medizinischen Maßnahmen diskutiert, wenn Anzeichen akuter Strahlenschäden nicht vorliegen. Vorgeschlagen wurden weitere (ambulante) Beobachtungen, sofern die jeweils höchste Dosisstufe nicht erreicht wurde, die äußere Bestrahlung aber über 100 Sv bzw. die Schilddrüsendosis über 250 mSv bei Erwachsenen und über 50 mSv bei Kindern und Jugendlichen rechnerisch abgeschätzt werden . Bei diesen Überlegungen wurden

komplizierende Faktoren wie beispielsweise das Vorliegen offener Wunden bei hoher Kontamination nicht einbezogen. Hier besteht weiterer Diskussionsbedarf.

2. Ergebnisse der Kontaminationsüberprüfung und der Dosisabschätzung - Kontaminationsbereich*)

Ergebnis vor Dekontamination (Grobmessung)		☐ I oder II	☐ III	☐ IV	☐ V
Ergebnis vor Dekontamination (Feinmessung)	☐ I	☐ II			
Ergebnis nach Dekontamination	☐ I	☐ II	☐ III	☐ IV	☐ V
Ergebnis nach Dekontamination	☐ I	☐ II	☐ III	☐ IV	☐ V

Dosisabschätzung (alle Angaben in mSv):

Dosis durch äußere Bestrahlung (externe Dosis) und durch Inhalation (Schilddrüsendosis):

Äußere Bestrahlung*) :	☐ unter 10**)	☐ 10 bis 100	☐ 100 bis 1.000	☐ über 1.000
Inhalation*):	☐ unter 50**)	☐ 50 bis 250	☐ 250 bis 2.500	☐ über 2.500

Dosisleistung***), gemessen an Schilddrüse: ..... µSv/h um ..... Uhr

**) keine ärztliche Untersuchung erforderlich

***) Kontrollmessung, falls abgeschätzte Schilddrüsendosis über 100 mSv

Unterschrift Helfer: .....

3. Ärztlicher Befund (Stand: ..... Uhr am .....)

Anzeichen akuter Strahlenschäden:*) ☐ nein ☐ ja, folgende:

☐ Übelkeit ☐ Erbrechen um.....Uhr, ☐ sonstige: .....

.....

Empfehlung für weitere Maßnahmen:*)

☐ keine weitere Beobachtung

☐ ambulante Betreuung wegen
- ☐ Verdacht auf Strahlenschäden
- ☐ anderer Erkrankungen

☐ stationäre Behandlung wegen
- ☐ Strahlenschäden
- ☐ anderer Erkrankungen

☐ weitere Empfehlung

.....

..... Unterschrift des Arztes .....

Abbildung 6: Dokumentation der radiologischen Messungen und medizinischen Befunde, Auszug aus dem Erhebungsbogen nach [2] bzw. [4]

6. Literaturverzeichnis

[1] Rahmenempfehlungen für den Katastrophenschutz in der Umgebung kerntechnischer Anlagen, GMBL 1999,Nr.28/29
Überarbeitete Fassung 2007 von der Strahlenschutzkommission und vom Arbeitskreis Feuerwehrwesen, Katastrophenschutz und zivile Verteidigung des AK V der Innenministerkonferenz zustimmend zur Kenntnis genommen.

[2] Medizinische Maßnahmen nach Kernkraftwerksunfällen, Veröffentlichungen der Strahlenschutzkommission Band 4 (3. Auflage), Berlin: H. Hoffmann GmbH-Fachverlag, 2007

[3] Miska, H.: Das Konzept der Notfallstationen, in diesem Band

[4] Rahmenempfehlungen zu Einrichtung und Betrieb von Notfallstationen (RE-NFS), Mainz: Ministerium des Innern und für Sport, 1999 (in Überarbeitung)

[5] Der Strahlenunfall - Ein Leitfaden für Erstmaßnahmen, Veröffentlichungen der Strahlenschutzkommission Band 32 (2. Auflage), Berlin: H. Hoffmann GmbH-Fachverlag, 2007

[6] Schnadt, H.: Umsetzung des Leitfadens für den Fachberater Strahlenschutz der Katastrophenschutzleitung in das Rechenprogramm PLUTO, in: Vorkehrungen und Maßnahmen bei radiologischen Ereignissen – Hrsg: A. Bayer, H. Faleschini, S. Krüger, C. Strobl, FS-07-142-AKN, Köln: TÜV Media GmbH, 2007

[7] Planning the medical response in radiological accidents, Safety Report Series No.4, Vienna: International Atomic Energy Agency, 1998

[8] Schneider, R.: Krankenhausdatenbank – Zuweisung von Strahlenunfallpatienten an geeignete Krankenhäuser, in diesem Band

[9] Generic Procedures for Medical Response During a Nuclear or Radiological Emergency, EPR-MEDICAL (2005), Vienna: International Atomic Energy Agency, April 2006

[10] Population Monitoring in Radiation Emergencies: A Guide for State and Local Public Health Planners, Centers for Disease Control and Prevention, U.S. Department of Health and Human Services, August 2007, http://emergency.cdc.gov/radiation/pdf/population-monitoring-guide.pdf (visited 21.02.2008)

[11] Manual for First Responders to a Radiological Emergency, IAEA-EPR-FIRST RESPONDERS , Vienna: International Atomic Energy Agency, October 2006

[12] Miller, C. W.; Whitcomb, R. C.; Ansari, A.; McCurly, C.; Guinn, A., Tucker, F: The Roles of Medical Health Physicists in a Medical Radiation Emergency, Operational Radiation Safety, 93(2007)No. 5, 187-190

MÖGLICHKEITEN UND GRENZEN DER PHYSIKALISCHEN DOSISABSCHÄTZUNG: DIE PRAKTISCHEN ERFAHRUNGEN AUS GOIÂNIA, BRASILIEN

H.G. Paretzke[1], E. Amaral[2]

[1] Institut für Strahlenschutz, Helmholtz Zentrum München, Deutsches Forschungszentrum für Gesundheit und Umwelt (GmbH), Neuherberg, Deutschland
[2] IAEA, Division of Radiation, Transport and Waste Safety, Wien, Österreich

ABSTRACT

Am 13.9.1987 wurde inmitten der 1,3 Mio. Stadt Goiânia, Brasilien, von einem unwissenden Alteisenhändler eine 51 TBq Cs-137 Strahlentherapie-Quelle aus einem aufgelassenen Krankenhaus gestohlen und zerstörerisch geöffnet. Die unbewussten Bestrahlungen mit ionisierender Strahlung einer sehr großen Anzahl von Personen und die heterogenen, aber starken radioaktiven Kontaminationen einer Großstadt wurden erst am 29. Sept., also mehr als zwei Wochen später, überhaupt wahrgenommen. Inzwischen waren nennenswerte Flächen und Einwohner der Stadt signifikant kontaminiert, 5 Personen starben später an sehr hohen Expositionen und weitere 28 erlitten akute Strahlenschäden; ca. 3500 m^3 radioaktiver Abfall wurden produziert und in einem speziellen Bereich außerhalb der Stadt zwischengelagert.

Die Autoren waren direkt involviert in den durchgeführten Messungen und Gegenmaßnahmen in diesem Fall, der in den Abläufen und im erforderlichen Konsequenzen-Management denen eines radiologischen Terrorakts sehr nahe kommt, haben später selbst längere Zeit dort wissenschaftliche Messungen und Dosisabschätzungen durchgeführt und schließlich ca. 10 Jahre später eine große IAEA-Tagung über diesen Vorgang in Rio de Janeiro und Goiânia durchgeführt.

In diesem Vortrag wird ein kurzer Abriss über die Vorgänge gegeben, werden die notwendigen Messungen, Dosisabschätzungen und einige ihrer dabei aufgetretenen ernsten Probleme und deren Konsequenzen erläutert. Es hat sich in dieser Praxis gezeigt, dass sowohl profunde Kenntnisse von verschiedenen Strahlen-Messverfahren und ihren Schwachstellen in gemischten Strahlenfeldern, sowie von unterschiedlichen radioökologischen Vorgängen in verschiedensten Umweltmedien notwendig sind, um derartige Situationen zumindest aus der Sicht des Strahlenschutzes angemessen bewältigen zu können.

MÖGLICHKEITEN UND GRENZEN DER BIOLOGISCHEN DOSIMETRIE

POSSIBILITIES AND LIMITS OF BIOLOGICAL DOSIMETRY

W.-U. Müller

Institut für Medizinische Strahlenbiologie, Universitätsklinikum Essen

Zusammenfassung
Die wichtigste Aufgabe der biologischen Dosimetrie besteht darin, mit Hilfe biologischer Indikatoren die Reaktion eines Individuums auf eine Strahlenexposition zu erfassen. Hierzu gibt es eine ganze Reihe von Systemen, alle mit bestimmten Vor- und Nachteilen. Ein universell einsetzbares System gibt es nicht. Mit Ausnahme des γ-H2AX-Systems sprechen die empfindlichsten Indikatoren im individuellen Fall ab etwa 0,1 Gy an. Über biologische Indikatoren ist folgendes Szenario relativ leicht erfassbar: eine akute, vor kurzer Zeit erfolgte homogene Ganzkörper-Exposition mit locker ionisierender Strahlung in einem Dosisbereich von etwa 0,3 bis 6 Gy. Schwieriger erfassbar sind Expositionen, auf die eine oder mehrere der folgenden Eigenschaften zutreffen: chronisch oder fraktioniert; inhomogene Ganzkörper-Exposition; Teilkörper-Exposition; beteiligte Strahlenart nicht bekannt; Mischung verschiedener Strahlenqualitäten; länger zurückliegend; Dosis unterhalb von etwa 0,1 Gy; Dosis oberhalb von etwa 10 Gy.

Summary
The most important task of biological dosimetry is to estimate the reaction of the individual to a radiation exposure with the assistance of biological indicators. To accomplish this a number of systems are available, all of which have specific advantages and disadvantages. A universally applicable system does not exist. With the exception of the γ-H2AX-system the detection limit of the most sensitive indicators in individual cases is in the range of 0.1 Gy. Biological indicators are very helpful in the following scenario: an acute, lately, homogeneous whole body exposure with low LET radiation in a dose range between about 0.3 to 6 Gy. Exposures with one or more of the following characteristics are much more difficult to record: chronic or fractionated; inhomogeneous whole body exposures; partial body exposures; unknown radiation quality; a mixture of different radiation qualities; exposures some years in the past; dose below about 0.1 Gy; dose above about 10 Gy.

Schlüsselwörter *Biologische Dosimetrie, Biologischer Indikator, Individuelle Strahlenempfindlichkeit*
Keywords *biological dosimetry, biological indicator, individual radiosensitivity*

1 Einleitung

Aufgabe der biologischen Dosimetrie ist es nicht, Physik mit Hilfe biologischer Methoden zu betreiben. Nach einem Strahlenunfall beispielsweise ist die Angabe der physikalisch ermittelten Dosis für den behandelnden Arzt nahezu wertlos. Sie verhilft ihm lediglich zu einer groben Einschätzung, ob es sich um einen eher harmlosen oder um einen dramatischen Strahlenunfall gehandelt hat. Was er wissen muss, ist eben nicht die Höhe der Dosis, sondern wie der Körper auf diese Dosis reagiert hat. Diese Information, die er für die gezielte

Behandlung des individuellen Unfallopfers braucht, erhält er nicht über die Physik, sondern über biologische Indikatoren. Die physikalisch ermittelte Dosis würde nur dann hilfreich sein, wenn alle Menschen gleich strahlenempfindlich wären. Das ist jedoch nicht der Fall. Es gibt erhebliche Unterschiede in der individuellen Strahlenempfindlichkeit, wie wir unter anderem aus der Strahlentherapie und aus den Erfahrungen bisher aufgetretener Strahlenunfälle wissen.

Es gibt zahlreiche biologische Indikatorsysteme. Es gibt aber bis heute kein Indikatorsystem, das universell einsetzbar wäre. Im Folgenden werden die wichtigsten Indikatoren mit ihren Vor- und Nachteilen vorgestellt. Da es zu allen Indikatoren sehr umfassende Übersichten gibt, die im Literaturverzeichnis aufgeführt sind, strebt der vorliegende Artikel keine vollständige Beschreibung der Indikatoren an. Vielmehr sollen die wichtigsten zu beachtenden Charakteristika im Hinblick auf „Möglichkeiten und Grenzen“ des Einsatzes angesprochen werden; die Details, vor allem auch methodischer Art, können dann den Übersichtsartikeln entnommen werden.

2 Biologische Indikatorsysteme

2.1 Blutbild

Das Blutbild ist einer der wichtigsten frühzeitig ansprechenden Indikatoren nach Strahlenexpositionen oberhalb von etwa 1 Gy [1-3]. Hier geht es vor allem um die Geschwindigkeit, mit der die Lymphocyten-Zahlen ab- und die Granulo- bzw. Thrombocyten-Zahlen zu- und anschließend abnehmen. Ein drastischer Abfall der Lymphocyten-Zahlen innerhalb der ersten Stunden deutet auf eine massive Strahlenexposition hin. Sehr detaillierte Angaben wurden von Fliedner et al. publiziert [3].

2.2 Haare bzw. Haarfollikel

An sich sind Haare bzw. Haarfollikel ideale biologische Indikatoren, wenn es darum geht, eventuelle Teilkörperexpositionen exakt zu lokalisieren. Mit Ausnahme der Fußsohlen und der Handinnenflächen sind alle Körperoberflächen von Haaren bedeckt. Leider ist es so, dass die ursprünglich sehr vielversprechenden Forschungsarbeiten [4-6] auf diesem Gebiet komplett eingestellt worden sind. Daher wurden viele wichtige Teilfragen nicht oder nur unzureichend untersucht. Deshalb könnte dieses System nur in ganz speziellen Situationen eingesetzt werden (z.B. nach Expositionen oberhalb von etwa 1 Gy, die lediglich ein paar Tage bis wenige Wochen zurückliegen) und auch nur dann, wenn die untersuchende Einrichtung bereits Erfahrung auf diesem Gebiet gesammelt hat. Weltweit gibt es keine Institution, die sich in den letzten 10 Jahren um diesen Indikator gekümmert hätte.

2.3 Cytogenetische Indikatoren

Die cytogenetischen Indikatoren gehören sicherlich zu den am besten untersuchten Systemen nach Strahlenexposition. Jeder dieser Indikatoren hat bestimmte Stärken und Schwächen, so dass es von der jeweiligen Situation abhängt, welcher cytogenetische Indikator die zuverlässigsten Informationen liefert. Umfangreiche Übersichten können folgenden Referenzen entnommen werden: [7, 8].

2.3.1 Dizentrische Chromosomen

Auf Grund der vergleichsweise geringen Variabilität der Spontanhäufigkeiten und einer gewissen, wenn auch nicht hundertprozentigen Spezifität für ionisierende Strahlung, sind dizentrische Chromosomen ideal für nicht zu weit in der Vergangenheit liegende Expositionen bei nicht zu vielen Betroffenen [9, 10]. Die beiden genannten Einschränkungen hängen damit zusammen, dass dizentrische Chromosomen zu den „instabilen“ Aberrationen gehören und damit im Laufe der Zeit abnehmen und damit, dass die Analyse relativ aufwändig ist und viel Erfahrung benötigt. Die dizentrischen Chromosomen sprechen im individuellen Fall bereits nach 0,1 Gy an und sind einsetzbar bis zu Dosen von etwa 5 bis 6 Gy. Dann geht die Dosis-Wirkungsbeziehung in ein Plateau über. Das liegt in erster Linie daran, dass die am schwersten geschädigten Zellen die Metaphase, in der die Analyse erfolgt, nicht mehr erreichen. Verfahren zur Identifizierung von Teilkörper-Expositionen [11] und zur Erfassung länger (mehrere Jahre) zurück liegender Expositionen [12] existieren. Im letzteren Fall wird man aber eher auf die im nächsten Kapitel zu besprechenden reziproken Translokationen zurück greifen.

2.3.2 Reziproke Translokationen

Im Gegensatz zu den dizentrischen Chromosomen handelt es sich bei den reziproken Translokationen (also dem wechselseitigen Stückaustausch von Chromatin zwischen zwei oder mehr Chromosomen) um „stabile“ Aberrationen. Das liegt daran, dass sich an der Summe des Erbmaterials nichts oder nur wenig ändert, so dass die betroffenen Zellen überleben können (es sei denn, dass gleichzeitig eine instabile Aberration in der Zelle vorkommt). Damit können reziproke Translokationen gerade bei Lymphocyten auch nach längeren Zeiträumen noch nachgewiesen werden [12]. Allerdings ist zu beachten, dass, im Gegensatz zu den dizentrischen Chromosomen, die Spontanhäufigkeit reziproker Translokationen mit dem Lebensalter zunimmt. Das ist leicht verständlich, da sich die reziproken Translokationen wegen ihrer Beständigkeit quasi aufaddieren, während die dizentrischen Chromosomen nach und nach wieder verloren gehen. Damit hängt auch zusammen, dass die untere Nachweisgrenze für reziproke Translokationen vom Lebensalter abhängt. Es gilt in etwa, dass bei Personen jünger als 20 Jahre die Nachweisgrenze bei 0,3 Gy, die für Personen älter als 60 Jahre bei 0,5 Gy liegt. Übersichten zum System findet man in [13, 14].

2.3.3 Mikronuklei

Mikronuklei [15], ehemalige Bestandteile des Zellkerns, die aus unterschiedlichen Gründen während der Kernteilung nicht in die Tochterkerne integriert werden, sondern als „Kleinkerne“ im Cytoplasma verbleiben, haben den großen Vorteil, dass zu ihrer Quantifizierung wesentlich weniger Erfahrung benötigt wird, als dies für dizentrische Chromosomen und reziproke Translokationen gilt. Außerdem kann die Analyse deutlich schneller und bei Bedarf vollständig automatisiert durchgeführt werden. Die wesentlichen Nachteile bestehen in der vergleichsweise hohen Variabilität der Spontanhäufigkeit und der Tatsache, dass neben ionisierender Strahlung diverse andere Noxen Mikronuklei auslösen können. Ähnlich wie für dizentrische Chromosomen gilt auch für die Mikronuklei, dass sie im Laufe der Zeit abnehmen. Berücksichtigt man neben der Anzahl der Mikronuklei in Zellen, deren Zellkerne sich tatsächlich geteilt haben [16], das Proliferationsverhalten der Zellen, so kann der Test auch Strahlendosen oberhalb von etwa 5 bis 6 Gy nachweisen [17]. Die untere Nachweisgrenze liegt für Einzelpersonen bei etwa 0,3 Gy; dieser Wert kann unter

Verwendung von Centromer-Sonden auf etwa 0,1 Gy gesenkt werden, da über dieses Verfahren die spontan auftretenden Mikronuklei (überwiegend centromerpositiv) identifiziert und somit von den strahleninduzierten Mikronuklei (überwiegend centromernegativ) unterschieden werden können [18].

2.3.4 Premature Chromosome Condensation (PCC)

Ein wesentlicher Nachteil der bisher besprochenen cytogenetischen Indikatoren besteht darin, dass zu ihrer Analyse in jedem Fall die Metaphase erreicht werden und bei den Mikronuklei sogar eine komplette Kernteilung möglich sein muss. Insbesondere nach Strahlendosen im Bereich mehrerer Gray führt das dazu, dass die Zellen oder zumindest ein Teil von ihnen die soeben aufgeführten Stadien nicht mehr erreichen können. Hier bietet sich das PCC-Verfahren an, bei dem kurze Zeit nach der Strahlenexposition die zu untersuchenden Zellen mit Hilfe verschiedener Verfahren (Fusion mit mitotischen Zellen, Einwirkung bestimmter Chemikalien) vorzeitig zur Kondensation der Chromosomen gezwungen werden [19]. Insbesondere Zellen in der G_1-Phase des Zellzyklus liefern dann über die zu beobachtenden Fragmente wertvolle Hinweise zur Strahlenexposition. Besonders hervorzuheben ist hierbei, dass bestimmte PCC-Methoden Strahlendosen bis zu 40 Gy nachweisen können [20, 21].

2.4 DNA-Ebene

Es ist absehbar, dass in der Zukunft strahleninduzierte Veränderungen auf der Ebene der DNA als biologische Indikatoren an Bedeutung zunehmen werden. Dies hängt mit den bereits vorliegenden oder in der Entwicklung befindlichen molekularbiologischen Techniken zusammen.

2.4.1 GPA-Locus Mutationen

Glycophorin A (GPA) ist ein Glykoprotein, das auf der Oberfläche von Erythrocyten in zwei verschiedenen Formen (M und N) vorkommt. In 50% der allgemeinen Bevölkerung ist die Voraussetzung einer M/N-Heterozygotie erfüllt, die benötigt wird, um den Test durchzuführen. Nachgewiesen werden die Mutationen entweder auf Grund des Verlustes eines der beiden Allele, was zu M0 bzw. N0 Zellen führt oder über den Verlust eines der beiden Allele unter gleichzeitiger Verdoppelung des zweiten mit dem Resultat des Auftretens von NN bzw. MM Zellen. Neben einigen unbestreitbaren Vorteilen (es wird lediglich ein Routine-Durchflusscytometer gebraucht; es können große Probenzahlen in kurzer Zeit gemessen werden; die benötigten 1 ml Blut können für wenigstens eine Woche im Kühlschrank aufbewahrt werden) gibt es aber gravierende Nachteile, die den Einsatz im individuellen Fall nahezu unmöglich machen [8, 22]: nur bei 50% der Bevölkerung einsetzbar; es gibt kein in vitro Kalibriersystem; sehr hohe interindividuelle Variabilität.

2.4.2 γ-H2AX Foci

Ein vor allem im niedrigen Dosisbereich interessantes Verfahren stellt der Nachweis von γ-H2AX Foci dar [23]. Hierbei handelt es sich um die Detektion von Phosphorylierungen bestimmter Aminosäuren im Histon 2AX in der Nähe von Doppelstrangbrüchen. Dieses Verfahren ist relativ neu, so dass noch keine umfassenden Studien vorliegen. Interessant wird dieses Verfahren durch eine untere Nachweisgrenze im Bereich weniger MilliGray, so dass es bereits in der Klinik im Zusammenhang mit röntgendiagnostischen Maßnahmen (CT) eingesetzt worden ist [24].

2.4.3 Comet Assay

Der Comet Assay erfasst diverse strahleninduzierte DNA-Veränderungen [25]. Allerdings ist das Testverfahren als biologischer Indikator für Strahlenschäden in vivo nicht besonders gut geeignet, da unmittelbar nach einer Strahlenexposition Reparaturprozesse einsetzen, so dass der Comet Assay allenfalls noch den nicht reparierten Restschaden messen kann [26]. Dieser wird aber in aller Regel so klein sein, dass der Nachweis schwierig ist. Wertvoll ist der Comet Assay jedoch im Zusammenhang mit der Ermittlung der individuellen Strahlenempfindlichkeit. Diese Erfassung kann in vitro erfolgen, so dass die primär induzierten DNA-Schäden über eine Strahlenexposition bei 0°C und DNA-Reparaturen über eine Inkubation bei 37°C für verschiedene Zeitintervalle erfasst werden können [27, 28].

2.4.4 Genexpression („microarrays“)

Die Tatsache, dass es inzwischen möglich ist, innerhalb relativ kurzer Zeit die Expression Tausender von Genen zu erfassen, lässt hoffen, dass strahleninduzierte Veränderungen der Genexpression als biologischer Indikator genutzt werden können. In der Tat gibt es inzwischen eine Reihe von Experimenten in diese Richtung [29-32]. Zur Zeit sind aber viele Fragen offen, so dass eine routinemäßige Anwendung noch nicht möglich ist.

2.5 Biochemische Indikatoren

Um die biochemischen Indikatoren (wie Amylase, Taurin, Thymidin) ist es sehr still geworden. Das liegt in erster Linie daran, dass die Variabilitäten außerordentlich hoch sind und die zeitlichen Abhängigkeiten teilweise stark limitierend wirken. Diese Indikatoren können allenfalls unter bestimmten Bedingungen in semi-quantitativer Form Verwendung finden.

2.6 Elektronenspinresonanz (ESR) bzw. synonym: electron paramagnetic resonance (EPR)

Streng genommen handelt es sich bei dem Elektronenspinresonanz-Verfahren nicht um ein biologisches Indikator-System. Es wird zwar an biologischen Materialien eingesetzt, ist aber eine physikalische Methode, die die individuelle Strahlenempfindlichkeit nicht erfasst. Gemessen werden die in wasserfreien oder doch zumindest wasserarmen Umgebungen unter der Strahleneinwirkung erzeugten Radikale, die wegen der Wasserarmut in diesen Materialien sehr langlebig sind (bis zu mehreren Jahrzehnten). In Frage kommen Haare, Zähne und Knochen [33, 34]. Beeindruckend ist v.a. der große Dosisbereich, der von diesem Verfahren erfasst wird (ca. 0,5 bis 100 Gy).

3 Zusammenfassung der „Möglichkeiten und Grenzen“

Die wichtigste Aufgabe der biologischen Dosimetrie besteht in der Erfassung der Reaktion des menschlichen Körpers auf eine Strahlendosis. Die meisten Indikatorsysteme haben damit keine Probleme unter folgenden Bedingungen: eine akute, vor kurzer Zeit erfolgte homogene Ganzkörper-Exposition mit locker ionisierender Strahlung in einem Dosisbereich von etwa 0,3 bis 6 Gy. Schwieriger erfassbar sind Expositionen, auf die eine oder mehrere der folgenden Eigenschaften zutreffen: chronisch oder fraktioniert; inhomogene Ganzkörper-Exposition; Teilkörper-Exposition; beteiligte Strahlenart nicht bekannt; Mischung verschiedener Strahlenqualitäten; länger zurückliegend; Dosis unterhalb von etwa 0,1 Gy; Dosis oberhalb von etwa 10 Gy. Allerdings sind diese Probleme der Erfassung nur dann

wirklich relevant, wenn es um die Abschätzung stochastischer Schäden, insbesondere des Tumorrisikos geht. In diesem Fall kommt jedoch noch ein ganz gravierendes Problem hinzu: Es ist zur Zeit völlig unklar, welcher Zelltyp geeignet ist, um in diesem Zusammenhang verlässliche Prognosen abzugeben.

4 Literaturverzeichnis

[1] T.M. Fliedner, W. Nothdurft, K.H. Steinbach, Blood cell changes after radiation exposure as an indicator for hemopoietic stem cell function, Bone Marrow Transplantation, 3, p. 77, 1988

[2] R.E. Goans, E.C. Holloway, M.E. Berger, R.C. Ricks, Early dose assessment following severe radiation accidents, Health Physics, 72, p. 513, 1997

[3] T.M. Fliedner, D. Graessle, V. Meineke, H. Dörr, Pathophysiological principles underlying the blood cell concentration responses used to assess the severity of effect after accidental whole-body radiation exposure: An essential basis for an evidence-based clinical triage, Experimental Hematology, 35, p. 8, 2007

[4] C.S. Potten, L. Geng, P. Taylor, Hair medullary cell counts: a simple and sensitive indicator of radiation exposure, International Journal of Radiation Biology, 57, p. 13, 1990

[5] C.S. Potten, Hair cortical cell counts (HCCG), a new sensitive in vivo assay with possible applications for biological dosimetry, International Journal of Radiation Biology, 63, p. 91, 1993

[6] C.S. Hamilton, et al, Response of human hair cortical cells to fractionated radiotherapy, Radiotherapy and Oncology, 43, p. 289, 1997

[7] IAEA: Cytogenetic analysis for radiation dose assessment; IAEA, Technical Reports Series No. 405.2001, pp. 1-138

[8] ICRU, Retrospective assessment of exposures to ionising radiation; ICRU Report No 68, Journal of the ICRU, 2, p. 1, 2002

[9] M. Bauchinger, Cytogenetic research after accidental radiation exposure, Stem. Cells Dayt., 13 Suppl 1, p. 182, 1995

[10] Stephan, G.: Bedeutung der Chromosomenanalyse für den praktischen Strahlenschutz, in: Aktuelle Fragen zu Strahlenschutzregelungen und individueller Strahlenempfindlichkeit; Strahlenschutz in Forschung und Praxis, Bd. 40, Hering, K. G., Reiners, Chr., and Messerschmidt, O. (Hrsgb.), Fischer, Stuttgart, p. 161, 1998

[11] S. Senthamizhchelvan, et al, Biological estimation of dose in hemi-body irradiation of cancer patients by cytogenetic analysis, Health Physics, 94, p. 112, 2008

[12] A.A. Edwards, M. Szluinska, D.C. Lloyd, Reconstruction of doses from ionizing radiation using fluorescence in situ hybridization techniques, The British Journal of Radiology, 80 Spec No 1, p. p. S63-S67, 2007

[13] A.A. Edwards, et al, Review of translocations detected by FISH for retrospective biological dosimetry applications, Radiat. Prot. Dosimetry., 113, p. 396, 2005

[14] C.A. Whitehouse, et al, Translocation yields in peripheral blood lymphocytes from control populations, Int. J Radiat. Biol., 81, p. 139, 2005

[15] W.-U. Müller, C. Streffer, Micronucleus assays, Advances in Mutagenesis Research, 5, p. 1, 1994

[16] M. Fenech, A.A. Morley, Measurement of micronuclei in lymphocytes, Mutation Research, 147, p. 29, 1985

[17] W.-U. Müller, A. Rode, The micronucleus assay in human lymphocytes after high radiation doses (5-15 Gy), Mutation Research, 502, p. 47, 2002

[18] A. Kryscio, et al, A cytogenetic analysis of the long-term effect of uranium mining on peripheral lymphocytes using the micronucleus-centromere assay, International Journal of Radiation Biology, 77, p. 1087, 2001

[19] E. Gotoh, M. Durante, Chromosome condensation outside of mitosis: mechanisms and new tools, J Cell Physiol, 209, p. 297, 2006

[20] E. Gotoh, Y. Asakawa, Detection and evaluation of chromosomal aberrations induced by high doses of gamma-irradiation using immunogold-silver painting of prematurely condensed chromosomes, Int. J Radiat. Biol., 70, p. 517, 1996

[21] R. Kanda, M. Minamihisamatsu, I. Hayata, Dynamic analysis of chromosome aberrations in three victims of the Tokai-mura criticality accident, Int. J Radiat. Biol., 78, p. 857, 2002

[22] R.A. Kleinerman, A.A. Romanyukha, D.A. Schauer, J.D. Tucker, Retrospective assessment of radiation exposure using biological dosimetry: chromosome painting, electron paramagnetic resonance and the glycophorin a mutation assay, Radiat. Res, 166, p. 287, 2006

[23] K. Rothkamm, M. Lobrich, Evidence for a lack of DNA double-strand break repair in human cells exposed to very low x-ray doses, Proc. Natl. Acad. Sci. U. S. A, 100, p. 5057, 2003

[24] M. Löbrich, et al, In vivo formation and repair of DNA double-strand breaks after computed tomography examinations, Proc. Natl. Acad. Sci. U. S. A, 102, p. 8984, 2005

[25] Müller, W.-U.: Comet Assay, in: Chromosomal Alterations, Obe, G. and Vijayalaxmi (Hrsgb.), Springer-Verlag, Berlin, p. 161, 2007

[26] U. Plappert, K. Raddatz, S. Roth, T.M. Fliedner, DNA-damage detection in man after radiation exposure--the comet assay--its possible application for human biomonitoring, Stem. Cells, 13 Suppl 1, p. 215., 1995

[27] W.-U. Müller, et al, Radiation sensitivity of lymphocytes of healthy individuals and cancer patients as measured by the comet assay, Radiation and Environmental Biophysics, 40, p. 83, 2001

[28] M. Shahidi, H. Mozdarani, P.E. Bryant, Radiation sensitivity of leukocytes from healthy individuals and breast cancer patients as measured by the alkaline and neutral comet assay, Cancer Lett., 257, p. 263, 2007

[29] S.A. Amundson, et al, Human in vivo radiation-induced biomarkers: gene expression changes in radiotherapy patients, Cancer Res, 64, p. 6368, 2004

[30] S.A. Amundson, A.J. Fornace, Jr., Monitoring human radiation exposure by gene expression profiling: possibilities and pitfalls, Health Physics, 85, p. 36, 2003

[31] S.A. Amundson, et al, Induction of gene expression as a monitor of exposure to ionizing radiation, Radiat. Res, 156, p. 657, 2001

[32] H.K. Dressman, et al, Gene expression signatures that predict radiation exposure in mice and humans, PLoS. Med, 4, p. p. e106, 2007

[33] J.E. Aldrich, B. Pass, Dental enamel as an in vivo radiation dosemeter: separation of the diagnostic X ray dose from the dose due to natural sources, Radiation Protection Dosimetry, 17, p. 175, 1986

[34] A. Romanyukha, D.A. Schauer, Y.K. Malikov, Analysis of current assessments and perspectives of ESR tooth dosimetry for radiation dose reconstruction of the population residing near the Semipalatinsk nuclear test site, J Radiat. Res (Tokyo), 47 Suppl A, p. p. A55-A60, 2006

CHROMOSOMENDOSIMETRIE FÜR STRAHLENEXPONIERTE PERSONENGRUPPEN: STATISTISCHE BETRACHTUNGEN AN DEN BEISPIELEN TSCHERNOBYL UND TETSCHA FLUSS

CHROMOSOME DOSIMETRY FOR GROUPS OF RADIATION EXPOSED GROUPS OF PERSONS: STATISTICAL CONSIDERATIONS EXEMPLIFIED BY THE CHERNOBYL ACCIDENT AND BY THE TECHA RIVER POPULATION

H. Braselmann, H. Zitzelsberger

Institut für Molekulare Strahlenbiologie, Helmholtz Zentrum München, Deutsches Forschungszentrum für Gesundheit und Umwelt (GmbH), Neuherberg

Zusammenfassung
In diesem Beitrag werden Möglichkeiten der biologische Dosimetrie mit Chromosomenaberrationen für Personengruppen vorgestellt, wie sie sich in einem Szenario mit vielen Betroffenen ergeben, von denen zu mindest eine größere Anzahl von Personen kleine oder moderate Strahlendosen abbekommen hat. Präsentiert werden statistisch zusammenfassende Ergebnisse am Beispiel der Aufräumarbeiter nach dem Tschernobyl Unfall und am Beispiel der Bewohner von kontaminierten Gebieten am Fluss Tetscha im Südural.

Summary
In this contribution possibilities of biological dosimetry are presented which arise for groups of persons in a scenario with many affected people, of which at least a larger number had received small or moderate radiation doses. Exemplified are statistically pooled results from clean-up workers after the Chernobyl accident and from residents of contaminated regions at the Techa river in Southern Urals.

Schlüsselwörter *biologische Dosimetrie, Translokationen, Tschernobyl, Tetscha*
Keywords *biological dosimetry, translocations, Chernobyl, Techa*

1. Einleitung

Nachdem in einem Notfalleinsatz bei einem Strahlenunfall mit vielen Betroffenen mit biodosimetrischen Methoden diejenigen Strahlenopfer zur unmittelbaren medizinischen Behandlung ausgeschieden worden sind, die schon in einer zweistelligen Anzahl ausgewerteter Zellen hohe Raten von Chromosomenaberrationen zeigen, bleiben viele Blutproben von symptomfreien Opfern übrig, für die eine genauere biologische Dosimetrie notwendig ist, nicht zuletzt zur Einschätzung der Risiken erwarteter Spätschäden. Befunde von Personen mit wenigen Chromosomenaberrationen (<5 in einer drei- oder vierstelligen Zellzahl) können dabei zusammengefasst werden, um so noch Aussagen über Gruppenmittelwerte zu treffen, die robuster sind als Ergebnisse einer Einzeldosimetrie und in der Strahlenepidemiologie hilfreich sein können [1].

1.1 Chromosomenaberrationen

Dizentrische Chromosomen (kurz Dizentrische) und Translokationen entstehen durch Fehlreparatur strahleninduzierter DNA Doppelstrangbrüche. Zwei Brüche in zwei verschiedenen Chromosomen verbinden sich dabei asymmetrisch oder symmetrisch miteinander (Abb. 1).

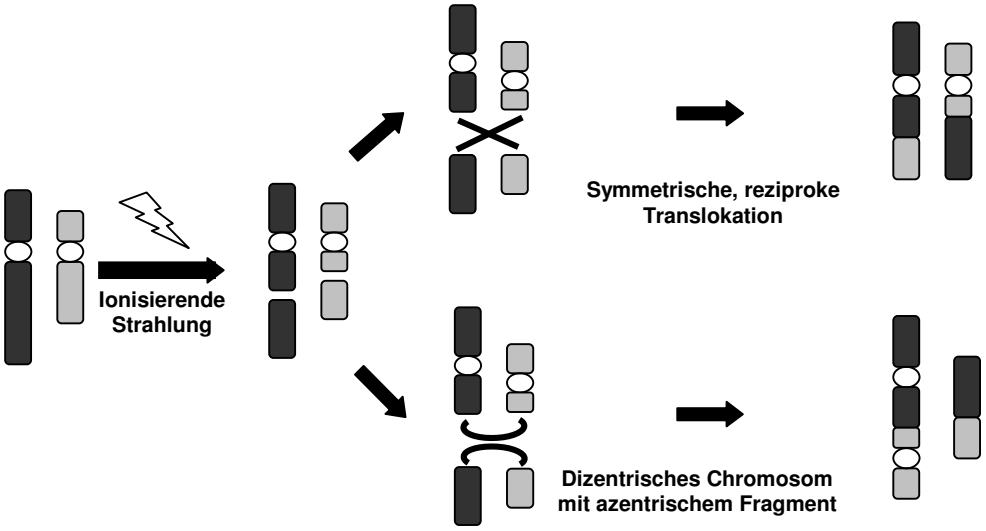


Abb. 1: Schematische Darstellung der Entstehung von Tranlokationen oder Dizentrischen Chromosomen nach strahleninduzierten Bruchereignissen.

Chromosomenanalysen werden in T-Lymphozyten des peripheren Blutes durchgeführt, das aus einer Armvene des jeweiligen Spenders gewonnen wird. Lymphozytenkultivierung und Metaphasenpräparation erfolgen nach Standardvorschriften. Um Dizentrische ausschließlich in Metaphasen des 1. Zellteilungszyklus zu zählen werden die Chromosomen mit FPG gefärbt [2]. Die Analyse der Dizentrischen wird im weiteren Text als konventionell bezeichnet. Translokationen werden mit Fluoreszenz *in situ* Hybridisierung (FISH) analysiert. Mit chromosomspezifischen Sonden werden dabei in der Regel drei Chromosomen (in unserem Labor 1, 4 und 12 (ca. 20% des Genoms) markiert. Zur deutlichen Unterscheidung von Translokationen und Dizentrischen wird zusätzlich noch eine zentromerspezifische Sonde eingesetzt [3]. Translokationshäufigkeiten markierter Chromosomen Fp lassen sich in gesamtgenomische Äquivalente F_G umrechen nach der Formel

$$F_p = 2.05 f_p (1-f_p) F_G \qquad (1)$$

wo f_p den Anteil der DNA in den markierten Zielchromosomen bezeichnet.

Translokationen eignen sich besser für eine retrospektive Dosimetrie, da sie im Gegensatz zu Dizentrischen langfristig nach Bestrahlung noch im peripheren Blut zu finden sind.

1.2 Kalibrierkurven

Die Grundlage für die Bewertung von Strahlenexpostionen sind Kalibrierkurven, die in Bestrahlungsexperimenten *in vitro* für verschiedene Strahlenqualitäten erstellt wurden. Für

die meisten im Strahlenschutz relevanten Strahlenqualitäten gilt das linear-quadratische Modell

$$Y = c + \alpha D + \beta D^2$$

wo Y die Aberrationsrate pro Zelle, c die Kontrollrate, α und β die Dosiseffektkoeffizienten und D die Dosis in Gy bedeuten. Die Koeffizienten einiger typischer Kalibrierkurven zeigt Tab. 1.

Tab. 1: Dosis-Effekt Kurvenkoeffizienten α und β für Dizentrische (Zeilen 2 – 5, konventionelle Analyse) und Translokationen (letzte Zeile, FISH) nach in vitro Bestrahlung menschlicher Lymphozyten mit verschiedenen Strahlenqualitäten.

Strahlenqualität	$\alpha \pm$ S.E.[a] [$10^{-1}Gy^{-1}$]	$\beta \pm$ S.E.[a] [$10^{-2}Gy^{-2}$]
Dizentrische [4]		
^{60}Co-γ, (0.017 Gy.min^{-1})	0.09 ± 0.04	4.17 ± 0.28
^{60}Co-γ, (0.5 Gy.min^{-1})	0.11 ± 0.04	5.55 ± 0.28
220 kV X-rays (0.5 Gy.min^{-1})	0.40 ± 0.03	5.98 ± 0.17
Spaltneutronen, Mischstrahlung	4.00 ± 0.20	3.60 ± 1.10
Translokationen [5]		
^{137}Cs-γ (0.5 Gy.min^{-1})[a]	0.30[b] ± 0.07	4.40[b] ± 0.40

[a)] S:E. = Standardfehler, [b)] Koeffizienten gesamtgenomisch umgerechnet nach Formel (1)

Für die Anwendungsbeispiele in diesem Beitrag wurden die ^{60}Co-γ Kurve mit 0.5 Gy.min^{-1} für Dizentrische und die ^{137}Cs-γ Kurve für Translokationen benutzt.

2. Zellzahlen in der Chromosomendosimetrie

Bei kleinen Dosen hängt die Auflösungsfähigkeit der Biodosimetrie ab von der Kontrollrate der Chromosomenaberrationen in unbestrahlten Personen und von Zahl der ausgewerteten Zellen. Die Kontrollrate sollte auf einer Mindestzahl von 10000 Zellen basieren, ermittelt aus 10 Personen (1000 Zellen pro Person). Für die Dosisbestimmung bei kleinen Strahlendosen sind in der Routine 500 Zellen auszuwerten, aber bis zu 1000 bei Nachweiserforderlichkeit in wissenschaftlichen, medizinischen oder rechtlichen Fragestellungen [6]. Bei einem Szenario mit vielen strahlenexponierten Personen, wo oft Zellzahlen wie in der Einzeldosimetrie nicht erreicht werden, können Befunde von Einzelpersonen in Gruppen zusammengefasst werden um so Aussagen über Mittelwerte zu treffen. Unter der idealen Annahme einer homogenen Dosisverteilung können Nachweisempfindlichkeiten errechnet werden, die bei der Projektplanung wichtig sind [4]. Zur zeitlichen Beschleunigung der Chromosomenanalyse sind automatisierte Auswertesysteme zum Auffinden der Metaphasen hilfreich (z. Bsp. [7] für FISH). Die notwendige Zellzahl, um eine bestimmte Dosis (^{137}Cs-γ) nachzuweisen, ist in Abb. 2 dargestellt.

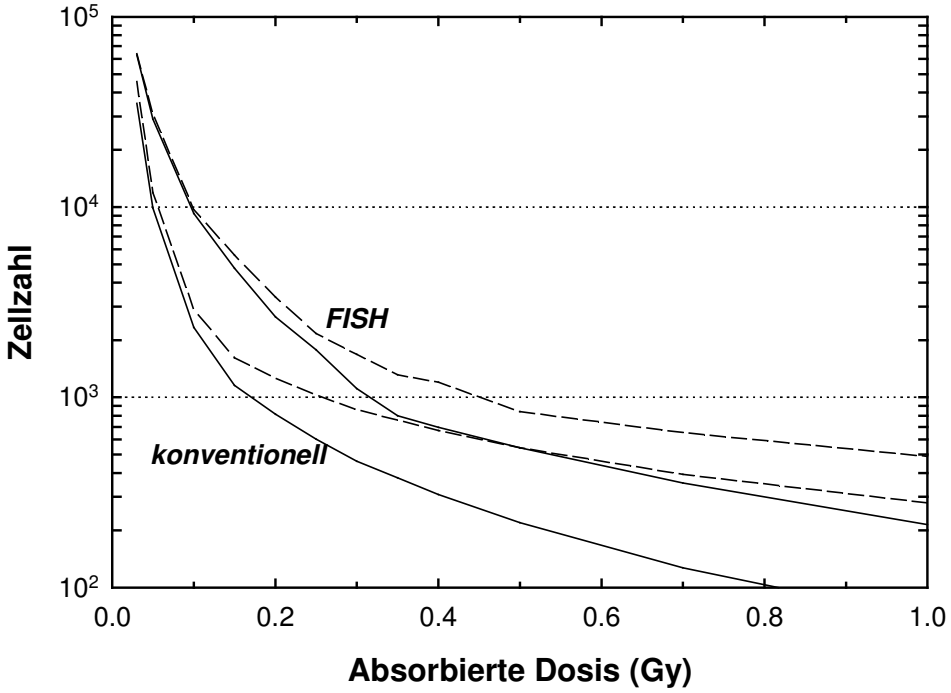


Abb. 2: Erforderliche Zellzahl in Abhängigkeit von einer angenommen Dosis von ^{137}Cs γ-Strahlen, die notwendig ist, um sicher (power P=0.95) einen signifikanten Unterschied zur Kontrollrate (konventionell 14 Dizentrische in 35500 Zellen, FISH 49 Translokationen in 34340 Zellen) zu finden. Durchgezogene Linien für linear-quadratische Dosisabhängigkeit, gestrichelte Linien für lineare Dosisabhängigkeit.

3. Beispiele

3.1 Tschernobyl Aufräumarbeiter [8]

In der Zeit nach dem Unfall im Kernkraftwerk Tschernobyl in der Ukraine am 26. April 1986 waren hunderttausende von Personen als so genannte Aufräumarbeiter („clean-up workers“) einer hauptsächlich externen Strahlenbelastung durch radioaktiven Fallout ausgesetzt. Die Arbeiten umfassten u. a. Notfalleinsatz, Dekontaminationsarbeiten in der 30 km Zone rund um den Reaktor und Bauarbeiten an der Schutzhülle für das zerstörte Reaktorgebäude, dem Sarkophag. 1986 gab es für diese Arbeiter ein offizielles Dosislimit von 250 mSv, das schrittweise auf 100 und auf 50 mSv in den Jahren 1987 und 1988 reduziert wurde.

In Kooperation mit dem Russischen Forschungszentrum für Röntgeno-Radiologie (RNCRR) wurde in unserem Labor von 52 Aufräumungsarbeitern retrospektive Biodosimetrie simultan mit der konventionellen und mit der FISH Methode durchgeführt. Für 34 von ihnen waren offiziell dokumentierte Strahlendosen verfügbar. Blutabnahmen erfolgten Ende 1992 bis Mitte 1995. Insgesamt wurden für FISH ca. 44300 Zellen, konventionell ca. 16000 Zellen ausgewertet. Als Kontrollen dienten 13600 Zellen von 12 gesunden Männern aus Moskau für

die FISH Analyse und 26800 Zellen von 82 Männern für die konventionelle Chromosomenanalyse. Individuelle Dosisschätzungen für Fälle mit signifikant erhöhten Translokationshäufigkeiten lagen zwischen 0.32 und 1.0 Gy. Über Zählung der Dizentrischen wurden nur in zwei Fällen signifikante Strahlenexpositionen nachgewiesen.

Für die 34 Arbeiter (ca. 29100 Zellen) mit dokumentierten Dosen ergab die Gruppendosisschätzung einen Wert von 0.25 Gy, der gut vergleichbar war mit der mittleren dokumentierten Dosis von 0.26 Gy. Dagegen war auf Basis der Einzeldosimetrie keine Korrelation mit den eingetragenen Dosen zu erkennen. Für Arbeiter mit einer Dosisangabe von weniger als 0.20 Gy führte die biologische Dosimetrie tendenziell zu höheren Werten. Für 35 Aufräumarbeiter (10300 Zellen), die ausschließlich im Jahre 1986 im Bereich des Reaktors tätig waren, war die biologische Dosisschätzung mit Dizentrischen von 0.23 Gy unter Berücksichtigung einer 3-jährigen Halbwertszeit vergleichbar mit dem Mittelwert der dokumentierten Dosen von 0.19 Gy.

3.2 Bewohner am Fluss Tetscha [5]

In den Jahren 1949 bis 1956 wurden von der Mayak Plutonium Produktionsanlage im Südural etwa 76 Millionen m^3 flüssige Abfallprodukte mit einer Gesamtaktivität von 10^{17} Bq in den Fluss Tetscha eingeleitet. Weitere Quellen radioaktiver Kontamination waren die Explosion eines Tanks für radioaktive Abfälle (Kyschtym Unfall) im Jahre 1957 und vom Wind verwehte Radionuklide vom austrocknenden Karatschai See in den 60er Jahren. In Folge waren etwa 30000 Einwohner von ufernahen Siedlungen am Fluss Tetscha interner und externer Strahlenbelastung ausgesetzt. Die langjährige interne Belastung bestand hauptsächlich in der Aufnahme von ^{90}Sr, enthalten im Wasser des Flusses. Die externe Belastung war durch γ-Strahlung von ^{137}Cs-kontaminierten Sedimenten gegeben. Eine genauere Übersicht zur Strahlenbelastung in der Region ist in [9] zu finden.

In Kooperation mit strahlenmedizinischen Instituten in Moskau (RNCRR) und Tscheljabinsk und dem Bundesamt für Strahlenschutz (BfS) wurden in unserem Labor von 73 Personen aus der Tetscha Fluss Region mit Hilfe der FISH Methode die Translokationsraten bestimmt. Das Geburtsjahr der Personen variierte zwischen 1911 und 1953, die Blutabnahmen erfolgten zwischen 1994 und 1996. Ausgewertet wurden insgesamt 36520 Zellen (im Mittel 500 pro Person). 21500 Zellen von 39 gesunden unbestrahlten Personen aus nicht kontaminierten Gebieten und mit vergleichbarem Alter dienten als Kontrollen. Biologische Dosisschätzungen mit Werten zwischen 0.77 und 1.8 Gy für 7 Einzelpersonen mit höheren Translokationsraten waren gut vergleichbar mit aus Ganzkörperzählungen und EPR Messungen errechneten Dosen.

Für Gruppendosisschätzungen wurden die 73 Fälle in 5 Teilgruppen mit Gesamtzellzahlen von etwa 7000 pro Gruppe unterteilt. Für 28 Personen (ca. 14000 Zellen) in der Gruppe Ia (ansässig 7 – 60 km flussabwärts der Einleitungsstelle), die in den Jahren 1950 – 1951 der maximalen Kontamination dort ansässig waren, ergab sich zunächst eine mittlere biologische Dosis von 0.34 Gy. Diese konnte für eine Teilgruppe von 14 Personen in damals jugendlichem Alter noch mal zu 0.54 Gy erhöht werden. Mögliche Erklärungen dafür sind der im Vergleich zu Erwachsenen häufigere Aufenthalt im Freien und der Wachstumsmetabolismus für eine erhöhte ^{90}Sr Aufnahme. Die restlichen 14 Personen und 12 später zugezogene Personen (Gruppe Ib) hatten keine signifikant erhöhten Translokationsraten. 19 Personen aus der Region 78 – 148 km flussabwärts der Einleitungs-stelle (Gruppe IIa), die bis zur Blutentnahme dort lebten, hatten eine biologisch errechnete Dosis von 0.37 Gy. 14

weitere Personen (Gruppe IIb), die diese Region bis 1965 verließen, hatten ebenfalls keine signifikant erhöhten Translokationsraten.

4. Schlussfolgerung

Gruppendosisschätzungen mit Hilfe der Chromosomenanalyse sind quantitativ vergleichbar mit anderen Dosimetriemethoden und erscheinen auch dort plausibel, wo keine personenbezogenen Messwerte existieren. Da es sich bei den präsentierten Beispielen um retrospektive Biodosimetrie handelt, könnten Ergebnisse aufgrund unmittelbar nach einem Strahlenunfall gewonnener Blutproben noch genauer sein.

5. Literaturverzeichnis

[1] R. A. Kleinerman, A. A. Romanyukha, D. A. Schauer, J. D. Tucker, Retrospective assessment of radiation exposure using biological dosimetry: chromosome painting, electron paramagnetic resonance and the glycophorin a mutation assay, Radiat. Res. 166(1 Pt 2), p. 287, 2006

[2] F. Apelt, J. Kolin-Gerresheim, M. Bauchinger, Azathioprine, a clastogen in human somatic cells? Analysis of chromosome damage and SCE in lymphocytes after exposure in vivo and in vitro, Mutat. Res. 88(1), p. 61, 1981

[3] M. Bauchinger, E. Schmid, H. Zitzelsberger, H. Braselmann, U. Nahrstedt, Radiation-induced chromosome aberrations analysed by two-colour fluorescence in situ hybridization with composite whole chromosome-specific DNA probes and a pancentromeric DNA probe, Int. J. Radiat. Biol. 64(2), p. 179, 1993

[4] M. Bauchinger, Quantification of low-level radiation exposure by conventional chromosome aberration analysis, Mutat. Res. 339(3), p. 177, 1995

[5] M. Bauchinger, K. Salassidis, H. Braselmann, A. Vozilova, S. Pressl, G. Stephan, G. Snigiryova, V. P. Kozheurov, A. Akleyev, FISH-based analysis of stable translocations in a Techa River population, Int. J. Radiat. Biol. 73(6), p. 605, 1998

[6] International Atomic Energy Agency, Cytogenetic analysis for radiation dose assessment, A manual, Technical Reports Series No. 405, Vienna: IAEA, 2001

[7] R. Huber, U. Kulka, T. Lorch, H. Braselmann, D. Engert, M. Figel, M. Bauchinger, Technical report: application of the Metafer2 fluorescence scanning system for the analysis of radiation-induced chromosome aberrations measured by FISH-chromosome painting, Mutat. Res. 492(1-2), p. 51, 2001

[8] G. Snigiryova, H. Braselmann, K. Salassidis, V. Shevchenko, M. Bauchinger, Retrospective biodosimetry of Chernobyl clean-up workers using chromosome painting and conventional chromosome analysis, Int. J. Radiat. Biol. 71(2), p. 119, 1997

[9] M. O. Degteva, V. P. Kozheurov, M. I. Vorobiova, General approach to dose reconstruction in the population exposed as a result of the release of radioactive wastes into the Techa river, Sci Total Environ, 142(1-2), p. 49, 1994

UNTERSUCHUNGEN ZUR KORRELATION VON STRAHLENINDUZIERTEN DNA-REPARATUR-FOCI UND CHROMOSOMALEN TRANSLOKATIONEN

H. Scherthan[1], L. Hieber[2], H. Braselmann[2], H. Zitzelsberger[2], V. Meineke[1]

[1] Institut für Radiobiologie der Bundeswehr, München, Deutschland
[2] Institut für Molekulare Strahlenbiologie, Helmholtz Zentrum München, Deutsches Forschungszentrum für Gesundheit und Umwelt (GmbH), Neuherberg, Deutschland

ABSTRACT

Exposition mit ionisierender Strahlung führt zu DNA-Schäden, die unter Aktivierung einer DNA-Schadensantwort zur DNA-Reparatur führt, wobei das Nicht-Homologe-End-Joining (NHEJ) in der G_0/G_1 Phase des Zellzyklus eine vorrangige Rolle spielt. DNA-Doppelstrangbrüche (DSBs) repräsentieren eine besondere Bedrohung für das Genom und seine Integrität, da eine fehlerhafte Reparatur von DSBs zur Bildung von Mutationen und Krebs führen kann. In der Literatur wird eine fehlerhafte Reparatur von bis zu 10% aller induzierten DSBs diskutiert (Savage 1996). Im Rahmen unserer Anstrengung DNA-Reparaturfoci im Zellkern als Biomarker für eine Strahlenexposition zu etablieren, haben wir die Korrelation von induzierten γ-H2AX Foci und der Frequenz induzierter Chromosomentranslokationen nach Röntgenbestrahlung von Lymphozyten zweier gesunder Probanden untersucht. Hierzu wurde γH2AX Foci-Immunfärbung und spektrale Karyotypisierung (SKY) angewandt und die induzierte Anzahl DSBs (γH2AX Foci) sowie die minimale Anzahl von fehlreparierten DSBs (MNB, abgeleitet aus den gemessenen Chromosomenaberrationen) bestimmt. Diese Daten wurden mit theoretisch induzierten DSBs (40/Gy, Ward 1991) verglichen. Es wurden weniger γH2AX Foci /Gy und Zelle beobachtet als theoretisch erwartet. Allerdings zeigte sich eine lineare Abhängigkeit zwischen MNB/γ-H2AX Focus and Dosis. Des weiteren weisen unsere Daten darauf hin, dass γH2AX Foci in G_0 Lymphozytenkernen mehr als einen Doppelstrangbruch enthalten und, dass eine erhöhte Zahl an DSBs /γH2AX Focus mit einer erhöhten Fehlreparatur korreliert (~10%/Focus · Gy). DNA-Reparatur-Foci sind daher, zumindest in Lymphozyten, als Domänen anzusehen, in deren Kontext die Reparatur von mehreren DSBs vonstatten gehen kann.

Literatur

Savage J.R.: Insight into sites, Mutat Res 366 81-95 (1996).

Ward J.F.: DNA Damage and Repair, *in*: Glass W.A., Varma M.N. (Eds.), Phys. Chem. Mechan Molec Rad Biol., Plenum Press, New York, pp. 403-421, (1991)

F Ausbildung im Strahlenunfallmanagement

VORBEREITUNG VON NOTFALLSTATIONSÜBUNGEN

PREPARATION OF EMERGENCY CARE CENTRE EXERCISES

H. Schnadt[1], V. Meyer[2]

[1]TÜV Rheinland Industrie Service GmbH, Köln, Deutschland
[2]Aufsichts- und Dienstleistungsdirektion des Landes Rheinland-Pfalz, Trier, Deutschland

Zusammenfassung
Aufbau und Betrieb von Notfallstationen sind ein Teil der Katastrophenschutzplanung in der Umgebung kerntechnischer Anlagen. Insgesamt werden in Rheinland- Pfalz an zehn Orten Notfallstationen geplant. Der Übungsplan sieht 2 Notfallstationsübungen pro Jahr vor, so dass jede Notfallstation alle 5 Jahre einmal aufgebaut und testweise betrieben werden soll. Die Vorbereitung dieser Übungen auf der Seite der Übenden, aber auch auf Seite der Übungsleitung ist sehr aufwändig. Für die Übungsleitung wurde daher ein Rechenprogramm entwickelt, mit dem die jeweiligen Übungsziele in Statistenanweisungen umgesetzt werden können, die wiederum über simulierte radiologische Messwerte die Auslastung und über zusätzliche Aussagen und Fragen die Nachfrage nach bestimmten Leistungen der Notfallstation steuern.

Summary
Setup and operation of emergency care centres (sometimes also addressed as emergency reception centres) are part of emergency preparedness in the environs of nuclear plants. Altogether there are ten places within Rhineland-Palatinate where emergency care centres are planned. According to the exercise plan, two exercises per year are planned resulting in one exercise every five years for each emergency care centre. The preparation of these exercises is very lavish on the participating organizations but also on the exercise preparation organization. Therefore a computer code has been developed which helps to translate the exercise objectives into instructions for the supernumeraries which simulate the population. These instructions are intended to steer a determined flow of persons through the emergency care station by providing radiological readings and to inject the demand for additional responses by statements and questions of the supernumeraries.

Schlüsselwörter *Notfallstation, Katastrophenschutzübung*
Keywords *emergency care centre, civil protection exercise*

1. Einleitung

Notfallstationen werden nach Weisung der Katastrophenschutzleitung eingerichtet und betrieben, wenn nach einem Kernkraftwerkunfall eine **tatsächliche Freisetzung** von Radionukliden stattgefunden hat und es deshalb zu Strahlenexpositionen und Kontaminationen in der Bevölkerung kommen konnte. In der Notfallstation sollen nach dem gegenwärtigen Planungsstand vor allem folgende Aufgaben wahrgenommen werden:

- Feststellung einer möglichen Kontamination und ggf. Dekontamination von Personen der Bevölkerung

- Abschätzung der Strahlenexposition mit dem Ziel, die Notwendigkeit weiterer medizinischer Maßnahmen festzustellen sowie ggf. die Überweisung und Transport in geeignete ambulante oder stationäre Untersuchungen/Behandlungen
- Reduzierung der Schilddrüsendosis, falls die Einnahme Iodtabletten indiziert war, aber nicht vorgenommen wurde, durch Verabreichung von Iodtabletten
- Allgemein-medizinische Betreuung bzw. Erste Hilfe
- Hilfe bei der Betreuung evakuierter Betroffener

Daneben muss auf die vielfältigen Bedürfnisse potenziell Betroffener eingegangen werden können. Diese umfassen nicht zuletzt auch Informationsbedürfnisse und Angebote zum Abbau von Angst und Verunsicherung.

Das grundlegende Konzept der Notfallstation wird aus strahlenmedizinischer Sicht und unter Strahlenschutzaspekten in der SSK-Veröffentlichung Band 4 „Medizinische Maßnahmen nach Kernkraftwerksunfällen“ [1] beschrieben (siehe hierzu auch den Beitrag von Miska [2] in diesem Band). Landesspezifische Ausgestaltungen für den Aufbau und den Ablauf in Notfallstationen sind möglich und werden für Rheinland-Pfalz in den „Rahmenempfehlungen zu Einrichtung und Betrieb von Notfallstationen (RE-NFS)“ [3] formuliert.

2. Übungsplanung

An den Grenzen zu Rheinland-Pfalz werden die Kernkraftwerke in Biblis und in Philippsburg (jeweils 2 Blöcke) betrieben. Die dafür notwendige Katastrophenschutzplanung obliegt der Aufsichts- und Dienstleistungsdirektion (Entscheidungsebene) mit Sitz in Trier und den Stadt- und Landkreisen in der Umgebung (Ausführungsebene). Als mögliche Standorte von Notfallstationen wurden Schul- und Sportzentren in der weiteren Umgebung der Kernkraftwerkstandorte ausgesucht:

- Biblis: Mainz, Nieder-Olm, Alzey, Grünstadt, Bad Dürkheim
- Philippsburg: Neustadt, Edenkoben, Schifferstadt, Landau, Wörth

Diese Objekte werden bei Übungen und im Einsatzfall von Einsatzkräften des Katastrophenschutzes wie Feuerwehren und Hilfsorganisationen (z.B. DRK) als Notfallstationen eingerichtet und betrieben.

Die Übungsplanung für Notfallstationen in Rheinland-Pfalz sieht 2 Übungen im Jahr vor. Die Vorbereitung der Übungen ist aufwändig. Sie umfasst regelmäßig ein zweitägiges Seminar für die Führungskräfte, in dem neben Strahlenschutz- und Strahlenmedizin-Grundlagen vor allem das Konzept der Notfallstation sowie die Umsetzungsmöglichkeiten behandelt werden. Die Führungskräfte müssen die in den Rahmenempfehlungen Notfallstation formulierten Aufgaben und Vorgehensweisen den Einsatzkräften vermitteln. Die Katastrophenschutzbehörden auf örtlicher Ebene legen gemeinsam mit der Übungsleitung die Übungsziele fest und planen den Personal- und Materialeinsatz für ihre Notfallstation einschließlich Schichtbetrieb. Hierbei kann unter der Voraussetzung, dass auch alle für ein Kernkraftwerk vorgesehenen Notfallstationen ihre Einsatzbereitschaft herstellen können, auf benachbarte Ressourcen zugegriffen werden. Die Verkehrsführung zur Notfallstation wird mit den zuständigen Behörden wie Polizei abgestimmt. Die Vorbereitung umfasst ebenfalls die Pressearbeit (Einladungen, Presse-

mappe, Interviewvorbereitung) und ein Besucherprogramm (Einladungen, Führungen us.w.). Die in der Notfallstation vorgesehene Betreuung umfasst außer einfachen Übernachtungsmöglichkeiten auch die Verpflegung der Einsatzkräfte und der Menschen, die die Notfallstation aufsuchen. Bei den Übungen wird üblicherweise den Statisten, Einsatzkräften und Besuchern zum Abschluss und als kleiner Dank eine Mahlzeit angeboten.

Bei der letzten Übung in Rheinland-Pfalz im November 2007 wirkten 200 Einsatzkräfte und ca. 260 Statisten mit.

Die Übungsleitung obliegt der Aufsichts- und Dienstleistungsdirektion. Sie erstellt auch mit Unterstützung des für die Fachberatung Strahlenschutz zuständigen Ministeriums die Übungslage. Diese muss sich an den jeweilig festgelegten Übungszielen orientieren.

Zur Erzeugung der Übungslage bedient sich die Übungsleitung verschiedener Hilfsmittel. Für die Informationsversorgung der Notfallstation werden standardisierte Lageberichte vorbereitet, die elektronisch über die Einsatz- und Lagedarstellung (ELD) Rheinland-Pfalz zu Beginn und während der Übung an die Notfallstation übermittelt werden. Hierzu dienen auch Daten über die potenzielle Strahlenexposition zu verschiedenen Zeiten an den Orten in der Umgebung, die zur Abschätzung der individuellen Strahlenexposition benötigt werden (siehe hierzu den Beitrag von Schnadt [4] in diesem Band). Zur Erzeugung dieser Unterlagen und Daten wird das Programm PLUTO 6.0 [5] herangezogen, welches für eine vorzugebende Emissions- und Ausbreitungssituation spezielle Ausgaben bereitstellt. Zur Übung des Betriebs des Notfallstation werden Darsteller potenziell betroffener Personen (Statisten) eingesetzt. Nach einem in [6] dargestellten Konzept werden personalisierte Statistenanweisungen in schriftlicher Form mit Expositionsgeschichten bereitgestellt.

Die Expositionsgeschichten bestehen aus folgenden Angaben:

- Daten zur Kennzeichnung der exponierten Person (Name, Geschlecht, Alter, ggf Art einer Behinderung, Registriernummer);
- Daten zu den Aufenthalten während der Strahlenexposition (Zeiten, Orte, jeweils genossener Schutz durch Aufenthalt in Gebäuden sowie durch Einnahme von Jodtabletten);
- Messwerte, die aufgrund der Kontamination in der Notfallstation an der Person gemessen würden;
- Aussagen und Fragen der Statisten, die zusätzliche Aktionen (z.B. Erste-Hilfe-Maßnahmen, Betreuungsmaßnahmen) auslösen sollen.

Die manuelle Erzeugung solcher Expositionsgeschichten ist sehr aufwändig, vor allem, wenn Nebenbedingungen einzuhalten sind, die z.B. die gewünschte Auslastung der einzelnen Stationen innerhalb der Notfallstation festlegen. Daher wurde dafür ein Rechenprogramm entwickelt, welches im Folgenden beschrieben wird.

3. Rechenprogramm

Ziel der Entwicklung des Programms „Expositionsgeschichten“ war es, die Erstellung der Statistenanweisungen weitgehend zu automatisieren. Die jeweiligen Übungsvorgaben sollten leicht einstellbar sein und das Programm an neue Anforderungen anpassbar sein. Die Flexibi-

lität wurde durch Realisierung einer Reihe von Excel-Makros (Programmiersprache Visual Basic for Applications) sowie durch offene Listen von möglichen Statistenaussagen (Zusatzanforderungen) erreicht. Die Statistenanweisungen werden mit der Serienbrief-Funktion von Microsoft Word auf der Grundlage einer Datenquelle in Form einer Excel-Datei generiert.

Die Übungsziele bestimmen, was geübt und überprüft werden soll und was deshalb während der Übung in einer Notfallstation geschehen soll [7]. Bei den letzten Übungen in Rheinland-Pfalz standen beispielsweise die Einweisung in die Abläufe, die Überprüfung der Objekte auf ihre Eignung und die Kapazität der Notfallstation im Vordergrund. Darüber hinaus sollte die Eignung eines Programms zur Dosisabschätzung überprüft und bei den letzten Übungen auch die Informationsversorgung und die psychosoziale Betreuung in die Abläufe einbezogen werden.

Wenn man beispielsweise erreichen will, dass alle potenziellen Pfade einer Notfallstation auch tatsächlich von den Statisten angelaufen werden, muss man eine radiologische Lage erstellen, nach der die Bevölkerung in einem betroffenen Gebiet sowohl keine oder sehr geringe Strahlendosen als auch sehr hohe Strahlendosen (bis in den Bereich potenzieller deterministischer Gesundheitseffekte) erhält. Wenn man die Verabreichung von Jodtabletten in der Notfallstation untersuchen will, muss sich durch die radiologische Lage sowohl eine Indikation für die Einnahme von Jodtabletten ergeben als auch der zeitliche Rahmen so gesteckt sein, dass aus der Verabreichung in der Notfallstation noch eine Dosisersparnis resultieren würde. Wenn man überprüfen will, ob die Notfallstation die ihr zugedachten Informationsaufgaben bewältigen kann, muss man die Statisten veranlassen, entsprechende Fragen zu stellen. Wenn man Kapazitätsengpässe erkennen will, muss man für eine entsprechende Auslastung der einzelnen Stationen sorgen. Insgesamt kann man den Prozess der Generierung von Statistenanweisung in dem Schaubild nach Abbildung 1 zusammenfassen.

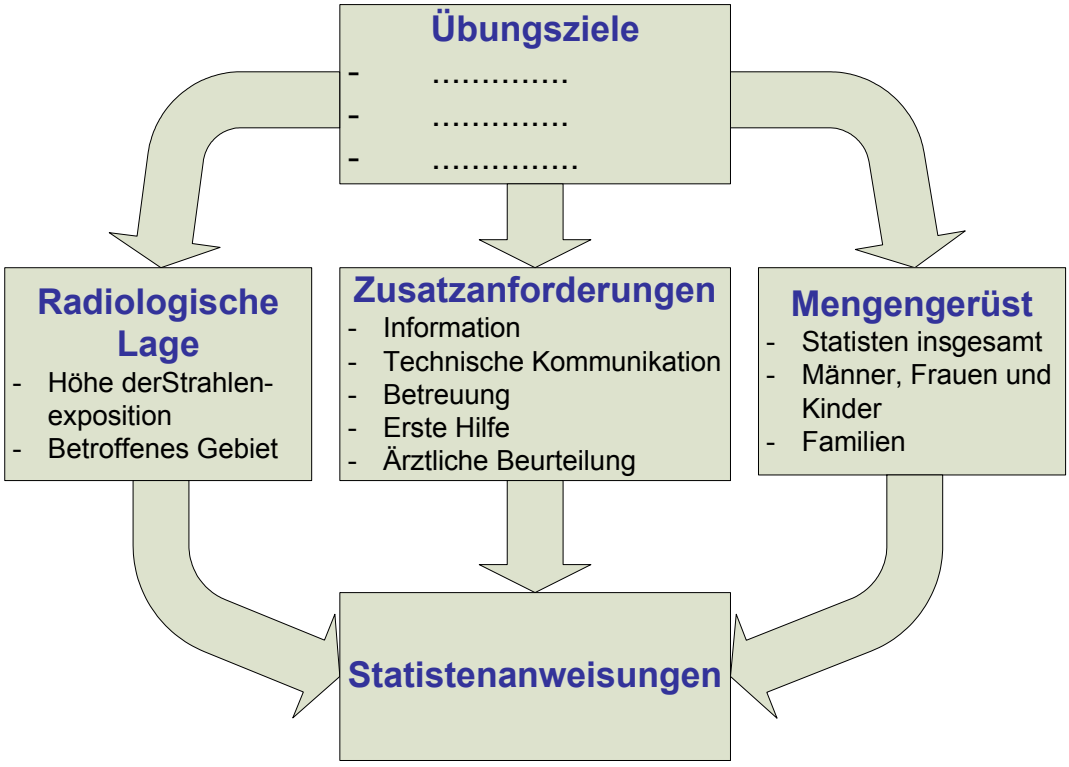


Abbildung 1: Komponenten zur Generierung von Statistenanweisungen

Die radiologische Lage wird im speziellen Fall mit dem Rechenprogramm PLUTO erzeugt. Dessen Ausgabe wird vom Programm „Expositionsgeschichten“ eingelesen und daraufhin bewertet, ob es danach Gebiete gibt, die durch die nachstehenden Kriterien charakterisiert wird (siehe in Abbildung 2 die Angabe der Ortsanzahlen mit den verschiedenen Dosisstufen).

Dosisstufe 1: Strahlendosen unterhalb einer vorgegebenen Schwelle, z.B. 1 mSv Schilddrüsendosis
Dosisstufe 2: Strahlendosen oberhalb der vorgenannten Schwelle, aber unterhalb der Dosisrichtwerte
Dosisstufe 3: Strahlendosen oberhalb der Dosisrichtwerte, aber unterhalb der Kriterien für ambulante Behandlung
Dosisstufe 4: Strahlendosen oberhalb der Kriterien für eine ambulante Behandlung, aber unterhalb der Kriterien für stationäre Behandlung
Dosisstufe 5: Strahlendosen oberhalb der Kriterien für eine stationäre Behandlung

Die Kriterien sind in einem Tabellenblatt vorzugeben.

Im Rechenprogramm kann weiterhin das Mengengerüst festgelegt werden. Hierzu dient ein Formular nach Abbildung 3. Das Mengengerüst bestimmt, welche Stationen der Notfallstation von den Statisten angelaufen werden (sofern die Zahl der Statistenanweisungen der Zahl der Statisten entspricht). Außerdem wird im Rahmen der Zusatzinformationen festgelegt, wie häufig von den Statisten bestimmte Zusatzanforderungen (z.B. Anforderung von Betreuungsleistungen) ausgelöst werden. Die Zahlen müssen natürlich konsistent sein, was durch entsprechende Prüfroutinen sichergestellt wird.

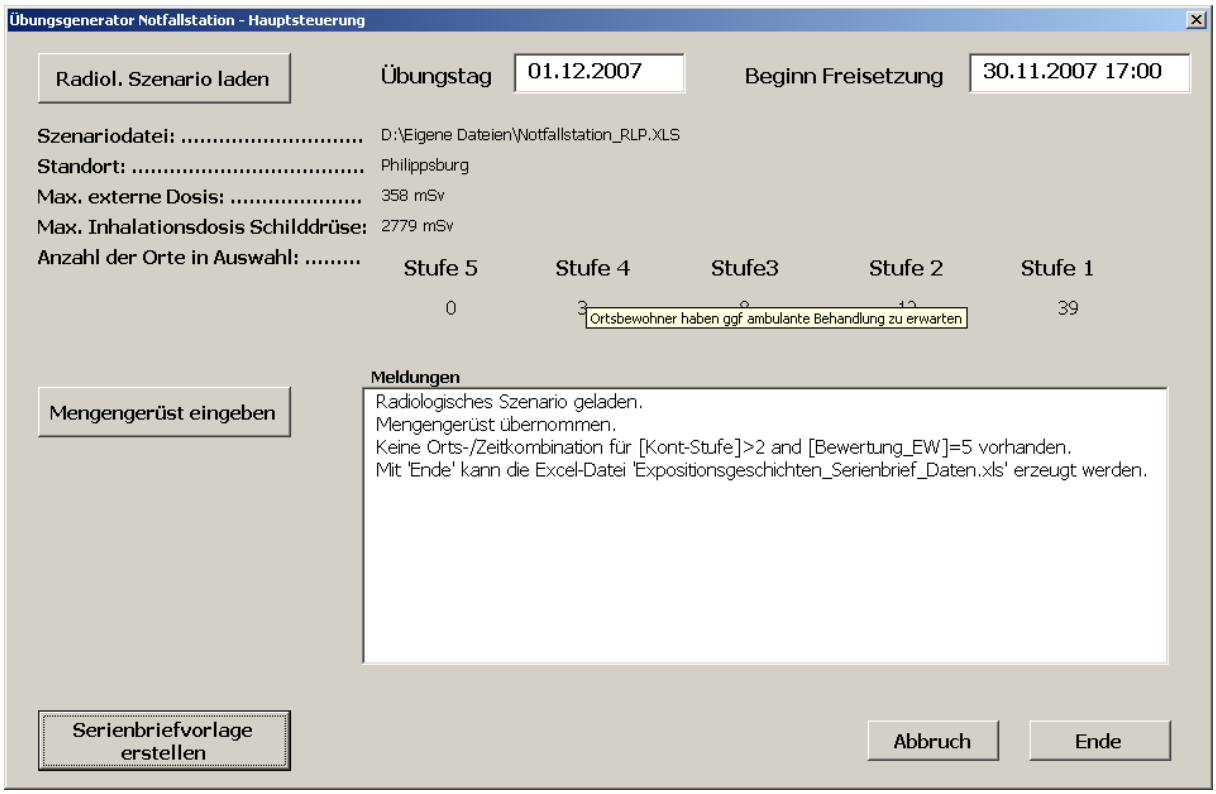


Abbildung 2: Formular „Hauptsteuerung“ am Ende der Berechnungen

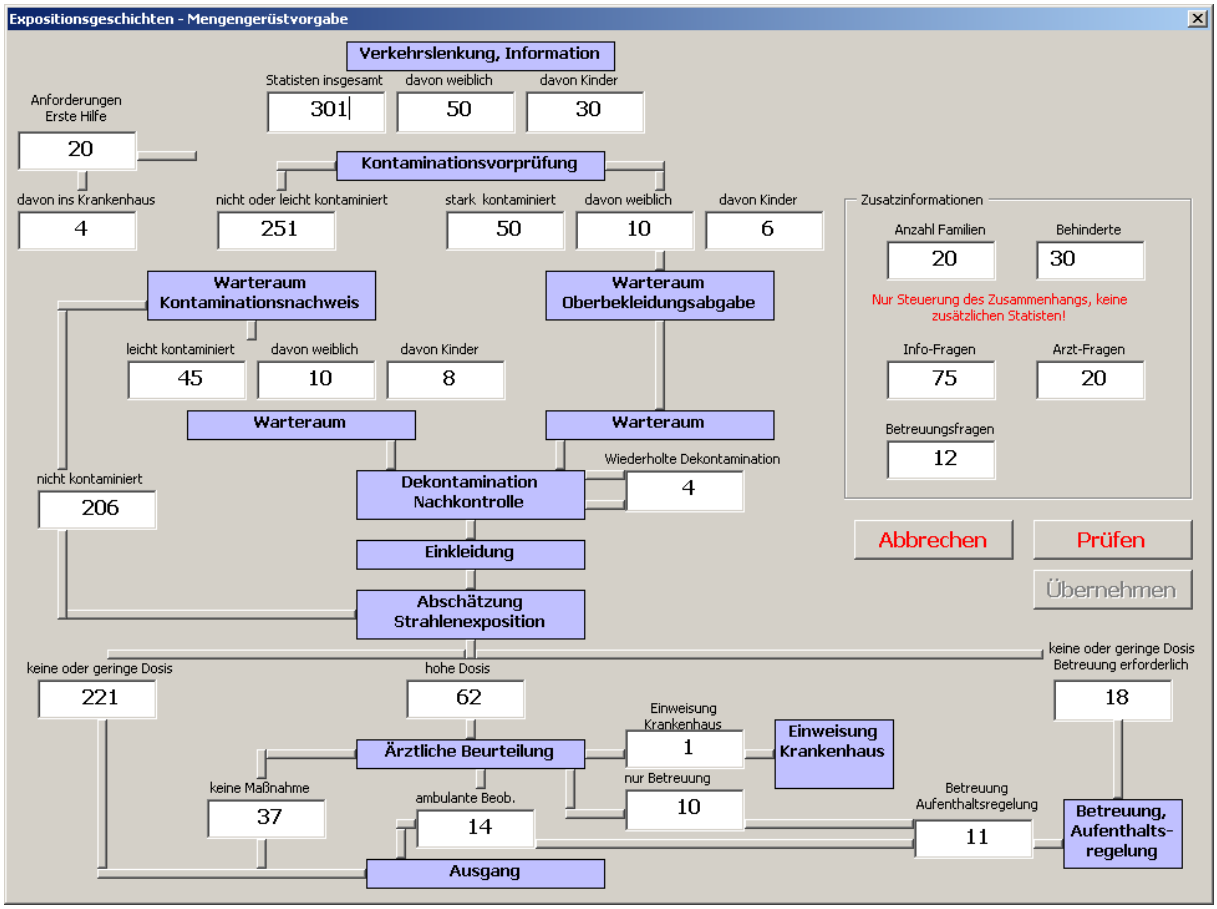


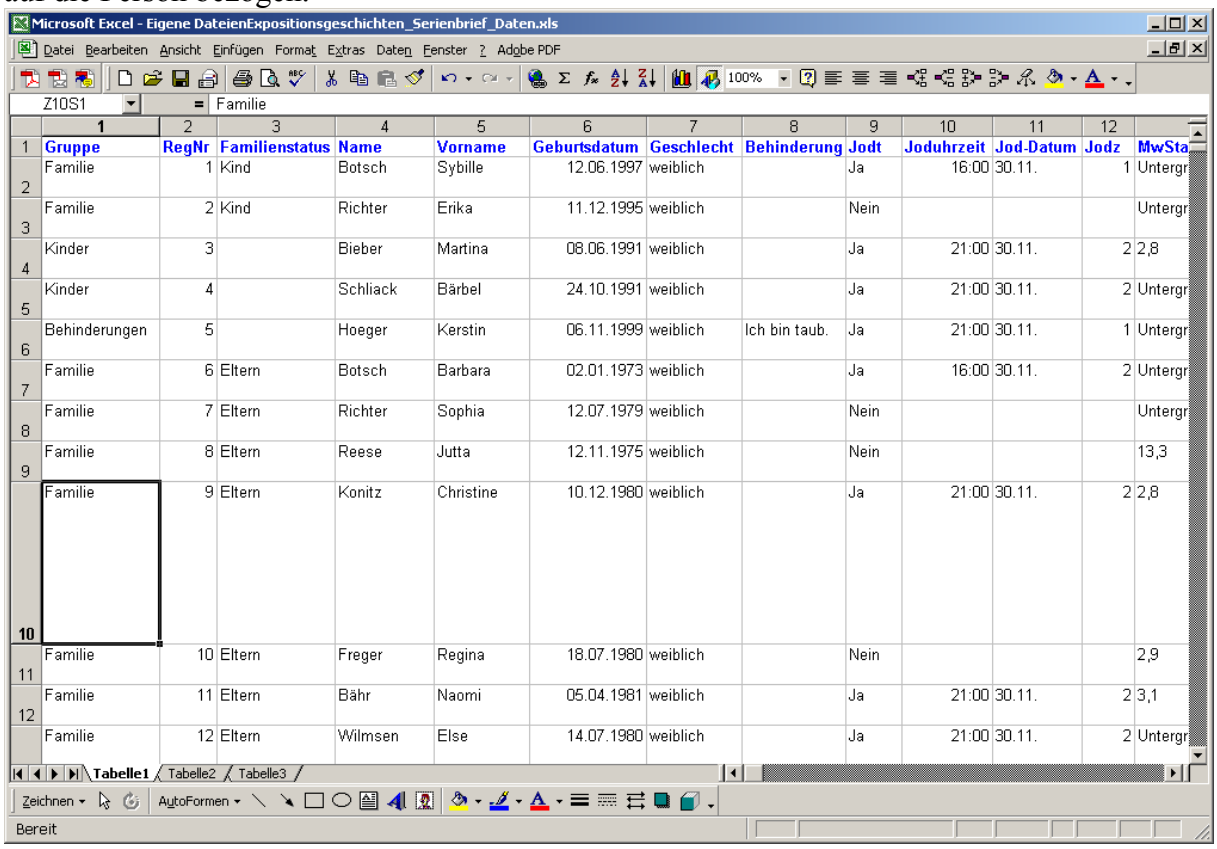
Abbildung 3: Eingabe des Mengengerüstes anhand des Ablaufschemas für die Notfallstation

Nach Eingabe des radiologischen Szenarios und des Mengengerüstes kann die Erzeugung der Serienbrief-Vorlage angefordert werden. Hierbei werden zunächst Personen mit zufälligen Namen (generiert aus vorgebbarer Liste) sowie Geschlecht, Familienstatus und Altersintervallen gemäß Mengengerüst-Vorgaben generiert. Anschließend werden Aufenthaltsorte und –zeiten aus dem nach radiologischer Lage betroffenen Gebiet so hergeleitet, dass den Anforderungen aus dem Mengengerüst hinsichtlich Kontamination und Strahlenexposition genügt wird. Hieraus ergeben sich weiterhin die Messwerte, die an den Statisten gemessen würden und die den Durchlauf durch die Notfallstation steuern. Weiterhin wird die Einnahme von Jodtabletten simuliert, wobei sich die Indikation aus der radiologischen Lage herleitet und die (zufällig gewählten) Einnahmezeitpunkte aus der geplanten Verteilstrategie bestimmt werden.

Die Zusatzanforderungen werden durch Aussagen und Fragen der Statisten ausgelöst, die in offenen Listen aufgeführt sind. Sie sollen am Beispiel „Arzt-Fragen“ erläutert werden. Arztfragen werden in den Statistenanweisungen so gekennzeichnet, dass sie ausschließlich an Station „Ärztliche Beurteilung“ gestellt werden sollen. Neben der Frage können Nebenbedingungen zu Alter, Geschlecht, Familienstatus, Einnahme von Jodtabletten (Jodt) und zur Dosisstufe genannt werden. Die Aussagen und Fragen werden per Zufall unter Beachtung der Nebenbedingungen auf die Statisten verteilt (kein Eintrag bedeutet, dass es keine Einschränkung der Zufallsauswahl gibt).

Frage	Alter	Geschlecht	Familie	Jodt	Dosisstufe
z.B. Frage zu Schwangerschafts-risiken	>18	weiblich			
z.B. Frage zu Einnahme von Jodtabletten im hohen Alter	>45			nein	
z.B. Fragen wegen vermuteter Nebenwirkungen von Jodtablet-ten				ja	
z.B. Frage nach der Strahlen-empfindlichkeit von Kindern			Eltern		3

Bei der Bedingung „Familie“ können „Eltern“, „Vater“, „Mutter“, „Kind“ eingetragen sein. Die Bedingung „Jodt“ kann mit „ja“ oder „nein“ angegeben werden. Die Dosisstufe bezieht sich auf die ärztliche Einstufung der Dosis, (siehe oben), jetzt aber nicht auf den Ort, sondern auf die Person bezogen.



Gruppe	RegNr	Familienstatus	Name	Vorname	Geburtsdatum	Geschlecht	Behinderung	Jodt	Joduhrzeit	Jod-Datum	Jodz	MwSta
Familie	1	Kind	Botsch	Sybille	12.06.1997	weiblich		Ja	16:00	30.11.	1	Untergr
Familie	2	Kind	Richter	Erika	11.12.1995	weiblich		Nein				Untergr
Kinder	3		Bieber	Martina	08.06.1991	weiblich		Ja	21:00	30.11.	2	2,8
Kinder	4		Schliack	Bärbel	24.10.1991	weiblich		Ja	21:00	30.11.	2	Untergr
Behinderungen	5		Hoeger	Kerstin	06.11.1999	weiblich	Ich bin taub.	Ja	21:00	30.11.	1	Untergr
Familie	6	Eltern	Botsch	Barbara	02.01.1973	weiblich		Ja	16:00	30.11.	2	Untergr
Familie	7	Eltern	Richter	Sophia	12.07.1979	weiblich		Nein				Untergr
Familie	8	Eltern	Reese	Jutta	12.11.1975	weiblich		Nein				13,3
Familie	9	Eltern	Konitz	Christine	10.12.1980	weiblich		Ja	21:00	30.11.	2	2,8
Familie	10	Eltern	Freger	Regina	18.07.1980	weiblich		Nein				2,9
Familie	11	Eltern	Bähr	Naomi	05.04.1981	weiblich		Ja	21:00	30.11.	2	3,1
Familie	12	Eltern	Wilmsen	Else	14.07.1980	weiblich		Ja	21:00	30.11.	2	Untergr

Abbildung 4: Serienbrief-Datenquelle als Ergebnis des Programms (Ausschnitt)

Diese Angaben werden in eine Tabelle eingetragen, die als Daten-Quelle für einen Serienbrief dient. Ein Auszug aus dieser Tabelle ist in Abbildung 4 dargestellt. Eine Statistenanweisung in Form eines Musterserienbriefes mit den variablen Feldern ist in Abbildung 5 zu sehen.

Mit den beschriebenen Hilfen können die radiologische Lage und die Statistenanweisungen in wenigen Stunden statt in mehreren Tagen erstellt werden. Der Hauptaufwand besteht darin, die Übungsziele in Vorgaben für die radiologische Lage, das Mengengerüst und geeignete Anforderungssätze umzusetzen. Damit wird die Arbeit auf inhaltliche Fragen und nicht auf die technische Umsetzung konzentriert.

Gruppe: «Gruppe»

Übung Notfallstation Betahausen

am 17.11.2007

Statistenanweisung

Hinweis: Registriernummer «RegNr»

Sie erhalten als Statist der Übung eine künstliche Identität. Bitte füllen Sie den oberen Teil des Erhebungsbogens selbst aus; übernehmen Sie dabei bitte die Angaben von dieser Statistenanweisung. Bei den Personalien können Sie Straße, PLZ, Wohnort und Telefonnummer weglassen; sie spielen bei der Übung keine Rolle. Es kann sein, dass Sie einen Menschen mit Behinderung darstellen sollen.

Wenn wir Sie bitten, die Angaben von dieser Statistenanweisung in den Ihnen ausgehändigten Erhebungsbogen-Notfallstation selbst noch handschriftlich einzutragen, dann nur aus dem Grund, dass wir die Zeit zur Ausfüllung des Erhebungsbogens mit in den Übungsablauf einbeziehen wollen. Schreiben Sie bitte auch die Registriernummer dieses Blattes oben auf den Erhebungsbogen.

Geben Sie bitte den Erhebungsbogen Notfallstation mit diesem Blatt am Ende der Übung ab; wir benötigen beides noch zur Übungsauswertung

Vielen Dank für Ihre Mitwirkung!

Die Übungsleitung

Persönliche Angaben (Künstliche Identität)

Name: **«Name»** Geburtsdatum: **«Geburtsdatum»**

Vorname: **«Vorname»** Geschlecht: **«Geschlecht»**

Aufenthalt während / nach dem Kernkraftwerksunfall:

Ort	Zeit (von ... bis ... Uhr)	im Freien / in Gebäuden
1 «Ort1»	«Zeit1».	«Schutz1»
2 «Ort2».	«Zeit2»	«Schutz2»
3 «Ort3»	«Zeit3»	«Schutz3»
4 «Ort4»	«Zeit4»	«Schutz4»

Von der Behörde ausgegebene Iodtabletten eingenommen? **«Jodt»**, **«Jodz»** Stück um **«Joduhrzeit»** Uhr am **«JodDatum»**

Behinderung: «Behinderung»

Messungen sollen vom Personal der Notfallstation so vorgenommen werden wie in einem Ernstfall. Zum Übungsablauf passende Messwerte finden Sie unten. Nennen Sie bitte nach der Messung dem Personal je nach Station folgende Messwerte (es kann sein, dass Sie nicht alle brauchen):

Messwerte für Dosisleistung und Kontamination:

Station 2: «MwStat2» Mikro-Sievert pro Stunde
Station 4a: «MwStat4a» Impulse pro Sekunde
Station 7: «MwStat7_ODL» Impulse pro Sekunde bzw. «MwStat7_Kont» Mikro-Sievert pro Stunde
Station 9: «MwStat9» Mikro-Sievert pro Stunde

An Station «StationEHAnforderung» äußern Sie gegenüber dem Personal bitte Folgendes: «EHText»
An Station 10 äußern Sie dem Arzt gegenüber bitte Folgendes «ArztFrage»
An Station 12 äußern Sie gegenüber dem Personal bitte Folgendes: «Betreuungsfrage»
An Station «StatInfo» machen Sie folgende Äußerung: «Info-Frage»

Abbildung 5: Muster einer Serienbrief-Vorlage

4. Literaturverzeichnis

[1] Medizinische Maßnahmen nach Kernkraftwerksunfällen, Veröffentlichungen der Strahlenschutzkommission Band 4 (3. Auflage), Berlin: H. Hoffmann GmbH-Fachverlag, 2007

[2] Miska, H.: Das Konzept der Notfallstationen, in diesem Band

[3] Rahmenempfehlungen zu Einrichtung und Betrieb von Notfallstationen (RE-NFS), Mainz: Ministerium des Innern und für Sport, 1999 (in Überarbeitung)

[4] Schnadt, H.: Dosisabschätzung in der Notfallstation, in diesem Band

[5] Schnadt, H.: Umsetzung des Leitfadens für den Fachberater Strahlenschutz der Katastrophenschutzleitung in das Rechenprogramm PLUTO, in: Vorkehrungen und Maßnahmen bei radiologischen Ereignissen – Hrsg: A. Bayer, H. Faleschini, S. Krüger, C. Strobl, FS-07-142-AKN, Köln: TÜV Media GmbH, 2007

[6] Miska, H.: Vor- und Nachbereitung von Übungen in der Umgebung kerntechnischer Anlagen, in: Stand des Notfallschutzes in Deutschland und in der Schweiz – Hrsg. A. Bayer, M. Baggenstos, FS-94-74-T, Köln: Verlag TÜV Rheinland, 1994

[7] Preparation, Conduct and Evaluation of Exercises to Test Preparedness for a Nuclear or Radiological Emergency, EPR-EXERCISE (2005), Vienna: International Atomic Energy Agency, April 2005

ORGANISATION DER ERSTEN HILFE IN KERNKRAFTWERKEN

FIRST AID ORGANISATION IN GERMAN NUCLEAR POWER PLANTS

U. Meldau

Vattenfall Europe, Hamburg, Deutschland

Zusammenfassung
Eine angemessene Erste Hilfe wird in deutschen Kernkraftwerken durch eine eindeutige Organisation, geeignete Einrichtungen und Hilfsmittel sowie ausreichendes ausgebildetes Personal gewährleistet. Alle Glieder der „Rettungskette“ werden durch eindeutige Meldewege zusammengeführt. Für die Bewertung und Beseitigung von Kontaminationen steht mit Strahlenschützern und Betriebssanitätern ausgebildetes Personal zur Verfügung. Mit den Regionalen Strahlenschutzzentren kann jederzeit auf geschultes medizinisches Personal und die Einrichtungen einer Spezialklinik- bzw. institution zurückgegriffen werden.

Summary
In German nuclear power plants an efficient First Aid system is in place consisting of an organisation with clear responsibilities, appropriate facilities and highly-trained personnel. All the links in the „rescue chain” are coordinated through well-defined communication channels. There are trained radiation protection and medical staff to deal with cases of radiation contamination or over exposure to ionizing radiation. In addition, the Regional Radiation Protection Centers are available to give information and advice to the staff.

Schlüsselwörter *Erste Hilfe, Kernkraftwerk, Regionale Strahlenschutzzentren*
Keywords *First Aid, Nuclear power plant, Regional Radiation Protection Center*

1. Einleitung

Jedes Unternehmen ist gemäß Arbeitsschutzgesetz [1] verpflichtet, „entsprechend der Arbeitsstätte und der Tätigkeiten“ Maßnahmen zur Ersten Hilfe zu treffen. Hierzu ist in erster Linie die Organisation der Rettungskette erforderlich: Absicherung, Notruf und Sofortmaßnahmen, weitere Erste Hilfe, Rettungsdienst und Krankenhaus sind ineinander greifend zu organisieren [2]. Neben konventionellen Erkrankungen und Verletzungen besteht in Kontrollbereichen von Kernkraftwerken wegen des Umganges mit offenen radioaktiven Stoffen die Gefahr einer Wundkontamination und Inkorporation, für die spezifische Regelungen zu treffen sind [3]. Gegenwärtig sind in Deutschland 17 Kernkraftwerke an 12 Standorten in Betrieb. Neben jeweils etwa 300 Mitarbeitern pro Anlage dienen die Erste Hilfe Maßnahmen ebenso dem Schutz des Fremdpersonals, das die Zahl der gleichzeitig auf einer Anlage Tätigen während der Revisionen auf 1500 Personen anwachsen lässt.

2. Ausbildung und Organisation

Die Aufgaben innerhalb der Erste Hilfe Organisation sind in Kernkraftwerken verbindlich geregelt und in einem Handbuch dokumentiert. Die Rettungskette wird folgendermaßen gewährleistet:

- Absicherung und Sofortmaßnahmen durch Ersthelfer in Zusammenarbeit mit betriebseigener Feuerwehr und betrieblichem Strahlenschutz,
- externer Notruf über die Schichtleitung auf der Kraftwerkswarte, wo jeder Alarm aufläuft,
- erweiterte Erste Hilfe durch Betriebssanitäter, eventuell erforderliche Dekontamination in Zusammenarbeit mit betrieblichem Strahlenschutz vor
- Übergabe an den öffentlichen Rettungsdienst an der Gefahrenbereichsgrenze und
- Transport ins Krankenhaus.

Für jeden dieser Schritte ist das erforderliche Personal ausgebildet, wobei die Hauptaufgabe den Betriebssanitätern zukommt. Sie sind überwiegend hauptberufliche Rettungsassistenten mit einer mehrjährigen Berufsausbildung und Erfahrung im öffentlichen Rettungsdienst.
In den meisten Anlagen werden für Krankentransporte zudem eigene RTW vorgehalten. Dadurch ist die unmittelbare Verfügbarkeit eines RTW gegeben und öffentliche RTW können durch kontaminierte Personen nicht verschmutzt werden. Die Praxis zeigt allerdings, dass Transporte Kontaminierter extrem selten sind, und dass durch einfache Maßnahmen wie das Auslegen einer Folie im RTW Kontaminationsverschleppungen vermieden werden können.
Die hauptamtlichen Rettungsassistenten sind berechtigte Ausbilder in Erster Hilfe und schulen im Rahmen der jährlichen Ausbildung alle gewerblichen Mitarbeiter einschließlich der Werksfeuerwehr in Erster Hilfe. Das elektrotechnische Personal wird jährlich in Herz-Lungen-Wiederbelebung ebenso geschult wie auch in der Durchführung der automatisierten externen Defibrillation. Der Focus auf die Elektrofachkräfte ist begründet durch deren höhere Gefährdung, einen elektrischen Unfall zu erleiden.
Durch die hohe Anzahl Ersthelfer wird gewährleistet, dass an jedem Ort des Kraftwerks umgehend Sofortmaßnahmen erfolgen können. Hier sei erwähnt, dass ein KKW allein im Kontrollbereich über mehr als 1500 Räume verfügt, wovon der größte im Siedewasserreaktor etwa 120 x 60 Meter misst. Bei der schlichten Größe der Anlagen sind wegen langer Rettungswege Sofortmaßnahmen vor Ort unbedingt geboten.
Der ganz überwiegende Grund für die Inanspruchnahme des Sanitätsdienstes auch in KKW sind internistische Notfälle und Erkrankungen sowie Bagatellverletzungen, aber auch für die spezifischen Gefährdungen sind Maßnahmen zu treffen:

2.1 Erste Hilfe bei gleichzeitiger erhöhter Einwirkung ionisierender Strahlung

Auch die Besonderheiten der Ersten Hilfe nach erhöhter Einwirkung ionisierender Strahlung werden speziell geschult [4]. Hierzu gehören Fragen der Vermeidung von Kontamination, der Dekontamination [5] und Verhinderung von Inkorporation ebenso wie der Sonderfall einer kontaminierten Wunde. Für die Betriebssanitäter der KKW wird in Zusammenarbeit mit dem Institut für Strahlenschutz und der Ausbildungsstätte in Bad Münstereifel regelmäßig zur Aktualisierung der eigenen Fachkunde ein dreitägiges Seminar abgehalten. Hier werden im Wege des Erfahrungsaustausches und in Unterrichtsveranstaltungen spezifische Fragen der Ersten Hilfe in Kernkraftwerken geschult.
Die erforderlichen Geräte zur Kontaminationsüberwachung und Ausmessung von Wunden werden vorgehalten. Jeder Mitarbeiter wird beim Verlassen des Kontrollbereiches zwingend über Monitore mit Messschwellen < 0,5 Bq/cm² Körperfläche ausgemessen. Von Kontaminationen betroffene Körperregionen sind ganz überwiegend die Hände, gefolgt von Haaren und Kopf.
Jede Verletzung im Kontrollbereich, die nicht nachweislich kontaminationsfrei ist, muss als kontaminiert angesehen werden. Im Fall einer kontaminierten Wunde würde bei Extremitäten eine wundnahe Stauung angelegt werden, die Wunde steril verbunden, die Wundumgebung

gereinigt und dann die Wunde gespült werden [8]. Bei allen Verletzungen im Kontrollbereich, die zur weiteren Versorgung abtransportiert werden müssen, erfolgt die Dokumentation mittels eines Strahlenunfallerhebungsbogens, der bei dem Verletzten verbleibt. Jeder kontaminierte Verletzte oder Erkrankte wird von Strahlenschutzpersonal zur Weiterbehandlung begleitet. Neben einem Kontaminationsmessgerät führt der begleitende Strahlenschützer auch Verpackungsmaterial für die Bekleidung des Kontaminierten mit.
Der Sanitätsdienst würde ab dem Dosis-Richtwert von 30 mSv Effektivdosis eines Verunfallten den ermächtigten Arzt hinzuziehen. Auch bei anhaftender Kontamination >10 Bq/cm² würde der ermächtigte Arzt konsultiert [4,5].
Die Betriebsärzte der KKW sind alle Ermächtigte Ärzte, die neben dem Grundkurs im Strahlenschutz von 24 Std. weitere 48 Std. spezifische Fortbildung [6] absolviert haben. Neben einem jährlichen Erfahrungsaustausch im Rahmen eines Arbeitskreises des VGB organisieren die KKW-Betriebsärzte seit 1998 eine anfangs jährliche, jetzt zweijährliche ganztägige Fortbildung zu Fragen des nuklearen Notfallschutzes bei der KHG in Karlsruhe. Neben Berichten über Übungen erfolgt hier zunehmend auch ein Austausch mit internationalen Referenten.
Die im Rahmen der Tagung bereits vorgestellten RSZ [7] wären für Sanitätsdienste der KKW und für die Ermächtigten Ärzte gleichermaßen die durchgehend verfügbaren Beratungs- und Unterstützungsinstitutionen, die ab 100 mSv Effektivdosis oder bei speziellen Fragestellungen konsultiert würden. Von den RSZ würde eine möglicherweise erforderliche stationäre Behandlung nach einem Strahlenunfall übernommen oder organisiert werden. Auch für den Fall einer Inkorporation würde das RSZ hinzugezogen und therapiebedürftig exponierte Mitarbeiter dem RSZ zugewiesen werden und dort die Behandlung erfahren. Die RSZ sind mit Dekorporationsmitteln wie Radiogardase oder Komplex- bzw. Chelatbildner ebenso ausgestattet, wie sie über weitere medizinische Möglichkeiten einer Klinik wie forcierter Diurese, Bronchiallavage u.ä. verfügen [8,9].

Grenzwertüberschreitungen gemäß § 55 bzw. § 63 StrlSchV sind in deutschen KKW allerdings nie aufgetreten [10]. Insofern haben auch die mit Sanitätsaufgaben in KKW betrauten Personen erfreulicherweise keine Routine im Umgang mit erhöhten Strahlendosen ausgesetzten Personen. Dies gilt in noch stärkerem Maße für die im Rahmen der Rettungskette hinzugezogenen Kräfte des öffentlichen Rettungsdienstes und weiterbehandelnder Krankenhäuser. Hier wird von den Kraftwerken eine vorbeugende Zusammenarbeit in gegenseitigen Abstimmungen und Übungen organisiert. Diese Abstimmung kann in Einzelfällen durch Ressentiments gegenüber der Kernenergie bei Personal weiter betreuender Krankenhäuser erschwert sein.

2.2 Besonderheiten der Iodblockade

Als spezielle Maßnahme zur Begrenzung der Folgen einer Inkorporation von Radioiod ist auch für das KKW-Personal die Iodblockade [11] organisiert worden. Im Rahmen der nationalen Beschaffung von Kaliumiodidtabletten haben die KKW ihre bis dahin 100 mg Iodid enthaltenden Iodtabletten auf 50 mg wie für die Wohnbevölkerung umgestellt. Damit sollen Unsicherheiten in der Dosierung vermieden werden. In einem Punkt weichen die für alle deutschen KKW einheitlichen Empfehlungen aber von denen für die Wohnbevölkerung ab: Die Altersobergrenze von 45 Jahren ist für das Anlagenpersonal aufgehoben worden, da KKW-Personal im Unfalleinsatz einer länger andauernden, hohen Dosis radioaktiven Iods ausgesetzt sein könnte, die bis in Dosisbereiche denkbar ist, die auch deterministische Strahlenschäden an der Schilddrüse möglich erscheinen lassen. Auf der anderen Seite sind potentielle Nebenwirkungen der Iodblockade für den definierten Personenkreis, der vor dem Einsatz und auch im Anschluss an die Iodblockade engmaschig medizinisch überwacht wird, zu

begrenzen. Bei Notfalleinsätzen mit zu erwartender Radioioddosis im Bereich des Eingreifrichtwertes von 250 mSv werden an die Einsatzkräfte neben persönlicher Schutzausrüstung (Atemschutz) auch je 2 Iodtabletten ausgegeben, bei andauernder Iod-Freisetzung werden täglich 100 mg Iodid nachdosiert.

3. Exposition des medizinischen Personals

Im Zusammenhang mit der Behandlung kontaminierter Personen herrschen immer wieder Unsicherheit und Angst bei Krankenhauspersonal oder anderen helfenden Personen bezüglich der möglichen Gefährdung des medizinischen Personals durch einen kontaminierten Verletzten aus einem Kernkraftwerk bei der medizinischen Versorgung. Eine Modellrechnung der potentiell möglichen Dosen kann zur Aufklärung beitragen:
Bei Kontamination mit 1 kBq/cm² Körperoberfläche eines üblichen Nuklidgemisches aus dem Primärkreislauf bei einem zu versorgenden Mitarbeiter würde in 1 m Abstand von dieser Person die Dosisleistung etwa 1 µSv/h für eine helfende Person betragen. Für den Kontaminierten selbst würde in 24 Std. eine Hautdosis von 25 mSv und eine Knochenmarkdosis von 0,5 mSv resultieren. Die großflächige Kontamination eines Betroffenen von 40 kBq/cm² als worst-case-Betrachtung ergibt für Helfer eine Gammadosisleistung in 1 m Abstand von 1 mSv in 24 Stunden [3,8]. Diese Dosis ist durch die Basismaßnahme der Entfernung der kontaminierten Kleidung, erste Dekontaminationsmaßnahmen sowie durch Vermeidung einer Inkorporation durch Tragen der krankenhausüblichen Schutzkleidung um Größenordnungen zu senken: Handschuhe, Kittel und Mundschutz reichen aus, um eine mögliche Sekundärkontamination bzw. Inkorporation der Helfenden zu vermeiden. Ein unfreiwilliges Beispiel für die Effektivität dieser im Gesundheitswesen üblichen Schutzmaßnahmen bietet die intensivmedizinische Betreuung des letztlich an Polonium 210 – Inkorporation verstorbenen russischen Patienten in London im Jahre 2006. In Unkenntnis der der Erkrankung zugrunde liegenden Inkorporation wurde der Patient 3 Wochen lang medizinisch betreut, über 60 Mitarbeiter des Krankenhauses hatten über fast 3 Wochen im Rahmen der Intensivbehandlung Kontakt zum Patienten und seinen Ausscheidungen, ohne um die Kontaminations- und Inkorporationsgefahr zu wissen. Keiner der Mitarbeiter inkorporierte Polonium (spätere Ausscheidungsanalysen) unter den üblichen Schutzmaßnahmen gegen Infektionsgefährdung bestehend aus Mundschutz, Handschuhen und Schutzkittel.
Der IAEA ist mit Ausnahme von Tschernobyl kein Fall bekannt, in dem helfende Personen Gesundheitsschäden durch ionisierende Strahlung erlitten.

4. Praktische Beispiele

4.1 Absturzunfall in einem KKW mit kontaminierter Wunde

Während des Brennelementwechsels in einer Anlage erlitt ein Mitarbeiter beim Verlassen der Reaktorgrube einen Schwächeanfall, rutschte eine Treppe hinunter und blieb ca. 5 Meter weiter unten auf einer Plattform liegen. Seine Kollegen setzten unverzüglich den Notruf ab. Über die Schichtleitung wurden kraftwerksinterner Sanitätsdienst, Werkfeuerwehr und Rettungswagen mit Notarzt angefordert. Sofortmaßnahmen wurden durch vor Ort anwesende Ersthelfer vorgenommen. Sechs Minuten später erreichten zwei Sanitäter die Unfallstelle und leisteten weitere Erste Hilfe. Der Verunglückte hatte auf den ersten Blick eine blutende Kopfverletzung davongetragen. Innerhalb von zehn Minuten wurde der Verletzte mit dem Personenfahrkorb aus der Reaktorgrube gebracht und in einer Schaufeltrage zum Kontrollbereichseingang transportiert, wo ihn 20 Minuten nach dem Unfall der inzwischen eingetroffene Notarzt übernahm. Bei einer Ortsdosisleistung von ca. 100 µSv/h am Unfallort konnte eine Gesund-

heitsgefährdung durch die Kontamination und mögliche Inkorporation bereits im Kraftwerk durch Messung ausgeschlossen werden. Nach der Erstversorgung lieferte der Arzt den Mitarbeiter in die Klinik ein. Die Diagnose: Eine Platzwunde am Kopf und Verletzungen im Brustwirbelbereich. Es ist von einem situations- und zeitgerechten Unfallmanagement zu sprechen.

4.2 Primärwasserinkorporation

Kontaminationen in einem Kernkraftwerk erfolgen grundsätzlich durch ein typisches Nuklidgemisch, das in erster Linie aus aktivierten Korrosionsprodukten im Wasserkreislauf besteht. Da immer γ-Strahler beteiligt sind, z. B. das Leitnuklid Co 60, ist die messtechnische Erfassung relativ einfach und zuverlässig. Welche Aktivität aus dem Wasserkreislauf eines KKW inkorporiert werden müsste, um eine 50 Jahre Folgedosis von 20 mSv zu erreichen, wurde aus Anlass von Dichtungsarbeiten von Tauchern im Brennelement-Lagerbecken eines DWR berechnet. Erst eine „Trinkmenge“ von 28 Litern Beckenwasser würde diese Folgedosis bewirken. Eine realistischere verschluckte Wassermenge von 100 ml würde bei 10^6 Bq Co60/m³ Primärwasser eine effektive Dosis von 0,3 µSv bedeuten.
Um hier nicht missverstanden zu werden, möchte ich betonen, dass die Gesamtaktivitäten in einem KKW mit um 10^{20} Bq erheblich sind, die Abschirmung und die Verfahren des Strahlenschutzes deshalb unbedingt erforderlich aber auch effektiv sind. Weiterhin möchte ich erwähnen, dass beim Rückbau von KKW insbesondere des Reaktordruckbehälters und naher Bauteile intensive Strahlenschutzmaßnahmen einzuhalten sind, da hier auch die Gefahr der Inkorporation von alpha-Strahlern realistischer wird mit natürlich auch notwendigem aufwändigerem Messregime.

4.3 Messgrenzen

Nach einem Krankenhausaufenthalt nähert sich ein Mitarbeiter erstmals wieder dem Wachgebäude am Kraftwerkseingang, zeitgleich geben die etwa 20 m entfernten Monitore wegen Überschreitens der Alarmgrenzen einen akustischen Alarm. Die Ratlosigkeit des Wachpersonals konnte aufgeklärt werden als der Mitarbeiter angibt, zur Behandlung einer Schilddrüsenstruma eine Dosis von 750 MBq Jod 131 (errechnete Schilddrüsendosis 200 Gy) erhalten zu haben. Dies bedeutete, dass dem Mitarbeiter erst nach Monaten wieder der Zugang zum Kontrollbereich erlaubt werden konnte. Aus der stationären Überwachung war er, wie üblich, bereits nach etwa 3 Tagen entlassen worden. Natürlich konnte er außerhalb des Kontrollbereiches beschäftigt werden.
Die Zugangskontrolle muss so akribisch erfolgen, da eine z.B. aus nuklearmedizinischer Indikation erfolgte Inkorporation beim Verlassen des Kontrollbereiches nicht von einer eventuellen Inkorporation oder Kontamination in der Anlage unterschieden werden könnte.

5. Literaturverzeichnis

[1] Arbeitsschutzgesetz BGBl. I (1996)

[2] Berufsgenossenschaft der Feinmechanik und Elektrotechnik, BGV A1, Grundsätze der Prävention, 2004

[3] Der Strahlenunfall, Veröffentlichungen der Strahlenschutzkommission Band 32, 2., überarbeitete Auflage 2007

[4] BGI 668: Erste Hilfe bei erhöhter Einwirkung ionisierender Strahlung. Institut für Strahlenschutz der Berufsgenossenschaft der Feinmechanik und Elektrotechnik und der Berufsgenossenschaft der chemischen Industrie, 2004

[5] Maßnahmen nach Kontamination der Haut mir radioaktiven Stoffen. Veröffentlichungen der Strahlenschutzkommission, Band 18, Gustav Fischer Verlag, Stuttgart, 1992

[6] Richtlinie zur Strahlenschutzverordnung und zur Röntgenverordnung, Arbeitsmedizinische Vorsorge beruflich strahlenexponierter Personen durch ermächtigte Ärzte (GMBl. Nr. 19 vom 27.02.2004, S. 350)

[7] Handbuch für Regionale Strahlenschutzzentren. Stand 2005, Institut für Strahlenschutz der Berufsgenossenschaft der Feinmechanik und Elektrotechnik und der Berufsgenossenschaft der chemischen Industrie

[8] V. List, Strahlenschutzmedizinische Aufgaben im Rahmen des Notfallschutzmanagements bei kerntechnischen Unfällen S. 235ff. In: Strahlenschutz in Forschung und Praxis, Band 48/49 2007, Deutsche Gesellschaft für Medizinischen Strahlenschutz

[9] V. List, Erkennen und Beurteilen von möglichen Strahlenexpositionen über die gesetzlich zulässigen Dosen hinaus: Befunde und Maßnahmen S. 147ff. In: Strahlenschutz in Forschung und Praxis, Band 42 1999, Urban und Fischer, München Jena

[10] Strahlenschutzverordnung (StrlSchV) vom 20.Juli 2001 BGBl. I, 2001, S. 1714, (2002, 1459), zuletzt geändert durch Art. 2, §3 Abs. 31 Gv. 1.9.2005 (BGBl. I S. 2618)

[11] Strahlenschutzkommission: SSK-Empfehlung „Verwendung von Iodtabletten zur Iodblockade der Schilddrüse bei einem kerntechnischen Unfall“ (verabschiedet in der 192. Sitzung am 24./25. Juni 2004)

EINSATZ COMPUTERBASIERTER SIMULATION FÜR AUSBILDUNG UND TRAINING VON NOTFALLEINSATZKRÄFTEN

THE USE OF COMPUTER BASED SIMULATION IN THE TRAINING OF EMERGENCY RESPONSE TEAMS

K. W. Rose[1], S. Prüßmann[2]

[1]RCE Rose Consulting & Engineering, Alzenau Deutschland
[2]KHG Kerntechnische Hilfsdienst GmbH, Eggenstein – Leopoldshafen, Deutschland

Zusammenfassung

Eine der größten Herausforderungen in Zusammenhang mit Notfallübungen ist die Schaffung von realistischen Szenarien sowie die Bereitstellung radiologischer Daten, die realistischen Notfallbedingungen entsprechen. Ebenso herausfordernd ist es einen Weg zu finden diese Daten so realistisch wie möglich bereit zu stellen wie es in der Realität der Fall sein würde.

S3-Exercise wurde geschaffen für das Training von Katastrophen- und Notfalleinsatztruppen. Es erlaubt die Vorbereitungszeit für Übungsszenarios von ein bis zwei Wochen auf wenige Stunden, im Idealfall auf unter eine Stunde zu drücken und es versorgt die Teams mit positionsabhängigen Feld- und Messwertdaten in Echtzeit, genauso wie im Ernstfall.

Summary

One of the greatest challenges associated with nuclear emergency exercises has to do with creating scenarios and generating radiological/chemical data that reflect realistic accident conditions. S3-Exercise allows emergency response survey personnel to obtain instrument readings during an exercise as they would during a real event.

S3-Exercise is a Windows program that was developed to automate the generation of radiological/chemical data from exercise scenarios. The program simulates a variety of instruments in a flexible manner. The program can generate printed data, can be run in real-time during table-top exercises or can be deployed in survey vehicles equipped with a GPS receiver.

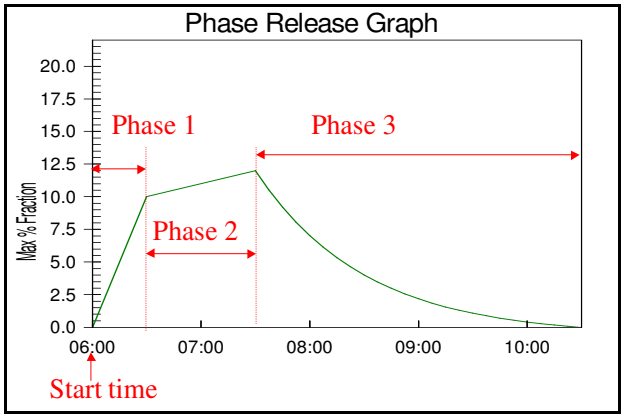
The scenario data includes the source term magnitude as a function of time and variable meteorological wind data. The software comes bundled with pre-defined exercise scenarios for the main reactor types; however the user has the option of changing them, or creating entirely new exercise scenarios.

Schlüsselwörter*: Notfallschutzübung, Störfallsimulation, Rettungseinsatzkräfte*
Key Words*: Emergency Case Exercise, Emergency Case Simulation, Emergency Response Teams.*

Was ist S3-Exercise?

S3-Exercise ist ein Windows basiertes Programm, das entwickelt wurde um radiologische/chemische Daten zu entwickeln als Grundlage realitätsnaher Trainingseinheiten. Das Programm simuliert eine Vielzahl von Messinstrumenten. Es können Ausdrucke erzeugt werden, Ereignisse können in Echtzeit im Einsatzzentrum ablaufen oder können über GPS Empfänger in Einsatzfahrzeugen verfügbar gemacht werden.

Die simulierten Notfall-/ Katastrophendaten beinhalten den Quellterm, die GPS Koordinaten als Funktion der Zeit und variable meteorologische Daten wie z.B. Wind und Niederschlag. In der Entwicklung wurden bereits einige vordefinierte Trainingsszenarios entwickelt, wie z.B. ein Reaktorunfall, eine "schmutzige Bombe" usw. Darüber hinaus hat der Anwender die Möglichkeit diese Standardszenarien individuell zu verändern oder gänzlich neue Sachverhalte zu schaffen.

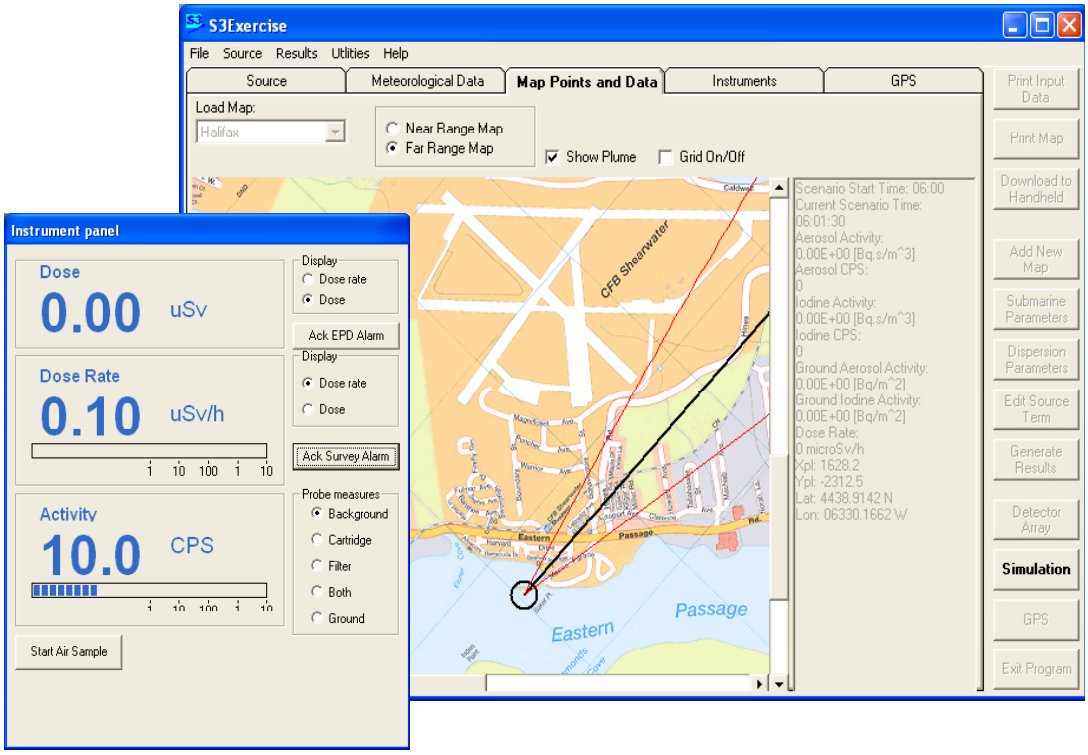


Beispiel einer Freisetzung von Schadstoffen nach einem Unfall

Wie arbeitet S3- Exercise?

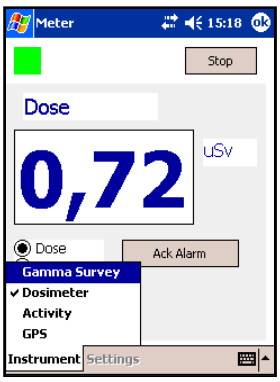
Eine S3 Notfallübung kann in drei verschiedenen Modi ablaufen. Im Echtzeit Feldmodus stellt S3- Exercise direkte Geräte- und Messwertdaten als Funktion von Position und Zeit dar. In der Echtzeit Detektor Anordnung sind alle Anzeigen für vordefinierte Messpunkte erhältlich und werden kontinuierlich auf dem Bildschirm angezeigt. Im Table Top Modus können alle Felddaten einfach durch Bewegung des Kursors auf der hinterlegten Landkarte angezeigt werden. Die Kursorbewegung simuliert dabei die Bewegung eines Einsatztrupps im Feld. Zur Beweissicherung und als back up können jederzeit Sicherungskopien und Ausdrucke erstellt werden.

Ein Beispiel einer Karte und eines Instrumenten Panel

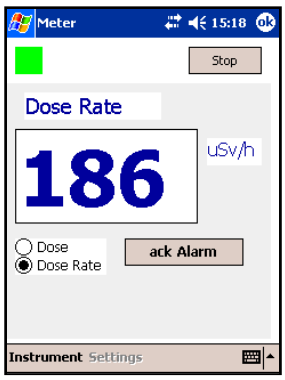


Wie arbeitet S3hpc

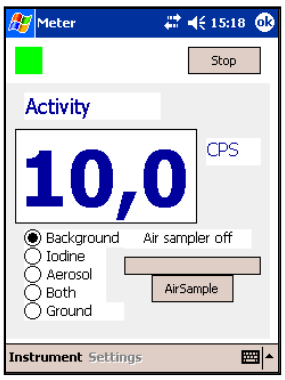
Ist S3hpc installiert wird ein S3-Trainingsszenario per Mausklick auf einen Handheld Computer (HPC) herunter geladen. Auf dem HPC werden Instrumenten Anzeigen realistisch in Abhängigkeit von Zeit und Ort abgebildet. Ausgewählte Anzeigen sind unten beispielhaft gezeigt.



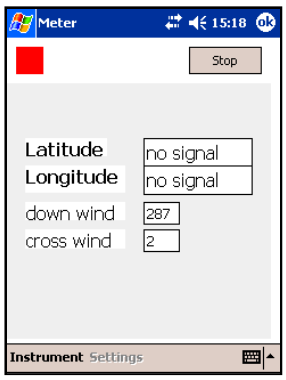
Dosimeter



Dosisleistung



Luftprobensammler



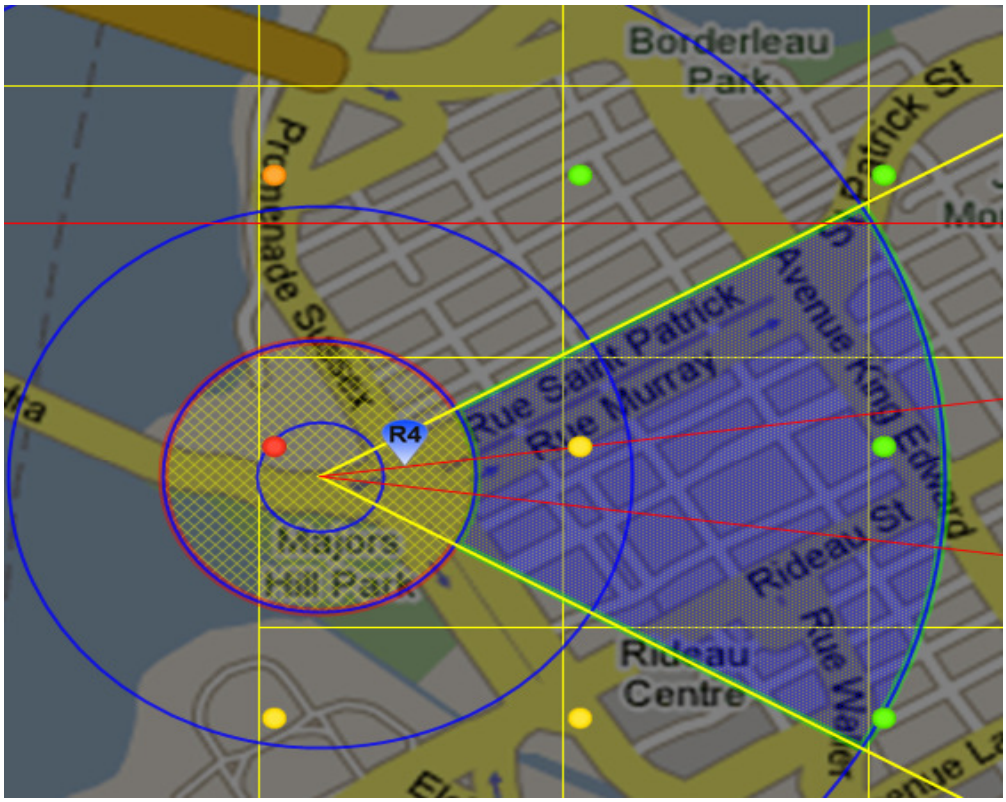
GPS

S3FAST, das Notfall Management Tool

Nach den Erfahrungen mit S3Exercise wurde der Wunsch nach einem Datenmanagement laut. Die Anforderungen hieran sind:

- Automatischer Datentransfer in die Einsatzzentrale. Dies gilt sowohl für die tatsächliche Messdatenerfassung als auch für simulierte Daten einer Übung.
- Speicherung sämtlicher, eingehender Daten,
- Visualisierung der eingehenden Daten,
- Informationsverdichtung und
- Prognose

Mit der so erhaltenen Lagedarstellung in Echtzeit werden die Grundlagen für die Entscheidungsfindung im Lagezentrum geschaffen.



Beispiel einer visualisierten Lagedarstellung

Erfahrungen mit S3Exercise / S3hpc und S3FAST

Die Erfahrungen beim Einsatz von S3Exercise / hpc zeigen, dass die Intensität des Trainings deutlich gesteigert wird. Das realistische Vorspielen radiologischer Bedingungen erzeugt eine intensive Bindung des Personals in der Ausbildung und im Training. Das Verhalten des Personals wird gesteuert durch die in Echtzeit verfügbaren Messwertanzeigen.

Mit S3 FAST kann erstmals eine Großübung unter realistischen Bedingungen geplant und durchgeführt werden. Ebenso besteht die Möglichkeit virtuelle Übungen für das Training des Einsatz lenkenden Personals durch zu führen. Es zeigt sich, dass die Trainingseinheiten zu einem deutlich verbesserten Zusammenspiel der Beteiligten führen. So wurden im Februar 2008 in mehreren Übungen im Großraum Vancouver die Fortschritte deutlich sichtbar.

www.s3exercise.com

Autorenverzeichnis

Name Seite

A
Amaral, E. 213

B
Betzl, H. 85
Braselmann, H. 222, 228

D
Dalheimer, A. 59
Dörr, H. D. 159
Dörr, W. 160
Dombrowsky, W. R. 140

F
Fliedner, T. M. 159
Friedel, M. 182

G
Ganser, A. 149
Griesbach, M. 79

H
Henrichs, K. 59
Hieber, L. 228
Hoffmann, M. 7

J
Junker, R. 28

K
Kesten, J. 7
Kirchinger, W. 66
König, K. 59
Kronholz, H.-L. 125
Kulka, U. 197

L
Lassmann, M. 3
List, V. 133, 170

M
Maier, R. 7
Martignoni, K. 185
Meineke, V. 159, 160, 228
Meldau, U. 97, 240

Name Seite

Meyer, V. 231
Miska, H. 43
Müller, W.-U. 214

O
Oestreicher, U. 197

P
Paretzke, H. G. 213
Port, M. 149
Portius, U. 36
Preißinger, M. 3
Prüßmann, S. 107, 246

R
Reiners, Chr. 3, 21, 178
Romm, H. 197
Rose, K. 246
Rosenstock, W. 115

S
Scheidegger, R. 75
Scherthan, H. 228
Schnadt, H. 205, 231
Schneider, R. 3, 21
Sefrin, P. 104
Seitz, G. 14, 103

W
Wilbert, S. 51

Z
Zitzelsberger, H. 222, 228

Publikationen des Fachverbandes für Strahlenschutz e. V.

*FS-05-138-AKE	**Leitfaden für die praktische Umsetzung des § 29 StrlSchV**, (Freigabeleitfaden), Ausgabe 3, Arbeitskreis Entsorgung, Hrsg.: A. Bertram-Berg u. a., Stand: 8. Dezember 2005, TÜV-Verlag GmbH, Köln, oder Download unter www.fs.de
*FS-05-139-T	**Strahlenschutz-Aspekte bei der Entsorgung radioaktiver Stoffe,** 37. Jahrestagung des Fachverbandes für Strahlenschutz e. V., 5. Gemeinsame Jahrestagung mit dem Österreichischen Verband für Strahlenschutz, 20.–23. September 2005 in Basel, Bandhrsg.: A. Zuberbühler, M. Baggenstos, N. Zoubek, A. Janett, TÜV-Verlag GmbH, Köln
FS-06-140/CD	**Chronik 1966–2006 – Daten, Fakten und Notizen zur 40-jährigen Geschichte des FS,** Juni 2006, Redaktion: Dietrich E. Becker, Hans H. Brunner, Klaus Henrichs, Rupprecht Maushart
*FS-06-141-T	**Strahlenschutz-Aspekte bei natürlicher Radioaktivität,** 38. Jahrestagung des Fachverbandes für Strahlenschutz e. V., 19.–22. September 2006 in Dresden, Bandhrsg.: E. Ettenhuber, R. Giessing, E. Beier, A. Bayer, TÜV Media GmbH, Köln
*FS-07-142-AKN	**Vorkehrungen und Maßnahmen bei radiologischen Ereignissen,** 5. Seminar des Arbeitskreises Notfallschutz, 25.–27. April 2007 in Augsburg, Hrsg.: A. Bayer, H. Faleschini, S. Krüger, Chr. Strobl, TÜV Media GmbH, Köln
*FS-07-143-AKNAT	**Optimierung der Auswahl von Messmethoden zur Bestimmung natürlicher Radionuklide,** Arbeitskreis natürliche Radioaktivität, Hrsg.: T. Heinrich, L. Funke, M. Köhler, U.-K. Schkade, F. Ullrich, W. Löbner, J. Höpner, D. Weiß, TÜV Media GmbH, Köln 2007
*FS-07-144-T	**Ion Beams in Biology and Medicine,** 39. Annual Conference of the German-Swiss Association for Radiation Protection and 11th Workshop of Heavy Charged Particles in Biology and Medicine, 26.–29. September 2007 in Heidelberg, Bandhrsg.: J. Debus, K. Henrichs, G. Kraft, TÜV Media GmbH, Köln
FS-07-145	**AKA-Prüfungskatalog** (in Vorbereitung)
*FS-08-146-AKN	**Fragen des radiologischen und nuklearen Notfallschutzes aus medizinischer Sicht,** gemeinsames Seminar des Arbeitskreises Notfallschutz und des Deutschen WHO REMPAN-Zentrums, 2.–4. April 2008 in Würzburg
*FS-08-147-AKU	**Moderne Routine- und Schnellmethoden zur Bestimmung von Sr-89 und Sr-90 bei der Umweltüberwachung**, Arbeitskreis Umweltüberwachung, TÜV Media GmbH, Köln 2008
FS-08-148-AKE	**Stilllegungsvarianten für Anlagen, die nach Atom- oder Strahlenschutzrecht genehmigt wurden**

Mit * oder ** bezeichnete Publikationen sind über den Buchhandel zu beziehen, die übrigen bei den im Sigel angegebenen Arbeitskreisen.

StrahlenschutzPRAXIS, die Vierteljahres-Fachzeitschrift des Fachverbandes für Strahlenschutz e. V. – aktuell, interessant, informativ!
TÜV Media GmbH, Köln, www.tuev-media.de

=► Die vollständige Liste finden Sie unter unter www.fs-ev.de!