

Tschernobyl: Gesundheitliche Folgen –

BMU-Sachstandsbericht Nr. 1

Chernobyl: Health Consequences –

BMU-Status Report No 1



Impressum:

Anmerkung/Note:

Dieser Bericht ist von der Gesellschaft für Anlagen- und Reaktorsicherheit mbH, Köln, im Auftrage des Bundesministers für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit im Rahmen des Vorhabens TAP 9801 erstellt worden. Die Verantwortung für den Inhalt liegt jedoch allein bei den Autoren. Der Eigentümer behält sich alle Rechte vor. Insbesondere darf dieser Bericht nur mit Zustimmung des Auftraggebers zitiert, ganz oder teilweise vervielfältigt bzw. Dritten zugänglich gemacht werden.

Dieser Bericht gibt die Meinung und Auffassung des Auftragnehmers wieder und muß nicht mit der Meinung des auftraggebenden Bundesministers für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit übereinstimmen.

This report has been prepared by Gesellschaft für Anlagen- und Reaktorsicherheit (GRS) mbH under the contract TAP 9801 for the Federal Ministry for the Environment, Nature Conservation and Nuclear Safety (BMU). The authors alone are responsible for the contents of the report. The BMU reserves all rights to this report. This report may only be referred to, wholly or partly reproduced or made available to third parties with permission of the BMU.

The report reflects the opinion of GRS and is not necessarily in agreement with the opinion of the BMU.

Herausgeber/Published by:

Gesellschaft für Anlagen- und Reaktorsicherheit (GRS) mbH
Schwertnergasse 1
D - 50667 Köln

Redaktion/Technical Editors:

H.-G. Friederichs, GRS, Köln
W. Thomas, GRS, Köln
A. M. Kellerer, Strahlenbiologisches Institut der Ludwig-Maximilian-Universität, München
G. Berberich, Köln

Übersetzung/Translation:

F. Janowski-Hansen, GRS, Köln

Gestaltung/Design:

G. Berberich, Köln

Dezember/December 2000

Inhalt

Table of Contents

Vorwort <i>Preface</i>	2
1 Einleitung <i>Introduction</i>	4
2 Ausgangssituation <i>Initial situation</i>	6
2.1 Überblick <i>Survey</i>	6
2.2 Strahlendosis und Strahlenbelastung <i>Radiation dose and radiation effects</i>	8
2.3 Schilddrüsenkrebs und andere Krebserkrankungen nach dem Reaktorunfall in Tschernobyl <i>Thyroid cancers and other cancers after the reactor accident at Chernobyl</i>	13
2.3.1 Strahlenbelastung der Schilddrüse <i>Doses to the thyroid</i>	13
2.3.2 Inzidenz von kindlichem Schilddrüsenkrebs in Weißrußland, in der Ukraine und in Rußland <i>Incidence of childhood thyroid cancers in Belarus, the Ukraine and Russia</i>	16
2.4 Andere Krebserkrankungen, insbesondere kindliche Leukämien <i>Other cancers, especially childhood leukaemia</i>	20
2.4.1 Solide Krebserkrankungen außer Schilddrüsenkrebs <i>Solid cancer excluding thyroid cancer</i>	22
2.4.2 Kindliche Leukämien <i>Childhood leukaemia</i>	23
3 Offene Probleme <i>Unresolved issues</i>	28
4 Literatur <i>References</i>	31
Anhang: Die deutsch-französische Initiative <i>Annex: The Franco-German Initiative</i>	34

Vorwort

Durch den Brand im Block 4 des Atomkraftwerkes Tschernobyl am 26. April 1986 wurden gefährliche radioaktive Stoffe freigesetzt und großräumig verteilt. Dieser Unfall hat gezeigt, welches Gefährdungspotential bei der Nutzung der Kernenergie zuverlässig beherrscht werden muß. Auch wenn der Reaktortyp in Tschernobyl Auslegungsdefizite besaß, die bei westlichen Reaktoren nicht vorhanden sind, so hat dieser Unfall doch erhebliche Konsequenzen für den weltweiten Betrieb der Atomkraftwerke gehabt. In einigen Staaten gibt es Bestrebungen oder Entscheidungen die Nutzung der Atomenergie möglichst schnell zu beenden. Dies ist auch das Ziel der gegenwärtigen Bundesregierung. Sie arbeitet aber gleichzeitig mit anderen Staaten und internationalen Organisationen zusammen, um nukleare Sicherheit und Strahlenschutz weltweit auf höchstmöglichem Niveau zu gewährleisten, so lange noch Atomkraftwerke betrieben werden.

Auch mehr als 14 Jahre nach dem Reaktorunfall leiden die am stärksten betroffenen Staaten Ukraine, Weißrußland und Rußland noch unter den Folgelasten. Diese Staaten befinden sich gegenwärtig in einem schwierigen gesellschaftlichen und wirtschaftlichen Übergangsprozeß. Vor allem die Ukraine muß ganz erhebliche Anteile ihrer gesamtwirtschaftlichen Leistung zur Bewältigung der Unfallfolgen aufbringen. Bis heute erfahren diese Länder solidarische Unterstützung der Völkergemeinschaft sowohl durch die Regierungen wie auch durch zahlreiche staatliche und nichtstaatliche Organisationen oder durch einzelne Bürger und Bürgerinitiativen. Diese Unterstützung ist auch in Zukunft erforderlich, um Vorsorge gegen weitere Gesundheits- und Umweltschäden zu treffen und um die Sanierungs-, Stilllegungs- und Entsorgungsaufgaben am Standort Tschernobyl zu lösen. Es handelt sich um ein sehr breites Aufgabenspektrum konkurrierender Einzel-

ziele und -aufgaben mit erheblichem Ressourcenbedarf. Allerdings liegen zu den jeweiligen Sachverhalten nur unvollständige, sich teilweise widersprechende Informationen vor, die unterschiedlich bewertet werden und Gegenstand politischer Konflikte sind.

Daher ist es wichtig, die maßgeblichen Sachverhalte aufzuarbeiten und nachvollziehbar und überprüfbar darzustellen, damit weitere Vorsorge- und Unterstützungsmaßnahmen dort durchgeführt werden, wo sie den großen Nutzen erbringen.

Die Serie der BMU-Sachstandsberichte zum Tschernobyl-Aktionsplan verfolgt daher folgende Ziele:

- Aktuelle Informationen für die öffentliche Diskussion bereitzustellen sowie Kritik und Vorschläge aus der Öffentlichkeit für die Weiterentwicklung der Berichterstattung und der Zusammenarbeitsprogramme zu nutzen.
- Die politische Meinungs- und Willensbildung zu den Lehren aus Tschernobyl und zu weiteren Zusammenarbeitsmaßnahmen zu fördern.
- Beiträge für eine effiziente, kooperative Bewältigung der Tschernobylaufgaben zu leisten.
- Die notwendige breite Unterstützung für die Bewältigung der anstehenden Aufgaben zu fördern und zu helfen, die notwendigen Ressourcen zu mobilisieren.

Das Tschernobyl-Aktionsprogramm insgesamt und wichtige Bezüge zu den Aktivitäten der einzelnen beteiligten Organisationen sind über das Internet zugänglich. Die einzelnen Sachstandsberichte des BMU werden dort auch bereitgestellt und mit Möglichkeiten verbunden, Kritik und Vorschläge zu übermitteln.

Preface

The fire at the Unit 4 of the Chernobyl nuclear power plant on April 26, 1986, caused the release of dangerous radioactive substances and their diffusion over wide areas. This accident has shown which hazard potential has to be controlled reliably when dealing with nuclear power. Even though the reactor type used at Chernobyl had deficiencies in its design that are not found in Western reactors, the accident still had considerable consequences for the world-wide operation of nuclear power plants. Some countries are making efforts or have already decided to abandon the use of nuclear power as soon as possible. This is also the aim of the current German Federal Government. Nevertheless, it continues at the same time to work together with other countries and international organisations in order to ensure nuclear safety and radiation protection world-wide at the highest possible level for as long as nuclear power plants are in operation.

More than 14 years after the reactor accident, the Ukraine, Belarus and Russia - the countries that were affected most - are still suffering from the follow-up consequences. These states presently find themselves in a difficult social and economic process of transition. The Ukraine above all has to spend quite considerable amounts of its gross national product to cope with the accident consequences. Even to this day, these countries are experiencing the solidarity of the community of nations through governmental initiatives as well as through numerous governmental and non-governmental organisations or individual citizens and citizens' action groups. This support will also be needed in future in order to take precautions against further damage to the health of the population and to the environment and to solve the issues of ecological restoration, decommissioning and waste management at the Chernobyl

site. This is a very broad range of individual objectives and tasks that are in competition with each other and require considerable financial resources. However, the information about the respective items is only incomplete and sometimes contradictory and is assessed differently and often the object of political conflicts.

It is therefore important that the substantial facts be processed and presented in a comprehensible and verifiable way, so that further precautionary and support measures can be implemented where they bring most benefit.

The series of BMU Status Reports on the Chernobyl Action Plan therefore pursues the following targets:

- to provide up-to-date information for the public debate as well as to use critical comments and suggestions from the general public for the further development of the reporting and the co-operation programmes,
- to promote the formation of political opinion and the will to learn from Chernobyl and continue co-operation,
- to contribute to mastering the Chernobyl-related issues in an efficient and co-operative manner, and
- to promote the broad support needed to cope with the tasks ahead and to help mobilise the necessary funds.

Information about the Chernobyl Action Programme as a whole and relevant activities of the individual organisations involved is available on the Internet. The individual Status Reports of the BMU can also be found here, with the possibility of submitting critical comments and suggestions.

Einleitung

1

Introduction

Der Unfall im Reaktor Nr. 4 vom Typ RBMK am Standort Tschernobyl am 26. April 1986 und der anschließende Brand im Reaktorkern haben zu einem erheblichen Ausstoß radioaktiven Materials in die Umwelt und zum Auswurf von Brennstoff-Trümmern in die Umgebung des Kraftwerks geführt.

Während der ersten zehn Tage nach dem Unfall sind radioaktive Stoffe mit einer Gesamtaktivität von etwa 12 Exabecquerels (Milliarden Milliarden Becquerel) in die Atmosphäre abgegeben worden. Über den Transport in der Atmosphäre wurden Radionuklide wie Jod-131, Cäsium-134 und Cäsium-137 über die meisten Länder Europas verbreitet. Aufgrund seiner kurzen Halbwertszeit ist das Jod-131 seit langem verschwunden. Im Gegensatz dazu wird bis heute in weiten Teilen Europas Oberflächenradioaktivität hauptsächlich von Cäsium-137 gemessen.

Wichtigste gesundheitlich relevante Isotope mit Halbwertszeiten

Main health-relevant isotopes with half-lives

Nuklid / Nuclide	Halbwertszeit / Half-Life
Jod-131 / iodine-131	8,0 d
Jod-133 / iodine-133	20,8 h
Tellur-132 / tellurium-132	78,0 h
Cäsium-134 / caesium-134	2,0 a
Cäsium-137 / caesium-137	30,0 a

The accident of the RBMK-type reactor No. 4 at the Chernobyl NPP in the Ukraine on April 26, 1986 and the subsequent fire in the reactor core led to a considerable release of radioactive substances into the environment as well as to a dispersion of fuel debris in the vicinity of the power plant.

During the first ten days following the accident, radioactive substances with an overall activity of about 12 exabecquerels (one billion billion becquerels) were released into the atmosphere. The moving radioactive cloud dispersed such radionuclides as iodine-131, caesium-134 and caesium-137 over the majority of the European countries. Because of its short radioactive half-life period, iodine-131 disappeared long ago. In contrast, surface radioactivity mainly of caesium-137 can still be measured in vast parts of Europe even today.

Am 26. April 1986 explodierte Block 4 des Kernkraftwerks Tschernobyl

On April 26, 1986 Unit 4 of the Chernobyl Nuclear power Plant exploded

Das Betriebspersonal der Anlage und Rettungsteams, die in den ersten Tagen nach dem Unfall vor Ort waren, erhielten zum Teil hohe Strahlendosen mit akuten Folgen für Leben und Gesundheit, die von verstreuten Fragmenten des Reaktors sowie von der radioaktiven Wolke und Lagerstellen herrührten. Bei 134 der 237 wegen hoher Dosen in Krankenhäuser eingelieferten Personen wurden schwere Formen der Strahlenkrankheit festgestellt. 28 von ihnen sind unmittelbar nach dem Unfall verstorben. Drei weitere Mitglieder der Rettungsteams starben an den Folgen anderer Verletzungen.

Es wird geschätzt, daß 600 000 "Liquidatoren" an der Reinigung der am meisten kontaminierten Zonen rund um den beschädigten Reaktor beteiligt waren. Von den 135 000 Einwohnern der 30-km-Zone um das Kraftwerk, die seit dem Unfall gesperrt ist, wurden 115 000 ab der ersten Woche evakuiert. Sie waren externer Strahlung ausgesetzt und – in einem geringeren Maße – Strahlung durch Einatmen radioaktiver Stäube.

Die heutigen Bewohner der kontaminierten Gebiete sind langsam abnehmender externer Exposition und Exposition durch Aufnahme kontaminierter Nahrungsmittel ausgesetzt. Es leben etwa 1,4 Millionen Personen in Gebieten mit ursprünglich mehr als 185 000 Bq/m² und fast 5,3 Millionen Personen leben in Gebieten mit einer Bodenbelastung zwischen 37 000 Bq/m² und 185 000 Bq/m².

The personnel of the unit and rescue teams present at the plant within the first hours of the accident were acutely exposed to radiation caused by debris from the reactor core which was scattered about on the site as well as by the radioactive cloud and deposits. Acute radiation sickness owing to high doses was confirmed with 134 out of 237 persons hospitalised, 28 of whom died just after the accident /ILY 94/. Three other rescuers died from other injuries.

An estimated 600,000 mitigators participated in the cleanup of the most contaminated areas around the damaged reactor. Starting with the first week, 115,000 of the 135,000 residents living in the 30-km exclusion zone around the plant were evacuated. They had been exposed to external irradiation and to a smaller extent to irradiation by inhalation of radioactive dust.

Today's residents of the contaminated areas are still affected by external exposure and the exposure caused by consumption of contaminated food. Approximately 1.4 million people live in areas of more than 185,000 Bq/m² (5 Ci/km²) and about 5.3 million people live in regions with a soil contamination level between 37,000 Bq/m² (1 Ci/km²) and 185,000 Bq/m² (5 Ci/km²).

**In Tschernobyl eingesetzte
Wissenschaftler aus dem
Kurtschatow-Institut, Sommer 1986**

**Scientists from Kurchatov Institute
working at Chernobyl, summer 1986**



Ausgangssituation

2

Initial situation

2.1 Survey



Entnahme einer Wasserprobe aus den Gewässern innerhalb der 30 km Zone

Water sampling in the 30-km zone

For 14 years, various and sometimes highly contradictory statements have been circulating in the public and the press as to the origin and seriousness of medical problems observed in the zones of the three republics affected by the Chernobyl accident. This still persists, although there is now a wide reaching consensus among the scientific community regarding the main observed health consequences.

Numerous studies of different methodological quality have been carried out. Some of the conclusions were published although their scientific validity could not be guaranteed. The results of other work done under strict scientific conditions are available for specialists but unknown to the broad public and the population directly affected.

The main difficulty in drawing clear conclusions lies first of all in the weak system of epidemiological surveillance in these countries, particularly concerning the registration of cancer and congenital malformations. A further difficulty is presented by the imprecise dose reconstruction. Moreover, medical information (lists of mitigators, lists of cancerous diseases and congenital malformations, etc.) was collected without regard for common standards and is spread over several data bases.

Now, among the medical consequences of the accident, the only one which beyond any doubt can be

2.1 Überblick

Über die Art und Schwere der Gesundheitsprobleme in den drei von dem Unfall in Tschernobyl betroffenen Republiken zirkulieren seit 14 Jahren unterschiedliche, teilweise sehr widersprüchliche Aussagen. Dieser Zustand hält noch heute an, wenn auch mittlerweile in der wissenschaftlichen Gemeinschaft weitgehender Konsens über die hauptsächlich beobachteten gesundheitlichen Auswirkungen besteht.

Zahlreiche Studien von sehr unterschiedlicher methodischer Qualität sind durchgeführt worden. Schlußfolgerungen einiger dieser Untersuchungen sind veröffentlicht worden, ohne daß die wissenschaftliche Richtigkeit der Ergebnisse garantiert werden konnte. Andere Arbeiten, die

unter streng wissenschaftlichen Bedingungen durchgeführt worden sind, stehen Fachleuten zur Verfügung, sind aber der betroffenen Bevölkerung nicht zugänglich.

Eine Hauptschwierigkeit bei der Erstellung einer eindeutigen Bilanz liegt in der Unzulänglichkeit der epidemiologischen Beobachtungen in diesen Ländern, insbesondere bei der Aufzeichnung von Krebsfällen und Fällen angeborener Mißbildungen. Eine weitere Schwierigkeit liegt in der ungenauen Dosisrekonstruktion. Darüber hinaus wurden Gesundheitsinformationen (Register der „Liquidatoren“, Krebsregister, Register für angeborene Mißbildungen etc.) nicht nach einheitlichen methodischen Standards erhoben und sind auf zahlreiche Datensammlungen verstreut.

Von den gesundheitlichen Unfallfolgen ist allein der Anstieg der Schilddrüsenkrebraten unbestreitbar auf die Strahlung zurückzuführen, insbesondere bei Kindern. Mehr als tausend Fälle bei Kindern und Jugendlichen sind in den letzten 10 Jahren in den drei betroffenen Republiken registriert worden.

Was Leukämiefälle und angeborene Mißbildungen anbelangt, ist die Frage nach einem strahlenbedingten Anstieg noch nicht endgültig beantwortet. Ionisierende Strahlung ist generell als möglicher auslösender Faktor für Leukämie erwiesen, der insbesondere bei Kindern selbst bei relativ geringen Dosen Erhöhungen der Raten hervorrufen kann. Jedoch wurde bislang in den von Tschernobyl unmittelbar betroffenen Gebieten keine statistisch signifikante Erhöhung der kindlichen Leukämieraten festgestellt (siehe Abschnitt 2.3). Allerdings sollte betont werden, daß die Tatsache, daß kein Anstieg beobachtet wurde, keineswegs eine potentielle Erhöhung ausschließt, die wegen der geringen Anzahl der Fälle in einer begrenzten Bevölkerungsgruppe statistisch nicht nachweisbar ist. Über den Zusammenhang zwischen Strahlung und ange-

attributed to irradiation is the increase in thyroid cancer incidence, mainly among those who were children at the time of exposure. More than one thousand cases during a period of 10 years have been registered among children and teenagers in the three affected republics.

Considering leukaemias and congenital malformations, the question whether or not an increase due to irradiation exists has not yet been answered scientifically. As to leukaemias, irradiation is recognised as a possible causative factor, which can induce leukaemia, especially in children, even at comparatively low doses. However, no statistically significant increase on childhood leukaemia has been observed so far in the areas directly affected by the Chernobyl accident (see section 2.3). It should be stressed that the lack of a statistically significant increase does not necessarily imply that no increase has taken place – it might just be too moderate to be detected. There is little knowledge on the impact that irradiation has on the occurrence of congenital malformations. At present, no considerable increase has been observed, but the hypothesis of an increase in these anomalies cannot yet be rejected.

Wissenschaftler machten Videoaufnahmen vom abgestorbenen „roten“ Wald

Scientists were taking video film in the dead „red“ forest





Der „rote“ Wald unweit vom Kernkraftwerk im Sommer 1987

„Red“ forest not far from the plant, summer 1987

borenen Mißbildungen ist wenig bekannt. Auch hier gilt, daß ein signifikanter Anstieg nicht beobachtet wurde, die Möglichkeit zusätzlicher – statistisch nicht nachweisbarer – Anomalien jedoch nicht ausgeschlossen werden kann.

Die noch bestehende Ungewißheit führt bei der betroffenen Bevölkerung zu erheblichen Verunsicherungen, Sorgen und Ängsten und trägt unvermeidlich zu psychischer Belastung und zu einer gravierenden Verschlechterung der Lebensqualität in den betroffenen Gebieten bei. Um abgesicherte Antworten für diese Sorgen der Öffentlichkeit zu liefern und, wo nötig, geeignete Gegenmaßnahmen zu treffen, ist es wichtig, diese Zusammenhänge weiter zu untersuchen.

The unresolved questions and the remaining uncertainties have evoked continued stress among the affected population; the resulting concerns and anxieties have contributed to the deterioration of the living conditions in the affected regions. It is necessary to investigate these circumstances further in order to provide reliable information as a basis for remedial action and effective countermeasures wherever these may be required.

2.2 Strahlendosis und Strahlenwirkung

2.2 Radiation dose and radiation effects

Nach einem Reaktorunfall hängt das Ausmaß der zu erwartenden strahleninduzierten Schäden von der konkreten Strahlensituation, insbesondere von der Höhe und Dauer der Exposition, ab. Im folgenden sollen allgemeine Aspekte des Zusammenhangs zwischen Strahlendosis und Strahlenwirkung kurz dargelegt werden.

After a reactor accident, the extent of the expected radiation-induced health damage depends on the specific radiation situation, especially on the level and length of exposure. In the following, a brief outline of the general aspects of the interrelation of radiation dose and radiation effects is given.

Dosis

Strahlenenergie, die bei der Wechselwirkung einer ionisierenden Strahlung mit Materie an diese pro Masseneinheit abgegeben wird. Die verschiedenen Strahlungsarten unterscheiden sich durch ihre biologische Wirksamkeit. Um dieser verschiedenen Wirksamkeit Rechnung zu tragen, multipliziert man die Energiedosis mit einem Bewertungsfaktor und erhält so ein neues Maß für die Dosis, die man als Äquivalentdosis für den Menschen bezeichnet und durch die Einheit Sv (Sievert) ausdrückt; früher rem; 1 rem = 1 000 mrem; 1 rem = 0,01 Sv.

Dose

Wenn ionisierende Strahlung auf menschliche Zellen einwirkt, werden in vielfacher Weise Veränderungen an der DNA, der Trägerin der Erbinformation im Zellkern, hervorgerufen. Die biologischen Folgewirkungen, die daraus resultieren, sind je nach Strahlungsintensität und Strahlungsart unterschiedlich und manifestieren sich beispielsweise in Mutationen, Änderungen des Stoffwechsels oder Zelltod. Unmittelbar nach Exposition setzen im allgemeinen zelluläre Reparaturmechanismen ein, die aufgetretene Schäden in einem gewissen Umfang reparieren können. Diese Reparaturfähigkeit des Organismus ist allerdings begrenzt. Deshalb können selbst bei geringen Dosen irreparable Fehlfunktionen der Zelle auftreten. Die Reparaturmechanismen bewirken andererseits, daß bei niedriger Dosisleistung geringere Strahleneffekte auftreten als bei hoher Dosisleistung.

Hinsichtlich der sich klinisch manifestierenden Strahlenwirkungen werden im Strahlenschutz stochastische und deterministische Strahlenwirkungen unterschieden. Beide Schadenstypen sind in ihrer Dosiswirkungsbeziehung grundsätzlich verschieden. Bei den deterministischen Strahlenwirkungen muß zunächst eine Schwellendosis überschritten werden, oberhalb derer die Zahl und der Schweregrad der akuten Strahleneffekte mit steigender Dosis zunimmt. Diese Schwellendosis liegt für den menschlichen Organismus im Bereich von ungefähr 1 Gray. Zu den typischen deterministischen Strahlenwirkungen gehören das akute Strahlensyndrom, Verbrennungen der Haut oder die Trübung der Augenlinse.

Stochastische Strahlenwirkungen sind solche, bei denen die Wahrscheinlichkeit, daß sie auftreten, nicht jedoch ihr Schweregrad, von der Dosis abhängt. Sie manifestieren sich generell erst nach einer Latenzzeit von Jahren bis Jahrzeh-

Radiation energy deposited per mass unit in matter following interaction with ionising radiation . The different types of radiation differ in their biological effectiveness. To take these differences into account, the absorbed dose is multiplied with a weight factor, which yields a new dose measure that is referred to as the equivalent dose for humans and is expressed in the unit Sv (sievert); formerly rem; 1 rem = 1 000 mrem; 1 rem = 0,01 Sv.

When ionising radiation affects human cells, alterations are caused in many ways in the DNA, the carrier of the genetic information in the nucleus of a cell. The biological effects which result from this are various, depending on the intensity and kind of radiation, and they manifest themselves e.g. in mutations, changes in the metabolism, or the death of the cell. Usually, cell repair mechanisms set in immediately after an exposure. These are able to repair to a certain extent the damage that has occurred. But the ability of the organism to repair damage is limited. Therefore, irreparable malfunctions of the cell can occur, even at low doses. Due to the repair mechanisms, on the other hand, there are fewer radiation effects in the case of low dose rates than in the case of high dose rates.

As regards the clinical radiation effects, health physics differentiates between stochastic and deterministic radiation effects. These two types of damage are fundamentally different in their dose effect relation. As for the deterministic radiation effects, a threshold dose initially has to be exceeded above which the number and the degree of severity of the acute radiation effects increases with increasing dose levels. For the human

ten. Wichtigste stochastische Strahlenwirkungen sind solide Krebserkrankungen, Leukämien und Erbkrankheiten. Bei den stochastischen (zufallsabhängigen) Strahlenwirkungen läßt sich keine Schwellendosis nachweisen. Für Strahlenschutz zwecke geht man daher im Hinblick auf stochastische Effekte von der Annahme einer Proportionalität zur Dosis aus. Bei der Wirkung von geringen Strahlendosen wird angenommen, daß es sich um unizelluläre Prozesse handelt: Bei der Induktion von Leukämie oder Krebs kann die maligne Transformation einer einzigen Zelle ausreichen. Selbst die Schädigung einer einzelnen Keimzelle kann, wenn auch mit entsprechend geringer Wahrscheinlichkeit, zu einem vererbbaeren Defekt führen.

organism, this threshold dose lies in the area of about 1 gray. Typical deterministic radiation effects are the acute radiation syndrome, burns of the skin, or a opacification of the eye's lens.

Energiedosis

Die Energiedosis ist eine Dosisgröße für alle Arten ionisierender Strahlung und für alle Stoffe. Sie beschreibt die Energie, die einem Volumenelement mit einer bestimmten Masse durch ionisierende Strahlung zugeführt wird, dividiert durch diese Masse. Die Maßeinheit ist das Gray (Gy). 1 Gy = 1 Joule pro kg.

Effektive Dosis

Die effektive Dosis erhält man durch Summation der gewichteten Äquivalentdosen der einzelnen bestrahlten Organe und Gewebe. Die Wichtungsfaktoren berücksichtigen die unterschiedliche Strahlenempfindlichkeit der einzelnen Organe und Gewebe in Bezug auf das Krebsrisiko und genetische Veränderungen durch die Strahlung. Eine gleichmäßige Bestrahlung des ganzen Körpers oder eine Bestrahlung einzelner Organe und Gewebe ergibt dasselbe Strahlenrisiko, wenn die effektive Dosis gleich ist. Die Einheit ist das Sievert (Sv). 1 Sv = 1 Joule pro kg.

Stochastic radiation effects are those for which the probability of their occurrence but not their degree of severity is dose-dependent. They generally only manifest themselves after a latency period of several years or decades. The most important stochastic radiation effects are solid cancers, leukaemias and hereditary diseases. It has not been possible to identify a threshold dose for the stochastic (random) radiation effects.

Ein Sonderfall der strahleninduzierten Wirkung stellen vorgeburtliche Schädigungen dar. Die Strahlenwirkung während der vorgeburtlichen Entwicklung hängt vom Stadium der Schwangerschaft ab. In den ersten zwei Monaten nach Konzeption kann Bestrahlung zum Absterben des Embryos führen. Vom dritten bis zum fünften Monat ist das sich entwickelnde Gehirn in einer besonders empfindlichen Phase. Fälle von geistiger Retardierung wurden in Hiroshima und Nagasaki bereits nach relativ geringen Dosen beobachtet. Die Strahlenbiologen

Thus, for radiation protection objectives there is the general assumption that there is a proportionality between dose and stochastic effect. As for the effect of low radiation doses, it is assumed that the processes are uni-cellular. For the induction of leukaemia or cancer, the malign transformation of a single cell may be sufficient. Only one single nucleus needs to be damaged to cause, although with low probability, a heritable defect.

vermuten hier eine Dosiswirkungskurve mit einem Schwellenwert, können aber über die Höhe der Schwellendosis bisher keine genauen Angaben machen; vermutet wird ein Wert von ca. 50 mGy.

Strahlenwirkungen vom deterministischen Typ, wie z.B. das akute Strahlensyndrom, wurden unmittelbar nach dem Reaktorunfall an den bei der Unfallbekämpfung beteiligten, hoch bestrahlten Personen festgestellt. In der Bevölkerung traten dagegen hohe Dosen nur hinsichtlich eines Organs, nämlich der Schilddrüse, auf, verursacht durch gewaltige Freisetzungen kurzlebigen Radiojods. Dies hatte in den Jahren nach dem Reaktorunfall in den betroffenen Gebieten ein stark erhöhtes Auftreten von Schilddrüsenkrebs zur Folge. Eine Erhöhung von anderen

A special case of radiation-induced effects is represented by prenatal damage. The effects of radiation during prenatal development depends on the stage of the pregnancy. During the first two months after conception radiation can cause the foetus' death. From the third to the fifth month, the brain is in an especially sensitive stage of development. Cases of mental retardation were observed in Hiroshima and Nagasaki following comparatively low doses of radiation. Radiobiologists assume that in this case there is a dose effect curve with a certain threshold value, but so far they have been unable to provide exact details about the level of this threshold dose; the assumed value is about 50 mGy.

Radiation effects of the deterministic type, like e.g. the acute radiation syndrome, were observed immediately after the reactor accident in those highly irradiated during the clean-up work. However, high doses to the population were related merely to one organ, the thyroid gland. They were caused by huge releases of short-lived radioiodine.

Effective dose

The effective dose is obtained by summation of the weighted equivalent doses of the individual organs and tissues exposed to radiation. The weighting factors take into account the various radiation sensitivities of the individual organs and tissues with respect to the cancer risk and genetic alterations caused by the radiation. Uniform radiation exposure of the whole body or radiation exposure of single organs and tissues produce the same radiation risk, if the effective dose is the same. The effective dose is measured in sievert (Sv). 1 Sv = 1 joule per kg.

Krebsarten – primär der Leukämie – ist bisher statistisch nicht nachweisbar. Dies bedeutet jedoch nicht, daß für die Betroffenen kein zusätzliches Risiko bestünde, an Leukämie zu erkranken. Das mögliche Zusatzrisiko kann auch in einer Größenordnung liegen, die statistisch nicht erkennbar ist oder sein wird. Das liegt vor allem daran, daß strahleninduzierte Krebserkrankungen weder im klinischen Verlauf noch durch andere Merkmale von spontan auftretenden

Absorbed dose

The absorbed dose is a dose measure for all kinds of ionising radiation and for all substances. It describes the energy imparted to a volume element subjected to ionising radiation, divided by the mass of the volume element. The energy dose is measured in gray (Gy). 1 Gy = 1 joule per kg.

Tumoren und Leukämien zu unterscheiden sind. Krebs ist mit einem Anteil von 20 bis 25 Prozent eine der Haupttodesursachen in der westlichen Welt. Folglich können strahlenbedingte Effekte im niedrigen Dosisbereich im statistischen „Grundrauschen“ der spontanen Krebsraten untergehen.

Zusätzlich erschwert wird die Situation nach dem Reaktorunfall dadurch, daß über die beschriebenen Strahlenwirkungen hinaus gesundheitliche Beeinträchtigungen durch die erschwerten Lebensbedingungen sowie durch bestehende Unsicherheiten und dadurch bedingte Befürchtungen verursacht wurden. Das insgesamt unzureichende Unfallmanagement und die mangelnde Information oder sogar bewußte Fehlinformation der Öffentlichkeit seitens der zuständigen Behörden in den betroffenen Gebieten waren weitgehend für diese Entwicklungen verantwortlich.

As a result, the thyroid cancer incidence increased considerably in the affected regions in the years that followed.

A rise in the rate of other types of cancer – above all leukaemia – has so far not been statistically demonstrated. However, this does not mean that this additional risk does not exist. The possible additional risk may also lie within a range than is not or may never be statistically recognizable. This is mainly because radiation-induced malignancies cannot be distinguished from spontaneous tumours and leukaemias by their clinical appearances nor by other characteristics. With a share of 20 to 25 per cent, cancer is one of the main causes of death in the western world. Consequently, radiation effects in the area of low doses may disappear in the „statistical noise“ of the spontaneous cancer rates.

The situation is aggravated by the fact that, in addition to the effects of ionizing radiation, health impairment is induced by the difficult living conditions as well as by anxieties on the grounds of uncertainty concerning the risks resulting from the accident. This may also be put down to the generally inadequate way the accident was dealt with and the lack of information or, sometimes, deliberate false information of the general public by the authorities in charge in the affected areas.

Radioaktivität

Vorgang des spontanen, ohne äußere Einwirkung stattfindenden Zerfalls von Atomkernen, sogenannten Radionukliden. Radionuklide wandeln sich in andere Nuklide um, wobei Alpha-, Beta- oder Gammastrahlung ausgesandt wird. Es gibt sowohl in der Natur vorkommende natürliche Radionuklide als auch durch kernphysikalische Prozesse erzeugte künstliche Radionuklide.

Meßgröße ist die Aktivität, d.h. die Anzahl der pro Zeiteinheit auftretenden Kernumwandlungen eines Radionuklids oder Radionuklidgemisches. Die Einheit ist das Becquerel (Bq). Ein Becquerel entspricht einem Zerfall pro Sekunde.

Radioactivity

The process of the spontaneous decay – occurring without external intervention – of atomic nuclei, so-called radionuclides. Radionuclides transform into other nuclides, emitting in the process alpha, beta- or gamma radiation. There are natural radionuclides as well as radionuclides that are artificially created by nuclear processes.

Here, the measured is the activity, i.e. the number of nucleus transformations of an amount of a radionuclide or a radionuclide mixture per time unit. Radioactivity is measured in becquerel (Bq). A becquerel corresponds to one decay per second.

2.3 Schilddrüsenkrebs und andere Krebserkrankungen nach dem Reaktorunfall in Tschernobyl

2.3 Thyroid cancers and other cancers after the reactor accident at Chernobyl

2.3.1 Strahlenbelastung der Schilddrüse

Bei einem Reaktorunfall enthalten die freigesetzten radioaktiven Stoffe einen hohen Anteil an Radiojod. Wenn in einem Jodmangelgebiet nicht vorbeugend Jod zur Sättigung der Schilddrüse verabreicht wird, entsteht in ihr bevorzugt eine Anreicherung der Jodisotope. Die Schilddrüse ist in solchen Fällen also das am stärksten strahlenbelastete Organ. Nach dem Reaktorunfall von Tschernobyl erwies sich dies auf besonders dramatische Weise. Die Situation wurde dadurch verschlechtert, daß nach dem Unfall stabiles Jod nur in geringem Umfang und überdies meist zu spät verabreicht wurde, um noch wirksam zu sein. Eine Umfrage, die während des „International Chernobyl Project“ /MET 92/ durchgeführt wurde, zeigte, daß nur 25 % der befragten Personen, die in den am stärksten kontaminierten Gebieten lebten, Kaliumjodid verabreicht wurde.

Das in die Umgebung abgegebene Jod 131 – mit seiner physikalischen Halbwertszeit von nur etwa 8 Tagen – war nach etwa zwei Monaten nicht mehr nachweisbar, wohingegen die kurzlebigen Jodisotope wie z.B. Jod-133 oder das Nuklid Tellur-132, schon innerhalb einer bzw. zwei Wochen nicht mehr nachzuweisen waren. Folglich haben nur jene Bevölkerungsgruppen eine nennenswerte Schilddrüsenedosis aufgenommen, die direkt der radioaktiven Wolke ausgesetzt waren oder die in den ersten Monaten nach dem Unfall über die Nahrungsmittelkette kontaminiert wurden.

Die Schätzungen über die Schilddrüsenbelastung strahlenexponierter



Dekontamination von Verkehrsmitteln an einem dafür eingerichteten Stützpunkt

Deactivation of automobile transport at the specially equipped post

2.3.1 Doses to the thyroid

In an NPP accident, the iodine family is an important component of the releases. In case of iodine deficiency, radioactive iodine is preferentially taken up. Thus, if stable iodine is not administered preventively, the thyroid gland is one of the organs receiving the highest doses. After the Chernobyl accident this proved to be true in a very dramatic way. Prophylactic administration of stable iodine was very limited and often carried out too late to be effective. In order to be effective, prophylactic administration of iodine should be carried out at the beginning of the radioactive release. A study made during the International Chernobyl Project /MET 92/ revealed that only 25% of the persons questioned in the most contaminated zones had received potassium iodide.

After its release into the environment, iodine 131 disappears in two months while short-lived iodines and iodine daughters such as iodine-133 and tellurium-132 disappear in



Personen basieren zum Teil auf spektrometrischen Messungen an der Schilddrüse, die in den drei betroffenen Ländern bei etwa 400 000 Personen in den ersten Wochen nach dem Reaktorunfall durchgeführt wurden. /LIK 93, LIK 94, WIL 93, ZVO 93/.

Diese Messungen betrafen nur Jod-131 und wurden je nach Standort unter verschiedenen Voraussetzungen und mit verschiedenen Geräten vorgenommen /LIK 93/. Es wurden jedoch keine Messungen über kurzlebige Jod durchgeführt /WIL 93/. Die Schätzungen der durch Jod-131 und andere Iodisotope mit noch geringerer Halbwertszeit in der Schilddrüse hervorgerufenen Dosen sind daher beträchtlichen Unsicherheiten unterworfen.

Die geschätzten Schilddrüsendosen können in einem Gebiet beträchtlich schwanken (bis zu 4 Größenordnungen) /LIK 93, LIK 94, WIL 93/. Darüber hinaus hängen sie vom Alter des Individuums ab, das der Strahlung ausgesetzt war. Beim Kind liegen sie in Gebieten mit gleich hoher Strahlenbelastung 2 bis 10 mal höher als beim Erwachsenen /LIK 93, LIK 94, WIL 93, ZVO 93/. Die Schilddrüsenmasse beim Kind ist viel geringer, andererseits werden von Kindern im Vergleich zu Erwachsenen größere Jodmengen aufgenommen. Deshalb ist die Schilddrüsensdosis bei gleicher inkorporierter Aktivität höher als beim Erwachsenen /UNSCEAR 88/.

Ukraine. Bei den evakuierten Personen der Stadt Pripjat lag bei Kindern im Alter von höchstens 7 Jahren zum Zeitpunkt des Unfalls die durchschnittliche Schilddrüsensdosis bei 2,8 Gy; in den anderen Altersklassen lag sie bei 0,4 Gy /LIK 93/. Für die Bevölkerung der Stadt Kiew wurden niedrigere Werte geschätzt /LIK 94/.

Weißrußland. In den am stärksten kontaminierten Gebieten wird die durchschnittliche Schilddrüsensdosis für die gesamte Bevölkerung

a week and 15 days, respectively. Consequently, only the population groups which were exposed directly to the cloud or subsequently by the food chain during the first months after the accident received a dose to the thyroid.

The estimates of doses to the thyroid in the exposed populations are partially based on the spectrometric thyroid measurements carried out on around 400,000 persons in the three countries during the first few weeks after the accident /LIK 93, LIK 94, WIL 93, ZVO 93/.

Only iodine 131 was measured, under different conditions and with different instruments depending on the locality /LIK 93/. On the other hand, there were no measurements of the short-lived iodines /WIL 93/. Thus the estimates of the doses received through iodine 131 and other isotopes with even shorter half-lives have considerable uncertainties.

The estimates of individual doses to the thyroid in a given territory vary greatly (up to 4 orders of magnitude) /LIK 93, LIK 94, WIL 93, ZVO 93/. Moreover, they depend on the age at exposure: they are 2 to 10 times higher in children than in adults in territories with equivalent contamination levels /LIK 93, LIK 94, WIL 93, ZVO 93/. In fact, as the weight of the thyroid is less in children and the iodine uptake greater than in adults, the thyroid dose for the same incorporated activity is higher /UNSCEAR 88/.

Ukraine. *The estimated average individual doses to the thyroid in the persons evacuated from the town of Pripjat are 2.8 Gy for those aged 0-7 years at the time of the accident and 0.4 Gy for the other age groups /LIK 93/. The estimates are lower for the population of Kiev /LIK 94/.*

auf 0,1-0,3 Gy und für Kinder unter 8 Jahren zum Zeitpunkt des Unfalls auf 0,4-0,7 Gy geschätzt /ILY 91/. Acht Prozent der Kinder im Alter unter 7 Jahren erhielten Dosen über 2 Gy und 0,6% Dosen über 10 Gy /BUL 93/.

Rußland. In den Gebieten der Region Brjansk, die mit Werten von über 0,6 MBq/m² Gesamtaktivität kontaminiert waren, wurde die durchschnittliche Schilddrüsendosis, je nach Zone, bei Kindern unter 7 Jahren auf 0,07 bis 2 Gy und bei Erwachsenen auf 0,014 bis 0,05 Gy geschätzt /TSY 94/. In der Region Kaluga haben 25 % der Kinder und Erwachsenen Schilddrüsendosen zwischen 0,03 und 2 Gy und 2% über 2 Gy aufgenommen /TSY 94/. Die Schätzungen für die Region Tula (Gebiete mit einer Belastung zwischen 0,04 und 0,6 MBq/m²) sind in der Tabelle aufgeführt.

Belarus. The estimated average dose to the thyroid in the most contaminated zones is 0.1-0.3 Gy for the population and 0.4-0.7 Gy for children under 8 at the time of the accident / ILY 91/. Eight percent of the children in the 0-7 year age group received doses above 2 Gy, 0.6% doses above 10 Gy /BUL 93/.

Russia. In the contaminated zones with a total activity of more than 0.6 MBq/m² in the Briansk region, the estimated average dose to the thyroid is, depending on the districts, between 0.07 and 2 Gy for children under 7 and between 0.014 and 0.05 Gy for adults /TSY 94/. In the Kaluga region, 25% of the children and adolescents received between 0.03 and 2 Gy to the thyroid while around 2% received more than 2 Gy /TSY 94/. The estimations for the Tula region (zones between 0.04 and 0.6 MBq/m²) are given in the table below.

Durchschnittliche Schilddrüsendosis bei Kindern in verschiedenen durch Iod-131 stark kontaminierten Regionen Rußlands, Weißrußlands und der Ukraine /ILY 91/

Average individual doses to the thyroid in the regions in Russia, Belarus and Ukraine most contaminated with iodine-131. From /ILY 91/

Land <i>Country</i>	Region <i>Region</i>	Gruppe der 0-7-jährigen Kinder (Millionen) <i>0-7 years age group (millions)</i>	Geschätzte Dosis (Gy) <i>Estimated doses (Gy)</i>	Gesamtbevölkerung (Millionen) <i>Total population (millions)</i>	Geschätzte Dosis (Gy) <i>Estimated doses (Gy)</i>
Ukraine <i>Ukraine</i>	Zhitomir	0.16	0.10	1.55	0.02
	Kiev	0.47	0.10	4.45	0.02
	Chernigov	0.15	0.13	1.43	0.03
Weißrußland <i>Belarus</i>	Gomel	0.18	0.16	1.68	0.04
	Mogiliev	0.14	0.06	1.28	0.01
Rußland <i>Russia</i>	Briansk	0.16	0.16	1.47	0.03
	Tula	0.20	0.06	1.87	0.01
	Orel	0.09	0.01	0.86	0.003
	Kaluga	0.11	0.07	1.04	0.02

2.3.2 Inzidenz von kindlichem Schilddrüsenkrebs in Weißrußland, in der Ukraine und in Rußland

2.3.2 Incidence of childhood thyroid cancers in Belarus, Ukraine and Russia

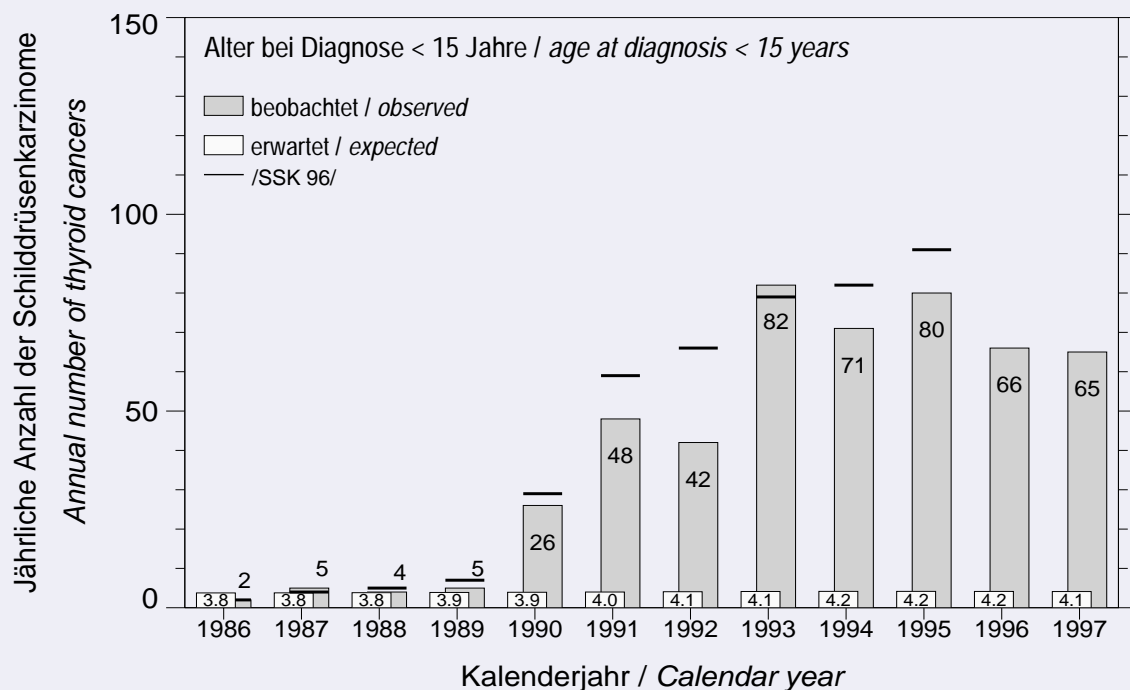
In Weißrußland stieg ab 1990 die Inzidenz von Schilddrüsenkrebs bei Kindern unter 15 Jahren dramatisch an /KAZ 92, BAV 92, DEM 94, STS 95/. Die meisten Fälle wurden in der besonders stark mit Radiojod kontaminierten Region Gomel beobachtet. In der unten stehenden Abbildung ist für Weißrußland die Anzahl der bei Kindern bis zum Alter von 15 Jahren diagnostizierten Fälle pro Kalenderjahr dargestellt und zum Vergleich die Anzahl der Fälle ge-

In Belarus, there has been a dramatic increase of childhood thyroid cancer (age at diagnosis less than 15 years) since 1990 /KAZ 92, BAV 92, DEM 94, STS 95/. Most of the cases occurred in the Gomel region which was most highly contaminated by radioiodine. The diagram below shows the annual numbers of thyroid cancers diagnosed in children in Belarus, and – in comparison – the numbers of cases that would have been normally expected. The data are

Beobachtete jährliche Anzahl der im Kindesalter (bis zum Alter von 15 Jahren) diagnostizierten Schilddrüsenkarzinome in Weißrußland (dunkelgraue Säulen) /IVA 99/; horizontale Balken: entsprechende Werte einer früheren Publikation /SSK 96/; hellgraue Säulen: erwartete Anzahl von Fällen gemäß altersspezifischer Normalraten (nach Daten des schwedischen und dänischen Krebsregisters /PAR 92/).

Observed annual numbers of childhood thyroid cancers (age at diagnosis < 15 years) in Belarus (dark shaded columns) /IVA 99/; solid horizontal bars: numbers that had been published earlier /SSK 96/; light shaded columns: numbers that would have been expected with normal age specific incidence rates (representative data from Sweden and Denmark /PAR 92/).

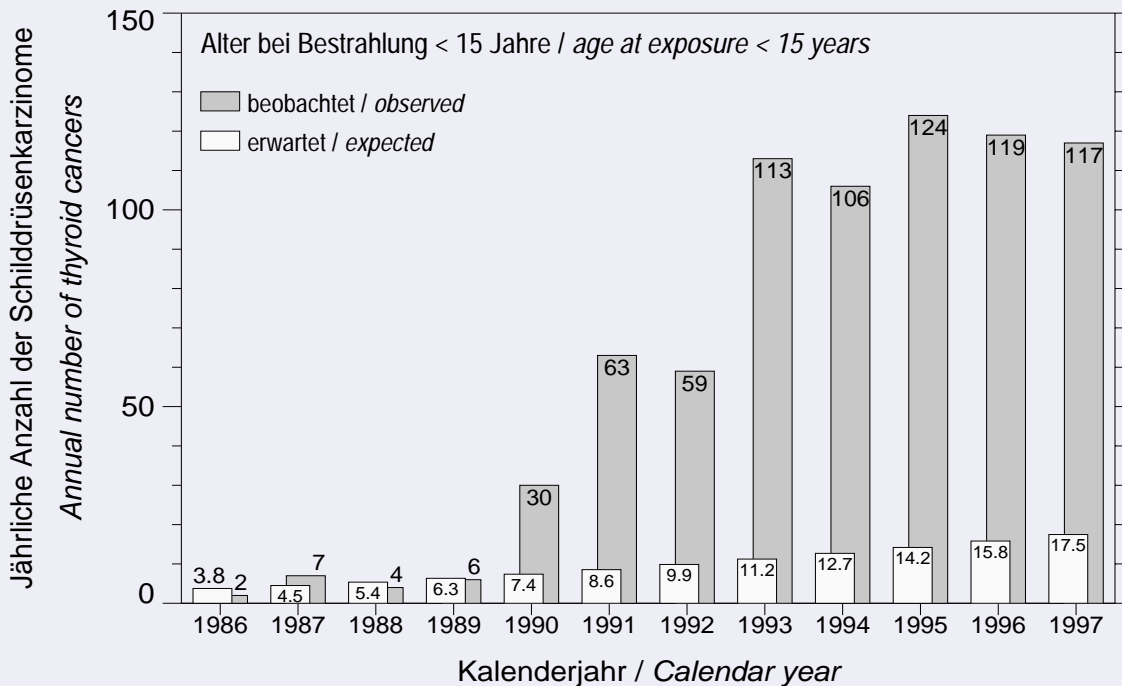
Schilddrüsenkrebs bei Kindern in Weißrußland Childhood Thyroid Cancer in Belarus



Jährliche Anzahl der Schilddrüsenkarzinome in Weißrußland in der Gruppe der im Kindesalter vom Reaktorunfall Betroffenen /IVA 99/; dunkel- und hellgraue Säulen entsprechend der vorhergehenden Abbildung.

Annual numbers of thyroid cancers diagnosed in Belarus among those who were children at the time of the Chernobyl accident /IVA 99/; dark and light shaded columns as in the preceding diagram.

**Schilddrüsenkrebs bei Kindern in Weißrußland
Childhood Thyroid Cancer in Belarus**



geben, die normalerweise erwartet worden wäre. Diese Daten stammen aus dem „Gemeinsamen Schilddrüsenkrebs-Register Weißrußlands und Rußlands“ /IVA 99/; frühere Angaben für den Zeitraum bis 1995 lagen noch um etwa 15% höher /SSK 96/. Aus der Darstellung könnte nun eine 1996 beginnende Abnahme der zusätzlichen Inzidenz abgelesen werden, jedoch wäre dies eine Fehlinterpretation, da die angegebenen Fallzahlen sich nur auf Diagnosen im Kindesalter beziehen – naturgemäß müssen die Werte spätestens nach dem Jahre 2001 auf den geringen Normalwert abgefallen sein, da es dann keine Personen im Kindesalter mehr geben wird, die die Exposition des beim Reaktorunfall freigesetzten kurzlebigen Radioiods erlebt haben. Es ist daher

derived from the „United Registry of Russia and Belarussia“ /IVA 99/; earlier reports had given numbers that were even larger by about 15% /SSK 96/. The diagram might be taken to suggest a beginning decrease of the excess rates from 1996 on. However, this would be a misinterpretation, since the numbers relate only to cases diagnosed among children – naturally the numbers need to approach normal low values after the year 2001 when no children will be left who experienced the radioiodine emissions from the reactor accident. It is, therefore, necessary to present the entire number of thyroid cancer cases among the cohort of those who were infants or children during the accident. The figure on this page demonstrates the continuing excess

notwendig, die Gesamtzahl der Fälle darzustellen, die in der Kohorte derjenigen auftraten, die im Kindesalter oder pränatal der Radiojodemission ausgesetzt waren. Die entsprechende Darstellung (Abbildung auf Seite 17) zeigt die weiter andauernde Erhöhung der Schilddrüsenkrebsinzidenz. Trotz einer sich im Diagramm andeutenden Abnahme der relativen Erhöhung, wäre es verfrüht, einen weiteren Anstieg bereits jetzt auszuschließen. Auch in der Ukraine wird bei Kindern unter 15 Jahren und bei Halbwüchsigen (15-18 Jahre) ein Inzidenzanstieg festgestellt. Die Erhöhung der Raten zeigt sich deutlich ab dem Jahre 1990, wobei mehr als die Hälfte der erkrankten Personen aus den fünf Regionen mit den stärksten Fallout kamen /TRO 94, STS 95, LIK 95/ (Abbildung Seite 15). Einige Zeit später wurde schließlich auch in Rußland bei Kindern unter 15 Jahren, die aus den Regionen Brjansk und Kaluga stammten, ein Anstieg festgestellt /TSY 94, WHO 95/. Die meisten erkrankten Personen stammen aus dem Gebiet Brjansk. Der Anstieg war erst ab 1992 zu verzeichnen.

Wie ein Vergleich der Daten vor und nach dem Reaktorunfall zeigt, ist der Anstieg der Schilddrüsenkrebsinzidenz außerordentlich hoch. Gegenüber dem Zeitraum 1982-86 vervielfachte sich 1992-96 die Anzahl der kindlichen Schilddrüsenkrebsfälle in Weißrußland um einen Faktor von etwa 50 (um den Faktor 160 alleine im Gebiet Gomel), in den am meisten betroffenen russischen Gebieten Brjansk und Kaluga war die Anzahl der Fälle um einen Faktor von etwa 25 erhöht /IVA 99/. Ein Vergleich der Zeiträume 1981-85 und 1990-94 ergibt für die Ukraine eine etwa siebenfach erhöhte Schilddrüsenkrebsrate für die Zeit nach dem Unfall und für die fünf am stärksten kontaminierten Regionen der Ukraine eine Erhöhung um einen Faktor von etwa 100 /STS 95/.

In absoluten Zahlen ausgedrückt sind zwischen 1990 und 1997 in Weißrußland 480 Fälle von kindlichem Schilddrüsenkrebs aufgetreten (Abbildung

of the thyroid cancer incidence. In spite of the indication of a decreasing trend of the relative excess, it would be premature to exclude a further increase of the excess incidence.

Likewise, in the Ukraine an increase in thyroid cancer incidence was reported in children under 15 years of age at diagnosis and in adolescents (15-18 years); the increase is clear from 1990 onward, and more than half of the cases occurred in the five regions most significantly exposed to fallout /TRO 94, STS 95, LIK 95/ (Figure page 15). Finally, an increase in children under 15 was later reported in Russia for the Briansk and Kaluga regions /TSY 94, WHO 95/. The majority of cases occurred in the Briansk region. The increase is observed from 1992 onward.

A comparison of data before and after the reactor accident reveals a large increase in thyroid cancer incidence. Compared to the time period 1982-86, the number of childhood thyroid cancers in Belarus multiplied by a factor of about 50 (by a factor of 160 in the Gomel region alone), in the most affected Russian regions, Briansk and Kaluga, the number of cases grew by a factor of about 25 /IVA 99/. In the Ukraine, the average thyroid cancer incidence rate in 1990-94 relative to 1981-85 increased by a factor of about 7, and by about 100 for the five most contaminated regions in the Ukraine /STS95/.

In absolute numbers, this corresponds to 480 cases of childhood thyroid cancer in Belarus between 1990 and 1997 (figure on page 16), in the Briansk region of Russia, more than 20 cases were observed after 1990 /IVA 99/. In the Ukraine, about 200 new cases of thyroid cancer in children were reported in 1986-93, as well as about 100 new

auf Seite 16), in der russischen Region Brjansk wurden nach 1990 mehr als 20 Fälle registriert /IVA 99/. In der Ukraine wurden im Zeitraum 1986-93 etwa 200 Neuerkrankungen bei Kindern beobachtet, darüber hinaus etwa 100 neue Schilddrüsenkrebsfälle bei Jugendlichen (15-18 Jahre bei Diagnose) /WHO 95, TRO 94/.

Die ausführliche Analyse der Merkmale der beobachteten Krebserkrankungen in Weißrußland /WIL 93, WIL 94, FUR 92, NIK 94, ABE 94/ und in der Ukraine /WIL 94/ bei Kindern unter 15 Jahren (Anzahl der jeweils untersuchten Fälle zwischen 80 und 120) bestätigte die Diagnose für Schilddrüsenkrebs in 90% der Fälle. Es handelt sich meistens um papilläre Karzinome (96,5% in einer Serie von 93 diagnostizierten Fällen in Weißrußland zwischen 1988 und 1991 /FUR 92/), der in zwei Dritteln der Fälle nur wenig oder unzureichend differenziert war. Bei den beobachteten Tumoren handelt es sich fast immer um aggressive Tumoren. In der vorhergehenden Serie wurde in 60,5% der Fälle eine Ausweitung über die Schilddrüse hinaus, in 74 % der Fälle regionale Lymphknotenmetastasen und in 7 % der Fälle weitläufige Metastasen festgestellt. Die Tumoren wiesen zum Zeitpunkt der Diagnose bei einer Serie von 84 in Weißrußland im Jahre 1991 und 1992 diagnostizierten Fälle in 88% der Fälle eine Größe von über 1 cm auf /NIK 94/. Bei anderen Serien wurden ähnliche Daten registriert /FUR 92/. In der Serie 1986-1991 betrug das Verhältnis der weiblichen Schilddrüsenkrebsfälle zu den männlichen Fällen ungefähr 1,3:1, mit einem Durchschnittsalter zum Zeitpunkt der Diagnose von 9 Jahren und einem Durchschnittsalter zum Zeitpunkt des Unfalls von 4,6 Jahren /FUR 92, NIK 94/. Es dauerte in Bezug auf den Zeitpunkt des Unfalls durchschnittlich 4,4 Jahre, bis sich die Krankheit manifestierte /NIK 94/. In der Gruppe der zum Zeitpunkt des Unfalls unter 4-jährigen ist im Vergleich zur Altersklasse zwischen 5 und 14 Jahren der Anstieg der Raten noch ausgeprägter /WIL 93/.

cases in adolescents (15-18 years at diagnosis) /WHO 95, TRO 94/.

The detailed analysis of the characteristics of cancers observed in Belarus /WIL 93, WIL 94, FUR 92, NIK 94, ABE 94/ and in the Ukraine /WIL 94/ in children under 15 (between 80 and 120 cases examined, depending on the series) shows that the diagnosis of thyroid cancer was confirmed in more than 90% of the cases. The majority are papillary type cancers (96.5% in a series of 93 cases diagnosed in Belarus between 1988 and 1991 /FUR 92/) two thirds of which are little or moderately differentiated. The majority of the tumours observed are aggressive. In the preceding series, an extra-thyroidal extension was noted in 60.5% of the cases, regional lymphatic metastases in 74%, and finally distant metastases in 7% of the cases. The tumour size at diagnosis was greater than 1 cm in 88% of the cases in a series of 84 diagnosed in Belarus in 1991 and 1992 /NIK 94/. Similar data are found in the other series /FUR 92/. In the 1986-1991 series, the female to male ratio is around 1.3:1, the average age at diagnosis was 9 years and the average age at the accident 4.6 years /FUR 92, NIK 94/. The average occurrence delay with respect to the accident is 4.4 years /NIK 94/. The incidence is higher in the group aged 0-4 years at the accident as compared to the 5-14 year age groups /WIL 93/.

2.4 Andere Krebserkrankungen, insbesondere kindliche Leukämien

2.4 Other cancers, especially childhood leukaemia

Die Reaktorkatastrophe von Tschernobyl hatte im wesentlichen zwei Formen der Strahlenbelastung zur Folge:

Zum einen fanden hohe Strahlenbelastungen während des Unfalls oder unmittelbar danach statt. Dabei erhielten gewisse Personengruppen hohe Ganzkörperdosen; hierzu gehörten das unmittelbar bei der Brandbekämpfung eingesetzte Reaktor- und Feuerwehrpersonal, die Gruppe der „Liquidatoren“ und die nahezu 100 000 Menschen, die zu Beginn des Unfalls aus der Stadt Pripjat und aus den umliegenden ländlichen Gebieten umgesiedelt wurden. Auch die gesamte Bevölkerung der Gebiete um Tschernobyl war in den ersten Tagen und Wochen des Reaktorunfalls hohen Expositionen ausgesetzt, die allerdings nur ein Organ, nämlich die Schilddrüse, betrafen und durch das freigesetzte kurzlebige Radiojod verursacht wurden. Insofern ist die eine bis heute beobachtete gesundheitliche Folge der Strahlenexpositionen unter der Bevölkerung, die überaus stark erhöhte Inzidenz von Schilddrüsenerkrankungen, Folge der ersten Expositionssituation.

Die anfänglichen hohen Expositionen spezieller Personengruppen und die Exposition der Bevölkerung durch das Radiojod waren kurzfristige Ereignisse, die später nicht mehr beeinflusst werden konnten. Sie sind zu trennen von der Problematik der zweiten Expositionssituation, nämlich der fortdauernd erhöhten Strahlenexposition in den betroffenen Gebieten durch langlebige Radionuklide.

Diese zweite Problematik, d.h. die Möglichkeit strahleninduzierter Gesundheitsschäden in den kontami-

The reactor accident at Chernobyl resulted essentially in two kinds of radiation exposure:

There was high radiation exposure during the accident progression or directly afterwards of particular groups exposed to high whole-body doses. This concerns the „Liquidators“, i.e. the reactor personnel and the staff of the fire-brigade deployed directly for fire-fighting as well as the almost 100,000 people from the town of Pripjat and the surrounding rural areas that were resettled during the early stage of the accident. Also, the inhabitants of the areas around Chernobyl were subject to high exposure during the days and weeks after the accident. However, this exposure resulted from short-lived radioiodine and it affected only one organ – the thyroid gland. In this respect, the one health consequence of radiation exposure that could be observed in the general population so far – the strongly increased incidence of thyroid cancers – is a consequence of the first exposure situation. The high initial short-term exposure of particular groups and the exposure of the population to radioiodine were short-term events that could not be remedied later. They have to be strictly separated from the other exposure situation, i.e. the continued elevated radiation levels in the affected regions by long lived radioactivity. The problems created by the second exposure situation relate, on the one hand, to far lower doses and dose rates, but, on the other hand, to long term exposures of large groups of the population, mainly by radio-caesium. The corresponding discussions are about countermeasures that are still necessary, lasting restrictions on farming and agricul-

nierten Regionen, bezieht sich auf einerseits weit geringere, andererseits jedoch langfristig anhaltende erhöhte Strahlenexposition vor allem durch Radiocäsium. Zwar handelt es sich hier um niedrige Dosen, jedoch sind große Bevölkerungsgruppen über lange Zeiträume betroffen, und die Diskussionen beziehen sich auf noch notwendige Gegenmaßnahmen, auf andauernde Einschränkungen der Landwirtschaft, und auf die Problematik der Ausweitung oder auch der Rücknahme bestehender Schutzmaßnahmen, einschließlich weiterer Umsiedelungen oder Rückbesiedelungen. Die hauptsächlichsten Befürchtungen der Bevölkerung und der Großteil alarmierender Meldungen über erhöhte Krebsinzidenz, erhöhte Raten von Erbschäden und Mißbildungsraten oder allgemeine Erhöhungen der Morbidität – beziehen sich auf diese Problematik der weiter andauernden erhöhten Strahlenexposition.

Fortdauernde Strahlenexposition kann zu einer Erhöhung der Leukämieinzidenz, der Raten anderer Krebserkrankungen und der Rate von Erbschäden führen. Die aus dem Unfall von Tschernobyl resultierenden Dosen für die Bevölkerung durch externe und interne Bestrahlung dürften heute selbst in den am stärksten kontaminierten nicht evakuierten Gebieten unter etwa 5 mSv pro Jahr liegen (was ungefähr einer Verdreifachung der natürlichen Strahlenexposition entspricht). In Einzelfällen können auch höhere Werte aufgetreten sein. Zweifelsohne handelt es sich bei Strahlenexpositionen dieser Größenordnung nicht um vernachlässigbare Belastungen, jedoch lassen sie – mit der möglichen Ausnahme kindlicher Leukämien – keine statistisch faßbaren Erhöhungen der Krebsrate oder auch der Erbschäden oder Mißbildungsraten erwarten.

ture, and the problem of expanding or taking back existing protection measures including further resettlements or allowing the original inhabitants to return. The major anxieties of the population and the majority of alarming reports about an increased cancer incidence, increased rates of hereditary defects and congenital malformations, or a general increase in morbidity are related to this problem of the continuing increased exposure to radiation.

Continuing radiation exposure can result in an increase in the incidence of leukaemia, other cancers, and hereditary defects. In the most contaminated areas that were not evacuated, the doses caused by the Chernobyl accident and received by the population through external and internal irradiation should now be less than about 5 mSv per annum (equivalent to about three times the natural background radiation). Higher doses may have occurred in individual cases. There is no doubt that radiation exposure to such a degree is not an impact that can be considered as negligible from the start; however, a statistically measurable increase in the cancer rate – with the exception of childhood leukaemia – or in hereditary defects or congenital malformations is not necessarily to be expected.

Messung der radioaktiven Strahlung vom Hubschrauber aus

Radiation measured from a helicopter



2.4.1 Solide Krebserkrankungen außer Schilddrüsenkrebs

Für die Ukraine wurde im Rahmen eines Kooperationsprojektes der Europäischen Gemeinschaft und basierend auf den Daten des ukrainischen Krebsregisters bereits im Jahre 1995 die Entwicklung der Krebsraten für den Zeitraum 1980 bis 1993 publiziert /PRI 95/. Dieser Studie zufolge sind in den am stärksten kontaminierten Gebieten der Ukraine (mit etwa 230 000 Einwohnern vor dem Unfall und mit etwa 160 000 Einwohnern nach den Umsiedlungen) die altersstandardisierten Krebsraten insgesamt unterdurchschnittlich, da es sich um ländliche Regionen handelt, in denen tendenziell die Krebsraten, aber auch die Melderaten von Krebserkrankungen geringer sind als in städtischen Gebieten. Der Trend der zeitlichen Entwicklung mit einer Zunahme der erfaßten Raten von etwa 15% innerhalb einer Dekade ist jedoch der gleiche wie in anderen Regionen der Ukraine. Bisher wurde keine Änderung dieses Trends nach dem Reaktorunfall deutlich. Ob ein Teil der Erhöhung einem tatsächlichen Anstieg der altersstandardisierten Raten entspricht, und welcher Teil auf eine Verbesserung der Diagnosen und der Melderaten an die Krebsregister zuzuschreiben ist, kann bisher nicht entschieden werden. Daß die beiden letzten Faktoren eine Rolle spielen, wird jedoch deutlich, wenn man am Beispiel der kontaminierten Gebiete sieht, daß der Anstieg der Raten vor allem die höheren Altersgruppen betrifft. Eine Zunahme der Raten von strahlungsbedingten soliden Krebserkrankungen (außer jenen der Schilddrüse) ist für den Zeitraum 1986-1993 wegen der langen Latenzzeiten von soliden Tumoren nicht zu erwarten.

2.4.1 Solid cancer excluding thyroid cancer

Within the framework of a co-operation project within the European Union and on the basis of the data stored in the Ukrainian cancer registry, the time trends of cancer incidence in the most contaminated regions of the Ukraine between 1980 and 1993 were already published in 1995 /PRI 95/. According to this study, the age-standardised overall cancer incidence in the most contaminated areas of the Ukraine (with about 230,000 inhabitants before the accident and about 160,000 after resettlement) is altogether below average as the regions in question are rural ones in which cancer rates, and also the reporting of cancer cases, tend to be lower than in urban areas. However, the secular trend with an increase of about 15% within one decade is the same as in other regions of the Ukraine. So far, there has been no apparent change in this trend since the reactor accident. Until now it has not been possible to say with certainty which part of the increase corresponds to the actual increase of the age-standardised rates and which part may be attributed to an improvement in diagnostic techniques and in reporting to the cancer registry. The fact that the two last mentioned factors do play a certain role, however, becomes evident when one takes into account that the increase in the contaminated areas concerns above all the higher age groups. An increase of solid cancer rates (other than those of the thyroid) due to irradiation is not expected for the period 1986-1993 because of the long latent periods of solid tumours.

2.4.2 Kindliche Leukämien

Für die Inzidenzraten von Leukämien und Lymphomen besteht in den durch den Reaktorunfall unmittelbar betroffenen Regionen ein zeitlicher Trend, der dem der übrigen Krebserkrankungen ähnelt. Allerdings ist in den am meisten kontaminierten Gebieten die Beurteilung tatsächlicher Trends durch die größeren statistischen Schwankungen, welche sich durch die geringen Fallzahlen und die relativ kleine Bezugspopulation erklären, erschwert.

Werden die Leukämieinzidenzen für verschiedene Altersgruppen betrachtet, so wird auch hier ein Ansteigen der Raten insbesondere für höheres Alter deutlich. Im Hinblick auf Strahlung als möglichen Verursacher würde man den deutlichsten Anstieg der Raten bei den Kindern erwarten, jedoch ist für sie bisher keine Zunahme erkennbar. In den am stärksten kontaminierten Bezirken der Ukraine erkrankten in den Jahren 1988 bis 1993 insgesamt 15 Kinder an Leukämie, während nach dem Durchschnitt der vorhergehenden sieben Jahre 13 Erkrankungen zu erwarten waren. Ein solcher Unterschied hat statistisch keine Aussagekraft; andererseits ist aber auch keineswegs auszuschließen, daß durch die erhöhte Strahlenexposition einige zusätzliche kindliche Leukämieerkrankungen verursacht wurden.

Weißrußland war am stärksten durch den Reaktorunfall betroffen und weist auch heute noch unter den weiterhin besiedelten Gebieten die höchsten Kontaminationen auf. Eine Analyse der Raten kindlicher Leukämien (Alter bei Diagnose < 15 Jahren) /IVA 96/, die sich auf die umfassenden Daten des weißrussischen Leukämieregisters am Zentrum für Hämatologie und Bluttransfusion in Minsk stützt und im Rahmen der Deutsch-Französischen In-

2.4.2 Childhood leukaemia

As for the incidence rates of leukaemia and lymphomas, there is a secular trend in the areas directly affected by the reactor accident that is similar to that of the other types of cancer. However, there are larger statistical fluctuations in the most contaminated areas, which are due to the small number of cases as well as the relatively small reference population. This renders the analysis of the actual trends in the affected areas somewhat difficult.

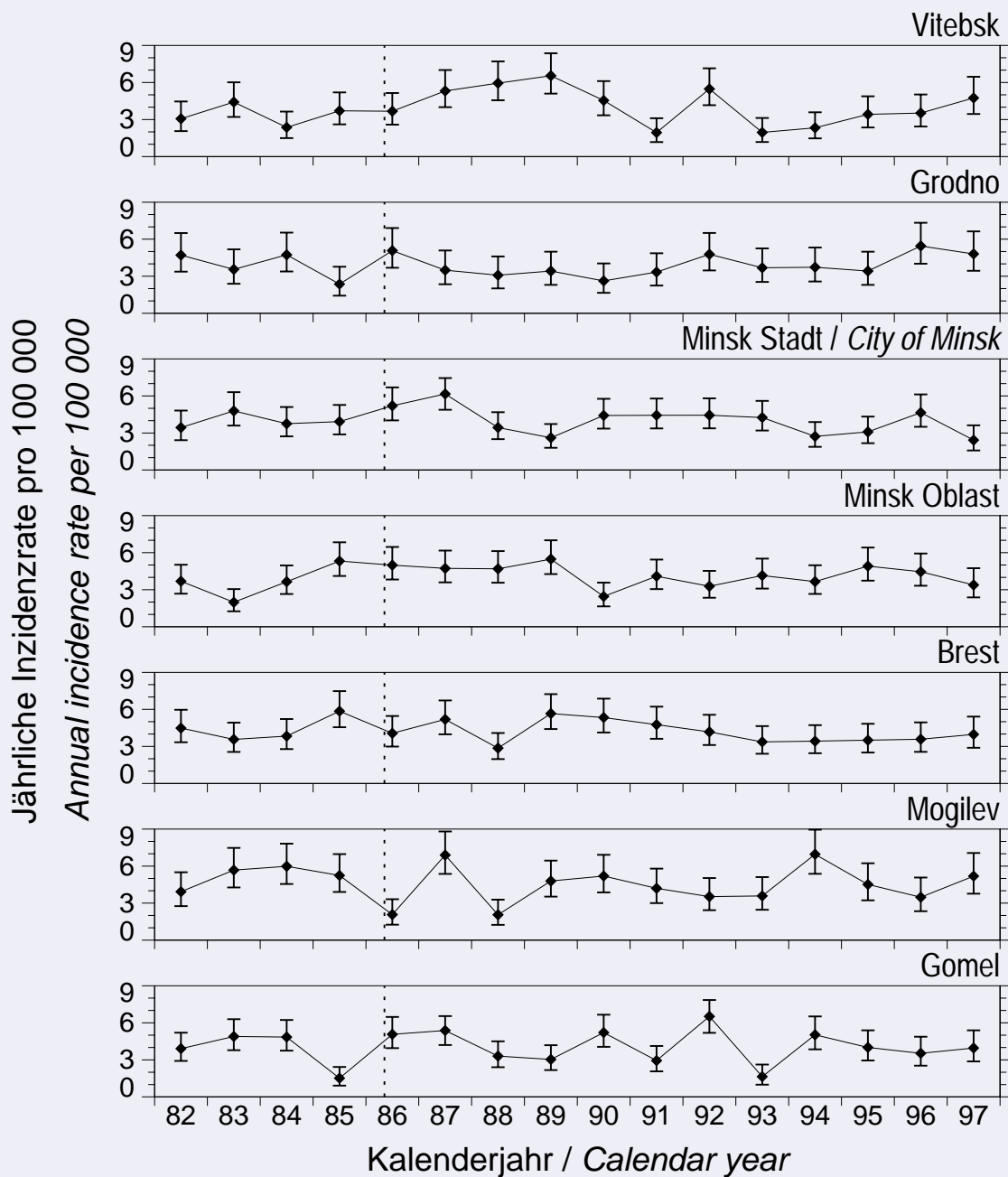
The analysis of leukaemia incidence in different age groups also shows a clear increase, especially for older age groups. With regard to radiation as a potential cause, one would expect the clearest increase in the childhood leukaemia rates. So far, no increase could be detected. In the most contaminated districts of the Ukraine, a total of 15 children developed leukaemia between 1988 and 1993, while 13 cases would have been expected from the average figures from the seven previous years. Statistically, such a difference is not significant. On the other hand, it cannot be excluded that some additional cases of childhood leukaemia may have been caused by radiation exposure.

Belarus was affected most by the reactor accident and even today shows the highest levels of contamination in the still populated areas. An analysis of childhood leukaemia rates (age at diagnosis < 15 years) /IVA 96/ based on the comprehensive data of the Belorussian Leukaemia Registry maintained at the Belorussian Centre for Haematology and Blood Transfusion in Minsk which was carried out within the framework of the Franco-German Initiative Chernobyl is therefore of great importance, especially taking into account the generally assumed increase in childhood leukaemia.

Jährliche Inzidenzraten (pro 100 000) für kindliche Leukämien (Alter bei Diagnose < 15 Jahre) in den unterschiedlich belasteten Gebieten (Oblasts) Weißrußlands (\pm Standardfehler; Abbildung analog zu /IVA96/, jedoch Verwendung eines aktualisierten Datensatzes und Einbeziehung der Jahre 1995 bis 1997; bislang unveröffentlicht; Daten: Forschungsinstitut für Hämatologie und Bluttransfusion, Minsk, Weißrussland, Leiter: V. N. Gapanovich).

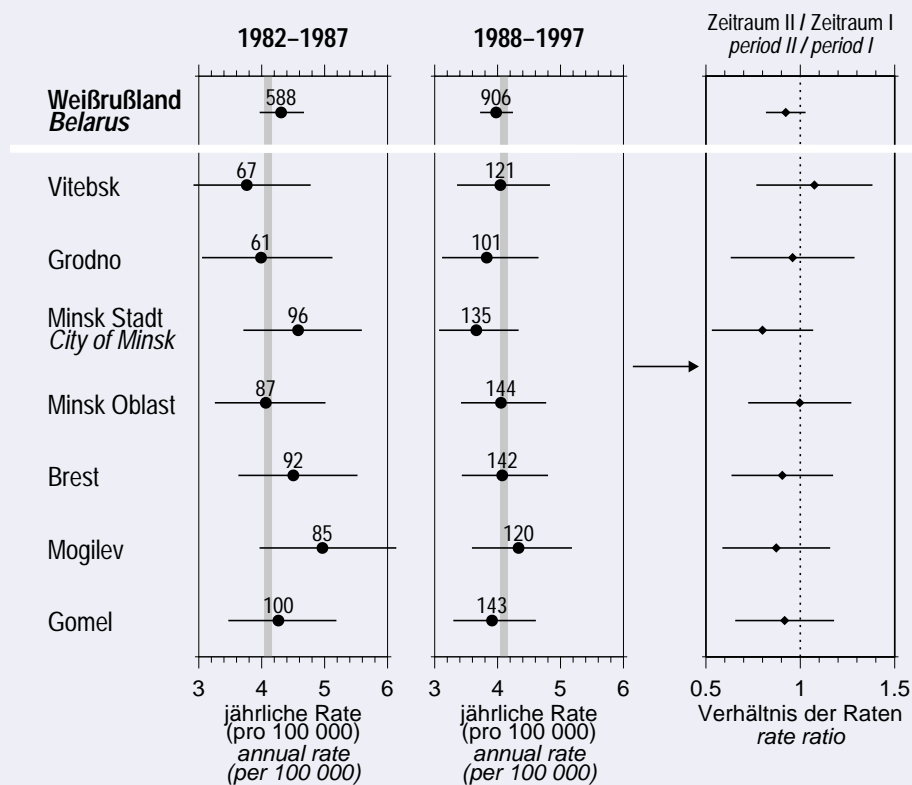
Annual incidence rates (per 100 000) for childhood leukaemia (age at diagnosis < 15 years) in the differently contaminated regions (oblasts) of Belarus (\pm standard error; figure in analogy to /IVA 96/, but using an updated data set and including the years 1995 to 1997; so far unpublished; data from the Research Institute of Haematology and Blood Transfusion, Minsk, Belarus; Director: V. N. Gapanovich).

Kindliche Leukämien / Childhood leukemia



Mittlere jährliche Inzidenzraten (pro 100 000) für kindliche Leukämien (Alter bei Diagnose < 15 Jahre) für Weißrußland und für die 7 weißrussischen Oblasts für die Zeit vor der Tschernobylkatastrophe unter Berücksichtigung einer minimalen Latenzperiode von 2 Jahren (I: 1982 bis 1987) und für die Zeit danach (II: 1988 bis 1997). Die eingefügten Zahlen bezeichnen jeweils die Gesamtzahl der beobachteten Fälle. In der rechten Graphik sind die relativen Raten (Verhältnis der Raten nach zu Raten vor Tschernobyl) angegeben. Die horizontalen Linien stellen die 95%-Konfidenzintervalle dar (nach Poisson); die grauen Balken geben die mittlere Rate aller Regionen und des Gesamtzeitraumes wieder (noch unveröffentlichte Abbildung; Daten: siehe Abbildung auf Seite 24).

Average annual incidence rates (per 100 000) of childhood leukaemia (age at diagnosis < 15 years) for Belarus and the seven Belorussian oblasts for the time before the Chernobyl catastrophe accounting for a minimum latent period of 2 years (I: 1982 until 1987) and the period afterwards (II: 1988 until 1997). In the right-hand column, the relative rates are given (ratio of the rates before and after Chernobyl). The horizontal lines represent the 95%-confidence intervals (according to Poisson); the grey bars represent the average rate of all regions and the entire period. The numbers at the horizontal lines represent the total numbers of leukaemia cases (unpublished diagram; data: see figure on page 24).



initiative Tschernobyl durchgeführt wurde, ist daher – und auch angesichts der allgemein angenommenen Erhöhungen der kindlichen Leukämieraten – von besonderer Bedeutung.

Die Gebiete um Gomel und um Mogilew wurden durch den Reaktorunfall besonders stark kontaminiert. Eine mögliche Erhöhung kindlicher Leukämieraten müßte für diese Gebiete daher am deutlichsten werden. In den Diagrammen der Abbildung auf Seite 24 werden allerdings bis-

The areas around Gomel and Mogilev were particularly highly contaminated by the reactor accident. A possible increase in childhood leukaemia would therefore have to be most obvious in these areas. However, the diagrams in the Figure on page 24 show no increase in the rate of childhood leukaemia so far. There is neither an increase in the incidence in the period following the accident, nor are there any increased rates in the higher contaminated areas.

Liquidatoren während der Errichtung des Sarkophags

Liquidators during the construction of the Sarcophagus

her keine Erhöhungen kindlicher Leukämieraten deutlich. Weder zeigt sich in der Periode nach dem Reaktorunfall eine Erhöhung der Inzidenz, noch weisen die stärker kontaminierten Gebiete erhöhte Raten auf.

In der Abbildung auf Seite 25 ist dieser Sachverhalt nochmals verdeutlicht: Hier sind die mittleren jährlichen Inzidenzraten kindlicher Leukämien für Weißrußland und für die 7 weißrussischen Oblasts für die Zeit vor der Tschernobylkatastrophe – unter Berücksichtigung einer Mindestlatenzzeit innerhalb derer mit keinem strahlenbedingten Anstieg der Leukämieraten zu rechnen ist – (1982 bis 1987) und für die Zeit danach (1988 bis 1997) dargestellt. Zudem sind die relativen Raten, d.h. das Verhältnis der Raten nach dem Unfall zu den Raten vor dem Unfall, angegeben. Lediglich für den Oblast Vitebsk deutet sich eine, wenn auch statistisch keineswegs signifikant, erhöhte relative Rate an; jedoch war Vitebsk die von Tschernobyl am wenigsten betroffene Region.

An dieser Stelle sollte allerdings wiederum betont werden, daß diese wichtigen Daten nur zeigen können, daß bisher keine deutlichen Zunahmen der Leukämieraten vorliegen. Gewisse Erhöhungen, die nur statistisch nicht sichtbar werden – und insbesondere Erhöhungen in kleineren besonders hoch kontaminierten Gebieten – sind keineswegs auszuschließen. Gemäß Abbildung auf Seite 25 kann beispielsweise für Gomel



The figure on page 25 illustrates this once more: it shows the average annual incidence rates of childhood leukaemia for Belarus and for the seven Belorussian oblasts for the time before the Chernobyl catastrophe – taking into account a minimum latent period within which no radiation-caused increase in the leukaemia rate is expected (1982 to 1987) – and for the time after (1988 to 1997). Also, the relative rates – i.e. the ratio between the rates after the accident and the rates before the accident – are shown. Only for the Vitebsk oblast is there an indication of an increased relative rate, albeit one that is not at all statistically significant; Vitebsk, on the other hand, was the region least affected by Chernobyl.

It should be pointed out once again that these relevant data can only show that so far there has been no increase in cancer incidence. Nevertheless, local increases, espe-

insgesamt lediglich gesagt werden, daß das Verhältnis jetziger Inzidenzraten kindlicher Leukämien zu denen vor dem Reaktorunfall mit statistischer Sicherheit von 95% zwischen 0.66 und 1.18 liegt, während sich für Mogiljew ein entsprechender Vertrauensbereich von 0.59 bis 1.16 ergibt. In Weißrußland insgesamt ist der Vertrauensbereich 0.82 bis 1.03.

Im Hinblick auf die besondere Aufmerksamkeit, die eine Publikation über signifikant angestiegene angeborene Leukämien in Griechenland /PET 96/ erlangte, erfolgte in jüngerer Zeit – ebenfalls im Zusammenhang der Deutsch-Französischen Initiative Tschernobyl – eine Analyse der entsprechenden Daten über bei Kleinkindern aufgetretene Leukämien für die unterschiedlichen Regionen Weißrußlands /IVA 98/. In der Publikation werden die kindlichen Leukämien im Alter bis zu einem Jahr in Gomel und Mogilew im Vergleich zu ganz Weißrußland sowie zu den für Griechenland /PET 96/ und Westdeutschland /MIC 97/ veröffentlichten Daten analysiert. Die Untersuchungen beziehen sich auf Kinder, die in der zweiten Hälfte des Jahres 1986 oder im Jahr 1987 geboren wurden, d.h. bei denen eine *in utero*-Exposition durch den Reaktorunfall von Tschernobyl möglich war. Auffällig und bisher unverstanden ist, daß die angeborenen Leukämien in Weißrußland – für den gesamten Zeitraum 1982 bis 1994 – erheblich häufiger sind als in Griechenland oder Deutschland. Auch in Weißrußland zeigt sich eine Erhöhung der Rate angeborener Leukämien für die potentiell durch Tschernobyl *in utero* exponierten Kinder, allerdings ist diese nicht statistisch signifikant und geringer als in Griechenland oder Deutschland. Dies macht die Annahme eines Zusammenhangs der beobachtete Erhöhungen mit Strahlung unwahrscheinlich, da die mittleren durch den Reaktorunfall verursachten Dosen in Weißrußland die im Westen um mehr als eine Größenordnung überstiegen.

cially in smaller areas with particularly high levels of contamination, can by no means be excluded. According to Figure on p. 25, for example, it can only be stated for Gomel as a whole that the ratio between current incidence rates of childhood leukaemia and those of the time before the reactor accident lies between 0.66 and 1.18 with a statistical certainty of 95%, while for Mogiljev the corresponding confidence range is 0.59 to 1.16. For the whole of Belarus, the confidence range is 0.82 to 1.03.

In view of the special attention which was attracted by a publication on a significant rise in congenital leukaemia in Greece /PET 96/, an analysis has recently been performed – also within the framework of the Franco-German Initiative Chernobyl – of the corresponding data of cases of leukaemia in infants for the different regions in Belarus /IVA 98/. In this publication, the cases of leukaemia in children of the age of up to one year in the Gomel and the Mogilev area are analysed in comparison with the whole of Belarus as well as with the data published for Greece /PET 96/ and western Germany /MIC 97/. The analyses are related to children that were born during the second half of 1986 or in 1987, i.e. those who might have been subject to in utero exposure after the Chernobyl accident. What is striking and has not been understood so far is the fact that congenital leukaemia in Belarus – for the entire period from 1982 to 1994 – occurs much more frequently than in Greece or in Germany. In Belarus, too, there is an increase in the rate of congenital leukaemia for children potentially exposed to radiation in utero, but it is not statistically significant and even lower than in Greece or Germany. This renders the assumption of a link between the observed increases and radiation unlikely as the average doses caused by the reactor accident in Belarus exceed those in the West by more than one order of magnitude.

Offene Probleme

3 *Unresolved issues*

Trotz der hier dargelegten Zahlen besteht – in den unmittelbar betroffenen Regionen, ebenso wie in Westeuropa – weiterhin Unsicherheit über das Ausmaß gesundheitlicher Auswirkungen des Reaktorunfalls. Bei den stark angestiegenen Inzidenzraten von Schilddrüsentumoren ist die Verursachung durch Jod-131 und andere noch kurzlebige Iodisotope eindeutig erwiesen. Gesundheitliche Wirkungen der andauernden Kontamination, vor allem durch Cäsium-137, wurden dagegen bisher nicht nachgewiesen. In der Öffentlichkeit sowie auf politischer Ebene halten sich dennoch weiterhin gegenteilige Überzeugungen, was zu Ängsten und Ohnmachtsgefühlen in der betroffenen Bevölkerung führt. Dies leistet einer ungünstigen Lebenssituation Vorschub, in der entsprechende Besorgnisse auf alle Krankheitsbilder projiziert werden, einschließlich solcher, die bisher nie in Zusammenhang mit Strahlung gebracht wurden. Hier ist, über die statistische Dokumentation der Erkrankungsdaten hin-

Despite the figures presented here there is still much uncertainty among the public and the press – in the regions directly affected as well as in Western Europe – about the extent of the health consequences of the reactor accident. As for the strongly increased incidence rates of thyroid cancer, it has been clearly proved that they are caused by iodine 131 and other even shorter-lived radionuclides. On the other hand, it has not been possible as yet to prove health consequences due to the still lasting contamination, especially with caesium 137. However, in the public and also among the authorities, opposite beliefs are still widely spread, resulting in a feeling of helplessness and anxiety in the affected population. This fosters an unfavourable life situation, in which the existing fears tend to be projected on all types of diseases, including those which have so far never been associated with irradiation. It is therefore necessary to clarify the situation beyond the statistical documentation of illnesses. Other, often grave risk factors have to be taken into account in this effort.

Gesamtansicht des
Kernkraftwerks
Tschernobyl vor dem
Unfall

General view of ChNPP
before accident



The German-French Initiative Chernobyl is aimed at reaching a better understanding of the health effects of the reactor accident by securing available and collecting additional health data in the regions immediately affected. With regard to malignancies, further efforts will still be required in order to achieve a definitive documentation. An informative picture of statistical trends has, nevertheless, been obtained in the current analyses. The assessment

aus, weitere Klärung angebracht. Diese muß insbesondere auch eine Bewertung anderer, oft schwerwiegender Risikofaktoren einschließen.

Die deutsch-französische Initiative Tschernobyl hat sich zur Aufgabe gemacht, die Gesundheitsdaten in den vom Unfall unmittelbar betroffenen Regionen zu sichern und weitere Daten zu erheben, um so ein besseres Verständnis der Auswirkungen des Unfalls zu erreichen.

Hinsichtlich der Tumorerkrankungen sind weitere Bemühungen nötig, um eine endgültige Dokumentation zu erlangen, auch wenn sich bereits jetzt ein aussagekräftiges Bild statistischer Trends abzeichnet. Weit schwieriger ist die Bewertung unspezifischer Symptome, die zwar Gegenstand zahlreicher und oft widersprüchliche Berichte sind, aber bisher nie in speziellen Registern geführt wurden. Hier ist trotz laufender Studien nicht zu erwarten, daß in absehbarer Zeit wirklich belastbares Datenmaterial zur Verfügung steht.

Es ist ein besonderer Schwerpunkt der deutsch-französischen Initiative, zur Verbesserung der Statistiken über Säuglingssterblichkeit sowie angeborene Mißbildungen beizutragen. Eine wichtige Komponente dieser Bemühungen ist die Eingliederung weißrussischer Daten in das Europäische Mißbildungsregister (EUROCAT). Parallel laufen Kooperationen zur Vervollständigung bzw. Vereinheitlichung der Register auch in den anderen betroffenen Republiken. In all diesen Kooperationen wird deutlich, daß die Arbeiten zur methodischen Verbesserung unerlässlich sind, um – wenn auch erst in den kom-



Ansicht des Kernkraftwerks Tschernobyl mit dem Sarkophag von der Stadt Pripjat aus

View of Chernobyl Nuclear Power Plant with the Sarcophagus from Pripjat' city

of unspecific symptoms is much more difficult. The heterogenous group of such symptoms has been treated in numerous, often contradictory reports, but there was never a systematical registration. Although studies are being conducted to elucidate the issue of general health indicators and their potential relation to the reactor accident, reliable statistics might not be available in the near future.

It is a special concern of the German-French Initiative Chernobyl to contribute to the improvement of the statistics on infant mortality and congenital malformations. An important component is the integration of Belarussian data into the European Registry of Congenital Anomalies (EUROCAT). At the same time, there are co-operations to standardize and complete the existing registries in the affected republics. In the process of the work, it has become evident that, as a precondition for a reliable analysis, a great amount of methodological work needs still to be done in the French-German Initiative Chernobyl in order to obtain good quality data – even if this might take added time. But the results present

menden Jahren – belastbare Aussagen über die Auswirkungen des Reaktorunfalls zu erhalten, daß sie aber andererseits bereits jetzt einen positiven Beitrag zur Fortentwicklung der Gesundheits- und Vorsorgestrategien in den vom Reaktorunfall unmittelbar betroffenen Gebieten darstellen.

Trotz aller bestehenden Unsicherheiten sind die bisher dokumentierten Statistiken hinsichtlich der allgemeinen Problematik sehr informativ. Eine Erhöhung der Leukämieraten ist der hauptsächliche Indikator strahleninduzierter Gesundheitsschäden, der insbesondere bei Kindern schon bei geringen Dosen deutlich wird. Erst bei sehr hohen Dosen kommt es neben den stochastischen Strahlenschäden auch zu beobachtbaren deterministischen Effekten, z.B. zu bleibenden Veränderungen des Blutbildes und zu entsprechenden Schäden des Immunsystems. In den kontaminierten Gebieten um Tschernobyl mit ihren – durchaus nicht als harmlos anzusehenden aber doch im Vergleich zu anderen strahlenexponierten Kohorten, wie beispielsweise den Atombombenüberlebenden von Hiroshima und Nagasaki, geringeren Strahlenexpositionen – sind bisher keine Erhöhungen der Leukämieraten deutlich geworden. Aufgrund bisheriger Erkenntnisse und Erfahrungen besteht daher wenig Grund anzunehmen, daß – abgesehen von den durch die hohen Expositionen der Schilddrüse verursachten Erkrankungen – andere Erhöhungen der Morbidität durch die Strahlung bedingt sind. Aber auch wo Strahlung als Ursache ausscheidet, war und bleibt der Reaktorunfall auf indirekte Weise – und insbesondere durch die resultierenden Einschränkungen der Lebensbedingungen und durch die zusätzlichen wirtschaftlichen Nöte – schwerwiegender Faktor auch gesundheitlicher Beeinträchtigungen.

even now an important contribution to the further development of health concepts and preventive strategies for the immediately affected regions.

In spite of all the existing uncertainties, the statistics documented so far are very informative with regard to the general problem. An increase in the rate of leukaemia is the main indicator of radiation-induced health damage that becomes apparent even at low doses, especially in children. Only if doses are very high will there be any visible deterministic effects beyond the stochastic radiation damage, e.g. lasting changes in the blood picture and corresponding damage to the immune system. The contaminated areas around Chernobyl show relatively low levels of radiation exposure – which are not at all to be considered harmless, but are considerably lower compared to those of other radiation-exposed cohorts, e.g. the atomic bomb survivors of Hiroshima and Nagasaki. As, so far, no clear increase in leukaemia incidence has been detected in these areas, there is little reason to believe that – apart from the thyroid cancers caused by the high exposure to radioiodine – other increases in the morbidity rate have been caused by radiation. But even where radiation can be discarded as a direct cause of illness, the reactor accident still remains an indirect but nevertheless serious factor of health impairment, especially through the restrictions on living conditions and the aggravation of the economic problems.

Literatur

4 References

- /ABE 94/ Abelin, T., Averkin, JI., Egger, M. et al.:
Thyroid cancer in Belarus post-Chernobyl: improved detection or increased incidence?
Soz Präventivmed: 39:189-97; 1994.
- /BAR 97/ Bard, D., Verger, P., Hubert, P.
Chernobyl, 10 Years After: Health. Epidemiologic Reviews: Vol. 19; No. 2; 1997.
- /BAV 92/ Baverstock, K., Egloff, B., Pinchera, A. et al.:
Nature: 359: 21-2; 1992.
- /BUL 93/ Buldakov, LA.:
A method to reconstruct the radiation dose to the thyroid from incorporated ¹³¹I.
Med Radiol: 6: 20-5; 1993.
- /DEM 94/ Demidchik, EP., Kazakov, VS., Asthakova, LN. et al.:
Thyroid cancer in children after the Chernobyl accident: Clinical and epidemiological evaluation
of 251 cases in the Republic of Belarus. In: Nagataki S, ed. Nagasaki. Symposium on
Chernobyl: Update and Future. Amsterdam: Elsevier; 21-30; 1994.
- /FUR 92/ Furmanchuk, AW., Averkin, JI., Egloff, B. et al.:
Pathomorphological findings in thyroid cancers of children from the Republic of Belarus: a
study of 86 cases occurring between 1986 (post-Chernobyl) and 1991.
Histo-pathology: 21:401-8; 1992.
- /GSF 98/ Presseinfo
10 Jahre nach dem Reaktorunfall Tschernobyl
<http://www.gsf.de/OA/tscher3.html>
- /IAEA 98/ Background paper:
International Conference: one decade after Chernobyl. Vienna; Austria 8-12 April 1996.
<http://www.iaea.or.at/worldatom/thisweek/preview/chernobyl/abstract.html>
- /ILY 91/ Ilyin, LA.:
Doses d'exposition subies par le public et effets sur la santé imputables à l'accident de
Tchernobyl. Rev Gen Nucl; 3: 206-16; 1991.
- /ILY 94/ Ilyin, L.A.:
Realities and Myths of Chernobyl. Moscow: ALARA Limited; 1994.
- /IVA 96a/ Ivanov, E.P., Tolochko, G.V., Shuvaeva, L.P. et al.:
Childhood leukemia in Belarus before and after the Chernobyl accident.
Radiat Environ Biophys: 35:75-80;1996.
- /IVA 98/ Ivanov E.P., Tolochko G.V., Shuvaeva L.P., et al.:
Infant leukemia in Belarus after the Chernobyl accident. Radiat Environ Biophys: 37: 53-55;
1998.
- /IVA 99/ Ivanov, VK., Tsyb, AF., Maxyutov, MA., et al.:
United registry of Russia and Belorussia on thyroid cancer. Radiation & Risk; Special Issue 2;
1999.

- /KAZ 92/ Kazakov, VS., Demidchick, EP., Astakhova, LN.:
Nature: 359: 21; 1992.
- /KEL 96/ Kellerer, A.M.:
Ten Years After Chernobyl: Expected and Observed Health Effects in the CIS. VGB Kraftwerks-
technik 76; Nr. 4; 1996.
- /LIK 93/ Likhtarev, IA., Shandala, NK., Gulko, GM. et al.:
Ukrainian thyroid doses after the Chernobyl accident. Health Phys: 64: 594-9; 1993.
- /LIK 94/ Likhtarev, IA., Gulko, GM., Kairo, IA. et al.:
Thyroid doses resulting from the Ukraine Chernobyl accident - Part I: Dose estimates for the
population of Kiev. Health Phys: 66: 137-46; 1994.
- /LIK 95/ Likhtarev, IA., Sobolev, BG., Kairo, IA. et al.:
Thyroid cancer in the Ukraine. Nature: 375: 365; 1995.
- /MET 92/ Mettler, FA., Royal, HD., Hurley, JR. et al.:
Administration of stable iodine to the population around the Chernobyl nuclear power plant.
J Radiol Prot: 12: 159-65; 1992.
- /MIC 97/ Michaelis J., Kaletsch U., Burkart W., Grosche B.:
Infant leukaemia after the Chernobyl accident. Nature: 387: 246; 1997.
- /NIK 94/ Nikiforov, Y., Gnepp, DR.:
Pediatric thyroid cancer after the Chernobyl disaster. Pathomorphologic study of 84 cases
(1991-1992) from the Republic of Belarus. Cancer : 74: 748-66; 1994.
- /PAR 92/ Parkin, DM., Muir, CS., Whelan, SL., et al.:
Cancer Incidence in Five Continents, Vol. VI (IARC Scientific publications No. 120). Lyon;
International Agency for Research on Cancer; 1992.
- /PET 96/ Petridou E., Trichopoulos D., Dessypris N., et al.:
Infant leukaemia after *in utero* exposure to radiation from Chernobyl. Nature: 382: 352-353;
1996.
- /PRI 95/ Prisyazhniuk A., Gristchenko V., Zakordonet V., et al.:
The time trends of cancer incidence in the most contaminated regions of the Ukraine before
and after the Chernobyl accident. Radiat Environ Biophys: 34: 3-6; 1995.
- /SSK 96/ Strahlenschutzkommission (SSK):
10 Jahre nach Tschernobyl. Informationen der SSK zu den radiologischen Auswirkungen und
Konsequenzen insbesondere in Deutschland. Berichte der Strahlenschutzkommission des
Bundesministeriums für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit. Heft 4; 1996.
- /STS 95/ Stsjazhko, VA., Tsyb, AF., Tronko, ND. et al.:
Childhood thyroid cancer since accident at Chernobyl. BMJ: 310: 801; 1995.
- /TRO 94/ Tronko, N., Epstein, Y., Oleinik, V. et al.:
Thyroid gland in children after the Chernobyl accident (yesterday and today). In: Nagasaki S,
ed. Nagasaki Symposium on Chernobyl: Update and Future. Amsterdam: Elsevier: 31-46; 1994.
- /TSY 94/ Tsyb, AF., Parhskov, EM., Ivanov, VK. et al.:
Disease indices of thyroid and their dose dependence in children and adolescents affected
as a result of the Chernobyl accident. In: Nagasaki S, ed. Nagasaki Symposium on Chernobyl:
Update and Future. Amsterdam: Elsevier: 9-19; 1994.
- /UNSCEAR 88/ United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation:
Sources, Effects and Risks of Ionising Radiation, 1988 Report to the general Assem-bly, with
Annexes. United Nations; New York; Exposures from the Chernobyl accident: 309-74; 1988.
- /WAG 98/ Wagemaker, G.
Clinically Observed Effects in Individuals Exposed to Radiation as a Result of the Chernobyl
Accident
<http://www.iaea.or.at/worldatom/thisweek/preview/chernobyl/paper1.html>

- /WHO 95/ World Health Organization:
Health consequences of the Chernobyl accident. Results of the IPHECA pilot projects and related national programmes. Summary report. WHO. Geneva; Switzerland; 1995.
- /WIL 93/ Williams, D., Pinchera, A., Karaoglou, A. et al.:
Thyroid cancer in children living near Chernobyl. Commission des communautés européennes. Expert panel report on the consequences of the Chernobyl accident. EUR 15248 EN;1993.
- /WILL 94/ Williams, B.:
Chernobyl, eight years on. Nature: 371:556; 1994.
- /ZVO 93/ Zvonova, IA., Balonov, MI.:
Radiiodine dosimetry and prediction of consequences of thyroid exposure of the Russian population following the Chernobyl accident. In: Merwin SE, Balonov MI, eds. The Chernobyl Papers, Vol 1, Doses to the Soviet Population and Early Health Effects Studies. Research Enterprises. Washington: 71-125; 1993.

Anhang: Die deutsch-französische Initiative

Ziele

Seit 14 Jahren sind zahlreiche Studien über die Folgen des Unfalls von Tschernobyl in den betroffenen Republiken der Ex-UdSSR durchgeführt worden. Sie wurden ohne wirkliche Koordinierung teils mit, teils ohne Beteiligung internationaler Instanzen und westlicher Wissenschaftler verwirklicht. Einige wurden niemals veröffentlicht, andere haben nur unzusammenhängende, heterogene und sogar widersprüchliche Ergebnisse in bezug auf die ökologische und gesundheitliche Tragweite der Katastrophe vom 26. April 1986 hervorgebracht.

Um die Kohärenz der Aktionen kurz-, mittel- und langfristig herzustellen und zu garantieren, mit dem Ziel, die *Beherrschung der aus dem Unfall von Tschernobyl resultierenden Gesamtsituation zu verbessern*, ist es unabdingbar, die Gesamtheit der Kenntnisse zusammenzufassen und zu validieren.

Das wesentliche Ziel der deutsch-französischen Initiative ist es daher, dabei zu helfen, die bestehenden *Daten zu sammeln und zu validieren*, um eine *sichere und objektive Informationsbasis zu erstellen*, die für die Planung von zukünftigen Maßnahmen, zur Information der Öffentlichkeit und für spätere wissenschaftliche Arbeiten von Nutzen ist.

Die deutsch-französische Aktion in Zusammenarbeit mit dem Tschernobyl-Zentrum ist auf drei Jahre angelegt. Für diesen Zeitraum statten Frankreich und Deutschland drei große Kooperationsprojekte mit einem Budget von rund 6 Mio. Ecu aus:

- Sicherheitszustand des Sarkophags von Tschernobyl;
- Untersuchung der radioökologischen Folgen des Unfalls;
- Untersuchung seiner gesundheitlichen Auswirkungen.

Finanzierung

Die deutsch-französische Initiative wird von den Regierungen sowie von der französischen *Électricité de France (EDF)* und deutschen Elektrizitätsversorgungsunternehmen (Vereinigung deutscher Elektrizitätswerke – VDEW) finanziert:

- 70% des Budgets sind für die Arbeit der lokalen Institute bestimmt, die Gelder werden ihnen direkt angewiesen.
- 10% des Budgets gehen an das Tschernobyl-Zentrum:
 - zur Hälfte für Betriebskosten (Koordinierungsausgaben, administrative Unterstützung, Übersetzungen, Kommunikation, Transport, Bereitstellung von Räumen ...)
 - die andere Hälfte für Ausrüstung und Material
- 20% des Budgets dienen zur Finanzierung des Projekt-Managements, das von GRS und IPSN sichergestellt wird.

Im Rahmen dieses Abkommens organisieren GRS und IPSN methodische Unterstützung für ukrainische, russische und weißrussische Organisationen zur Durchführung wissenschaftlicher Teil-Projekte.

Veröffentlichungen

Bisher sind im Rahmen der deutsch-französischen Initiative folgende Berichte publiziert worden

- Die Deutsch-französische Initiative für Tschernobyl. GRS/IPSN-1. Neuauflage des GRS-S-43. November 1999. ISBN 3-931995-24-0

In Vorbereitung befinden sich weitere Sachstandsberichte:

- Sachstandsbericht: Entsorgung
- Sachstandsbericht: Sarkophag
- Sachstandsbericht: Soziale und ökonomische Folgen

Aktuelle Informationen über die deutsch-französische Initiative sowie eine Übersicht über die Kooperationsprojekte können über die Homepage der GRS abgerufen werden:

<http://www.bmu.de> und <http://www.grs.de>

Annex: The Franco-German Initiative

Aims

For the last 14 years, numerous scientific studies concerning the Chernobyl accident aftermath have been conducted in the affected republics of the former USSR. They have been conducted with and without the participation of international organisations or scientific experts from Western countries, without any real co-ordination. Some studies have never been promulgated, while others have given incoherent, incomplete and even contradictory results regarding the ecological and medical significance of the disaster of April 26, 1986.

In order to establish and guarantee the coherence of short-, medium- and long-term actions aimed at a better control of the situation after the Chernobyl accident, it is necessary to collect and validate all available knowledge concerning this problem.

Thus, the main purpose of the Franco-German Initiative is to assist in the collection and validation of the existing data for constituting a reliable and objective basis of information useful to the planning of counter-measures, informing the public, and for future scientific work.

The Franco-German programme concerning the Chernobyl Centre is envisaged for three years. Within this period, France and Germany are to finance three large co-operation projects with a budget of about ECU 6 million:

- safety of the Chernobyl "Sarcophagus"
- study of the radiological consequences of the accident
- study of the medical impact.

Financing

The Franco-German Initiative is financed by the governments and electricity companies of France (Électricité de France – EDF) and Germany (Vereinigung deutscher Elektrizitätswerke - VDEW association). The three large co-operation projects have a budget of about ECU 6 million for three years.

- 70% of the budget is earmarked for financing work at local institutes; the money will be transferred directly to them
- 10% of the budget will be given to the Chernobyl Centre :
 - one half of it is intended for operation expenditure (co-ordination, administrative support, translation, communication, transport, accommodation, etc.)
 - the second half is intended for equipment and materials
- 20% serve to finance the overall management of the Initiative, carried out by IPSN and GRS.

In the context of this agreement both IPSN and GRS organise methodological support of Ukrainian, Russian and Belorussian organisations to realise scientific projects connected with the above-mentioned three co-operation projects.

Publications

So far, the following reports have been published within the context of the Franco-German Initiative

- Die Deutsch-französische Initiative für Tschernobyl. GRS/IPSN-1. Neuauflage des GRS-S-43. November 1999. ISBN 3-931995-24-0

The following Status Reports are in preparation:

- Status Report: Decommissioning
- Status Report: Sarcophagus
- Status Report: Social and economic impacts.

Up-to-date information about the Franco-German Initiative and information about the co-operation projects is available from the website of GRS:

<http://www.bmu.de> and <http://www.grs.de>

**Gesellschaft für Anlagen-
und Reaktorsicherheit
(GRS) mbH**

Schwertnergasse 1
50667 Köln
Telefon (02 21) 20 68-0
Telefax (02 21) 20 68-888

Forschungsgelände
85748 Garching b.München
Telefon (0 89) 3 20 04-0
Telefax (0 89) 3 20 04-599

Kurfürstendamm 200
10719 Berlin
Telefon (0 30) 8 85 89-0
Telefax (0 30) 8 85 89-111

Theodor-Heuss-Straße 4
38122 Braunschweig
Telefon (0531) 80 12-0
Telefax (0531) 80 12-200

Internet: <http://www.grs.de>

**Strahlenbiologisches Institut der
Ludwig-Maximilians-Universität**
Schillerstraße 42
80336 München
in Assoziation mit dem
GSF-Forschungszentrum für
Umwelt und Gesundheit GmbH

Internet: <http://www.med.uni-muenchen.de>