

Mocan, H., Bozkaya, H., Mocan, Z.M., Furtun, E.M.: Changing incidence of anencephaly in the eastern Black Sea region of Turkey and Chernobyl. *Paediatric and Perinatal Epidemiol.* 4 (1990) 264-268

Morin Doody, M., Lonstein, J.E., Stovall, M., Hacker, D.G., Luckyanov, N., Land, C.E.: Breast cancer mortality after diagnostic radiography: findings from the U.S. scoliosis cohort study. *Spine* 25 (2000) 2052-2063

Natarajan, N., Bross, I.D.J.: Preconception radiation leukemia. *J. Med.* 4, 1973, 276-281

Neel, J.V., Schull, W.J., Awa, A.A., Satoh, C., Kato, H., Otake, M., Yoshimoto, Y.: The children of parents exposed to atomic bombs: estimates of the genetic doubling dose of radiation for humans. *Am. J. Hum. Genet.* 46 (1990) 1053-1072

Nussbaum, R.H., Köhnlein, W.: Inconsistencies and open questions regarding low-dose health effects of ionizing radiation. *Environ. Health Perspect.* 102 (1994) 656-667

Pflugbeil, S., Paulitz, H., Claußen, A., Schmitz-Feuerhake, I.: Gesundheitliche Folgen von Tschernobyl. 20 Jahre nach der Reaktorkatastrophe. IPPNW, Ges. f. Strahlenschutz e.V.: Berlin, April 2006, 76 S.

Preston, D.L., Ron, E., Tokuoka, S. et al.: Solid cancer incidence in atomic bomb survivors: 1958-1998. *Radiat. Res.* 168 (2007) 1-

64

Scherb, H., Weigelt, E. (2003): Congenital malformation and stillbirth in Germany and Europe before and after the Chernobyl nuclear power plant accident. *Environ. Sci.&Pollut. Res.* 10, Special (1): 117-125

Scherb, H., Voigt, K.: Trends in the human sex odds at birth in Europe and the Chernobyl Nuclear Power Plant accident. *Reprod. Toxicol.* 23 (2007) 593-599

Schmitz-Feuerhake, I., Hoffmann, W., Pflugbeil, S.: Wie sichhaltig sind die Dosisbestimmungen für Bevölkerungen durch den Tschernobylfallout? Vergleich der Ergebnisse durch physikalische und biologische Dosimetrie. *Int. Kongress Ges. f. Strahlenschutz: „20 Jahre nach Tschernobyl“* Berlin, 3.-5. April 2006

Schmitz-Feuerhake, I.: Die Induktion gutartiger Tumore durch ionisierende Strahlung - ein vernachlässigtes Kapitel von Strahlenrisikobetrachtungen. *Strahlentelex* Nr. 548-549 v. 5.11.09, 1-5

Schmitz-Feuerhake, I., Pflugbeil, S., Pflugbeil, C.: Röntgenrisiko: Abschätzung der strahlenbedingten Meningeome und anderer Spätschäden bei Exposition des Schädels. *Gesundheitswesen* 72 (2010) 246-254

Sever, L.E., Gilbert, E.S., Hessol, N.A., McIntyre, J.M.: A case-control study of congenital malformations and occupational exposure to low-level ionizing ra-

diation. *Am. J. Epidemiol.* 127 (1988) 226-242

Shiono, P.H., Chung, C.S., Myriantopoulos, N.C.: Preconception radiation, intrauterine diagnostic radiation, and childhood neoplasia. *J. Natl. Cancer* 65, 1980, 681-686

Shu, X.O., Gao, Y.T., Brinton, L.A., Linet, M.S., Tu, J.T., Zheng, W., Fraumeni, J.F.: A population-based case-control study of childhood leukemia in Shanghai. *Cancer* 62, 1988, 635-644

Shu, X.O., Reaman, G.H., Lampkin, B., Sather, H.N., Pendergrass, T.W., Robison, L.L.: Association of paternal diagnostic x-ray exposure with risk of infant leukemia. *Cancer Epidemiol., Biomarkers & Prevention* 3, 1994, 645-653

Stewart, A., Webb, J., Hewitt, D.: A survey of childhood malignancies. *Br. Med. J.* i, 1958, 1495-1508

Strahlenschutzkommission. Bildgebende Diagnostik beim Kind – Strahlenschutz, Rechtfertigung und Effektivität. *Berichte der SSK* Heft 53, Jahresbericht 2006 der SSK. www.ssk.de

Straume, T.: High-energy gamma rays in Hiroshima and Nagasaki: implications for risk and w_R . *Health Physics* 69 (1995) 954-956

UNSCEAR 1988 United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation: Sources, effects and risks of ion-

izing radiation. Report to the General Assembly, United Nations, New York 1988

UNSCEAR 2001 United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation: Hereditary effects of radiation. Report to the General Assembly with scientific annexes, United Nations, New York, 2001

Vorobtsova, I.E.: Increased cancer risk as a genetic effect of ionizing radiation. *IARC Sci. Publ.* 96 (1989) 389-401

Weinberg, H.Sh., Korol, A.B., Kirshner, V.M. et al.: Very high mutation rate in offspring of Chernobyl accident liquidators. *Proc. R. Soc. Lond. B* 268 (2001) 1001-1005

Yablokov, A.V.: The Chernobyl catastrophe – 20 years later. In C.C. Busby, A.V. Yablokov (Eds.), *European Committee on Radiation Risk, Chernobyl: 20 Years On*. Verlag Green Audit 2006 www.euradcom.org

Yablokov, A.V.: Chernobyl – Consequences of the Catastrophe for People and the Environment. *Ann. New York Academy of Sci.* Vol. 1181, Boston 2009

Yamasaki, J.N., Schull, W.J.: Perinatal loss and neurological abnormalities among children of the Atomic bomb. Nagasaki and Hiroshima revisited, 1949 to 1989. *JAMA* 264 (1990) 605-609

* Prof. Dr. Inge Schmitz-Feuerhake, ingesf@uni-bremen.de ●

Atommüll-Lagerung

Das multiplikative Zusammenwirken von radioaktiven und nichtradioaktiven Schadstoffen in der Schachtanlage Asse wird bei Risikobetrachtungen nicht beachtet

Von Rolf Bertram*

„Ein hilfloses passives Akzeptieren des technokratischen Macherchertums ist immer eine gefährliche und leider nicht ganz unwahrscheinliche Entwicklung als Antwort auf die von Wissenschaft und Technik ausgelöst und weithin ungelöst, eher noch wachsenden Probleme.“

(F. Cramer ‡)

Einleitung

In der Schachtanlage Asse sind mit dem Atommüll große Mengen unterschiedlicher Stoffe wie anorganische, organische zum Teil toxische und grundwassergefährdende Chemikalien eingelagert. Viele davon sind anerkannte Schadstoffe, wie z.B. einige Schwermetalle. Neben 13.000 Tonnen Eisen-Metall sind in den Inventarlisten [1] über 1.000 Tonnen Nichteisenmetalle darunter circa 700 Kilogramm Arsen und arsenhaltige Verbindungen (überwiegend aus eingelagerten Pflanzenschutzmitteln), 12.000 Kilogramm Blei, circa 25.000 Kilogramm Chrom, 230.000 Kilogramm Zink, 55 Kilogramm Cadmium, 22.000 Ki-

logramm Nickel etc. aufgeführt. Daneben erhebliche Mengen an zum Teil giftigen Chemikalien organischer Art, wie zum Beispiel Tributylphosphat, BTEX-Aromaten, Dichlormethan und 1,1,1-Trichlorethan, Phthalsäureester und Komplexbildner wie Diammonium Hydrogen Citrat $(NH_4)_2HC_6H_5O_7$ und viele andere Verbindungen. Gelangen diese Stoffe über Luft und Wasser in die Biokreisläufe, so ist mit Gesundheitsbeeinträchtigungen zu rechnen, die denen durch radioaktive Schadstoffe verursachten gleichkommen. Eine Fokussierung allein auf das radioaktive Abfallinventar wird daher der Sachlage nicht gerecht. Über Art und Menge der in den Mischabfällen ent-

haltenen Materialien herrscht große Unsicherheit. Seit der Einlagerung ist dieses Stoffgemenge permanent radioaktiver Strahlung ausgesetzt.

Mischungstoxizität und Kombinationswirkungen

In der Regel führt das reaktive Zusammenwirken von Schadstoffen zu einer Gesamtbelastung, die größer ist als die Summe der einzelnen Belastungseffekte der Ausgangsstoffe. Eine alleinige Bewertung der Einzelstoffe würde daher das Gefährdungspotential hoch unterschätzen. Die Existenz von Synergismen, bei denen sich die Wirkungen der einzelnen Substanzen nicht nur addieren sondern potenzieren, ist längst bekannt. Dennoch fehlen bis zur Stunde verbindliche diesbezügliche Bewertungskriterien. In einer Enquete-Studie „**Kombinationswirkungen**“ [2] für den Deutschen Bundestag (1993) heißt es „...*die Bewertungsgrundlage für Mischexpositionen ignoriert die Möglichkeit von Kombinationseffekten bei Stoffen, die bei alleiniger Aufnahme unterschiedliche Wirkungen auslösen. Gegen eine solche Sichtweise gibt es schwerwiegende Bedenken....*“

Synergismus zwischen chemischer Toxizität und Radiotoxizität

Bei der durch ionisierende Strahlung verursachten nicht-thermischen Energiezufuhr werden spontan chemische Bindungen aufgebrochen und neue geknüpft. Auf diese Weise werden permanent durch die vom eingelagerten Atommüll ausgehende ionisierende Strahlung neue Stoffe unter ständigen Konzentrationsänderungen von Ausgangsstoffen und Produkten gebildet [3].

Eine vom Bundesamt für Strahlenschutz 2005 herausgegebene Dokumentation [4] mit dem Titel „**STRAHLEN-CHEMISCHER ABBAU**

ODER AUFBAU CHEMOTOXISCHER ORGANISCHER STOFFE IN RADIOAKTIVEN ABFÄLLEN“ ist für die Situation in der Schachanlage Asse von nur geringem Wert, da die Risikoabschätzungen sich auf ein Rechenmodell stützen [5], das von Randbedingungen ausgeht, die wenig Bezug zur Realität haben. Da kaum verlässliche Daten über Ort, Art und Intensität der Strahlungsquellen sowie über Teilchenflußdichten und Richtungsverteilungen existieren, sind Abschätzungen zu den Gesundheitsrisiken mit großen Unsicherheiten behaftet. Die sehr unterschiedlichen Stoffkonzentrationen und Strahlungsintensitäten in den Gebinden und in den Einlagerungskammern wurden nicht berücksichtigt. Insbesondere wird in der Studie nicht betrachtet, dass als Folge der Abbau- und Aufbaureaktionen eine unübersehbare Vielfalt von sogenannten Radikalen entsteht. Von diesen gehen in der Regel diverse Ketten von Folge- und Verzweigungsreaktionen aus, durch die zusätzlich zu den bereits vorliegenden Schadstoffen sekundär weitere Schadstoffe gebildet werden. Vor dem Hintergrund eines komplexen Reaktionsgeschehens kann es unter den herrschenden Bedingungen bereits zur Bildung toxischer Gase und entzündbarer Gasgemische und damit zu schwerwiegenden Störfällen kommen.

Es ist bekannt, dass bei einer Freisetzung Schadstoffe über Luft, Wasser und Nahrungsmittel vom Körper aufgenommen werden. Mit Hilfe körpereigener Enzyme finden in der Regel Metabolisierungsprozesse statt, in deren Folge schon geringste Spuren schädigende Wirkungen entfalten können. Derartige biokinetisch gesteuerte Prozessabläufe unter gleichzeitiger Einwirkung ionisierender Strahlung sind bisher nur wenig erforscht. Bekannt ist aber, dass

zum Beispiel im Niedrigdosenstrahlungsbereich gentoxische Effekte durch Schwermetalle, Staub, Asbest u.a. synergistisch verstärkt werden.

In der Arbeitsmedizin versucht man seit geraumer Zeit neben der Bewertung einzelner Substanzen (MAK- und TRK-Werte) die durch die Gesamtexposition ausgelösten Belastungen des Organismus ganzheitlich zu erfassen und daraus auf das Risiko einer Erkrankung zu schließen. Arbeitsplatz-Grenzwerte (MAK- und TRK-Werte) gelten bisher nur für reine Stoffe, nicht für Gemische.

Für die seit Jahrzehnten mit der Abluft (circa 1 Milliarde Kubikmeter pro Jahr) aus der Schachanlage freigesetzte Radioaktivität in Form von Gasen und Aerosolen – hier das besonders radiologisch bedeutsamen Tritium (H-3) und Radiokarbon (C-14) – sind diese Zusammenhänge für die Bewertung der aktuellen Situation wie für die Langzeitwirkung von erheblicher Tragweite. Zur Begründung dieser Bedenken werden im Folgenden die bekannten chemischen und radiologischen Fakten zu H-3 und C-14 näher betrachtet:

– Tritium ist ein Betastrahler mit einer Halbwertszeit von 12,3 Jahren. Tritium kann in allen chemischen Verbindungen, die Wasserstoff enthalten vorkommen (zum Beispiel Alkohol, Methan, und vieles andere). tritiumhaltiges Wasser und tritiumhaltige organische Kohlenwasserstoffe werden sowohl als Flüssigkeiten wie in Dampfform schnell vom Körper aufgenommen und intrazellulär eingebaut, da Wasserstoff und Kohlenstoff die häufigsten und wesentlichen Bestandteile unseres Körpers und anderer biologischer Systeme sind. Es ist bekannt, dass Tritium als Gas durch nahezu alle Materialien diffundiert – also auch durch Blechwandungen, Beton und Kunststofffolien. Es ist zu be-

fürchten, dass in der Vergangenheit tritiumhaltiges Wasser zur Verfestigung von Zement für Bauten und Verfüllungen innerhalb der Schachanlage verwendet wurde. Für eine weiterführende und umfassende Betrachtung der Tritiumproblematik verweise ich auf eine Dokumentation von M.B. Kalinowski (1992) in der IANUS-Publikationsreihe [6].

– Radiokarbon (C-14) ist ebenfalls ein Betastrahler mit einer Halbwertszeit von 5.730 Jahren. Die Freisetzung von C-14 erfolgt überwiegend durch Kohlendioxid, das bei der Oxidation von Graphit mit vorhandenem Sauerstoff gebildet wird. Ein gewisser Anteil der freigesetzten Menge wird auch aus C-14-haltigen Methan (CH₄) und anderen flüchtigen kohlenstoffhaltigen Gasen stammen. Da sich in der Schachanlage große Mengen an Grafit befinden, in dem bereits herkunftsbedingt C-14 vorhanden ist, kommt dieser Quelle besondere Bedeutung zu.

Obwohl C-14 und H-3 wegen der gesundheitlichen Risiken zu den problematischsten Radionukliden gehören, sind die biochemischen und biomedizinischen Wirkmechanismen, die für die Einschätzung der radiologischen Situation in und um Asse bedeutsam ist, noch weitgehend unerforscht. Über eine gleichzeitige und damit synergistisch verstärkte Einwirkung durch C-14 und H-3 auf den zellulären Stoffwechsel liegen meines Wissens keine Untersuchungen vor.

Ionisierende Niedrigstrahlung und Grenzwerte

Hauptaufgabe des Strahlenschutzes ist es, **deterministische** Schäden (zum Beispiel durch Strahlenunfälle) zu verhindern und **stochastische** Schäden so weit als möglich zu vermindern. Im Falle einer durch das radioaktive Inventar

der Schachanlage Asse II verursachten Strahlenexposition sind bei der Abwägung der gesundheitlichen Beeinträchtigung die neuesten Erkenntnisse über genetische Schäden in der Keimbahn (mutagen), über auslösende Effekte zur Krebsentstehung (cancerogen) und über embryonale Entwicklungsstörungen zu berücksichtigen. Es ist lange bekannt, dass es für diese sogenannten **stochastischen** Strahlenwirkungen **keine** untere Grenze der Schädigung gibt.

In einem Standardwerk zum Strahlenschutz [7] wird dazu ausgeführt: „*Weitverbreitetes Mißverständnis und Mißbrauch ist es, gesetzliche Grenzwerte für die Strahlenexposition als Abgrenzung zwischen gefährlicher und ungefährlicher Strahlenexposition zu betrachten. Diese Einteilung ist nach den vorhergehenden Ausführungen zu den stochastischen Strahlenwirkungen offensichtlich Unsinn. Gesetzliche Grenzwerte sind auch kein generell taugliches Mittel, um die Strahlenexposition niedrig zu halten oder besondere Fortschritte im Strahlenschutz zu erzielen. Insbesondere stellen sie nach den internationalen und nationalen Vorstellungen nur eine letzte Orientierungshilfe für wissenschaftlich und gesellschaftlich anerkannte Beeinträchtigungen von Mitgliedern der Gesellschaft durch die Folgen des Umgangs mit ionisierender Strahlung dar.*“

Von solchen Erkenntnissen unbeeindruckt beruft man sich amtlicherseits nach wie vor auf Grenzwerte (siehe gültige Strahlenschutzverordnung), die von der Internationalen Strahlenschutzkommission (ICRP) empfohlen aber durch veröffentlichte und nachprüfbar Untersuchungen insbesondere für den Bereich der Niedrigstrahlung längst überholt sind. Dabei wird offensichtlich übersehen, dass die Empfehlungen der ICRP, die

überall als Grundlage der Strahlenschutz-Gesetzgebungen herangezogen werden, keineswegs auf wissenschaftlich fundierten Erkenntnissen, sondern in erster Linie auf Kosten/Nutzen-Analysen beruhen – wie die nachfolgenden Zitate aus [8] beweisen:

ICRP-26 „(69) *Im Idealfall sollte die Annehmbarkeit eines vorgeschlagenen Vorgangs oder einer vorgeschlagenen Tätigkeit, die eine Strahlenexposition mit sich bringen, durch Kosten-Nutzen-Analysen bestimmt werden, um sicherzustellen, dass der Gesamtschaden im Vergleich zum Nutzen der Aufnahme der vorgeschlagenen Tätigkeit angemessen niedrig ist. ...*

(133) *... Bei bestimmten Unfalltypen, die bis zu einem gewissen Ausmaß vorhersehbar sind, ist es jedoch möglich, durch eine Untersuchung der Kosten des Unfalls und der Gegenmaßnahmen Werte festzusetzen, unterhalb derer es nicht angemessen wäre, Maßnahmen zu ergreifen. ...“*

ICRP-60 „(100) *Der grundlegende Rahmen des Strahlenschutzes muss notwendigerweise sowohl soziale als auch wissenschaftliche Beurteilungen umfassen, da es das primäre Ziel des Strahlenschutzes ist, einen angemessenen Schutzstandard für den Menschen zu gewährleisten, ohne die nützliche Anwendung, die Anlass für Strahlenexposition sind, unnötig einzuschränken. ... (101) Die meisten Entscheidungen über menschliche Aktivitäten sind in einer Abwägung des Nutzens gegenüber Kosten und Nachteilen eingeschlossen mit dem Ergebnis, dass eine bestimmte Handlungsweise oder Anwendung lohnt oder nicht lohnt.“*

Eine Ermittlung der potentiellen gesundheitlichen Risiken gerade für niedrige physikalische und chemische Dosisbereiche ist für Bewertungen der Langzeitsicherheiten und für eine verantwortbare Betriebs-

führung während der Schließungsphasen von größter Bedeutung. Da erst bei Kenntnis der Wirkmechanismen verlässliche Schutzmaßnahmen ergriffen werden können, wäre es fahrlässig, wenn das Zusammenwirken von physikalischen und chemischen Noxen, das in der gegenwärtigen Situation in der Schachanlage Asse unvermeidlich ist, unberücksichtigt bliebe.

Resümee

Folgende Forderungen fußen auf konkreten wissenschaftlichen Erkenntnissen über Schädwirkungen [9] und nicht – wie oft von interessengeleiteten Kreisen unterstellt – auf „übertriebenen und unbegründeten Befürchtungen“.

- Dosis-Wirkungsbeziehungen für langdauernde Niedrigstrahlung sind dringend zu überarbeiten, da die Gefährlichkeit niedriger Strahlendosen besonders für dichtungisierende Strahlung hoch unterschätzt wird.
- Um angesichts der Stoffvielfalt und der sich daraus ergebenden Wechselwirkungen die gesundheitlichen Risiken abschätzen zu können, ist eine stärkere systematische Erkundung der Wirkmechanismen und Synergismen erforderlich.
- Da Untersuchungen zur **Mischungstoxizität** und zu **Kombinationswirkungen** mehrerer Einzelstoffe nur spärlich vorliegen und daher darauf beruhende Steigerungen der Schädwirkungen schwer abschätzbar sind, ist dem Vorsorgeprinzip folgend eine gründliche Befassung zu fordern.

‡ Friedrich Cramer in „Chaos und Ordnung“, DVA, 1989, S.112

1. Buchheim B., Meyer H., Tholen M., „Bestimmung des Inventars an chemischen und chemotoxischen Stoffen in den ein-

gelagerten radioaktiven Abfällen der Schachanlage Asse“, Abschlussbericht, März 2004, GSF

2. H. M. Bolt, G. Westphal, F. Riemer, Studie „Kombinationswirkungen“ für die Enquete-Kommission des Deutschen Bundestages, 1993

3. R. Bertram, „Risiken und Nebenwirkungen“ bei einer Flutung des Atomwüllagers Asse II mittels Schutzfluid - Kein Schutz gegen sicherheitsgefährdende chemische Prozesse, Strahlentelex Nr.556-557/2010, www.strahlentelex.de/Stx_10_556_S10-14.pdf und

Physikalisch-Chemische Prozesse im schwach- und mittelaktiven Atomwüll in der Schachanlage Asse II – eine unterschätzte Gefahr, Strahlentelex Nr. 532-533/2009, www.strahlentelex.de/Stx_09_532_S12-13.pdf

4. B. Buchheim, H. von Fellenberg, D. Rohr, „Ermittlung von Art und Menge chemotoxischer Stoffe in allen Arten radioaktiver Abfälle und Bewertung ihrer Freisetzung im Hinblick auf das Schutzziel des Wasserhaushaltsgesetzes – Anhang E: „STRAHLENCHEMISCHER ABBAU ODER AUFBAU CHEMOTOXISCHER ORGANISCHER STOFFE IN RADIOAKTIVEN ABFÄLLEN“, Abschlussbericht 28. Juni 2005, PSP-Nr.: WS 1004, Bundesamt für Strahlenschutz BfS

5. ORIGEN 2.1, „Isotope Generation and Depletion Code, Matrix Exponential Method, RSICC Computer Code Collection CCC 371“, Oak Ridge National Laboratory, 1991

6. M. Kalinowski, „Die Problematik der Tritiumemissionen aus einem Endlager für radioaktive Abfälle“, JANUS-6/1992

7. H.Krieger, „Strahlenphysik, Dosimetrie und Strahlenschutz, Bd 1 Grundlagen“, B.G.Teubner Stuttgart (1998), S.362

8. Recommendations of the International Commission on Radiological Protection-ICRP, ICRP Publication 26, ICRP Publication 60, 1990,1995

9. CERRIE 2004, „Reports of the Committee Examining the Radiation Risks of Internal Emitters“

* Prof. Dr. Rolf Bertram, bert-ramrolf@aol.com, Physiker, Prof. em. am Institut für Physikalische und Theoretische Chemie der TU Braunschweig. ●