

Für den akuten Notfallschutz stehen radioaktive Freisetzungen in die Atmosphäre im Vordergrund, da sie die Bevölkerung schnell durch äußere Bestrahlung und durch Inhalation gefährden und auch zu einer raschen Kontamination von landwirtschaftlichen Produkten führen können. Gegenstand des vorliegenden Kapitels sind die „terrestrischen Expositionspfade“. Darunter versteht man die Strahlenexposition des Menschen durch Luft getragene oder durch am Boden und anderen Oberflächen abgelagerten radioaktiven Stoffe.

Die „Wasserspfade“ durch direkte oder indirekte Kontamination von Flüssen, Seen, und Küstengewässern werden im Kapitel „Die hydrologische Modellkette“ beschrieben.

Die Darstellungen zu den Radiologischen Grundlagen und zum Notfallschutz in Deutschland basieren weitgehend auf den „Radiologischen Grundlagen für Entscheidungen über Maßnahmen zum Schutz der Bevölkerung bei unfallbedingten Freisetzungen von Radionukliden“ [1], die auch viele Details und Hinweise auf weiterführende Literatur enthalten.

20.1 Von einer Aktivitätsfreisetzung in die Atmosphäre zur Strahlenexposition des Menschen

Die atmosphärische Ausbreitung beginnt mit der Freisetzung von gas- und aerosolförmigen radioaktiven Spaltprodukten aus dem Reaktor. Abbildung 20.1 illustriert die Vorgänge von der Freisetzung bis zur Ablagerung und Kontamination von Oberflächen.

Je nach Unfalltyp kann eine kontrollierte gefilterte Freisetzung über den Kamin oder eine unkontrollierte Freisetzung aus anderen Gebäudeteilen stattfinden. In jedem Fall geraten die freigesetzten Volumina unter den Einfluss der äußeren Luftströmungen und breiten sich wie (unsichtbare) Rauchwolken aus. Dabei folgen sie der mittleren Windströmung (Advektion) und werden durch Turbulenzen mit Außenluft durchmischt (turbulente Diffusion). Daraus resultieren eine zunehmende räumliche Ausdehnung der Wolke während des Transports und eine entsprechende Verdünnung der Nuklidkonzentration in der Wolke. Die vertikale Durchmischung der Wolke wird schließlich begrenzt durch

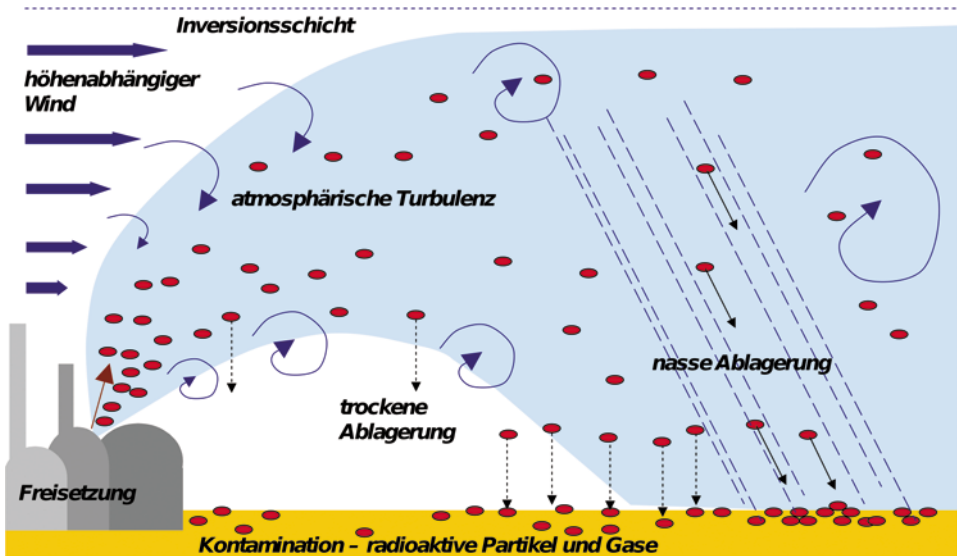


Abb. 20.1 Freisetzung, Ausbreitung, Ablagerung, Kontamination

die Inversion oberhalb der Mischungsschicht. Enthält die Freisetzung thermische Energie, d. h. die freigesetzten Gase haben eine hohe Temperatur, steigt die Wolke auf bis weitgehende Durchmischung mit der umgebenden Luft erreicht ist.

Anders als bei chemischen Spurenstoffen wird die Konzentration eines Radionuklids in der Luft nicht in Mikrogramm pro Kubikmeter sondern in „Zerfall pro Sekunde pro Kubikmeter“, Bq/m^3 , angegeben, weil die radiologische Wirkung von der Strahlung von Kernzerfällen ausgeht. Die Anzahl der Zerfälle beim Durchzug der Wolke durch ein bestimmtes Volumenelement, über den gesamten betrachteten Zeitraum aufsummiert, wird als zeitintegrierte Konzentration, Bq s/m^3 , bezeichnet. Insbesondere die bodennahe zeitintegrierte Konzentration ist bestimmend für die trockene Ablagerung von Jod und Aerosolen auf den Boden und anderen Oberflächen sowie die Inhalationsbelastung von Menschen und Tieren. Die nasse Ablagerung durch Auswaschen der Wolke bei Niederschlag verstärkt die Kontamination von Boden-, Gebäude- und Vegetationsoberflächen im Allgemeinen erheblich; sie kann die längerfristige Kontamination von Nahrungs- und Futtermitteln deutlich anheben. Die Ablagerung ist spezifisch für Nuklidgruppen: Edelgase werden nicht abgelagert, Aerosole und gasförmiges Jod (elementar oder organisch gebunden) werden trocken und nass abgelagert.

Die Radiologische Lage umfasst neben der Kontamination von Luft und Oberflächen auch die Strahlungsfelder und die daraus resultierenden Dosen. Abbildung 20.2 illustriert die Strahlenexposition des Menschen durch terrestrische Expositionspfade.

Externe γ -Strahler aus der Wolke und von kontaminierten Oberflächen wird vom menschlichen Körper teilweise absorbiert und führt zu Organdosen.

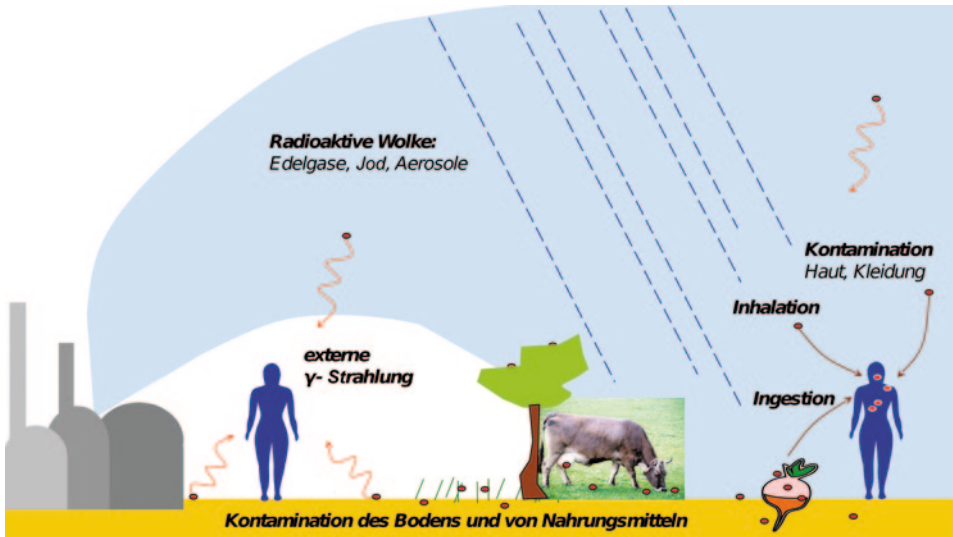


Abb. 20.2 Strahlenexposition des Menschen durch terrestrische Expositionspfade

Hautkontamination des Menschen entsteht durch Ablagerung von Radionukliden auf die unbedeckte Haut. Insbesondere die nasse Ablagerung von Betastrahlern auf die Haut kann zu erheblichen Hautdosen führen. Eine Kontamination von Haut und Kleidung bewirkt zudem eine γ -Bestrahlung des Körpers. α -Teilchen haben eine so geringe Eindringtiefe, dass es bei Kontamination von Haut oder Kleidung zu keiner relevanten Dosis in der strahlungsempfindlichen Schicht der Haut kommt, da diese von der α -Strahlung nicht erreicht wird.

Die Inhalation von Jod und Aerosolen in der bodennahen Luft führt zur Aufnahme von Radionukliden in den Körper. Durch interne α -, β - und γ -Bestrahlung resultieren dann Organdosen. Bekanntes Beispiel: die interne β -Bestrahlung der Schilddrüse durch inhaliertes radioaktives Jod. Interne α -, β - und γ -Bestrahlung und daraus resultierende Organdosen ergeben sich auch durch den Verzehr (die „Ingestion“) kontaminierter pflanzlicher und tierischer Nahrungsmittel und Trinkwasser.

Die Inhalation von abgelagerten und dann wieder aufgewirbelten Nukliden (Resuspension) spielt in gemäßigten Zonen wie Mitteleuropa eine untergeordnete Rolle, es sei denn, es handelt sich um eine überwiegende Freisetzung von α -Strahlern.

Sind radioaktive Stoffe in den Körper gelangt, so werden sie teilweise wieder ausgeschieden oder aber in Organen für unterschiedliche Dauer eingelagert. Solange sich die Radionuklide im Körper befinden, erzeugen sie eine Dosis, die als Folgedosis bezeichnet wird; diese Dosis wird für Erwachsene und Kinder für einen Integrationszeitraum von 50 bzw. 70 Jahren ermittelt.

Eine Dosis ohne Abschirmung oder Schutz- und Gegenmaßnahmen wird als „potenzielle Dosis“ bezeichnet. Z. B. ist die Dosis, die sich aus der externen γ -Strahlung, der

Inhalation, und der Kontamination der Kleidung für den ungeschützten Aufenthalt im Freien berechnet, eine potenzielle Dosis. Tatsächliche Dosen weichen je nach Aufenthaltsort der Personen von den potenziellen Dosen ab: Aufenthalt in Gebäuden schirmt z. B. einen Teil der externen γ -Strahlung ab.

Die lokale γ -Strahlungsrate in der Einheit Dosis/Stunde aus der Wolke und vom Boden oder anderen kontaminierten Flächen zusammen genommen heißt „Ortsdosisleistung“ (abgekürzt ODL). Die ODL wird meist in Mikro-Sievert oder Nano-Sievert pro Stunde ($\mu\text{Sv/h} = 10^{-6} \text{ Sv/h}$, bzw. $\text{nSv/h} = 10^{-9} \text{ Sv/h}$) angegeben. Vom deutschen Bundesamt für Strahlenschutz wird das Gamma-Ortsdosisleistungs-Messnetz als Teil von IMIS mit ca. 2.000 automatisch arbeitenden Sonden betrieben.

Die γ -Monitore des Messnetzes zeigen z. B. in Deutschland durchschnittlich eine natürliche ODL von ca. $0.1 \mu\text{Sv/h}$ an; das entspricht ungefähr einer Jahresdosis von 1 mSv . In Unfallsituationen können erhöhte Monitormessdaten mit den berechneten Werten der Ortsdosisleistung verglichen werden. Das ermöglicht Rückschlüsse auf den Quellterm und die tatsächliche atmosphärische Ausbreitung und Ablagerung der Radionuklide. Gleiches gilt für die Messdaten von Strahlenspürtrupps.

20.2 Gesundheitsschäden durch Strahlenexposition

Der Notfallschutz dient primär zur Abwendung möglicher gesundheitlicher Folgen einer unfallbedingten Strahlenexposition des Menschen. Im vorliegenden Kapitel werden diesbezügliche Effekte und Begriffe kurz rekapituliert. Für Nicht-Fachleute verständliche Informationen über Strahlenschäden finden sich beispielsweise auf den Internetseiten des Bundesamtes für Strahlenschutz¹ unter dem Stichwort „Ionisierende Strahlung“.

Trifft ionisierende Strahlung auf die Zellen lebender Wesen, kann ihre Energie teilweise oder vollständig absorbiert werden. Es ist primär die Absorption über Ionisierungsprozesse in den Zellmolekülen, insbesondere der DNA, die zu biologischen Strahleneffekten führt. Viele der DNA-Schäden können durch körpereigene Reparaturmechanismen folgenlos behoben werden. Verlaufen solche Reparaturen fehlerhaft, kann es zu bleibenden Veränderungen der DNA (Mutationen) kommen, die nach einer Latenzzeit von Jahren oder Jahrzehnten zu gesundheitlichen Schäden führen können. Ist eine Zellregeneration nicht oder nur erheblich zeitverzögert möglich, kann es zum Zelltod kommen, entweder unmittelbar nach der Exposition oder auch etwas später.

DNA-Mutationen in Körperzellen können somatische (körperliche) Wirkungen wie Leukämie, Tumore oder Krebs hervorrufen und betreffen das bestrahlte Individuum selbst. Mutationen in Keimzellen können durch genetische (vererbare) Wirkungen mögliche Nachkommen eines bestrahlten Individuums betreffen. Für strahleninduzierte Wirkungen durch DNA-Mutationen geht man davon aus, dass es keine Dosischwelle² für den

¹ <http://www.bfs.de/>.

² Gelegentlich diskutiert werden auch sehr geringe Schwellenwerte. Diese Frage ist nicht vollständig geklärt, spielt jedoch für den Notfallschutz keine prinzipielle Rolle.

Sicherheit von Leichtwasserreaktoren

Risiken der Nukleartechnologie

Kessler, G.; Veser, A.; Schlüter, F.-H.; Raskob, W.;

Landman, C.; Päsler-Sauer, J.

2012, XVI, 273 S. 158 Abb., Hardcover

ISBN: 978-3-642-28380-2