

Strahlentelex

Unabhängiges Informationsblatt zu Radioaktivität, Strahlung, Radon-Belastungen sowie aktuellen Umweltproblemen

ISSN 2749-8417 (print)
2748-873X (online)

www.kirchengemeinde-ronneburg.de



Ausgabe 01/2026

Preis 2,40 €

Nr. 19

15.03.2026

Strahlenschäden
**DNA-Folgen für
Nachkommen
strahlenbelasteter
Eltern - Teil 1**
Seite 3-7

Atomwirtschaft
**Wiederauferstehung
der Kernenergie** Seite 9-10

Erneuerbare Energie
**Windkraft versus fossile
Energie**
Seite 12-14

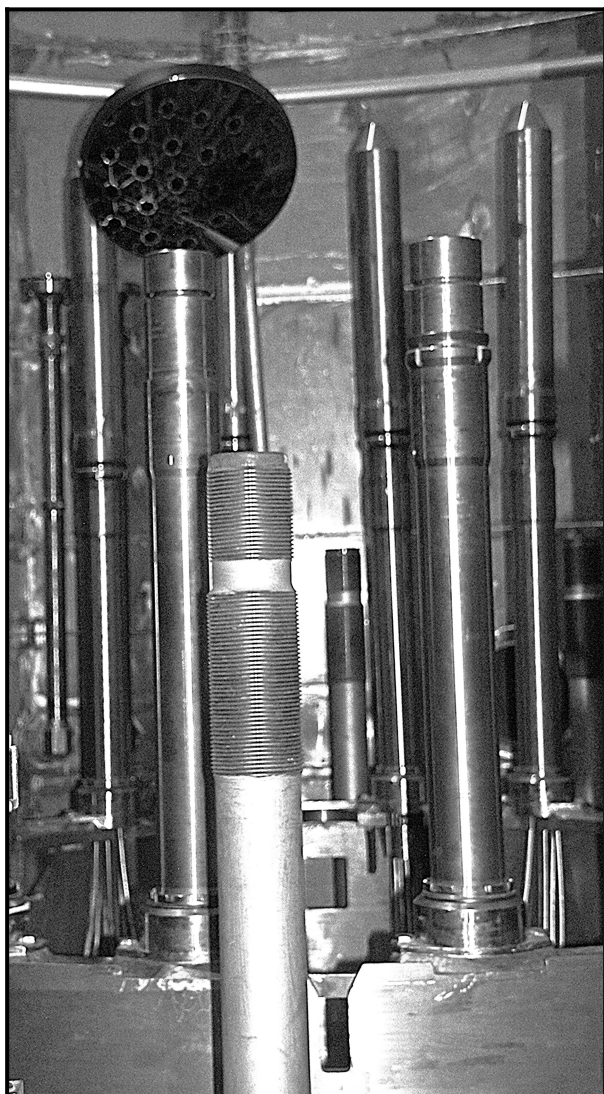
Endlagersuche
**Das 4. Forum
Endlagersuche**
Seite 15/16

Nuklearmedizin
Radiotherapien
Seite 17

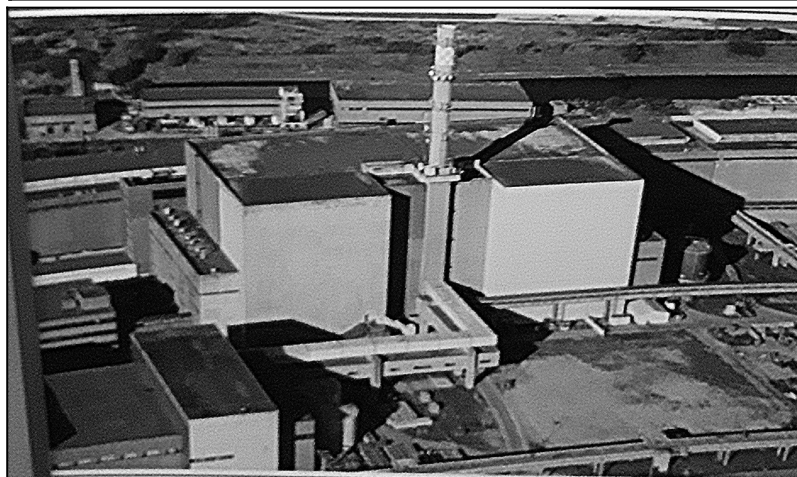
Beilage regional
**Pflanzliche Langzeitsanierung
auf der Gessenwiese**

Beilage international
**Aktuelles zum KKW
Fukushima Daiichi**

Das Wiedererwachen der Kernenergie

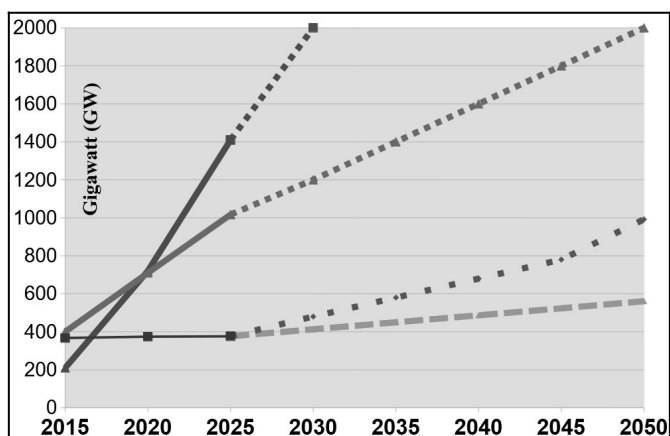


Die **Brennstäbe** im Inneren eines Reaktordruckgefäßes des Kernkraftwerks Greifswald (Bild links) sind heute noch im Originalzustand für die Öffentlichkeit zugänglich. Der betriebsbereit fertiggestellte Block 6 (im Bild unten links) ging nicht mehr in Probebetrieb und ist dadurch strahlungsfrei und gefahrlos begreifbar. Er stellt im Gegensatz zu den verstrahlten Blöcken 1 - 5 kein Entsorgungsproblem dar. Diese Betriebsreaktoren werden seit 30 Jahren rückgebaut. Aus geplanten 3-4 Mrd. € Kosten werden es bis Mitte der 40er Jahre über 11 Mrd. € sein – deutlich mehr als die gesamte Wismut-Sanierung kostet und das ebenfalls zu 100 % zu Lasten der Steuerzahler. Dennoch propagiert die Politik von „Mitte“ bis „Rechts“ die Wiederauferstehung der Kernkraft; Deutschland kann noch nicht einmal die Nachsorge der bisherigen finanzieren. S. 8 und 9-11



aktuell Die Wiederkunft der nuklearen Kernenergie

Gründe für den Stimmungsumschwung in der Bevölkerung von der Kernkraftgegnerschaft hin zur inzwischen mehrheitlichen Befürwortung sind Energiekrise, erfolgreiche Lobbyarbeit der Nuklearindustrie und ein Laufzeitverlängerungsstopp, der ein Laufzeitabbruch ohne nachvollziehbare wirtschaftliche Vernunft war. Zur erfolgreichen Lobbyarbeit zählen inzwischen permanente Werbungen der IAEA und politische Einflussnahmen von CDU/CSU und AfD. Die Wiederkunft der Kernenergie vernachlässigt komplett die immensen Kosten des laufenden Rückbaus, der Zwischenlagerung, der Endlagersuche und der Endlagerung selbst. Man verschweigt die Folgekosten der Urangewinnung und deren gravierenden Um-



— installierte KKW-Leistung (GW)
 IAEA-hohe Schätzung
 - - - - - IAEA-niedrige Schätzung
 — Windkraft (GW) weltweit
 Windkraft-Trend
 — PV (GW) weltweit
 PV-Trend

weltschäden
 infolge Kosten-
 einsparung
 zugunsten
 niedriger
 Weltmarkt-
 preise des
 Urans.

Die IAEA wirbt mit ständiger Wiederholung unbewiesener, gescheiterter Argumente und propagiert die derzeit weltweit im Bau befindlichen 65 Reaktoren als Aufbruch in eine neue Kernkraftära. Jährlich gehen jedoch mehr Reaktoren vom Netz, als dazu kommen. Verschwiegen werden die überlangen Bauzeiten und Kostenexplosionen. Die derzeitigen jährlichen Reaktorzugänge erreichen nicht einmal die Minimalziele der IAEA (Diagramm). Der Stand und der weltweite Trend im Vergleich zu den erneuerbaren Energien werden unterschlagen; Regierungen mit Slogan desinformiert und zu Fehlinvestitionen verführt: „Kernenergie liefert kohlenstoffarmen, zuverlässigen Strom. Da immer mehr Länder Netto-Null-Emissionen anstreben, wird Kernenergie zunehmend als wichtiger Partner für erneuerbare Quellen wie Wind- und Solarenergie angesehen.“ [1] Die weltweite Bedeutung der erneuerbaren Energie zeigt das Diagramm (nach [1] und [2]).

[1] IAEA-Mittlung vom 21.11.2025: „Sechs globale Trends in der Kernenergie, die Sie kennen sollten“

[2] Ch. Kost u.a. „Levelized cost of electricity renewable energy technologies“ 07/24, Fraunhofer Institute for Solar Energy Systems ISE

Inhalt

S. 3: Untersuchung auf DNA-Schäden nach Strahlenexposition bei Nachkommen von Radartechnikern und Tschernobyl-Liquidatoren - Teil 1

S. 8: Das KKW Greifswald - Lubmin im langwierigen Rückbauprozess

S. 9: Die Wiederauferstehung der Kernenergie in den USA und Europa

S. 12: Windkraft versus fossile Energie. Vom Regen in die Traufe?

S. 15: Das 4. Forum Endlagersuche

S. 16: Jahrestagung des Fachverbandes für Strahlenschutz e.V.

S. 17: Radiotherapien

Beilage regional (Druckausgabe):

S. 18: Langjährige Pflanzenversuche auf der ehemals stark belasteten Haldenaufstandsfläche Gessen

S. 19: Rückbauprozess KKW Fukushima

Beilage international (online):

S. 18: Current status of recycling and disposal of radioactive waste from the Fukushima Daiichi nuclear power plant disaster

Impressum: Herausgeber Kirchlicher Umweltkreis Ronneburg (gegründet 1988); Erscheinungsort: Ronneburg (Deutschland); alle Rechte liegen bei dem jeweiligen Verfasser. Erscheint 4/a zum Druckkostenpreis der farbigen print-Ausgabe; Copyright 2026 by Frank Lange.

Die hier und auf unserer Webseite veröffentlichten Texte unterliegen dem deutschen Urheberrecht. Für den Inhalt sind die jeweiligen Autoren verantwortlich.

Nachweis Foto Titelblatt: Dr. Karsten Hansky
 Druck: Nicolaus & Partner - 04626 Nöbdenitz;
 Die online-Ausgabe erscheint s/w ab 15.03.2026 auf der Internetseite der Kirchengemeinde Ronneburg; Abonnenten online und/oder print bereits bis zum 15.02.2026.

ISSN 2748-873X (online) 2749-8417 (print)

Unser besonderer Dank gilt **Herrn Thomas Dersee**, dem Herausgeber des Strahlentelex von 1987-2018, für seine stete Unterstützung unseres Projektes. Diese Ausgabe wurde dankenswerterweise von **A. Krichi** aus Swisstal-Heimerzheim (Nordrhein-Westfalen) gefördert.

Strahlenfolgen**Untersuchung auf DNA-Schäden nach Strahlenexposition bei Nachkommen von Radartechnikern und Tschernobyl-Liquidatoren - Teil 1****F. Brand, A. Knaus, K. Sperling, P. Krawitz****Einleitung und Zusammenfassung**

Der Deutsche Bundestag hat 2016 festgestellt *“Angehörige der Bundeswehr und der ehemaligen Nationalen Volksarmee (NVA) konnten bis etwa 1985 aufgrund von Mängeln an adäquaten Sicherheitsvorkehrungen bei militärischen Radaranlagen gesundheitsschädigender Strahlung ausgesetzt gewesen sein. Häufig können die Betroffenen den ursächlichen Zusammenhang zwischen dem Dienst an der potenziellen Strahlenquelle und ihrer späteren Erkrankung nicht nachweisen, da Dauer und Intensität der Exposition im Einzelfall nicht sicher rekonstruiert werden können”*. Vor diesem Hintergrund beschloss der Bundestag die Entschädigung für Radargeschädigte der Bundeswehr und ehemaligen NVA weiter zu verbessern (Drucksache 18/9032 vom 05.07.2016). Die Umsetzung dieses Auftrages beinhaltete die Beauftragung einer Studie zur Erforschung möglicher DNA-Schäden in Nachkommen von betroffenen Soldaten. Das Institut für Genomische Statistik und Bioinformatik (IGSB) am Universitätsklinikum Bonn hatte in Zusammenarbeit mit der Charité Berlin und dem 2001 gegründeten Verein “Bund zur Unterstützung Radarstrahlengeschädigter Deutschland e.V. (BzUR)” in einer Pilotstudie die DNA von 18 Nachkommen von Radarsoldaten analysiert. Es handelte sich um 10 Familien, bei denen mindestens ein Kind eine genetisch (mit)bedingte Erkrankung aufwies und die Zeugung in den Expositionszeitraum des Vaters fiel. Die Ergebnisse der Pilotstudie wurden 2018 publiziert und ausführlich im Strahlentelex erläutert (1–3).

Die Folgestudie mit über 100 Nachkommen von Radartechnikern wurde 2025 ebenfalls im Journal “Scientific Reports” veröffentlicht. Wie bereits in der Pilotstudie von 2018 analysierten wir Neumutationen, also DNA-Veränderungen, die nicht von Mutter oder Vater vererbt sein können. Unsere neue Untersuchung zeigte, dass bestimmte, seltene Neumutationsmuster im Erbgut der Kinder, sogenannte geclusterte Neumutationen (eine Häufung von 2 oder mehr Neumutationen in 20 bp) bei Nachkommen strahlenexponierter Väter häufiger auftreten als in einer vergleichbaren, nicht exponierten Kontrollgruppe. Gleichzeitig fanden sich keine Hinweise auf eine Zunahme der Gesamtzahl von Neumutationen im Allgemeinen und keine Häufung bekannter krankheitsverursachender Varianten. Die Ergebnisse sprechen dafür, dass bestimmte DNA-Schäden infolge von Strahlenexposition an die Nachkommen vererbt werden können, das Risiko für genetische Erkrankungen im hier

untersuchten Dosisbereich aber, wenn überhaupt, nur geringfügig erhöht ist.

Für die neue Radarstudie wurden Ganzgenomsequenzierungsdaten von Mutter-Vater-Kind Trios begutachtet. Die primäre Studienkohorte bildeten 110 Nachkommen von 80 Radartechnikern der Bundeswehr und der ehemaligen NVA, deren Väter während des Dienstes Störstrahlung ausgesetzt gewesen sein könnten (Radar-kohorte). Die CRU-Kohorte bestand aus 130 Kindern von Tschernobyl-Liquidatoren und Einwohnern der Stadt Pripjat. Die Daten der CRU-Kohorte wurden 2021 von Yeager, et al. in Science erstmals beschrieben (4). Um die Neumutationsraten in der Allgemeinbevölkerung zu bestimmen, nutzten wir die Inova-Kohorte, die mit 1.275 Kindern die GröÙte der drei Studienkohorten war (5, 6). Durch die gemeinsame Analyse dieser drei Gruppen ließ sich zuverlässig erkennen, ob und in welchem Ausmaß strahlenassoziierte Veränderungen im Erbgut der Nachkommen auftraten. In Summe zeigten sich 1.989 geclusterte Neumutation in der Gesamtkohorte, wovon 454 auf die exponierten Kohorten entfallen und der Rest auf die deutlich größere Kontrollkohorte. Statistisch zeigt sich, dass geclusterte Neumutationen in Nachkommen exponierter Personen im Durchschnitt häufiger auftreten (Radar $1,48 \pm 1,72$; CRU $2,65 \pm 2,19$) als in einer vergleichbaren, nicht strahlenexponierten Gruppe aus der Normalbevölkerung (Inova $0,88 \pm 0,9$).

Da komplexe Neumutationsmuster technisch schwieriger zu erfassen sind als einzelne Veränderungen an der DNA der Nachkommen, wurden die Ergebnisse mithilfe zusätzlicher Validierungsexperimente (z.B. Sanger Sequenzierung) überprüft und eine statistische Korrektur für die geringe Vorhersagegenauigkeit von Neumutationsclustern angewendet. Die Erhöhung der Zahl der Neumutationscluster in Folge von paternaler Strahlenexposition blieb auch unter diesen Korrekturen statistisch signifikant.

Obwohl ein signifikanter stochastischer Strahleneffekt vorliegt, blieb die absolute Zahl strahlenassoziiierter Neumutationen in den Nachkommen mit 1 bis 2 Clustern sehr gering. Aufgrund der geringen Zahl an geclusterten Neumutationen und unter der Annahme, dass diese Cluster nicht schädlicher sind als einzelne Neumutationen, und angesichts der insgesamt niedrigen Strahlenexposition der Radartechniker, ergab sich kein Hinweis auf ein erhöhtes Risiko genetischer Erkrankungen bei ihren Kindern.

Wissenschaftlicher HintergrundNeumutationen in Folge von Strahlenexposition

Das humane Genom besteht aus ca. $2 \times 3,3$ Mrd. Basenpaaren (bp) DNA, die sich auf 22 diploide Chromosomen (Autosomen) und zwei Geschlechtschromosomen (Gonosomen) aufteilen. Jedes Chromosom liegt in zwei Kopien vor (diploid), wobei jeweils eine Kopie von Mutter und Vater vererbt wird (Allel). Entsprechend tragen Spermium bzw. Eizelle jeweils nur eine Kopie

jedes Chromosoms. Veränderungen einzelner Basen treten täglich in jedem Zellkern auf. Zellen nutzen sehr wirkungsvolle DNA-Reparaturmechanismen, in die etwa 200 Gene involviert sind, um diese zufällig auftretenden Brüche einzelner DNA-Stränge oder einzelne Basenveränderungen zu reparieren, wodurch diese Schäden nicht in Mutationen überführt werden (vgl. Abb 1 (a)) (7, 8).

Für Studien zur Strahlenexposition sind Neumutationen (*de novo* Mutationen, DNMs) besonders interessant. Neumutationen sind DNA-Veränderungen, die weder im Erbgut der Mutter noch des Vaters vorhanden sind und daher neu in der Keimbahn entstanden sein müssen. Pro Generation finden sich im Durchschnitt 80 bis 100 DNMs, wobei die Zahl mit dem Alter des Vaters um ca. 1 bis 2 Mutationen pro Jahr steigt (9, 10). Neumutationen können grundsätzlich auch durch exogene Noxen, wie z.B. ionisierende Strahlung in den Stammzellen der Spermien induziert und über Zellteilungen weitergegeben werden, sodass sie noch Jahre später in den Spermien zu finden sind. In reifen Spermien hingegen findet aufgrund der Kompaktheit der DNA in diesen Zellen keine DNA Reparatur statt, erst wieder nach dem Eindringen in eine Eizelle (11). Dadurch ist die Sensitivität gegenüber Strahlenexposition bei Männern unmittelbar um den Zeitpunkt der Befruchtung der Eizelle herum erhöht und bedeutet ein größeres Risiko für die Nachkommen (vgl. Abb 1 (a)).

Das Ziel der Radarstudie war es zu bestimmen, ob es durch die Strahlenexposition der Soldaten zu einer erhöhten Rate an Neumutationen gekommen ist. Bislang konnte in den Nachkommen exponierter Väter keine Zunahme genetisch bedingter Krankheiten oder von Neumutationen nachgewiesen werden (12). Dabei wird ein stochastischer Strahleneffekt angenommen, also dass es keinen Schwellenwert für das (Nicht-)Auftreten von Neumutationen als Folge von Strahlenexposition gibt.

Als primäres Nachweisverfahren für die DNA-Schädigungen in Nachkommen von Radartechnikern kam in der aktuellen Studie *Next-Generation Sequencing* (NGS) Technologie von Illumina zum Einsatz. Diese Technik erlaubt das Auslesen des gesamten menschlichen Erbguts für wenige hundert Euro. Unter Zuhilfenahme dieser Daten konnten wir somit erstmals einen unvoreingenommenen Blick auf alle möglichen Veränderungen der DNA in Nachkommen exponierter Personen gewinnen. Bei der Sequenzierung werden DNA Fragmente von bis zu 300 bp Größe von beiden Enden sequenziert und entsprechenden Abschnitten auf der humanen Referenzsequenz zugeordnet. Um die Fehlerrate so gering wie möglich zu halten, wird dabei jedes Basenpaar 30-fach sequenziert (d.h. insgesamt werden pro Individuum etwa 100 Milliarden Basenpaare sequenziert). Auf Basis der Zuordnung der einzelnen Fragmente zum Referenzgenom identifizierten wir Mutationen in einzelnen Individuen, insbesondere Neumutationen und geclusterte Neumutationen (vgl. Abb. 3 - 4), welche wir als zwei oder mehr Neumutationen innerhalb*

von 20 bp DNA definierten. Wir verwendeten verschiedene algorithmische und statistische Methoden um die Genauigkeit der Neumutationsdetektion und die Vergleichbarkeit der Daten zwischen den Testkollektiven bewerten und gewährleisten zu können, und um plattformspezifische Fehlerprofile berücksichtigen zu können (vgl. Abb. 3 (c)).

Bisherige Analysen von DNA Schädigungen nach paternaler Strahlenexposition

In unserer Pilotstudie wiesen wir bereits 2018 auf eine erhöhte Rate geclusterter Neumutationen (cDNMs) hin, also mehrerer Neumutationen, die nach paternaler Strahlenexposition in enger genetischer Nachbarschaft auftreten, eine Aussage die damals aber aufgrund der geringen Zahl an Probanden und aufgrund der Auswahl des Testkollektivs (Kinder mit genetischen Erkrankungen) nicht verallgemeinert werden konnte (vgl. Abb. 1) (1). Die Pilotstudie zeigte trotz des geringen Umfangs des Testkollektivs jedoch zum ersten mal einen paternalen Strahleneffekt im Menschen, der vorher schon in verschiedenen Mausexperimenten gefunden wurde (13–15). Für isolierte Neumutationen, Punktmutationen und andere Mutationstypen konnten wir damals jedoch keine Veränderung im Vergleich zur Normalbevölkerung feststellen.

Mehrere Untersuchungen an Mäusen zeigten sowohl in Mauszellmodellen, als auch in lebenden Tieren, dass geclusterte Neumutationen nach paternaler Strahlenexposition gehäuft auftreten und dass die Zahl geclusterter Neumutationen dosisabhängig steigt (13–15). Allerdings ist die Strahlung, der die Tiere ausgesetzt waren, um ein Vielfaches höher (bis zu 4Gy), als die Strahlung, die in allen Untersuchungen an menschlichen Subjekten festgestellt wurde (10 mGy - 400 mGy).

Seit 2018 wurden mit Hilfe von NGS Daten weitere Studien zu den Auswirkungen von ionisierender Strahlung auf die DNA der Nachkommen exponierter Personen durchgeführt (16, 17). 2021 berichteten Yeager, et al. in ihrem Science Artikel “Lack of transgenerational effects of ionizing radiation exposure from the Chernobyl accident” keine genetischen Signaturen von parental Strahlenexposition in den Kindern von Tschernobyl-Liquidatoren und Einwohnern der Stadt Pripjat zu beobachten (4, 18). Dazu analysierten sie Neumutationen und Cluster in 47 k bp weiten genetischen Regionen. Eine britische Studie an Veteranen der britischen Kernwaffentests kam 2024 ebenfalls zu dem Schluss, dass die einmalige Exposition gegenüber der Strahlung einer Atombombe nicht zu einer erhöhten Rate an Neumutationen oder chromosomalen Aberrationen in den Nachkommen geführt hat (19, 20). Allerdings fanden sich in diesem Kollektiv auffällige Erhöhungen bestimmter komplexer Mutationsmuster, wie sie auch für Krebszellen typisch sind. Häufig sind die Testkollektive in solchen Studien zu klein und die Strahlenexposition zu heterogen oder schlecht bestimmbar, um eindeutige Aussagen abzuleiten.

Der Effekt einer spontanen, also zufälligen, Veränderung des Erbguts, die zu einer klinischen Auffälligkeit führt, lässt sich auf DNA Ebene grundsätzlich nicht von einem durch Strahlung induzierten Effekt unterscheiden. Es ist im Einzelfall also nicht möglich, einen direkten Zusammenhang zwischen der Exposition gegenüber einem Mutagen und einem klinischen Merkmal herzustellen. Da es aber für derartige Effekte keinen Schwellenwert gibt, lässt sich auch das Gegenteil nicht beweisen. Mit Hilfe einer größer angelegten Studie und einer robusten statistischen Auswertung wird es allerdings möglich, die Plausibilität eines Zusammenhangs einzuschätzen.

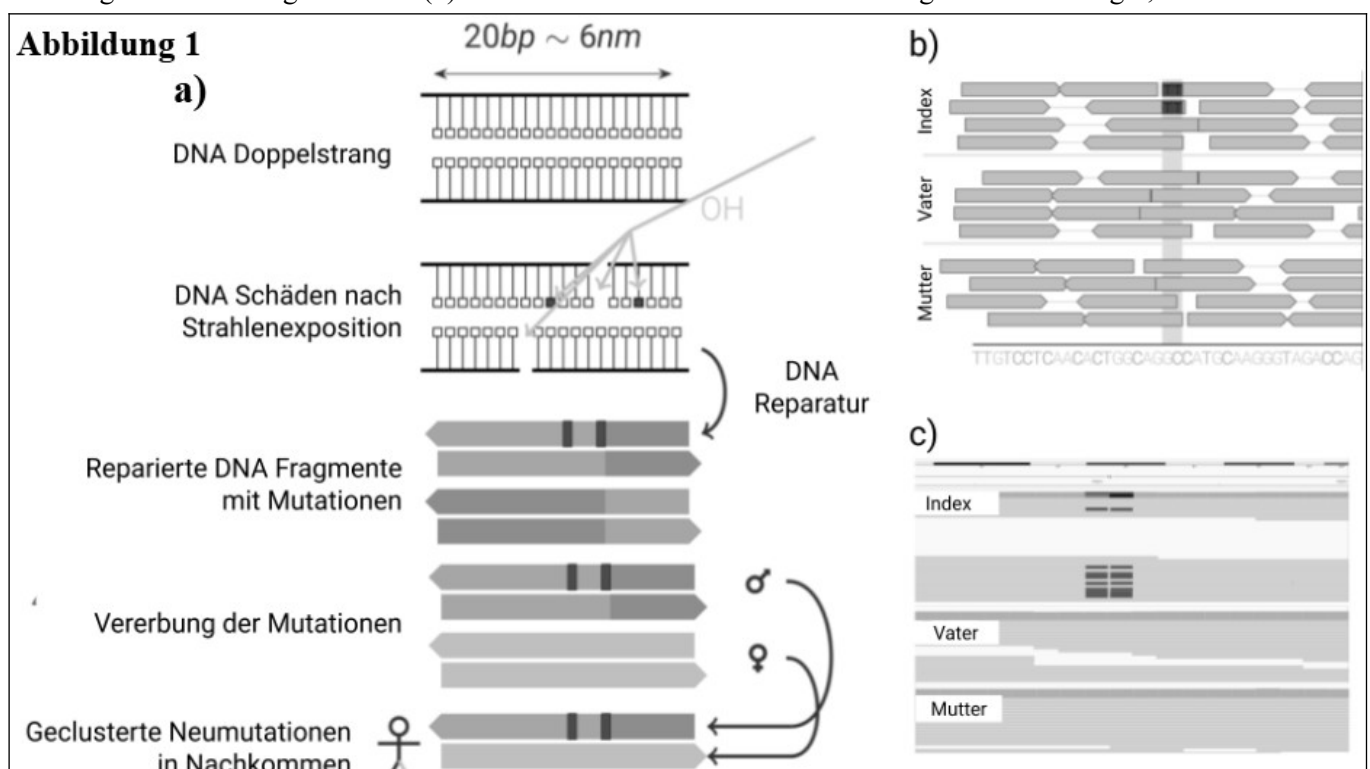
Abbildung 1: DNA Schäden in Folge von Strahlenexposition

Potentielle Mechanismen der Mutationsinduktion durch ionisierende Strahlung und der Vererbung dieser Mutationen an die Nachkommen exponierter Väter. **(a)** Durch freie Radikale (OH) oder direkte Treffer beschädigt ionisierende Strahlung den DNA Doppelstrang und verursacht einzelne Läsionen (rote Quadrate), Einzelstrangbrüche oder Doppelstrangbrüche in einem Raum von etwa 6 nm, was ca. 20 bp DNA entspricht. Die Strahlungssensitivität der reifen Spermien erlaubt es, dass solche DNA Schäden akkumulieren und nach dem Eindringen in eine Eizelle durch DNA Reparaturprozesse in Mutationen auf dem väterlichen Allel überführt werden. Solche Mutationen können dann in den Nachkommen als geclusterte Neumutationen auftreten und detektiert werden. **(b), (c)** Schematische (b) und Reale (c) Darstellung ausgelesener DNA Fragmente bei auftretender geclusterter Neumutation. Die grauen Segmente (Reads) zeigen einzelne abgelesene DNA Fragmente an, die keine Veränderung im Vergleich zur Referenzsequenz aufweisen. Die Referenzsequenz der speziellen genetischen Region ist in (b) unter der blauen

Linie dargestellt. Die farbigen Boxen stellen dann Abweichungen von der Referenz dar. Einzelne Neumutationen sind dadurch gekennzeichnet, dass sie nur im Kind (Index) auftreten, aber kein Read in Vater oder Mutter dieselbe Veränderung zeigt. Mehrere aufeinanderfolgende Neumutationen in einem engen Bereich (bis zu 20 bp) nennen wir eine geclusterte Neumutation. In (b) und (c) wird eine geclusterte Neumutation dargestellt, die von uns mit Hilfe von Sanger Sequenzierung validiert werden konnte.

Abbildung 2: Analyisierte Studienkohorten und Störstrahlencharakteristik in der neuen Radarstudie

Grund-, Alters- und Expositionsstruktur der in die neue Radarstudie eingeschlossenen Kohorten, sowie die Störstrahlencharakteristik in der Radar- und CRU-Kohorte. **(a)** Die Tabelle stellt die Größe der Kohorten und das mütterliche und väterliche Alter bei der Zeugung des Kindes dar. Der Unterschied in der Zahl der weiblichen Nachkommen zwischen den Kohorten ist durch Zufall zu erklären und deutet nicht auf einen Strahleneffekt hin. Die Eltern in der Kontrollkohorte, deren Kinder zwischen 2011 und 2013 in den USA geboren wurden sind im Durchschnitt 5-7 Jahre älter als die Eltern in beiden exponierten Kohorten. Aufgrund der bekannten Alterseffekte für Vater und Mutter, die für eine Anreicherung von Neumutationen mit wachsendem Alter der Eltern bei der Zeugung sorgen, ist die Korrektur dieses Unterschieds ein wesentlicher Teil unserer statistischen Analyse. **(b)** Vergleich der Störstrahlenexposition aufgrund verschiedener Umweltfaktoren oder medizinischer Behandlungen. Die Zeile Radar stellt die Verteilung der Dosisschätzungen im Vergleich zur maximalen Ortsdosisleistung eines Land- oder See-gestützten Radarsystems dar (21). Die Zeile Tschernobyl zeigt die maximalen Dosen, die für Liquidatoren mit unterschiedlichen Tätigkeiten in Yeager, et al. berechnet



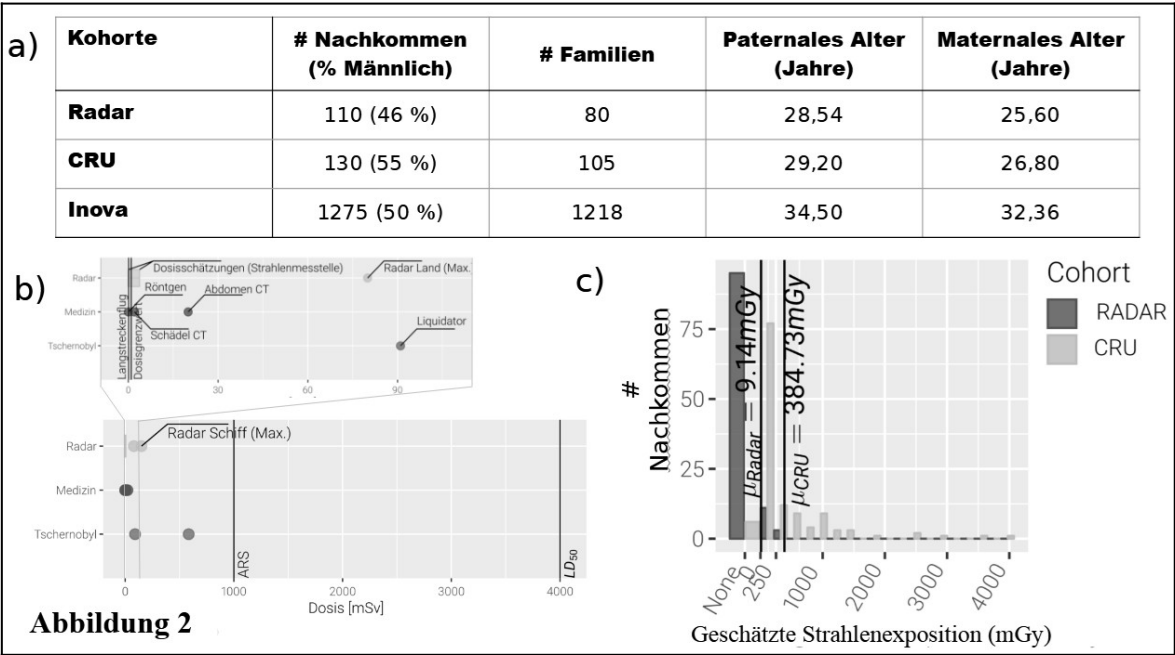


Abbildung 2

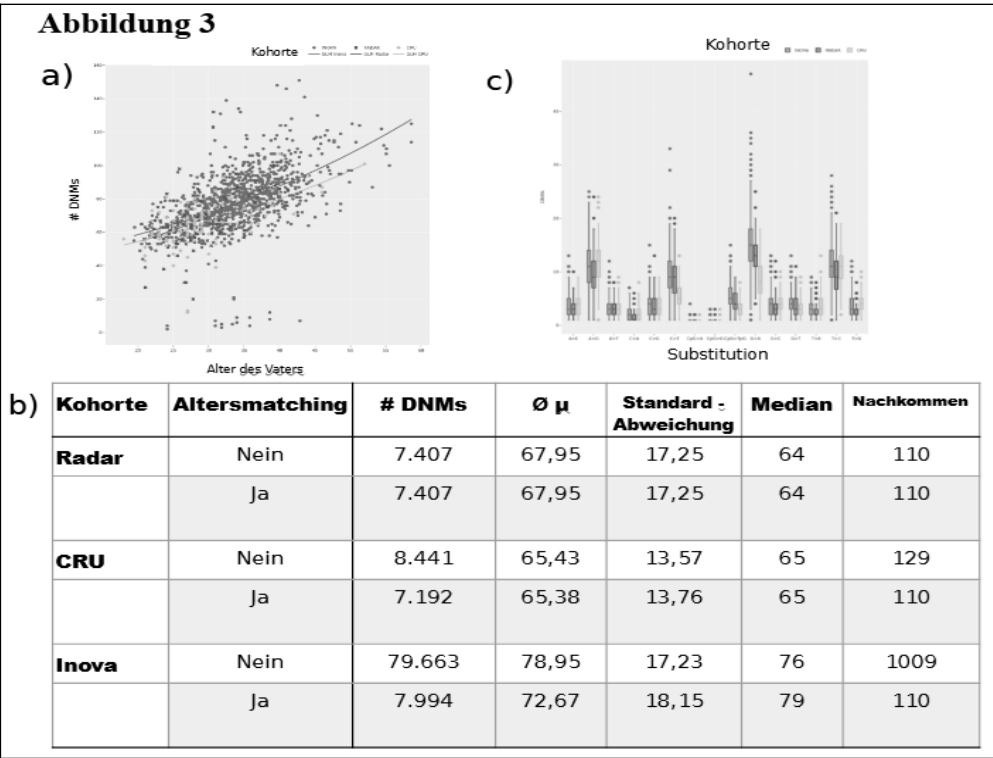
wurden (23, 24). (c) Histogramm der Strahlenexposition in beiden exponierten Kohorten. Die vertikalen Balken stellen die jeweilige durchschnittliche Strahlenbelastung der Väter in beiden Kohorten dar. Für 77 Väter von 88 Kindern in der Radarkohorte wurde die Exposition als eher unwahrscheinlich bewertet, nur für 33 Kinder von 30 Soldaten konnte eine belastbare Strahlenschätzung erstellt werden und nur diese Väter wurden als wahrscheinlich exponiert eingeschätzt. Die durchschnittliche Dosis für einen exponierten Soldaten betrug der Schätzung zu Folge 34,35 mSv, für die Gesamtgruppe waren es lediglich 9,21 mSv. Insgesamt zeigt sich, dass die CRU-Kohorte im Durchschnitt und im Maximum einer höheren Strahlendosis ausgesetzt war, als die Kohorte der Radartechniker.

Abbildung 3: Analyse von Neumutationsraten

Neumutationsraten in der Allgemeinbevölkerung (Inova) im Vergleich zu den exponierten Kohorten. (a) Der paternale Alterseffekt beschreibt die Akkumulation von Neumutationen in Abhängigkeit des Alters des Vaters bei der Zeugung des Kindes und wurde in der Vergangenheit mit ca. 1 Mutation pro Jahr, das der Vater altert, beschrieben. Mit Hilfe der Studienkohorten bestätigten wir den paternalen Alterseffekt in dieser Höhe und konnten keine Unterschiede zwischen den verschiedenen Kohorten feststellen. (b) Absolute Zahl der Neumutationen in den drei Kohorten mit und ohne Altersmatching, sowie weitere deskriptive Sta-

tistiken (Durchschnitt, Standardabweichung, Median). Das Altersmatching wurde von uns eingesetzt um Subkohorten der Inova und CRU-Kohorten zu finden, deren Altersstruktur der der Radarkohorte möglichst ähnlich sind. Dies ermöglicht eine

effektive Korrektur für das höhere Paternale Alter bei Zeugung des Kindes in der Kontrollkohorte. Nach Korrektur für das Alter konnten wir keine Unterschiede in den Neumutationsraten zwischen den Kohorten feststellen. (c) Substitutionsraten bei Neumutationen in den verschiedenen Kohorten. Um zu garantieren, dass neben dem Alterseffekt nicht weitere Kovariablen die statistische Analyse beeinflussen, verglichen wir die Substitutionsraten für Neumutationen zwischen allen drei Kohorten. Hierbei werden die Neumutationen in Abhängigkeit der sie verursachenden DNA-Veränderung aufgeschlüsselt (z.B.: G > T bedeutet, dass statt der Referenzsequenz “G” ein “T” in der Sequenz des Individuums gelesen wurde). Auch diese Analyse zeigte, dass unsere Neumutationsdaten verlässlich waren und keine weiteren Artefakte enthielten.



Unsere Autoren:

Dr. Fabian Brand, Dr. Alexej Knaus und Direktor Prof. Dr. Peter Krawitz: Institut für Genomische Statistik und Bioinformatik, Universitätsklinikum Bonn
Prof. Karl Sperling: Institut für Medizinische Genetik und Humangenetik, Charité Universitätsmedizin, Berlin

Referenzen

- (1) Holtgrewe, M. *et al.* Multisite de novo mutations in human offspring after paternal exposure to ionizing radiation. *Sci. Rep.* **8**, 1–5 (2018).
- (2) Brand, F. *et al.* Evidence for a transgenerational mutational signature from ionizing radiation exposure in humans. *Sci. Rep.* **15**, 20262 (2025).
- (3) Holtgrewe, M., Sperling, K. & Krawitz, P. Exposition gegenüber Röntgenstrahlung von Radarsoldaten: Nachweis genetischer Veränderungen bei den Nachkommen. *Strahlentelex* 1–6 (2018).
- (4) Yeager, M. *et al.* Lack of transgenerational effects of ionizing radiation exposure from the Chernobyl accident. *Science* **372**, 725–729 (2021).
- (5) Wong, W. S. *et al.* New observations on maternal age effect on germline de novo mutations. *Nat. Commun.* **7**, 10486 (2016).
- (6) Goldmann, J. M. *et al.* Germline de novo mutation clusters arise during oocyte aging in genomic regions with high double-strand-break incidence. *Nat. Genet.* **50**, 487–492 (2018).
- (7) Digweed, M. & Sperling, K. DNA-Reparaturdefekte und Krebs: Lernen von Lymphomen. *Med. Genet.* **19**, 191–196 (2007).
- (8) Friedberg, E. C. *et al.* DNA repair: From molecular mechanism to human disease. *DNA Repair* **5**, 986–996 (2006).
- (9) Veltman, J. A. & Brunner, H. G. De novo mutations in human genetic disease. *Nat. Rev. Genet.* **13**, 565–575 (2012).
- (10) Kong, A. *et al.* Rate of de novo mutations and the importance of father's age to disease risk. *Nature* **488**, 471–475 (2012).
- (11) Digweed, M. & Sperling, K. Chromosomeninstabilitätssyndrome. in *Molekularmedizinische Grundlagen von hämatologischen Neoplasien* (eds. Ganten, D., Ruckpaul, K., Schlegelberger, B. & Fonatsch, C.) 3–38 (Springer Berlin Heidelberg, Berlin, Heidelberg, 2003). doi:10.1007/978-3-642-59343-7_1.
- (12) Radiation, U. N. S. C. on the E. of A. & others. *Sources and Effects of Ionizing Radiation, United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation (UNSCEAR) 2008 Report, Volume I: Report to the General Assembly, with Scientific Annexes A and B-Sources*. (United Nations, 2010).
- (13) Satoh, Y. *et al.* Characteristics of induced mutations in offspring derived from irradiated mouse spermatogonia and mature oocytes. *Sci. Rep.* **10**, 1–13 (2020).
- (14) Adewoye, A. B., Lindsay, S. J., Dubrova, Y. E. & Hurles, M. E. The genome-wide effects of ionizing radiation on mutation induction in the mammalian germline. *Nat. Commun.* **6**, 6684 (2015).
- (15) Matsuda, Y. *et al.* Spectra and characteristics of somatic mutations induced by ionizing radiation in hematopoietic stem cells. *Proc. Natl. Acad. Sci.* **120**, e2216550120 (2023).
- (16) Stephens, J. *et al.* A systematic review of human evidence for the intergenerational effects of exposure to ionizing radiation. *Int. J. Radiat. Biol.* **100**, 1330–1363 (2024).

- (17) Amrenova, A. *et al.* Intergenerational effects of ionizing radiation: review of recent studies from human data (2018–2021). *Int. J. Radiat. Biol.* **100**, 1253–1263 (2024).
- (18) Schmitz-Feuerhake, I. RE: Comment to Yeager M *et al.* Lack of transgenerational effects of ionizing radiation exposure from the Chernobyl accident. *Science* 2021 Apr 22. (2021).
- (19) Lawrence, K. J. *et al.* M-FISH evaluation of chromosome aberrations to examine for historical exposure to ionising radiation due to participation at British nuclear test sites. *J. diol. Prot.* **44**, 011501 (2024).
- (20) Moorhouse, A. J. *et al.* No evidence of increased mutations in the germline of a group of British nuclear test veterans. *Sci. Rep.* **12**, (2022)

Nachtrag

Nach der zusammenfassenden Ergebnisvorstellung und dem zum Verständnis des Forschungsverlaufs erläuterten wissenschaftlichen Hintergrund folgt im Strahlentelex 02/26 die konkrete Vorstellung/Auswertung der Radarstudie. Unser Anliegen war es, die im scientific reports vom 23.06.25 ([Evidence for a transgenerational mutational signature from ionizing radiation exposure in humans | Scientific Reports](#)) erschienene englische Fassung dem deutschen Interessenkreis im Original zugänglich zu machen. Wir danken herzlich den Autoren, insbesondere Herrn Dr. Brand, für die extra für den Strahlentelex vorgenommenen erläuternden Ergänzungen. Der Beitrag fügt sich in das langjährige Bemühen des Kirchlichen Umweltkreises Ronneburg ein, mit dem wir den letztlich weitgehend erfolglosen Kampf der sich im atomopfer e.V. zusammengeschlossenen ehemaligen Uranbergarbeiter und NVA-Radarsoldaten unterstützen. Eine große Sorge der inzwischen meistens verstorbenen Vereinsmitglieder (der Verein musste sein Wirken bereits 2010 einstellen) war die eventuelle Weitergabe von Gen- oder gar Krebserkrankungen an ihre Kinder durch strahlenbedingte Genveränderungen.

Die modellhaft entwickelte „Jacobi-Bewertung“ der Berufsgenossenschaft attestierte allen Betroffenen eine angeblich konservative, in Wahrheit für die meisten unterrepräsentierte Strahlenbelastung, die eine Anerkennung als Berufskrankheit ausschloss. Das Hauptproblem bestand im Fehlen der wirklichen individuellen Strahlenexposition, was auch für die Radarstudie zutrifft. Da die Radarsoldaten mehrheitlich beschränkt auf ihre Dienstzeit nicht mit langjährigen Belastungen der Uranbergarbeiter zu vergleichen sind, wäre eine Untersuchung der Nachkommenschaft dieser Kohorte sinnvoll. Im BfS waren diesbezügliche Forschungen geplant. Da aber bereits die Bergarbeiterkohorte von falschen Expositionen ausgeht, ist nicht mit sinnvollen Ergebnissen der rein statistischen Bearbeitung zu rechnen. Um so wichtiger sind die Erkenntnisse aus der Forschung des Uni-Klinikums Bonn. (Hinweis: Strahlentelex 02/22, 02+04/23 enthält ausführliche Berichte zur Fehlbewertung der Strahlenbelastung im Uranbergbau)

F. L.

Atomkraftwerke**informativ****Das KKW Greifswald - Lubmin im langwierigen Rückbauprozess**

Die **Stilllegung** des größten DDR-Kernkraftwerks 1990/1995 stellte damals ein Diskussionsthema im Rahmen der Abwicklung der DDR-Wirtschaft dar. Ganz offiziell war sie sowohl politischen aber auch ein Stück weit wirtschaftlichen Beweggründen geschuldet. Nicht nur bis heute, sondern Jahrzehnte in die Zukunft wirkt die damalige administrative Entscheidung nach.

Das Kernkraftwerk (KKW) in Lubmin bei Greifswald startete nach 6 Jahren Bauzeit 1974 mit dem ersten Reaktor Typ WWER 440/W-230 sowjetischer Bauart. Zwischen 1979 und 1990 wurden 4 thermische Druckwasser-Reaktorblöcke betrieben, die rund 10 % des DDR-Energiebedarfes deckten. Die vier Reaktoren erzeugten 147.919 GWh Strom (brutto), wovon nach Abzug des Eigenbedarfes 90,73 % eingespeist wurden. Block 5 ging 1989 in Probebetrieb, aber nicht mehr ans Netz, da das KKW 1990 wegen Sicherheitsbedenken abgeschaltet wurde. Diesen wird nachfolgend prioritär nachgegangen.

Muster-Rückbau?

Es sollte ein positives Beispiel für sicheren und vollständigen Rückbau bis auf „die grüne Wiese“ werden. Dafür starteten die Rechtsnachfolger des DDR-Kombinates als Energiewerke Nord-EWN mit einer Kostenschätzung von 3 bis 5 Mrd. € und einer geplanten Sanierungszeit von 17 Jahren bis 2012.

EWN gehört 100 % dem Bund, Alleingesellschafter ist das Bundesfinanzministerium; 2017 erfolgte eine Umbenennung in Entsorgungswerk für Nuklearanlagen-EWN. Heute plant EWN den Abschluss von Demontage und Dekontamination der Gebäude bis etwa 2045 mit einem Gesamtaufwand bis zu 11 Mrd. €. „Damit würde der Rückbau 50 Jahre dauern – für 16 Jahre Stromerzeugung.“ [1]

Sicherheitsmängel

„Alle Systeme des radioaktiv belasteten Primärkreislaufes eines jeden Blockes sind in einem Drucksystem untergebracht..., d.h., ein alle Anlagen des Primärkreislaufes einschließendes und nach außen abgrenzendes Bauwerk ist bei diesem Reaktortyp nicht vorhanden.“ [2] Das Betriebsregime sah beispielsweise bei Spannungsabfall vor, falls die notwendige Restwärmeabfuhr mit Leitungsbruch oder anderen Havariezuständen verbunden sein sollte, dass „... Gebäudeabschluss-

klappen sich bei 1,6 und 1,8 bar kurzzeitig in die Atmosphäre öffnen.“ Also Radioaktivität freisetzen.

Dagegen wurden für die Blöcke 5 bis 8 zusätzlich riesige Ausgleichsräume und -becken gebaut, die bei Havarien den Radioaktivitätsaustritt dann als zusätzliche Sicherheitsbarriere verhindern konnten.

Für die Betriebsblöcke 1,2 und 3 stand schon 1985 fest, dass sie „...wegen der fortgeschrittenen Neutronenversprödung die geplante Lebensdauer nicht erreichen“ [3]. Zwar wurden diverse Ertüchtigungsmaßnahmen realisiert, doch hielt man eine „umfassende Rekonstruktion infolge vorhandener Sicherheitsdefizite“ für nötig, „...ohne dass eine Realisierung ökonomisch einordenbar war“ [3].

Die Reaktordruckbehälter 1 und 2 hatten gegenüber 3 und 4 statt zweilagiger Plattierung nur Teilplattierungen aufzuweisen. Reaktor 2 galt als der störanfälligste Reaktor. Bei dem neuen Reaktor 5 und den in Bau befindlichen Reaktoren 6-8 lag mit dem Typ WWER-440/W-213 eine zeitgemäßere Ausstattung vor bzw. konnten unter den neuen Bedingungen seit 1990 sicherheitsrelevante Ergänzungen erfolgen. Aber es war politischer Wille, den Bau dieser fast fertigen Blöcke nicht fortzuführen und ab 1995 alle Reaktoren abzurüsten und 1 - 5 vollständig zu dekontaminieren

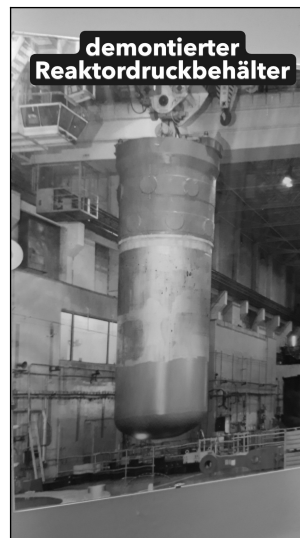
Rückbau 1995 - ??

Hierzu musste ein neues Zwischenlager für mittel- bis hochgradig radioaktive Stoffe errichtet werden, die nicht chemisch für Einschmelzen etc. ausreichend dekontaminiert werden konnten. Der Dekontaminationsaufwand erwies sich zudem als deutlich umfassender, als erwartet. Die Radioaktivität war nicht nur wenige

mm in den Beton eingedrungen, eher im cm-, stellenweise im dm-Bereich. Ein Problem, mit dem mittlerweile alle im Abbau befindlichen KKW zu kämpfen haben. Nach „Umlagerung“ der extrem radioaktiven Brennstäbe und etwa 500.000 t schwach radioaktiven Material, ging man noch von aufwendig zu dekontaminierenden und zu entsorgenden 60.000 t Stahl und 30.000 t Beton und 10.000 t sonstige Ausrüstung aus. Zumindest beim

Beton viel schwieriger, so dass unübersichtlich lange Rückbauzeiten entstehen.

F. L.



[1] Beitrag von M. Rathke: zum Kernkraftwerk Lubmin: mit Stand 02.09.2025 unter www.ndr.de > nachrichten > mecklenburg-vorpommern

[2] „Stilllegung und Abbau des KKW Greifswald“, EWN GmbH, Lubmin 2/95

[3] „Betriebserfahrungen mit den Reaktoranlagen WWER-440/W-230“, EWN GmbH, Lubmin 4/91

Atomwirtschaft**Die Wiederauferstehung der Kernenergie in den USA und Europa**

Frank Lange

Im Strahlentelex 01 und 02/2025 [1], [2] berichteten wir über den aktuellen Trend zur Forcierung der seit Jahrzehnten stagnierenden weltweiten Kernkraftnutzung. Die Entwicklungen vor allem in den USA und China sowie die Positionierungen der Kernkraftlobbyisten von der internationalen Atombehörde IAEA bis hin zu Politikern der CDU und vor allem der AfD erfordern dringliche Versachlichungen. So nachvollziehbar entsprechend der parlamentarischen Beschlusslage die Stilllegung der letzten deutschen Atomkraftwerke (AKW) gewesen ist, so unverständlich und falsch war sie angesichts der kriegsbedingten Energiekrise in Bezug auf den sich abzeichnenden Stimmungsumschwung in der Bevölkerung. Politische Rechtfertigungen und sachliche Begründungen hin oder her, letztlich gehen die Kernkraftbefürworter gestärkt in die Offensive.

Im Folgenden wollen wir die aktuelle Entwicklung in der USA [1] und [2] ergänzen und uns mit der derzeitigen Argumentation der deutschen Kernkraftbefürworter auseinandersetzen, die insbesondere die preiswerte Kernenergie der Schweiz zur Nachahmung propagieren.

Mit einem Drittel der nuklearen Welt-Erzeugungskapazität sind die **Vereinigten Staaten** nach wie vor führend in der Kernkraftnutzung, allerdings nicht mehr in der Kernkrafttechnologie. Bis auf zwei Ausnahmen hat es seit 1977 keine Neubauten mehr gegeben. Durch die Inbetriebnahme neuer Reaktoren in und der Reaktivierung von vorhandenen Kernkraftwerken (KKW) nähert sich die USA langsam aber sicher dem Stand von 1990 als 100 Reaktoren in Betrieb waren (z.Z 95). Die derzeitigen politischen Forcierungen zur Ausweitung des bisherigen rund 20%-Energie-mixanteils beruhen auf einer Vorbereitungsphase, die 2022 mit einem „Infalationssenkungsgesetz“ neuen Schwung aufnahm, indem Kredite für Kernenergie emissionsfrei gestellt wurden. Weitere Gesetzesvorlagen folgten, womit Laufzeitverlängerungen von 40 auf 60-80 Jahre, Erleichterungen für Kreditvergaben und Genehmigungsbe-

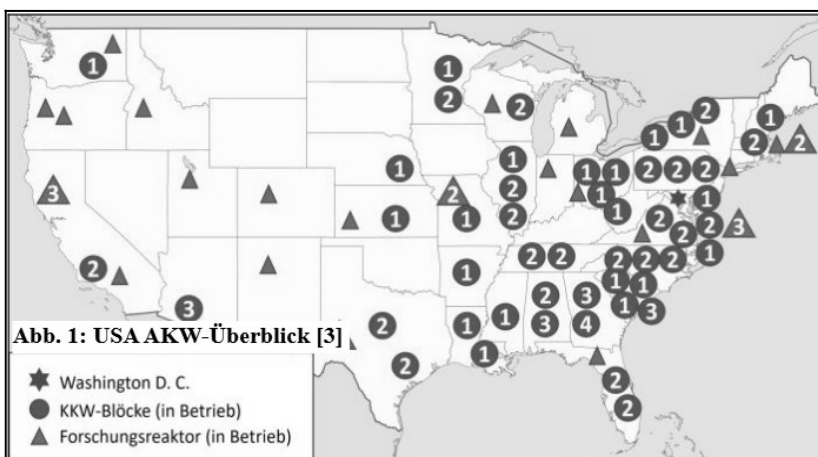
schleunigungen festgesetzt wurden. Zuschüsse für die sogenannten Anlagen der Generation 3+ (Stichwort SMR-Kernreaktoranlagen) bewilligte der Kongress 2024.

Im Rahmen der 0%-Emissionsausstoß-Strategie soll die Kernenergie bis 2050 zunächst verdreifacht und seit der Trump-Administration sogar vervierfacht werden. „Am 23. Mai 2025 unterzeichnete Präsident Trump vier Dekrete mit denen eine „nukleare Renaissance“ in den USA eingeleitet werden soll. Es ist unter anderem vorgesehen, die Genehmigungsprozesse für (fortschrittliche) Reaktoren zu beschleunigen und die inländische Uranproduktion und -anreicherungskapazität zu steigern. Spätestens 2028 soll zudem ein Kernreaktor auf einer inländischen Militärbasis oder -anlage den Betrieb aufnehmen. Das Energieministerium ist angewiesen, Rahmenbedingungen zu schaffen, die den Bau von zehn großen Reaktoren bis 2030 und die Finanzierung von Leistungssteigerungen bei bestehenden Reaktoren fördern. Ziel der US-Regierung ist es, den Ausbau der Kernenergiekapazität der USA von bislang 100 Gigawatt auf 400 Gigawatt bis 2050 zu „erleichtern“.“ [3]

Nach der Dominanz von Gaskraftwerken in den letzten Jahren und dem dadurch inzwischen erreichten Energieüberschuss in der USA, soll dennoch die Zukunft wiederum der Kernenergie gehören. Zwar werden auch die erneuerbaren Energien ausgebaut, doch sieht die Perspektive zusammengefasst folgendermaßen aus: „Im Energiesektor streben die Vereinigten Staaten bis 2035 eine zu 100 % kohlenstofffreie Stromerzeugung an, wobei Wind, Sonne, Geothermie, Wasserkraft, Kernkraft und Biomasse neben fossilen Brennstoffen mit Kohlenstoffabscheidung und -speicherung (CCS) genutzt werden.“ [4] Der Kernkraft wird zur Erreichung der sogenannten Netto Null Wirtschaft zunehmend Priorität eingeräumt.

Dabei kommt der **Weiter- und Wiederverwendung stillgelegter KKW** eine Vorzugsrolle zu. Insbesondere drängen Microsoft, Meta, Google und Amazon aus Kostengründen danach, da Neuanlagen viel zu teuer sind, hingegen vorhandene Infra- und Netzstrukturen sowie Fachpersonal entscheidend kostenmindernd wirken.

Sicherheitsbedenken, wie sie nach den bekannten Nuklearrunfällen, wozu auch der Reaktorunfall von 1979 im KKW Three Mile Island gehört, die Kernenergienutzung reglementierten, spielen keine Rolle mehr. Allein die nach wie vor viel zu hohen Kosten bremsen den politisch gewollten Trend weiterer KKW. Daher versucht man es mit Standort-Reaktivierungen. Selbst das Havarie-AKW Three Mile Island bei Harrisburg im Bundestaat Pennsylvania wird unter dem neuen Namen Crane Clean Energy Center (zu deutsch: saubere Energie im Zeichen des Kranichs) wiederbelebt. Ursache sind auch die Forderungen der großen Rechenzentren (hier Microsoft), die ihre künftigen KI-Hochleistungs-server energetisch rund um die Uhr stabil abgesichert sehen wollen. Nach den Analysten von McKinsey soll der Energiebedarf der US-Rechenzentren von 147 TWh 1923 auf 600 TWh 2030 steigen. Zur Zeit produzieren die 54 AKW um die 800 TWh pro Jahr. Für eine an-



gestrebte Vervielfachung der Kapazität bräuchte man grob weitere 150 AKW oder 300 Reaktoren. Derzeit ist viel in Diskussion, zu wenig in Vorbereitung und kein einziger großer Meiler im Bau. Den Absichtserklärungen der KI-Konzerne wie Meta, Google, Open AI oder Anthropic ist die Forcierung von Kern- und Gaskraftwerken auf Grund abgeschlossener Stromliefervereinbarungen abzunehmen, doch die Vorgaben der Trump-Administration dienen eher der Wiedernormalisierung der Kernkraftidee, um sämtliche Widerstände zu unterbinden. Den Hintergrund ausbleibender Projektumsetzungen bilden die Forderungen der Betreiber nach direkter staatlicher Absicherung der immer wieder auftretenden Kostenexplosionen. Zuschüsse und Steuervergünstigungen genügen ihnen angesichts von Firmenpleiten und unkalkulierbaren Risiken nicht. AKW privatrechtlich gewinnorientiert betreiben zu wollen, bedeutet für die Betreiber nicht, sie auch verlustreich zu bauen und zu entsorgen (trotz vermeintlicher Rückstellungen).

Zwar hat Google die Planung für AKW in Auftrag gegeben und „Amazon hat verschiedene Abkommen mit Versorgern und Projektentwicklern zum Bau sogenannter Small Modular Reactors, kurz SMR unterzeichnet, kleiner modularer Reaktoren also.“ [7], dennoch bedeutet das keine „staatsferne“ Finanzierung.

Im Falle Three Mile Island soll sich Microsoft für 20 jährigen Strombezug zum Festpreis von etwa 11 Ct/kWh verpflichtet haben. Der Handelspreis 2025 liegt zwischen 5-6 Ct/kWh. Amazon hat sich bereits 2023 einen Standort direkt neben einen AKW bei Berwick, Pennsylvania, incl. Exklusivliefervertrag gesichert. Der seit 2021 insolvente Betreiber firmiert seit dem als „... eines der kostengünstigsten und am besten betriebenen Kernkraftwerke des Landes“ [5]

Der Rückgriff auf Altstandorte begann im KKW Palisades: „Als allererstes AKW der US-Geschichte soll Palisades im Bundesstaat Michigan aus dem Ruhestand geholt werden. Es ging im Mai 2022 nach mehr als 50 Dienstjahren vom Netz. Der neue Besitzer prüft derzeit, ob es sich lohnt, es zu sanieren und den Reaktor anschließend wieder bis mindestens 2051 in Betrieb zu nehmen. Falls es dazu kommt, will sich das US-Energieministerium mit 1,5 Milliarden US-Dollar an den Kosten beteiligen.“ [6]

Eine in Aussicht gestellte Energiekostenstabilisierung durch neue KKW bleibt unwahrscheinlich. Das einzige bisher wirklich mit 2 neuen Reaktoren erweiterte AKW

Vogtle 3 und 4 (vgl. [1] S.10) verursachte für die 2,6 Mio. Kunden des Betreibers Georgia Power Co. jedenfalls Tarifierhöhung [6].

Wie kommt es bei dieser negativen Sachlage in Deutschland zu der gegenwärtigen politischen Forcierung für neue AKW? Obwohl die technischen und ökonomischen Bedingungen beim Trendsetter USA bisher gar keinen Boom auslösten, zieht man einfach die europäischen Klima-Zielvorgaben zur Begründung heran. Es wird massiv auf eine angebliche CO₂-freie Kernenergie gesetzt, die staatlich abzusichern ist. Nur so wird Atomkraft auch in Deutschland für die Strombetreiber wieder interessant. Den Außenhandelslobbyisten der USA und den Fachlob-

bysten der IAEA ist es bereits gelungen, die rechtskonservative Mehrheit in Deutschland auf ihre Seite zu bringen. Die übernommenen und **politisch propagierten Vorteile lauten in der Hauptsache:**

- Kernkraftwerke ermöglichen die Stromerzeugung ohne Emission von Treibhausgasen.
- Mit wenig Kraftstoff werden große Energiemengen gewonnen. Im Gegensatz zu Öl und Gas liegen die Kosten für Uran unter 20% der Erzeugungskosten bei geringsten Logistikaufwand.
- Eine kontinuierliche Grundlast sichert allzeit stabile Stromlieferungen.
- Kernenergie ist die preiswerteste Energieform

Die im Raum stehenden **Nachteile** der Kernenergie werden beschönigend benannt bzw. kaschiert:

- Technologien sind inzwischen viel sicherer, keine GAU-Gefahren, höchste Sicherheitsanforderungen; Versicherungen springen bei Problemen und Unfällen hundertprozentig ein.
- Entsorgung des Nuklearabfalls wird beherrschbar infolge neuer Wiederaufbereitungstechnologien.
- Die eigentlich schlechten ökonomischen Wirkungsgrade der Kleinanlagen SMR werden durch deren Flexibilität wettgemacht.

Fakt ist, dass die verniedlichten Nachteile nicht mit den gegenwärtigen Technologien der KKW aufzulösen sind. Die USA setzten inzwischen wieder auf Nutzung heimischen Urans, eigener Brennstäbe-Produktion, Forschungsreaktoren, SMR und Variationen der Urananreicherung. Großtechnisch stehen hingegen keine neuartigen Kernenergielösungen zur Verfügung, so dass die herkömmlichen anfälligen Reaktortechnologien Grundlage der ambitionierten Vervielfachung von Kraftwerkskapazitäten bleiben. Also nicht einmal neuer Wein in alten Schläuchen. Nach wie vor hochkomplexe Megaprojekte müssten zur Kapazitätssteigerung errichtet werden, was die Gesellschaft enorm belasten muss.

Auch die genannten Vorteile treffen nicht zu. Die beiden Hauptargumente Klimaschutz und Niedrigstrompreise halten keiner sachlichen Bewertung stand (vgl. [8] S. 12/13). Insbesondere die enormen Baukosten und Materialeinsätze und die ständig vernachlässigte Urangewinnung werden in den CO₂-Bilanzen heruntergerechnet. Der im Vergleich zur Öl- und Gasgewinnung aufwendigere Uranabbau ist

„It's time for nuclear“
Donald Trump 2025



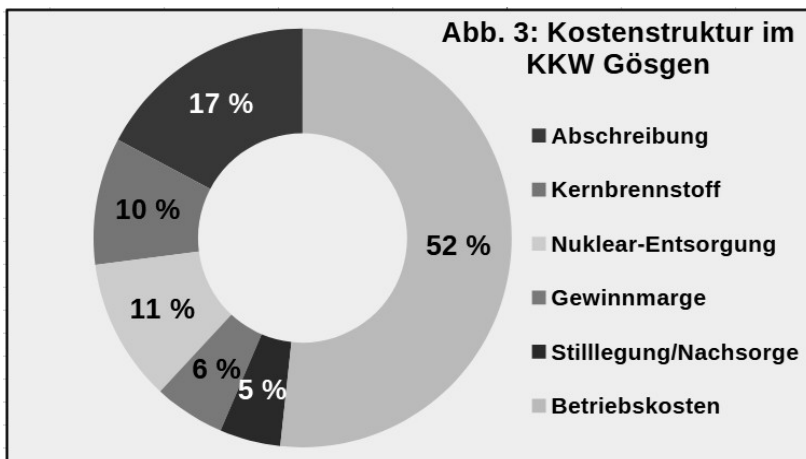
Abb. 2: AKW Palisades

Quelle: Blog Besitzer : Ekobusniess.de

durch die alleinige Einbeziehung der Weltmarktpreise klimatechnisch nicht darstellbar. Marktpreise mögen in die Betriebskosten realistisch eingehen, ein Abbild der Klimabelastungen sind sie nicht.

Zur Zeit argumentieren Bundestagsabgeordnete mit den niedrigen Strompreisen von **schweizerischen KKW**. Abb.3 zeigt zunächst einmal den relativ geringen Kostenanteil der Brennstoffe im KKW Gösgen. Für 2021 gab man den Strompreis des Kraftwerkes mit 4,3 Rp/kWh also etwa 4,6 Ct/kWh an. Warum so niedrig? Dafür gibt es Gründe, die nicht auf die Bedingungen für einen heutigen Neubau und nicht auf Deutschland übertragbar sind:

- Die drei noch betriebenen KKW der Schweiz gehören zu 82% der öffentlichen Hand, wodurch die „abschöpfende“ Gewinnorientierung niedrig bleibt.
- Die damaligen Baukosten sind im Vergleich zu heute exorbitant gering und halten die Abschreibungskosten (zu) niedrig. (Beznau I/II ging 1969/1972 mit 0,7 Mrd. CHF Baukosten in Betrieb; das KKW Leibstadt 1979 mit 2 Mrd. CHF und Gösgen 1984 mit 4,8 Mrd. CHF)



- Die Rohstoffkosten für den Kernbrennstoff sind (zu) gering, so dass die Brennstoffkosten fast nur durch die Anreicherung verursacht werden. Die Fertigung/Beschaffung der Brennelemente ist doppelt so teuer wie ihre Entsorgung, was nicht für die Berücksichtigung der Endlagerung spricht. Selbst eine Verdoppelung des Uranpreises würde die Kostenrechnung nur um 0,5 Rp/kWh erhöhen, was der Klimabelastung durch den Bergbau in keiner Weise gerecht wird.

Die Schweiz privatisiert also im Unterschied zu den meisten Nuklear-Staaten die Gewinne der KKW nicht und trägt die Entsorgungskosten selbst. Die erreichten hohen Laufzeiten von 40-50 Jahren werden auf 60 Jahre und ggf. höher verlängert und zum gleichmäßigen Ausbau der erneuerbaren Energien genutzt. Planbarkeit und Stabilität führen dabei zu wesentlich effizienterer Ausnutzung von Marktpreisen. Dennoch lebt man aus der Substanz überbordender Nutzungszeiten und ignoriert seit Jahren Sicherheitsanforderungen, die ihnen z.Z. mit der Außerbetriebnahme des KKW Gösgen infolge „Auslegungsschwachstelle im Speisewassersystem“ [9] auf die Füße fallen und sich nach Meinung des BUND für die Schweiz und die europäischen Nachbarländer zu unkalkulierbaren Risiken ausweiten [10].

Nach dem Ausstieg der Schweiz 2011 (Fukushima) erfolgt jetzt der Rückwärtssalto; neue KKW glaubt man maximal mit der Wunschvorstellung von 30% teurer im Vergleich zu 1970/80 errichten zu können.



Die gesamte nukleare Kette – vom Uran-Abbau über die Anreicherung bis zum Reaktorbetrieb – setzt Bergarbeiter und die lokale Bevölkerung langfristigen radioaktiven Risiken aus. Die Frage der sicheren Lagerung hochradioaktiver Abfälle über Jahrtausende ist trotz Endlagerfindung in der Schweiz noch ungeklärt. Fachleute wie Politiker unterschätzen mittlerweile das Risiko eines schweren Reaktorunfalls - bis der nächste eintritt. Durch den Klimawandel (Extremereignisse) erhöhen sich die Risiken von Reaktorunfällen. Bis dato stellt der Kühlwasserbedarf und -gebrauch eine klimaschädigende Komponente dar.

Der Anlagenrückbau wird latent unterschätzt. Die letztliche Beseitigung der havarierten Reaktoren im KKW Fukushima ist nach 54 Jahren für 2065 prognostiziert. Das nicht-havarierte AKW Greifswald immerhin „schon“ nach 50 Jahren – vielleicht. Dennoch gehen EU-Staaten der Kernkraftlobby auf den Leim. Polen plant nach dem gescheiterten Erstversuch 1986/89 den Neueinstieg in die Atomenergie und will 2028 mit dem

Bau eines KKW mit drei (US-amerikanischen) Blöcken beginnen und nach 8 Jahren 3x 1.250 MW produzieren. Belgien hat seinen Ausstiegsbeschluss wieder rückgängig gemacht und überlegt Laufzeitverlängerungen und plant ebenso wie die Niederlande und Tschechien neue Reaktoren bzw. Neuanlagen.

[1] W. Hädicke: „Atomenergie – renaissance oder energiepolitische Sackgasse“ + F. Lange: „Kurzüberblick zur Kernkraftnutzung in Europa und Übersee“, Strahlentelex 01/2024

[2] F. Lange: „IAEA zur Zukunft der Atomenergie“, Strahlentelex Nr. 16 02/2024

[3] Kernenergie in den Vereinigten Staaten (USA) | GRS gGmbH

[4] „United States 2024 EnergyPolicy Review“, Source: IEA. International Energy Agency

[5] <https://susquehannanuclear.com>

[6] <https://www.n-tv.de/wirtschaft/Three-Mile-Island-statt-neuer-AKW-Die-US-Regierung-fleht-die-Atomindustrie-an-article25088806.html>

[7] Claus Hecking: „Süss ist das Atom-Comback“, Spiegel 37/2025

[8] F. Lange: „Energieerzeugung in Gegenwart und Zukunft – ein praktischer Überblick“ Strahlentelex Nr. 13 03/2024

[9] <https://ensi.admin.ch/de/2025/08/27/laengerer-betriebsunterbruch-beim-kkw-goesgen/>

[10] A. Simon im Newsletter „ausgestrahlt“ vom 18.09.2025: „Schweizer AKW: seit 46 Jahren ohne Sicherheitsnachweis“

Erneuerbare Energien in der Kritik**Windkraft versus fossile Energie: Vom Regen in die Traufe?****Frank Lange**

Seit dem Beschluss zum Atomkraftausstieg 2011 galt bis 2021 Gas plus Windkraft – dann kurz Windkraft gegen Gas, insbesondere gegen Flüssiggas LNG. Bis mit Beginn des Ukrainekrieges beides „Plus“ wurde. Und 2025 nun wieder Gas gegen Windkraft, gleich noch plus Atomkraft? Das Ringen der jeweiligen Lobbyinteressen feiert Urständ. Umso wichtiger ist die offene und sachbezogene Diskussion der Vor-, aber auch der Nachteile der Energieformen. Letztere sollen nachfolgend auch einmal für die Windenergie im Mittelpunkt stehen.

Etwas über 30.500 Windkraftanlagen sind in Deutschland in Betrieb. Mit etwa 21% Anteil liegt Niedersachsen an der Spitze, gefolgt von Sachsen-Anhalt mit ca. 10%. Bayern steuert noch 4% bei; das mehr als viermal kleinere Thüringen immerhin $\approx 3,4\%$. Die Windkraft dient bekanntermaßen zur Steigerung der Unabhängigkeit von Atomkraft, Kohle, Öl und inzwischen auch Gas. Enthusiastisch wird der Rückgang der fossilen Energieträger seit 2015 um 41% der Nettostromerzeugung bei gleichzeitigem Zulegen der erneuerbaren um 44% gefeiert. Damit verbundene Negativaspekte für die technologischen Umrüstungen im Versorgungssektor und der außen vor bleibenden ansässigen Bewohner sind für die politischen Entscheidungsträger zweitrangig geblieben. Befürworter bestehen auf überdimensionale Vorranggebiete und forcieren so eigentlich noch die China-Importe. Die Gegner meinen hingegen den Ausbau zu stoppen und alles mit Atomkraft heilen zu können. Mit Zunahme von Windparks wächst infolge der praktizierten Umsetzungsmethodik zunehmend auch die Kritik in der Bevölkerung. Gegner bemängeln eine „Verspargelung“ der Landschaft, Lärm und Ineffizienz (Stillstandszeiten), unökonomische Leistungsdichte bis hin zu unhörbaren Gefahrenszenarien durch Infraschall. Nicht zu unterschätzen sind entstehende Einschränkungen für den regionalen Flugverkehr und sportlicher Luftraumnutzung. Seit der gesetzlichen Einordnung der fast ausschließlich privaten Windkraft-Energieanlagen (WEA) als „überragendes öffentliches Interesse“ [1] und der damit verbundenen restriktiven Ausweisung von Windkraft-Vorranggebieten, gerät das Aushängeschild der erneuerbaren Energiestrategie zunehmend in die Kritik insbesondere der nicht in Großstädten lebenden Bevölkerung. Was sind die Grundlagen oder Gründe für diese Skepsis und Kritik? Es gehört zum demokratischen Grundverständnis, dass diese Aspekte öffentlich präsen- ter erläutert und diskutiert werden sollten, ohne auf einseitigen Standpunkten zu verharren.

Infraschall

Die menschlichen Hörbarkeit bewegt sich im Frequenzspektrum von 20 Hz bis 20 kHz. Über 20 kHz spricht man vom nicht hörbaren Ultraschall und unter 20 Hz eben vom Infraschall. Darüber ist er beispielsweise von Fledermäusen wahrnehmbar und sogar essenziell; darunter z.B. für Wale. An Windkraftanlagen entsteht Infraschall durch das Vorbeigleiten der Flügel am Mast, von wo er sich mit enorm langen Amplituden über 350 m (< 1 Hz) ausbreitet; bei den neuen hohen Anlagen sind es weniger. Gefahren werden in der sogenannten Resonanzüberlagerung gesehen. Diese könnte sich z.B. auf die Herzfrequenz des Menschen (0,5 – 2,3 Hz) legen und die Reaktion von Zellen und Organen auf Infraschallfrequenzen wäre ein zu klärendes Problem. Obwohl oder weil Studien, u.a. von der Landesanstalt für Umwelt Baden-Württemberg, bisher keine Nachweise fanden, klagen die Gegner die Einhaltung des Vorsorgeprinzips bis zum Beweis des Gegenteils ein [3]. Eine 2020 veröffentlichte Studie der Universität Mainz zur „Negativen Auswirkungen von hochenergetischem Infraschall auf die Kontraktilität des menschlichen Herzmuskels“ [7] hat es ihnen besonders angetan. Erstmals wurden wissenschaftliche Schlussfolgerungen gezogen: „Die Exposition gegenüber hohen Infraschallpegeln (über 100 dBZ) beeinträchtigt die Kontraktionsfähigkeit des Herzmuskels bereits eine Stunde nach der Exposition. Zahlreiche weitere Studien stützen diese Schlussfolgerung.“ [7]

Windkraftgegner berufen sich damit auf einen Schädigungsbereich „... des Herzmuskels ab 100 Dezibel und schlagen darum vor, einen „Vorsorgewert“ von 80 Dezibel in der Gesetzgebung zu verankern. Die Studie wird häufig als Beleg für die Gefährdung von Menschen durch Windkraftanlagen angeführt.“ (aus [2] Frage 22) Die offizielle Stellungnahme der Landesanstalt führt dagegen aus: „Die menschliche Herzfrequenz (Pulsschlag) liegt bei etwa 90 Schlägen pro Minute, was einer Frequenz von 1,5 Hz entspricht. Die maßgeblichen Frequenzen des Infraschalls von Windenergieanlagen sind durch das regelmäßige Vorbeistreichen des Rotorblattes am Turm bestimmt und liegen im gleichen Frequenzbereich. Der Blutdruck selbst bewegt sich im Normalfall zwischen 80 und 120 mmHg, dies entspricht einer Schwingungsbreite von etwa 40 mmHg oder rund 5.300 Pascal. Die Druckschwankung des Infraschalls von Windenergieanlagen kann ... auf weniger als ein Pascal abgeschätzt werden und ist damit mehr als das Tausendfache kleiner.

Hätte der Schalldruck von Windenergieanlagen einen wie von der Autorin vermuteten Einfluss auf Zellen und Blutgefäße im ganzen Körper, so müsste der Einfluss durch den natürlich pulsierenden Blutdruck mehr als tausendfach stärker sein. Dies wird aber nicht beobachtet. Ein möglicher Einfluss von Infraschall von Windenergieanlagen auf den Blutkreislauf und die Mikrozirkulation beim Menschen, wie im Artikel behauptet, wäre also im Vergleich zum natürlichen Pulsschlag vernachlässigbar.“ ([2] Antwort zu Frage 22)

Der akademische Streit wird sicher fortzuführen sein.

Begrenzte Leistungsdichte

Kritiker der Windkraft bemängeln die zu dürftige Leistungsdichte, die mit überzogenen Megawatt-Bezeichnungen der Anlagentypen kaschiert wird. Praktisch handelt es sich um einen „...gigantischen Materialaufwand bei einem Windrad, um eine sehr überschaubare elektrische Leistung zu generieren.“ „... „Aus dem Rotor-Durchmesser von 142 m ergibt sich eine Rotorfläche von 15.829 m², was mehr als zwei Fußballfelder (je 105 x 68 m) entspricht. Eine WEA kombiniert einen riesigen Materialaufwand mit einer sehr geringen Leistungsdichte. Daraus ergibt sich ein enorm hoher Landschaftsverbrauch.“ [4] Der Argumentation liegen physikalische Grundsätze zu Grunde, die bei Aufwand-Nutzen-Analysen stetig vernachlässigt werden, da die Protagonisten der WEA sich an Maximalwerten orientieren und diese propagieren: Immer höher, immer weitere Flügelspannen, immer größere Windparks. Dem stehen physikalische und technische Grenzen entgegen, wie die erreichbare, aber auch maximal nutzbare und Typen-unabhängige Leistungsdichte des Windes und die hingegen Typen-abhängige Wirkungsgradgestaltung. Die Nutzungsbereiche sind relativ eng. Die nutzbare Windgeschwindigkeit v_w liegt zwischen 4 und 11 m/s. Maximalangaben bis 22 m/s können durch die wirkenden Fliehkräfte nie ausgenutzt werden. Daher werden die Rotoren ab ca. 11 m/s „in den Wind“ gestellt oder abgeschaltet. Die Wirkungsgrade liegen generell unter 0,48 und sind zudem noch in Abhängigkeit der Windgeschwindigkeit v_w veränderlich und pendeln bei starken Wind nur um 0,25; hingegen bei „halben“ Wind in einem technisch günstigeren Bereich (allerdings bei geringerer Leistungsdichte des Winddargebotes). Winde bis 11 m/s sind für Offshore-Anlagen auf See realistisch; im Binnenland wird inzwischen die Rotorblattgeometrie auf praxisorientierte 5-8 m/s optimiert.

Die Leistungsdichte (W/m²) des Winddargebotes ist in erster Linie von v_w abhängig (in dritter Potenz) und daher ebenfalls im nutzbaren Bereich beschränkt. Abbildung 1 zeigt diesen engen Bereich. Demnach steht eine Leistungsdichte bei den am häufigsten im Binnenland herrschende Windbedingungen von 5,5 – 6,5 m/s zwi-

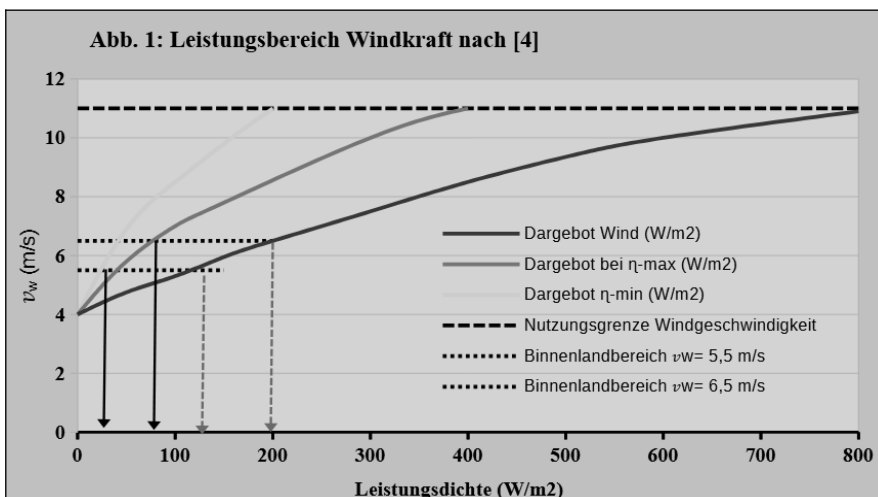
schen 125-200 W/m² zur Verfügung. Praktisch bewegt sich „wirkungsgradbereinigt“ die elektrische Leistung jedoch nur zwischen 25-75 W/m². Die Nennleistung hingegen setzen die Hersteller für 11 m/s an, wofür sie dann sogenannte Volllaststunden berechnen. Spätestens an dieser Stelle gerät die Leistungsausweitung in die Kategorie von Zufallsdaten. Im Ergebnis werden nicht nachvollziehbare Auslastungsgrade ausgewiesen. Als Querschnittsgröße geht man in der Praxis von um 20% Jahresstunden aus, also rund 1.800 h/a.

Steigerungsmöglichkeit Leistungsdichte

Die Windradhersteller streben eine Erhöhung dieser mehr oder weniger theoretischen Kennziffer durch immer größere Rotordurchmesser an, da sie damit in Höhen mit stabileren Windverhältnissen vorstoßen. Insbesondere Offshore-Anlagen stellen immer wieder neue Rekorde auf. 2024 gingen in China Windräder mit 260 m und 292 m in Betrieb (Provinz Hainan - Abb. 2), letztere als 20 MW-Anlage. Zeitgleich wurden und werden im dänischen Windkraftanlagentestfeld Osterild 222- und 276 m-Rotoren getestet (Leistung bis 21,5 MW). Den Windrädern in Hainan ordnen die Hersteller 4.000 Nennleistungsstunden zu. Die $\emptyset$ - v_w wird mit 8,5 m/s angegeben, woraus sich ein Leistungsdargebot von etwa 480 W/m² ableitet. Die angegebene Turbinenleistung 20 MW durch die Rotorfläche geteilt, ergebe fast 300 W/m². Daraus ließe sich auf $\eta = 300/480 = 62,5\%$ schließen. Ein enorm (zu) hoher Wert. Die Anlage wurde an der Küste betrieben und soll künftig im offenen Meer (Off-Shore) eingesetzt werden. Bei Auslegungswinden von 12 m/s läge die Ausschöpfung des Winddargebotes mit 1080 W/m² (vorhanden) zu 300 W/m² (ausgenutzt) bei $\eta = 28\%$, was wiederum einer realistischen Größe entspricht. Das Beispiel zeigt die schwierige Interpretation angegebener Leistungsdaten. Übrigens zerstörte am 06.09.24 ein Taifun 6 Windräder an der Küste Hainans.

Im Binnenland ist für sogenannte Onshore-Anlagen die Erweiterung der Rotordurchmesser aus logistischen Gründen schwieriger, obwohl es auch zur Errichtung von Groß-Windrädern, wie beispielsweise mit 246 m in Stuttgart, kommt. Die heutigen leistungsfähigen 5-6

MW WEA sind i.d.R. 150-200 m hoch. Im Lausitzer Klettwitz entsteht allerdings ein Windhöhenturm, der bis zur Rotorblattspitze 365 m erreichen wird; die Nabe liegt bei rund 300 m. Zum Vergleich: Der Berliner Fernsehturm ist 368 m hoch. Rotorblätter einer „herkömmlichen“ 3,8 MW WEA mit „lediglich“ 65 m Länge sollen verwendet werden, die durch das höhere Winddargebot zu einer 6,8 MW WEA aufsteigt und es wird mit Jahresenergiemengen von 12 GWh spekuliert. Die Projektkosten belaufen sich auf 30 Mio. €; setzt man 30 Jahre Laufzeit für



**Abb. 2: Das (2024) leistungsstärkste Windrad der Welt
– 20 MW/ 80 GWh – China, Provinz Hainan**



Quelle: © Mingyang Smart Energy

die 12 GWh/a an, betragen die „Herstellungskosten“ 8,3 ct/kWh. Z.Z. sicher kein marktfähiger Preis, erst recht, wenn man die Betriebs- zu den Kapitalkosten noch hinzurechnet. In Annäherung an den chinesischen Gigantismus will man mit Flügellängen 100 m 18 GWh anstreben. Die Nennleistungszeiten an Land sind zwar höhenabhängig steigerungsfähig, bleiben aber begrenzt. Höhere Masten bei Beibehaltung oder sogar kleineren Spannweiten sind ein Trend zur Findung eines Optimums zwischen Bauaufwand und Energieausbeute. Kritisch bleibt, dass vorhandene Jahresstunden meist bescheidener ausfallen, als die den Nennleistungen zu Grunde gelegten.

Windparks

Sie sehen sich inzwischen stärkeren Kritiken hinsichtlich ineffektiven Flächenverbrauch ausgesetzt.

„Ein zu nahe hinter einem Windrad befindliches weiteres Windrad würde nur durch die langsamere Luft angetrieben. Deshalb ist bei Windparks in der Hauptwindrichtung ein Mindestabstand des achtfachen Rotor-durchmessers bzw. senkrecht dazu ein mindestens vierfacher Abstand einzuhalten.“ [5] D. h. mit unterschiedlichen Höhen kann die Nutzfläche zumindest abgemindert werden.

Im letzten Jahrzehnt wurden energiebezogene Flächen-größen ermittelt, die infolge „... Kombination aus nach unten gerichteten Transportgrenzen und Windgeschwindigkeitsreduzierungen erklärt, warum die groß-flächige Windstromerzeugung in windreichen Regionen auf etwa 1 W/m² begrenzt ist....Wir kommen zu dem Schluss, dass die großflächige Windkraftherzeugung daher auf ein Maximum von etwa 1 W/m² begrenzt ist aufgrund dieser unvermeidlichen Verringerung der Windgeschwindigkeiten und der vergleichsweise niedrigen vertikalen kinetischen Energieflüsse in der Atmosphäre.“ [6] Praktische Leistungsauswertungen bestätigten den Trend auf 0,5 W/m² und bei zu dicht stehende Parks verringert sich die spezifische Leistung gegenüber Einzelstandorten um 25-30%. *„Große Windparks mit einer hohen Dichte installierter Leistung bremsen den Wind und erzeugen weniger Strom als bisher angenommen“* [8]

Eingeschränkte Luftraumnutzung

Abgesehen von der unmittelbaren Nähe des Windrades bezieht sich die Einschränkung in erster Linie auf mögliche Turbulenzonen im Lee-Bereich, der beim Durchfliegen besonders für Segelflugzeuge, Gleitschirmflieger und Motorgleiter Auswirkungen hat.

„Immer öfter muss der DHV Stellungnahmen zu erforderlichen Abständen von Windkraftanlagen zu Fluggeländen bei Planungsbehörden abgeben. ... Piloten und Vereine befürchten zum Teil eine massive Verschlechterung für den Flugsport“ [9] Studien/ Gutachten des Fraunhofer Institutes IWES empfehlen Sicherheitsabstände von 2x Rotor-

durchmesser für den Flugbetrieb von Ultraleichtflugzeugen und die FH Aachen wiederum 7x für Flächenflugzeuge und Gleitschirme. Praktische Testflüge ergaben in Abhängigkeit von v_w unterschiedliche spürbare Turbulenzbereiche, die erst in einiger Entfernung (100-200 m) deutliche Wirkungen entfalten. Insofern stellen Windkraftanlagen eine starke räumliche Einschränkung für den Freizeitsport der Lüfte dar.

Fazit

Den Kommunen macht man mit jährlichen Einnahmезielen von 30 T€ pro modernen (sehr hohen) Windrad die Ausweisung von Vorranggebieten schmackhaft. Das schafft eine sehr hohe 6 MW-Anlage nur, wenn sie einen Auslastungsgrad von 28,5 % erreicht. Der derzeitige Durchschnitt pendelt um 21%. Neben Windflauten sorgen Energieüberschuss und -engpässe für Unwägbarkeiten in der „Erfolgsbilanz“. Totzeiten im Betriebsablauf sowie der erforderliche Aufwand von Netzausgestaltung und Speicherung sind weitere Aspekte, die in die Negativbetrachtung einfließen sollten, auch um der Windkraft wieder mehr Akzeptanz einzuräumen. Denn nur eine realistische Darstellung, verbunden mit ausgewogeneren und kostengünstigeren Windkraftausbau als bisher, sichert die erforderliche breite Akzeptanz.

[1] Nach § 2 EEG 2023 liegen die Errichtung und der Betrieb von Erneuerbare-Energien-Anlagen im überragenden öffentlichen Interesse und dienen der öffentlichen Sicherheit.

[2] [Windenergie und Schall - Landesanstalt für Umwelt Baden-Württemberg](#)

[3] D. Böhme: „Infraschall aus Sicht eines Physikers: Die unhörbare Gefahr?“ in eike-klima-energie.eu/2025/01/27

[4] D. Böhme: „Windräder bremsen den Wind - und beeinflussen das Mikro-Klima“

[5] <https://home.uni-leipzig.de/energy/energie-grundlagen/15.html> (gesehen 20.01.26)

[6] Lee M. Müller u.a. „Zwei Methoden zur Abschätzung von Grenzen für die großtechnische Windkraftherzeugung“, www.pnas.org, 8. September 2015 | Jahrgang 112 | Nr. 36

[7] [NAH 28 19R5 Chaban Vahl.pdf](#)

[8] Max Planck Gesellschaft www.mpg.de/9379767/wind-energie-wind-strom

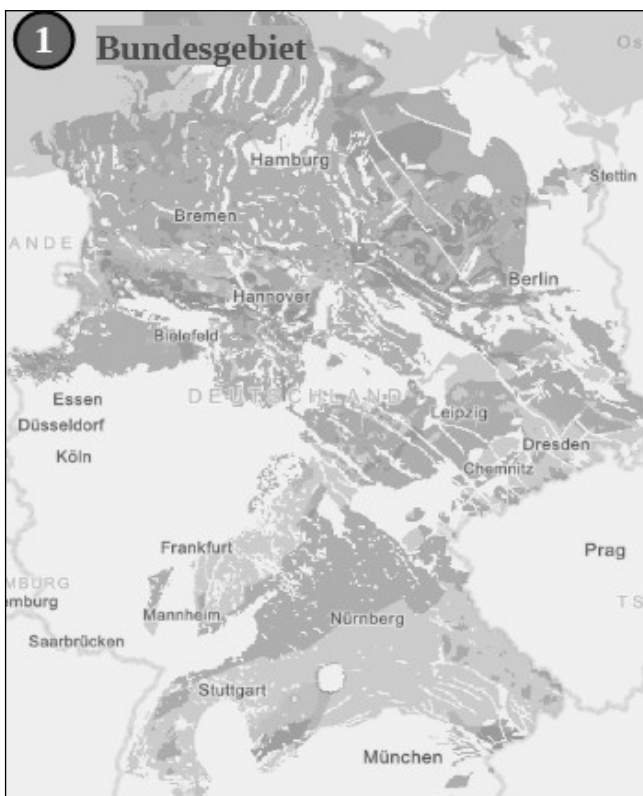
[9] Björn Klaassen: „Windkraftanlagen und Gleitschirmfliegen“ DHV-Info 199; DHV: Deutscher Hängegleiterverband

Endlagersuche für hochradioaktiven Abfall

Das 4. Forum Endlagersuche

Am 21./22.11.2025 tagte in Hannover das 4. Forum Endlagersuche. Im Mittelpunkt stand einerseits die Optimierung des gesetzlichen Standortauswahlverfahrens im Sinne eines allseits akzeptierten Findungszeitpunktes oder -zeitraumes. Andererseits wurden Fragestellungen, wie die ab 2028 an Stelle des bisherigen bundesweiten „Forums Endlagersuche“ tretenden „Regional-konferenzen“ zu gestalten sind, erörtert. Wie könnte ein „Handbuch Regionalkonferenzen“ einschließlich eines unabhängigen Expertenpools gestaltet werden? Des weiteren wurden konkrete Verfahrensfragen, Erkundungsmethoden und die bisher angewandten Auswahl-Prüfkriterien behandelt und diskutiert.

Die Bundesgesellschaft für Endlagerung (BGE) führt Prüfverfahren zur **Reduzierung der ursprünglichen Flächen** durch, die für einen Standort mit der höchstmöglichen Sicherheit für ein Endlager für hochradioaktive Abfälle geeignet sein könnten. Trotz der „Vorlagen“ aus Finnland und der Schweiz, die sich bereits auf Endlager festlegten, sind die geologischen Bedingungen nur grob vergleichbar und erfordern vielfältige Prüfkriterien. Die voranschreitende standortspezifische Herangehensweise präzisiert diese „wissenschaftsbasierten, vergleichenden und lernenden Verfahren“ sozusagen schrittweise. Die Einengung der zu prüfenden Ausgangsflächen stieg in den letzten 12 Monaten von 18% auf 53%. Die grauen Gebiete in der Deutschlandkarte Abb. ① müssen noch geprüft werden. Während die braunen Flächen ausscheiden, die gelben nur gering geeignet sind, durchlaufen die blauen weitere Prüfphasen



einer Eignungsprüfung. Im Beispiel des Kartenaus-zuges Abb. ② würde das die Regionen um Mühlhausen und Sömmerda in Thüringen oder Querfurt in Sachsen-Anhalt betreffen [1]. Ende 2027 soll dann der Standortregionen-Vorschlag erfolgen. Auf Grundlage des umfangreichen

Geomana-gement der Prüfphase 1 sollen dann fünf bis zehn Regionen in Deutsch-land mit der voraus-



sichtlich sichersten Eignung vorschlagen werden. Für die sich anschließende Prüfphase II sind umfangreiche oberirdische Erkundungen vorgesehen. Der gesetzlich vorgesehene Findungszeitpunkt 2031 ist durch Vorstudien und die Prozessanalyse Standortauswahlverfahren (PaSta) nicht nur in Frage gestellt worden, sondern sie halten Verlängerungen für erforderlich (sogar bis 2074!). Das Bundesumweltministerium BMUKN und die BGE plädieren für einen **Optimierungsprozess**. Darin strebt man eine Reduzierung der Maximalvorstellung an. Den größten Effekt, eine zeitlichen Verringerung um 1 bis 2 Jahrzehnte, räumt man einer verlängerten Phase II unter Einsparung der Phase III ein. D.h., keine Erkundungsbergwerke zu errichten, sondern einen Vorzugsstandort mit endgültigen bergmännischen Aufschluss zu bestimmen. Das Standortauswahlgesetz (StandAG) bedarf für die zeitliche Anpassung der Änderung. Zum Jahresende ist ein Referentenentwurf geplant, zu dem erste inhaltliche Schwerpunkte auf dem Forum vom BMUKN vorgestellt wurden. Statt einer Jahreszahl favorisiert man die Formulierung „so zügig wie möglich“, was aus kritischer Sicht wiederum „sonst wann“ bedeuten kann. Zum zeitlichen Einsparpotential wurde bereits im Strahlentelex 03/25 ausführlicher berichtet [2]. Die Tagungsteilnehmer diskutierten offen und vielfältig mit Vertretern der Bundesbehörden die sich aus einer Phasenreduzierung ergebenden positiven und negativen Aspekte; wichtig war allen dabei, dass flexibles Handeln und Kurskorrekturen transparent und vom fachbezogenen Standpunkt aus erfolgen. Wie die weitere und konkrete Einbeziehung der Öffentlichkeit, wie Einwendungen und/oder Nachprüfaufträge wirksamer berücksichtigt und wie Widerspruchsverfahren bzw. gerichtliche Klärungen eingeordnet werden können, wurden heiß diskutiert. Insbesondere für eine längere Phase II ohne oder ergebnisabhängig vielleicht mit Phase III sollte ein Beteiligungsformat für Mitsprache und Einspruchsrecht der Öffentlichkeit gefunden werden.

Wichtige **Detailfragen** wurden in mehreren Arbeitsgruppen diskutiert. Dazu gehörte z.B. die nach wie vor schwierige Vorzugsauswahl der Gesteinsart des Endlagerstandortes. Abb. ③ [3] ist noch kein Zwischenstand

der bewerteten Kriterien, sondern nach wie vor der theoretische Sachstand (grün günstige, gelb weniger günstige und rot ungünstige Eigenschaft).

Standpunkte, wie nachfolgend vom Nationalen Begleitgremium NBG, geben einen Einblick in die Dimension offener Probleme: Zeitpunkt, Umfang und Sicherheitsgrad des Endlagers unterliegen der Generationengerechtigkeit, dem Druck der zunehmenden unsicheren und kostenintensiven Zwischenlagerung und der inzwi-

schen stark veränderten globalen Sicherheitslage. Die bisher angestrebten Zeitgewinne (Weglassen der untertägigen Vorerkundungen u.a.) unterliegen noch zu vielen offenen Fragen. Was durch fehlende Erkundungsbauwerke verloren gehen könnte, sollte in einem Workshop, den das BMUKN organisieren soll, besser aufgeklärt werden. Die umstrittene Terminierung der Standortfestlegung von 2031 auf 2046, 2068 oder 2074 hat Auswirkungen auf die Öffentlichkeit und die Politik, wodurch die erforderliche Akzeptanz mit berücksichtigt

3 Endlagerrelevante Eigenschaften der Wirtsgesteine			
Eigenschaft	Steinsalz	Tongestein	Kristallgestein
Temperaturleitfähigkeit	hoch	gering	mittel
Durchlässigkeit	praktisch undurchlässig	sehr gering bis gering	sehr gering (ungeklüftet) bis durchlässig (geklüftet)
Festigkeit	mittel	gering bis mittel	hoch
Verformungsverhalten	viskos (kriechen)	plastisch bis spröde	spröde
Hohlraumstabilität	Eigenstabilität	Ausbau notwendig	hoch (ungeklüftet) bis gering (stark geklüftet)
In-situ-Spannungen	lithostatisch isotrop	Anisotrop	Anisotrop
Lösungsverhalten	hoch	sehr gering	sehr gering
Sorptionsverhalten	sehr gering	sehr hoch	mittel bis hoch
Temperaturbeständigkeit	hoch	gering	hoch

Quelle: nach BGR 2007

werden muss. Das erfordert, die Stärken und Schwächen des StandortAG zu präzisieren und zu ändern. Die Novellierung muss dabei Optimierung nicht nur anstreben, sondern sie muss auch zu Optimierung führen. Das Kommunizieren der eigentlichen Regioneneingrenzung und -findung ist qualitativ noch offen.

F.L.

- [1] [BGE Endlagersuche Navigator](#)
- [2] „Atomendlagerung in Deutschland am Sankt Nimmerleinstag“, Stltx. Nr.1 703/2025 S. 7/8
- [3] Vortrag Dr. J. Grötsch (NBG- Sachverständiger) „Ein kritischer Blick auf die rvSU-Kriterien der BGE“ (22.11.25)

Jahrestagung des Fachverbandes für Strahlenschutz e.V.

Die vom 28.09. – 02.10.2025 in Chemnitz stattgefundene Jahrestagung des deutsch-schweizerischen Strahlenschutzvereins war neben dem Schwerpunkten der natürlichen radioaktiven Strahlung betreffs Radon und Radioaktiven Altlasten wieder außerordentlich breit gefächert. Grundsatzdiskussionen zum Strahlenschutzverständnis und -recht leiteten über in Fachsparten, wie den Strahlenschutz in der Medizin, der Abfallentsorgung und Störfallszenarien der Zwischenlagerung mittel- und hochradioaktiver Stoffe. Hervorzuheben ist, dass Vorträge von Nachwuchswissenschaftlern auf Grund des hohen Niveaus besonders wertgeschätzt wurden und künftig fester Tagungsbestandteil wird.

Mit Blick auf die Radon-Themenschwerpunkte des Strahlentelex sind einige interessante Aspekte aus ausgewählten Fachbeiträgen zu benennen. Aktuelle Ergebnisse zu Radonmessungen im Zusammenhang mit ausgewiesene Vorsorgegebieten wurden für Sachsen und Hessen vorgestellt. Dabei berücksichtigte man in Hessen bei der Zuordnung des geologischen Untergrundes auch die obere Bodenschicht. Vorsichtig nähert man sich der Erkenntnis, dass diese maßgeblicher für die Beeinflussung der Innenraum- Radonkonzentrationen ist, als bisher eingestanden und berücksichtigt wurde. Ein Aussage, in wie weit die 750 Bodenluft- 3000 Inhouse-Messungen die Festlegung von hessischen Radon-Vorsorgegebieten (RVG) rechtfertigen stellte man aber nicht öffentlich dar. Sachsens Erkenntnisse beruhen auf weniger Neumessungen und lassen keinen (offiziellen) Vergleich zu. Stichproben bzw. ausgewählte Projekte in Nicht-Vorranggebieten (Chemnitz) haben erneut bestätigt, dass die Radon-Inhouse-Probleme nicht auf RVG zu begrenzen sind.

Nach wie vor werden Verfahren entwickelt, die es ermöglichen sollen, aus z.B. dreiwöchigen Messungen der Radon-222-Aktivitätskonzentration unter „funktionaler“ Berücksichtigung von Einflussparametern, den Radon-222-Jahresmittelwert eines Innenraums abzuschätzen. Mittels Regressionsanalysen werden bis zu 10 Parameter, u.a. Außentemperatur, Temperaturdifferenz innen-außen, Luftfeuchte außen und innen, Windgeschwindigkeit und Luftdruckdifferenz innen-außen an ein Langzeitverhalten angepasst. Es bleibt letztlich nur ein Modell zur Berechnung eines Schätzwertes des Jahresmittelwertes der Radon-222- Aktivitätskonzentration aus einem Kurzzeit-Messwert.

Die Beiträge der Session Radioaktive Altlasten widmeten sich Japan (Bodenkontamination in Fukushima), Schweiz (Sanierung von Altdeponien mit radioaktiven Aushub), Deutschland (2 Projekte der Wismutsanierung

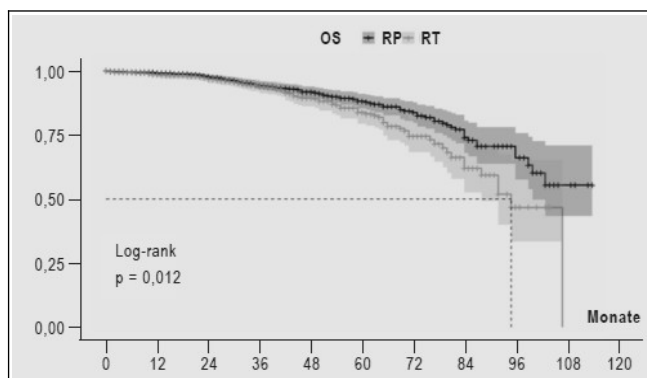
mit Umfängen der Strahlenschutzverbesserung) und Österreich (Bewertungskatalog für radiologische Bergbau-Altlasten). Die örtliche Lage der Altlasten lassen meist keine bestehenden Expositionssituationen entsprechend dem Referenzwert (1 mSv/a) der nationalen Strahlenschutzverordnungen zu. Sanierungsbegründungen und Altlastbewertungen gestalten sich dann schwierig, da sie mit dem Strahlenschutz für die Bevölkerung nicht rechtlich begründbar sind. Im Falle der Altdeponien in der Schweiz war folgerichtig der politische Wille maßgebend, die Deponien zu untersuchen und ggf. den radioaktiven Aushub zu entfernen. Letztlich landeten 15.000 m³ mit Radium kontaminierten Material im Bundeszwischenlager BZL auf einer Deponie. Maßgebliches Bewertungskriterium war die spezifische Aktivitäten von Ra-226 > 10 Bq/g.

Nuklearmedizin

Radiotherapien

Prostatakarzinom [1]

Das Karzinom gehört zu den am häufigsten auftretenden Krebserkrankungen. Zudem ist die Behandlungsentscheidung im fortgeschrittenen Stadium schwierig, Unterschiede der Wirksamkeit und der Nebenwirkungen abzuwägen. Vor allem wenn es um die totale Entfernung (radikale Prostatektomie - RP) oder Bestrahlung (Strahlentherapie - RT) geht. Komplexe statistische Auswertungen versuchen unter Einbindung des medizinischen Fortschrittes, für beide Behandlungsarten die Überlebenschancen zu vergleichen. Auf den ersten Blick liegt der chirurgische Totaleingriff RP vor der Bestrahlung. Der 50%- Wahrscheinlichkeit länger als 9 Jahre nach RP zu überleben stehen 8 Jahren bei RT gegenüber. RP-Patienten sind im Durchschnitt jünger (66 versus 74 Jahre) und die Einflussfaktoren sind sehr komplex. „Nach multivariater Adjustierung an Tumor- und Patientencharakteristika wurde jedoch kein Unterschied zwischen RP und RT mehr beobachtet.“



(Das OS im Diagramm steht für das Gesamtüberleben)

Schlussfolgerung: Die Daten ... zeigen, dass die onkologischen Ergebnisse nach Adjustierung für Patienten- und Tumoreigenschaften gleich effizient sind. Aktuell unterziehen sich Patienten mit ungünstigen Charakteristika/Hochrisikokarzinomen vermehrt einer RP.

Grundlegende Änderung bei Anwendung der adaptiven Radiotherapie [2]

Primäres Ziel einer adaptiven (angepassten) Strahlenbelastung ist die vollständige Tumorabdeckung mit der er-

forderlichen Strahlendosis bei paralleler Schonung der gesunden Organe. Bis dato wurde der Bestrahlungsplan zur patienten- und tumorspezifischen Anpassung zwischen den Behandlungssitzungen neu berechnet. Künftig soll eine Online-Anwendung breitere Anwendung finden, bei der während der Bestrahlung in Echtzeit optimiert wird. Zum Einsatz kommen Hybrid-Linearbeschleuniger mit integrierter Computer-, Magnetresonanzenz- oder Positronen-Emissions-Tomografie (CT, MRT, PET), die die Pläne an neue Informationen anpassen. In der Praxis sind bisher „... patientenrelevante Endpunkte einschließlich patientenberichteter Ergebnisse ... weitgehend nicht verfügbar. Um das Verfahren zu etablieren und validieren, sind multizentrische, randomisierte Studien an spezialisierten Zentren erforderlich.“

Optimierte Röntgenstrahlung in Gastroenterologie

Verfahren wie die endoskopische Röntgendurchleuchtung (ERCP) mit gleichzeitiger therapeutischer Intervention (z.B. Steinentfernung oder Stent-Implantation) oder das Applizieren von Röntgenkontrastmitteln (PTCP) verursachen Strahlenbelastungen, dargestellt als Dosisflächenprodukt. Der diagnostische Referenzwert ist seit 2022 auf 2.000 cGy/cm² festgelegt. Dieser wird bei ERCP je nach Interventionsumfang relativ schnell überschritten, während PTCP bei den meisten Untersuchungen ihn deutlich unterschreitet. Als Optimierungspotential kann neben Kompromissen für die Bildqualität die in [3] beschriebene Anpassung von Protokollen dienen sowie die Art und Weise der technischen Durchführung zur Reduzierung der schnell ausufernden und in der Praxis zu selten erfassten Strahlenbelastung.

F. L.

[1] Mike Wenzel u.a.: „Radikale Prostatektomie versus Strahlentherapie beim Prostatakarzinom“ Deutsches Ärzteblatt | Jg. 122 | Heft 18 | 5. September 2025

[2] Goda Kalinauskaitė u.a.: „Radiotherapie – Paradigmenwechsel zur echtzeitadaptiven Bestrahlung“ Deutsches Ärzteblatt | Jg. 122 | Heft 3 | 7. Februar 2025

[3] B. Szermerski, R. Frank, R. Döker, K. Komorowski, L. Geworski: „Optimierung der Strahlenexposition bei Anwendung von Röntgenstrahlung am Beispiel einer in der Gastroenterologie genutzten Röntgenanlage“, Medizinische Hochschule Hannover (Vortrag FS Jahrestagung 2025 in Chemnitz)

Current status of recycling and disposal of radioactive waste from the Fukushima Daiichi nuclear power plant disaster

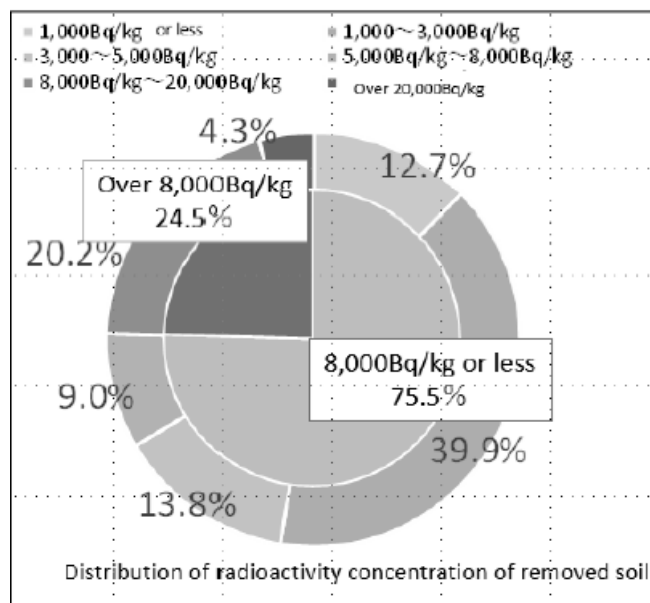
The discharge of treated, partially decontaminated cooling water is reported to have resumed on December 5, 2025. However, data tracking is not available on the IAEA website (unlike previous campaigns) [2]. This is the 17th batch of Advanced Liquid Processing System (ALPS)-treated water that the Tokyo Electric Power Company (TEPCO) is currently discharging. Since Japan began discharging ALPS-treated water in batches in August 2023, approximately 125,400 cubic meters (m³) of the approximately 1.3 million m³ of "stockpile" destined for disposal have been pumped into the ocean. Previous measurements confirm the 3-4 times higher loads with regard to reduced retention of radioactive substances, which is masked by enormous dilution. Is this the reason for the lack of real-time data for the current discharge batch?

The range of problems resulting from the long-term consequences of the 2011 reactor accident is, as is well known, not limited to the radioactive cooling and fire-fighting water used at the time. During the decontamination of land, buildings, and entire cities, enormous quantities of material were removed and deposited in numerous locations. By 2024, 13.79 million cubic meters of contaminated soil had been moved to an interim storage facility (ISF), which covers an area of 16 square kilometers across the cities of Okuma and Futaba. This was in addition to approximately 300,000 cubic meters of ash from the combustion of organic material. Following the nuclear disaster, soil contamination levels of up to 220 Bq/g were detected.

The interim storage facility is equipped with measuring devices and treatment plants for decontamination (e.g., an incineration plant).

"Based on the 1 mSv/a criterion, an intervention value of 8 Bq/g for Cs-137 was determined. Approximately 75% have a specific activity < 8 Bq/g and may be used directly in recycling projects. Approximately 25% exceed this 8 Bq/g criterion. For comparison: The German release value for Cs-137 for landfilling up to a maximum of 1000 Mg/a is also 8 Bq/g." [1] The following figure from [1] shows the current mass allocation of the interim storage facility, according to which one quarter still needs to be processed above 8 Bq/g.

It is currently estimated that only up to 100,000 m³ of radioactive waste should remain, requiring final disposal.



sal. Sorting, screening, cleaning, and ash residues would be 99% recycled and reused. It is intended to be used as subsoil in road construction and under farmland. A law was specifically created that now allows Tepco to *"...repurpose the soil both within and outside Fukushima Prefecture and to finally dispose of the remaining soil outside Fukushima Prefecture by 2045. ...75% with low radioactivity (is to be) used for engineering structures such as embankments for roads, railways, dams, waste treatment plants, coastal protection, agricultural land, and land reclamation."* [3]

The aforementioned 100,000 m³ of radioactive waste are to be disposed of by 2045 in a repository built specifically for this purpose. As in Germany, in Japan, final disposal is a state-run operation and financing responsibility.

The fuel elements have not yet been retrieved from the damaged reactors 1-3; this is expected to be completed by 2029. Testing of the necessary retrieval technology for the dismantling of the nuclear reactors themselves is only just beginning. Completion could be expected in 30 or 40 years. There are definite parallels to the dismantling of the Lubmin nuclear power plant (see p. 6).

[1] Presentation by J. Feinhals (Managing Director of the German Association for Radiation Protection) at the 2025 Annual Meeting of the German Association in Chemnitz

[2] IAEA Weekly Bulletin of December 5, 2025

[3] IAEA Weekly Bulletin of September 14, 2024

[4] IAEA Weekly Bulletin of December 12, 2025

In Fukushima's evacuation zone, experts, including some from Ukraine, are training for an effective nuclear emergency response.

In a formerly inhabited area of Fukushima Prefecture, workshop participants (emergency specialists) from Ukraine, Southeast Asia, and Australia are receiving instruction in field sampling techniques as part of an IAEA technical training course on radiological emergency monitoring. The Japanese Ministry of Foreign Affairs is funding the courses and prioritizing Ukrainian participation. The overall aim is to strengthen and build the resilience of authorities to nuclear disasters. The IAEA is particularly concerned with enhancing Ukraine's response capabilities in the event of nuclear and radiological emergencies. *"Participants received a mix of theoretical instruction and practical fieldwork in some of the worst-affected areas of Fukushima. This included radiation monitoring and environmental sampling at sites such as the former Kumamachi Elementary School in Okuma Town and Yasuragi-Sou, a community nursing home for the elderly in Namie Town – both unoccupied since the disaster. Under the guidance of trainers from the IAEA and the Australian Organisation for Nuclear Science and Technology, participants used backpack sensing systems, gamma spectrometers, and contamination monitors to collect and interpret data under real-world conditions."* [4] The training aimed to test participants' ability to operate under real-world stress conditions. They uploaded field data to a training platform and learned how to visualize and analyze results to make rapid decisions during a nuclear or radiological emergency. *"Training in a real-world environment – where radiation levels can be measured and emergency responses simulated – equips participants with skills they cannot acquire in a purely theoretical context."* [4] In particular, nuclear disasters are expected in Ukraine. The IAEA currently assesses the situation as follows: At the Zaporizhzhia Nuclear Power Plant and three other nuclear power plants in Ukraine, military activities are affecting the grid and external power supplies of the operating nuclear power plants, which has repeatedly necessitated reductions in the output of several reactors. These disturbances lead to fluctuating power outputs; temporary shutdowns and forced outages are the result. *"In several cases, the units were taken offline or operated at reduced capacity to maintain grid balance and prevent equipment damage following sudden protective measures."* [4]

F. L.