

EWN

Entsorgungswerk für
Nuklearanlagen



Pressespiegel

07.10.2022

Inhalt

EWN

1 Wie man Atomkraftwerke abreißt <i>spektrum.de, 04.10.2022</i>	3
2 Die Angst um den Atomkomplex <i>ZEIT ONLINE, 06.10.2022</i>	9

📄 spektrum.de | 04.10.2022

👤 Katja Maria Engel

🔗 WEBLINK

LANGWIERIGER RÜCKBAU

Wie man Atomkraftwerke abreißt

Es reicht nicht, ein Atomkraftwerk bloß abzuschalten. Der Rückbau ist immens aufwändig. Radioaktivität klebt an Oberflächen, sitzt in Ritzen und Spalten und sogar im Material selbst.

»Ganz vorsichtig«, sagt Jörg Meyer, reißt man ein Atomkraftwerk ab. Dann spricht der Nuklearexperte von brachialer Gewalt, vom Hämmern, Sägen, Meißeln, Aufstemmen, Strahlen, Schrubben und Ätzen. Denn allein ein Kernkraftwerk abzuschalten, reicht nicht. Man muss es zusammen mit seinem Inventar abbauen. Und das unter größtmöglichem Arbeitsschutz. An 30 Kernkraftwerken soll Anfang 2023 dieser Spagat zwischen Vorsicht und Gewaltakt gelingen.

Einige Betreiber haben mit dem Rückbau schon begonnen. Grundsätzlich klingt der Plan einfach. Als Erstes müssen die hochradioaktiven Brennelemente so weit abklingen, dass sie in Castoren verpackt in Zwischenlager transportiert werden können. Das dauert bis zu fünf Jahre. Dann wird das gesamte Kernkraftwerk abgebaut und abgerissen. Vorher allerdings messen die Betreiber die Radioaktivität sämtlicher Teile aus dem direkten Betrieb – dem Kontrollbereich. Alles aus diesem Bereich wird dafür in kleine handliche Stücke zerteilt – auch der Reaktordruckbehälter und das Gebäude selbst.

Vom Bürostuhl bis zu Elektromotoren, Kontrollständen, Kabeln, Generatoren, Regalen, Pumpen, alles muss in etwa 120 mal 80 Zentimeter große Boxen passen. Denn schlussendlich muss das gesamte Kernkraftwerk durch eine kleine Freimessanlage geschleust werden. Sie sieht aus wie ein Gepäckscanner auf dem Flughafen. Nur dass hier nicht auf Waffen oder Flüssigkeiten gescannt, sondern die restliche Radioaktivität gemessen wird. Oberflächlich anhaftende Kontamination wird zuvor aufwändig entfernt.

Das Kraftwerk wird zerkleinert

Hier wird dann die Entscheidung getroffen, wo der Abfall landet. Je nach verbleibender Strahlendosis sortiert man die Teile: fürs Endlager, für die Deponie, in

den Bauschutt oder fürs Recycling. Die Freigabe erteilen die Behörden. Was wo landet, folgt den Vorgaben des Zehn-Mikrosievert-Konzepts: Als nicht radioaktiv werden Materialien definiert, wenn die zusätzliche Dosis für Einzelpersonen in Deutschland unter zehn Mikrosievert bleibt.

Der Aufwand ist immens, denn ein Kernkraftwerk ist keine »Marmeladenfabrik«, sagt Jörg Meyer, verantwortlich für den Abriss des KKW Greifswald. Hier, ebenso wie in den anderen Anlagen, befinden sich radioaktive Flüssigkeiten in Rohrleitungen, sind gegen Betonwände gespritzt oder in Ritzen versickert. Auch radioaktiver Stahl erschwert die Arbeiten. Es ist ein Gewaltakt, der je nach Reaktorblock mehr als eine Milliarde Euro, aber auch das Doppelte, kosten kann und oft Jahrzehnte dauert – meist länger als geplant. Und eigentlich gibt es keinen Abrissplan. Nur einen Leitfaden, denn jeder Kraftwerkstyp ist an anderen Stellen und mit unterschiedlichen Stoffen kontaminiert.

Ist das KKW also einmal abgeschaltet, die Brennelemente fortgeschafft und die Stilllegung genehmigt, dann verwandelt sich ein Kernkraftwerk in seine eigene nukleare Abfallfabrik. Neue Dekontaminationsanlagen für die Mitarbeiter entstehen, Straßen werden gebaut, Wände für Durchgänge aufgestemmt oder neu errichtet, Lager aufgestellt, Aufzüge geplant und sichere Transportwege auf dem Gelände geschaffen. Denn alle Teile des Kraftwerkes durchlaufen dann das neu geschaffene Abfallbehandlungszentrum. Hier werden an mechanischen und chemischen Arbeitsstationen Metallteile gestrahlt, kleingesägt, thermisch oder chemisch behandelt, um die Kontaminationen an den Oberflächen loszuwerden. Dafür ist einiges an Platz erforderlich, der beim Bau des Atomkraftwerks nicht vorgesehen war.

Jeder Abriss ist ein Großversuch

Im KKW Greifswald in Lubmin ist der ausreichend vorhanden. Hier findet das weltweit größte Abrissvorhaben statt. Es sind gleich sechs Reaktorblöcke, die an der Ostseeküste wenige Kilometer vor der Urlaubsinsel Usedom stehen. Und es sind die ersten Atomkraftwerke, die abgerissen werden. »Wir standen als Pioniere da«, berichtet Jörg Meyer, zuständig in der Abteilung Technik für die Stilllegung der Druckwasserreaktoren sowjetischer Bauart. Fünf davon waren in Betrieb. Abgeschaltet wurden sie schon 1990, der Rückbau 1995 genehmigt.

Hier wird seit fast drei Jahrzehnten gestemmt, geschweißt, gestrahlt, geschrubbt, chemisch geätzt, thermisch behandelt, mit Wischlappen, Stemmeisen und Sandstrahlern hantiert oder reinigende Chemikalien durch Rohrleitungen mit kontaminiertem Inhalt gepumpt. Das sei Knochenarbeit, sagt Meyer, wenn die Arbeiter zwei Stunden unter Atemschutz arbeiten und sogar ein drittes Paar Handschuhe übergezogen hätten, um sich vor kontaminiertem Staub zu schützen. Und Spülwasser und Strahlmittel müssen dann auch selbst wieder gereinigt werden. Fertig sind sie in Lubmin noch lange nicht. Mal hieß es, 2028 sei der Rückbau fertig, jetzt sei es eher die »zweite Hälfte der 2030er Jahre«, sagt Kurt Radloff, Leiter der Pressestelle.

Die Pioniere in Lubmin haben einen Vorteil. Bevor sie anfangen, »ganz vorsichtig« alles zu zerkleinern, konnten sie üben. Zwei weitere Reaktoren dienten als »Modellmontage«, so Radloff, sie waren nie im Betrieb und sind daher nicht verstrahlt. Hier entwickeln die Fachleute Rückbautechniken. Sie versuchen, die richtige Reihenfolge beim Abbau zu finden, damit Verschmutzungen nicht verschleppt werden oder Stäube und Flüssigkeiten unkontrolliert in die Umwelt gelangen. Erst dann wagen sie sich an die radioaktiv verstrahlten Gebäude.

Doch bis heute gibt es stets aufs Neue Überraschungen. Im Film »Atomkraft forever« aus dem Jahr 2020 erhält Jörg Meyer einen Anruf von seinem Strahlenschutzmeister, der gerade mal wieder ein neues verstecktes Rohr mit kontaminierter Flüssigkeit entdeckt hat. »Der hat leuchtende Augen bekommen«, merkt Meyer trocken an. An manche Teile des Kernkraftwerks wagen sie sich allerdings bis heute nicht. Einige Reaktordruckbehälter sind so stark verstrahlt, dass sie komplett mit ihren Einbauten in Halle 7 lagern – einige davon werden sie erst Anfang der 2060er Jahre angehen können.

Der Rückbau ist auch Forschungsthema

Doch selbst wenn die Betreiber den Reaktordruckbehälter zerlegen können – wie zum Beispiel in Würgas-

sen an der Weser –, ist der Prozess kompliziert und meist Handarbeit. Hier zu arbeiten, ist am aufwändigsten, da die Neutronenstrahlung das Material bis in die Tiefe stark radioaktiv gemacht hat. Der Druckbehälter wird zum Schutz vor der Strahlung in einem Becken komplett mit Wasser geflutet. Um die Einbauten und den Druckbehälter zu zerlegen, steuern die Mitarbeiter vom Beckenrand aus die unterschiedlichsten Sägen und Schneidwerkzeuge.

Doch wie zerlegt man am sichersten, wie misst man am besten, wie am wirtschaftlichsten? Einige Betreiber sagen, sie haben dafür schon Lösungen gefunden. Die Lubminer hatten einen »Übungsreaktor«, und auch in Würgassen wurde vieles neu entwickelt. Forschungsbedarf gibt es aber immer noch, sagt Helena Möller. Als Leiterin des Fachgebiets Rückbauforschung beim Projektträger Gesellschaft für Anlagen- und Reaktorsicherheit (GRS) koordiniert sie die Umsetzung des Forschungsprogramms FORKA (Forschung für den Rückbau kerntechnischer Anlagen). Ihr Auftraggeber ist das BMBF, es fördert seit den 1980er Jahren Forschung zum Rückbau – und seit 2017 eben FORKA mit jährlich rund 8 Millionen Euro.

Gelder für Projekte, die neue Techniken für den Rückbau entwickeln, erhalten Betreiber, Universitäten, Unternehmen und Forschungsgesellschaften. Ein Problem ist, dass nur ein kleiner Teil der Arbeiten automatisiert ist. »Beim Rückbau erfolgen noch viele Arbeiten manuell«, erklärt Möller. Außerdem ist vieles bislang nicht Standard. Denn vollständig abgerissen sind in Deutschland bislang nur drei Prototypreaktoren. Ziel von FORKA ist es, die Sicherheit für die Mitarbeiter zu verbessern, die Effizienz und die Wirtschaftlichkeit zu erhöhen und die Menge an radioaktiven Reststoffen zu minimieren.

ROBBE (ROBotergestützte BEarbeitung von Baugruppen) heißt eines der Projekte. Ein Fraunhofer-Institut und RWE haben ein Verfahren entwickelt, um Menschen einen Teil der schweren Dekontaminationsarbeit von Bauteilen zu ersparen. Ein Roboter scannt automatisch die Form eines oberflächlich kontaminierten Stückes in einem geschützten Raum, um dann gezielt mit Ultrahochdruck-Wasserstrahltechnik anhaftende radioaktive Partikel zu entfernen. Ende 2022 soll ROBBE In Biblis eingesetzt werden.

Es dauert Jahrzehnte

Allein an diesem Standort werden 15 000 Tonnen beschichtete Stahlteile anfallen. In einem anderen Projekt namens AZURo wurde eine Unterwasser-Robotertechnik entwickelt, mit der Teile des gefluteten Reaktordruckbehälters fernüberwacht zerlegt werden können. Entgegen ersten Hoffnungen funktioniert

der Roboter allerdings nicht automatisch – Versuche in Brunsbüttel zeigten, dass viele Arbeitsschritte noch ferngesteuert erledigt werden müssen.

Nach 30 Jahren sind im KKW Greifswald die Gebäude in den Kontrollbereichen fast komplett ausgeräumt. »Jetzt kommt die Deko dran«, sagt Jörg Meyer – die Dekontamination des Gebäudebetons. Durch feine Öffnungen ist radioaktive Flüssigkeit in den Beton eingedrungen. »Man sollte es nicht für möglich halten, in welche Risse, Fugen und Löcher mit Wasser radioaktive Kontamination meterweit in die Tiefe gedrungen ist«, berichtet er. Und nicht nur oberflächlich, sagt Meyer, »da bauen wir in die Tiefe ab. Sprich mit dem Stemmhammer«. Denn, wenn das Gebäude einmal als Bauschutt enden soll, muss alles an Kontaminationen entfernt worden sein.

Das ehemalige KKW Würgassen hat die »Deko« schon hinter sich. Im Gebäudeinnern sieht es fast so aus wie in einer Art »Lost Place«. Der Leiter der Anlage, Markus Wentzke, und seine Mitarbeiter haben alles an Inventar entfernt. Dann maßen sie an jedem Fleck an der Oberfläche die Radioaktivität. Auf den Betonwänden sind noch die farbigen Buchstaben und Zahlen des Messrasters zu sehen. Die aufgerissenen Betonwände zeigen, wie die Arbeiter Spalten hineinhämmerten, um auch hier in der Tiefe zu messen.

Hunderttausende Tonnen Schrott

Viele große Löcher und Stolperstellen zeugen vom Abbruch von kontaminierten Betonstücken. Wentzke hat dafür die Wände abkratzen lassen und gefräst, Risse frei gelegt, Fugen frei gekratzt, in den Beton bohren lassen. Die Schienen der Gleise wurden entfernt, der metallene Trittschutz der Treppenstufen herausgebrochen, um auch unter dem Metall zu messen. In einem Tordurchgang ist der Beton bis auf die Stahlarmierung abgeschlagen. Markus Wentzke vermutet, dass hier vielleicht kontaminiertes Material gegengespritzt ist. Auch fand er einbetonierte Rohrleitungen mit radioaktivem Inhalt, die er sorgsam hat freibohren lassen.

Den Aufwand zeigen exemplarisch einige Zahlen. Insgesamt wurden in Würgassen 550 Räume dekontaminiert, 34 000 Materialproben untersucht und 196.000 Labormessungen im KKW durchgeführt. Auf dem Gelände lagern 363 000 Tonnen Material, 195 000 Tonnen wurden bereits auf Radioaktivität vermessen. Übrig geblieben sind 5 400 Tonnen schwach- und mittelradioaktiver Abfall, der noch im Trockenlager liegt.

Damit liegen sie in Würgassen etwas über dem Schnitt. Je Leichtwasserreaktor können rund 4000 Tonnen Abfall anfallen. Mit Verpackung sind das rund 5000 Ku-

bikmeter Abfallgebinde – zusätzlich zu den Brennelementen. Das ist so viel, wie in zwei olympische Schwimmbecken passt, und macht meist rund zwei bis drei Prozent des gesamten Abfalls aus. Doch alles ist letztendlich abhängig vom Reaktortyp und den »Überraschungen«. In Rheinsberg zum Beispiel ist die Menge höher, ein Reaktorblock kommt hier auf das Zehnfache mit 40 000 Tonnen radioaktivem Müll.

Auch wenn die neueren Kernkraftwerke weniger Zeit und Kosten brauchen und weniger Müll produzieren sollten, kommt einiges aus den 30 Reaktoren in Deutschland zusammen, die sich in den verschiedenen Stadien der Stilllegung befinden. Auch in Europa sind bald mehrere Anlagen fällig. Die insgesamt 183 KKW (Stand 2019) in Europa sind im Mittel 35 Jahre alt. Erst vier davon wurden vollständig stillgelegt, 104 sind »nur« abgeschaltet. Und nicht nur in der EU sieht Helena Möller einen Zukunftsmarkt für Rückbauunternehmen. Rückbaukompetenz aus Deutschland sei gefragt. »Das ist ein wachsender Markt. Die Anlagen altern ja überall auf der Welt«, und für viele gebe es auch noch gar kein Entsorgungskonzept.

Eine Welt voller alter Reaktoren

Denn auch der weltweite Atomkraftwerkspark beginnt zunehmend zu veralten. So sind Anfang 2022 laut der internationalen Atomenergie-Organisation IAEA auf der ganzen Welt 439 Kernkraftwerke mit einem Durchschnittsalter von 31 Jahren in Betrieb. Abgeschaltet wurden zwar schon 203, doch komplett stillgelegt sind bislang erst 20 Reaktoren.

Darunter fasst die IAEA aber auch kleinere Versuchs- und Demonstrationsreaktoren. In Russland etwa sind im April 2022 noch 8 RBMK-Reaktoren in Betrieb – der gleiche Typ wie der Unglücksreaktor von Tschernobyl, wenn auch mit nachträglichen Sicherheitsverbesserungen. Auch sie sollen einmal abgeschaltet werden. In Großbritannien sind Mitte 2022 insgesamt 34 Anlagen – teilweise auf Grund von Rissen im Graphitkern – früher als geplant vom Netz genommen worden. Dort wird nicht zurückgebaut, sondern erst mal sicher eingeschlossen – unter einem Namen wie von einer Pflegestation: »Care and Maintenance«.

Und dann beginnt das letzte Kapitel – Endlagerung für die radioaktiven Stoffe für eine Million Jahre. Bisher gibt es kein Endlager in Deutschland. Ein Standort für den hochradioaktiven Müll soll 2031 gefunden worden und ab 2050 betriebsbereit sein. 2080 soll die Einlagerung abgeschlossen sein. So lange liegen die hochradioaktiven Brennelemente in Castoren in Zwischenlagern. Wie auch die schwach- bis mittelradioaktiven Metallteile, die Betonbrocken, die Schaltplute, die Bürostühle, die nicht freigemessen wurden. Wenn

alles klappt, sollen sie irgendwann ab 2027 im Endlager Konrad bei Salzgitter eingelagert werden – »unter Berücksichtigung aktuell bewertbarer Ungewissheiten«, so das Umweltministerium.

»Beim Rückbau erfolgen noch viele Arbeiten manuell« Helena Möller, Leiterin des Fachgebiets Rückbauforschung an der GRS

Info: Wie Kontamination entsteht

Eine Form der radioaktiven Kontamination entsteht durch den direkten Kontakt des Kühlwassers mit den

Radionukliden im Reaktorkern. Durch Haarrisse treten meist Spaltprodukte wie Cäsium oder Strontium aus. Betroffen sind davon Pumpen oder Rohrleitungen, die Kontakt mit dem Wasser des Primärkreislaufs haben. Radionuklide, die sich durch die Luft oder durch ausfließendes Wasser ausbreiten, kontaminieren die Oberflächen des Gebäudes und der Anlagen. Der zweite Mechanismus ist die Aktivierung von Material selbst durch radioaktive Strahlung. Neutronen aus der Kernspaltung dringen durch den Druckbehälter hindurch und erzeugen je nach Material neue radioaktive Isotope im Beton oder in anderen Teilen.



© EWN ENTSORGUNGSWERK FÜR NUKLEARANLAGEN GMBH (AUSSCHNITT)

Metallteile im Freiscanner | Praktisch das gesamte Kernkraftwerk muss – in handliche Einzelteile zerlegt – in einem Scanner auf Radioaktivität getestet werden.



© EWN ENTSORGUNGSWERK FÜR NUKLEARANLAGEN GMBH (AUSSCHNITT)

Handarbeit | Ein Mitarbeiter dekontaminiert ein Metallteil des Kernkraftwerks Greifswald in Lubmin. Mit einem Hochdruckreiniger entfernt man oberflächlich anhaftende Radionuklide von Bauteilen.

AKW SAPORISCHSCHJA**Die Angst um den Atomkomplex****Russland hat das ukrainische Kraftwerk völkerrechtswidrig zu seinem Eigentum erklärt. Wie sicher ist es noch? Droht die nukleare Katastrophe? Die wichtigsten Antworten**

Seit Monaten steht das ukrainische Atomkraftwerk Saporischschja im Fokus des Kriegs. Die russische Armee hat die sechs Reaktoren am Ufer des Dnepr bereits im März erobert. Seitdem kontrollieren russische Soldaten den Atomkomplex, die Reaktoren selbst werden jedoch noch immer von ukrainischem AKW-Personal gesteuert. Nun hat Russland das Kraftwerk offiziell zu seinem Eigentum erklärt. Aber was bedeutet das? Droht damit eine weitere Zuspitzung der Lage? Und wie gut ist Europas größtes AKW gegen Störfälle gesichert? Die wichtigsten Fragen und Antworten.

Was ist bisher passiert?

Seit Monaten schauen Nuklearexperten mit Sorge nach Saporischschja. Schon bei der Eroberung der Anlage im März kam es zu Kämpfen in der Nähe der Reaktorblöcke, seitdem schlugen immer wieder Granaten und Raketen auf dem Gelände ein. Die Explosionen verletzten Mitarbeitende, trafen jedoch keine kritischen Teile des Kraftwerks. Dafür beschädigten sie Hochspannungsleitungen, was die Anlage zeitweise komplett vom Stromnetz trennte.

Es ist nicht klar, wer für den Beschuss verantwortlich ist – die Kriegsparteien beschuldigen sich gegenseitig. Eine Motivation, für Aufregung rund um das Atomkraftwerk zu sorgen, hätten wohl beide Seiten: Die Ukraine kann mit Warnungen vor einer Atomkatastrophe für weitere Unterstützung aus dem Westen werben. Und Russland kann damit für Angst und Verunsicherung sorgen und eine nukleare Eskalation letztlich als Druckmittel nutzen.

Anfang September hat eine Delegation der Internationalen Atomenergieorganisation IAEA das AKW inspiziert. Die Gutachter um Generaldirektor Rafael Grossi zeigten sich dabei besorgt über die Lage vor Ort, wie aus ihrem Untersuchungsbericht hervorgeht. Darin fordert die IAEA unter anderem eine Kampfverbotszone rund um das Kraftwerk – ansonsten drohten im schlimmsten Fall radioaktive Freisetzungen.

Die IAEA kritisiert auch die Situation der ukrainischen Mitarbeitenden des Kraftwerks, Anfang September waren noch rund 900 von ihnen im Einsatz. Die

Männer und Frauen seien wegen der ständigen Präsenz russischer Soldaten unter großem Druck. Zudem fehlte schon damals ein Viertel der Belegschaft, was die Arbeit für die verbleibenden Teams zusätzlich erschwerte. Immerhin funktionieren laut IAEA alle Sicherheitssysteme der Anlage.

Was ändert sich durch Russlands Annexion des Kraftwerks?

Auf den ersten Blick ist es nur eine Formalie: Die russische Regierung erklärt per Dekret, dass eine neu gegründete russische Firma von nun an für den Betrieb des AKW Saporischschja zuständig sei. Wahrscheinlich handelt es sich wie im Fall der Scheinreferenden in den besetzten Gebieten um einen Versuch Putins, Tatsachen zu schaffen – und sich im Fall einer ukrainischen Gegenoffensive als Verteidiger inszenieren zu können.

Die Erklärung stellt aber nicht nur einen Bruch des Völkerrechts dar, schließlich befindet sich das Atomkraftwerk nach wie vor auf ukrainischem Boden und ist Eigentum der Ukraine. Es bringt das Atomkraftwerk und Russland auch in eine ungünstige Lage, womöglich, ohne dass man sich dessen im Kreml bewusst ist.

Denn derzeit ist das Atomkraftwerk nur mit dem ukrainischen Stromnetz verbunden. Zwar führen auch drei Hochspannungsleitungen in russisch kontrollierte Gebiete, einmal zur Krim und zweimal in Richtung Donbass. Doch diese Stromadern sind seit Langem unterbrochen und/oder schwerbeschädigt. Einzig den Strang nach Norden und Ersatzleitungen zu einem na-

he gelegenen Wärmekraftwerk hat man in den letzten Wochen teils wieder reparieren können, nachdem Granatenbeschuss die Leitungen unterbrochen hatte.

Damit liegt die äußere Stromversorgung der Anlage nun vollständig in der Hand der Ukraine. Würde einer der sechs Reaktoren noch laufen, wäre das aus russischer Sicht wohl zu verschmerzen: Laufende Atomkraftwerke können den Strom, den sie zur Kühlung brauchen, selbst herstellen – so lief es vorübergehend im September, Fachleute sprechen von "Inselbetrieb".

Doch ist ein Kraftwerk, so wie derzeit in Saporischschja, komplett heruntergefahren worden, geht das nicht mehr; dann ist Strom von außen nötig. Schließlich müssen die Reaktorkerne weiter gekühlt werden, da sie auch Wochen und Monate nach dem Abschalten noch große Mengen Wärme produzieren.

Sollte die Ukraine nun also die Stromleitungen nach Norden kappen, wäre die Anlage auf Notstromgeneratoren angewiesen. Zwar könnte Russland das Kraftwerk an sein eigenes Stromnetz anschließen. Dafür müsste man aber nicht nur die Leitungen in die russisch kontrollierten Gebiete reparieren. Man müsste die Anlage und die Stromnetze der Region auch mit dem russischen Netz synchronisieren, dessen Hochspannungsleitungen andere Spannungen und Frequenzen nutzen. Experten schätzen, dass die Umstellung Monate dauern könnte – ein zu langer Zeitraum, um ihn nur mit Notstromaggregaten zu überbrücken.

Offen ist auch, wer das Kraftwerk von nun an steuern wird. Momentan sitzen offenbar noch Ukrainerinnen und Ukrainer in den Kontrollräumen, die Medienberichten zufolge teils von russischen Soldaten misshandelt werden. Sollten sie irgendwann fliehen oder kollektiv die Arbeit verweigern, könnte Russland wohl auf eigene Fachleute zurückgreifen.

Die Reaktoren in Saporischschja stammen aus Russland, in der russischen Stadt Balakowo betreibt das Land sogar eine fast baugleiche Schwesteranlage. Und laut IAEA halten sich bereits russische Atomexperten in Saporischschja auf. Doch da jedes Atomkraftwerk seine Eigenheiten hat, wäre ein kompletter Austausch der Kontrollmannschaft vermutlich mit Schwierigkeiten verbunden.

Wie gefährlich sind die Kämpfe rund um die Anlage?

Die Wahrscheinlichkeit für ein Unglück hat durch die Kämpfe zweifellos zugenommen. Sie ist jedoch nach wie vor gering, betonen Fachleute. "Wir sind sehr, sehr weit von einem radioaktiven Unfall entfernt", sagte etwa Sebastian Stransky von der Gesellschaft für

Anlagen- und Reaktorsicherheit (GRS) im September im ZDF.

Stransky ist Experte für osteuropäische Nuklearanlagen und kann seine Einschätzung schlüssig begründen: Die sechs Reaktoren in Saporischschja umgibt eine eineinhalb Meter dicke Hülle aus Stahlbeton, die dem Absturz eines Kleinflugzeugs standhalten kann. Und selbst wenn es gelänge, ein Loch in diesen Sicherheitsbehälter zu schießen, käme es nicht gleich zu einer Reaktorkatastrophe. Dazu müsste man auch gezielt die Leitungen und Stahlgefäße tief im Inneren der riesigen Gebäude beschädigen.

In den vergangenen Monaten wirkte es nicht so, als lege es eine der Kriegsparteien darauf an. Keiner der bisherigen Granateinschläge hat eines der eigentlichen Reaktorgebäude beschädigt. Eher schien es bei dem Beschuss darum zu gehen, die Stromleitungen und Umspannwerke rund um das Kraftwerk zu treffen.

Dennoch könnte es durch die Kämpfe früher oder später zu kleineren Zwischenfällen kommen. So könnte eine Granate Rohre des Kühlsystems zwischen Reaktorgebäude und Turbinenhalle treffen, was hastige Reparaturen erfordern würde. Auch Trockenlager für altes Brennmaterial könnten Schaden nehmen. Im schlimmsten Fall würden dabei radioaktive Partikel durch die Luft geschleudert. Damit würde die Strahlenbelastung vor Ort ansteigen. Das Umland der Anlage oder gar Nachbarländer wären in diesem Fall aber nicht betroffen.

Wann droht eine nukleare Katastrophe?

Fällt die Kühlung eines Atomkraftwerks für längere Zeit aus, droht im Worst Case eine Situation wie 2011 in Fukushima. Damals zerstörte ein schweres Erdbeben Stromleitungen und Zufahrtswege der japanischen Anlage, ein Tsunami überflutete außerdem die Notstromgeneratoren. In drei Reaktoren kam es daraufhin zu einer Kernschmelze. Außerdem bildete sich Knallgas in den oberen Stockwerken der Reaktorgebäude, die schließlich explodierten.

Die AKW in der Ukraine sind vergleichsweise gut gegen solch ein Szenario gesichert. Das Land hat freiwillig am EU-Stresstest nach Fukushima teilgenommen. In Saporischschja hat man daraufhin Sicherheitssysteme nachgerüstet, etwa zusätzliche mobile Notstromgeneratoren und Wasserpumpen, die bei einem Blackout die Reaktoren mit Kühlwasser versorgen könnten.

Anfang September gab es in Saporischschja laut IAEA 20 Notstromgeneratoren sowie gut 2.000 Tonnen an Dieselvorräten – genug, um jeden der Generatoren für zehn Tage am Laufen zu halten. Mitte September

traf außerdem ein Hilfskonvoi mit weiterem Treibstoff und Ersatzteilen ein. Würde die Anlage komplett vom Stromnetz getrennt, würde die Situation also wohl nach einigen Wochen bedenklich werden.

Die Frage ist, ob eine der Seiten wirklich ein Interesse daran hat. Die Ukraine könnte zwar derzeit dem Atomkraftwerk den Saft abdrehen und damit eine Zuspitzung der Lage erzwingen. Allerdings würde sie damit nicht nur ihre eigenen Mitarbeitenden gefährden, sondern im Zweifel auch die eigene Bevölkerung.

Kann es gar zu einem zweiten Tschernobyl kommen?

Nein. Davor wird zwar immer wieder gewarnt, Fachleute halten den Vergleich aber für unglücklich. "Tschernobyl war wegen seiner veralteten Reaktortypen ein Sonderfall", sagte etwa der Nuklearexperte Wolfgang Raskob bereits im August im Gespräch mit ZEIT ONLINE. Bei dem sowjetischen Unglücksreaktor fehlte etwa jene Hülle aus Stahlbeton, die heutige Reaktoren umgibt. Daher konnte der havarierte Reaktor von Tschernobyl tagelang unter offenem Himmel brennen und radioaktiven Rauch über halb Europa verteilen – bis es mit Helikoptern gelang, die strahlende Glut zuzuschütten.

Hinzu kamen andere Konstruktionsfehler. Beispielsweise waren die Brennstäbe in Tschernobyl von Blöcken aus Grafit umgeben. Das Material bremst Neutronen aus der Kernspaltung so weit ab, dass sie andere Atomkerne spalten können; ohne einen solchen Moderator kommt es in Reaktoren zu keiner Kettenreaktion. In heutigen Meilern übernimmt diesen Part Wasser, aus gutem Grund: Grafit kann sich leicht entzünden und dann ausgiebig brennen, wie man in Tschernobyl gesehen hat.

Damals setzte der Reaktor für einen Moment das Zehnfache der Energie frei, für die er ausgelegt war. Kühlwasser verdampfte explosionsartig und sprengte ein riesiges Loch in das Dach des Gebäudes. Das Ganze war eigentlich als Sicherheitstest gedacht, bei dem die schlecht vorbereitete Nachtschicht bewusst die Kühlsysteme abschaltete – ohne zu ahnen, welche Folgen das haben würde.

Heute weiß man es besser und würde etwas Vergleichbares nicht wiederholen, die damaligen Designfehler bestehen bei heutigen Reaktoren nicht mehr. Auch von der stillgelegten Atomanlage in Tschernobyl geht keine akute Gefahr mehr aus, da hier der letzte der vier Reaktorblöcke vor 22 Jahren vom Netz ging.

Ist ein Atomkraftwerk genauso gefährlich wie eine Atombombe?

Nein. Zwar basieren sowohl Bombe als auch Kraftwerk auf dem Prinzip der Kernspaltung. Aber nur die Bombe ist so konstruiert, dass sich die nukleare Kettenreaktion dort in kürzester Zeit maximal ausweitet: Binnen einer Millionstelsekunde verpufft das komplette Spaltmaterial zu einem Millionen Grad heißen Gas. Die Sprengkraft ist dann so gewaltig wie die von Zehntausenden Tonnen TNT – genug, um eine ganze Stadt zu vernichten, wie die Welt seit Hiroshima und Nagasaki weiß.

In Atomreaktoren kann eine nukleare Kettenreaktion nicht derart eskalieren. Denn nur ein kleiner Teil der Uran-Atomkerne in ihren Brennstäben lässt sich überhaupt spalten. Atombomben hingegen bestehen zum Großteil aus "angereichertem" Material, in dem der Anteil spaltbarer Atome mit großem Aufwand erhöht wurde.

Folglich handelte es sich weder in Tschernobyl noch in Fukushima um Nuklearexplosionen. In den japanischen Unglücksreaktoren bildete sich während der Kernschmelze durch eine chemische Reaktion Knallgas. Und in Tschernobyl ließ der stark übertourig laufende Reaktor das Kühlwasser explosionsartig verdampfen.

Schätzungen zufolge erreichte der Knall von Tschernobyl die Sprengkraft von zehn Tonnen TNT. Das war genug, um das Reaktorgebäude zu sprengen. Aber es war nicht vergleichbar mit einer Atombombe. Die von Hiroshima etwa detonierte mit tausendfach stärkerer Wucht, moderne Sprengköpfe bringen es gar auf das Zehn- oder Hunderttausendfache. Sie setzen dafür neben der Kernspaltung auch auf Kernfusion, also das Verschmelzen von leichten Atomkernen, was der Explosion noch mal einen erheblichen Schub gibt.

Wie gefährlich ist eigentlich Strahlung?

Nicht so gefährlich, wie viele Menschen denken. Prinzipiell kann Strahlung, wie sie radioaktive Atomkerne beim Zerfall abgeben, zwar Krebs auslösen. Das Risiko dafür wächst aber erst bei hohen Strahlendosen so weit an, dass es statistisch messbar wird. Bis dahin gilt: Andere Faktoren, etwa Zigaretten, Alkohol und der sonstige Lebensstil, bergen ein viel höheres Risiko.

Das weiß man seit den Atombombenabwürfen über Hiroshima und Nagasaki. Forschende untersuchten zwischen 1950 und 1997 rund 86.000 Überlebende, die zum Teil stark verstrahlt worden waren. Gut 9.000 starben an Krebs. Aber nur für fünf Prozent davon war nach Einschätzung der Experten Strahlung verantwortlich – schließlich entwickelt auch ohne Nuklearkatastrophe ein gewisser Teil der Bevölkerung Tumore.

Forschende geben Strahlenbelastung gerne in der Maßeinheit Millisievert an. Pro Jahr bekommen Menschen in Deutschland durchschnittlich zwei Millisievert ab. Verantwortlich sind neben Strahlung aus dem Weltall vereinzelte radioaktive Atome im Boden, die ein natürlicher Bestandteil der Erdkruste sind. Auch unser Essen trägt dazu bei. Bananen etwa enthalten winzige Mengen radioaktives Kalium.

Erst ab einer Jahresdosis von 100 Millisievert führt Strahlung zu einer klar messbaren Zunahme des Krebsrisikos. Laut Bundesamt für Strahlenschutz tritt bei dieser Dosis ein Prozent mehr Krebsfälle auf. Das heißt nicht, dass Strahlung geringer Dosis völlig unbedenklich ist. Wie bei vielen anderen Umweltgiften kann auch eine geringere Menge Krebs auslösen. Aber meistens bleiben solche Folgen eben aus, da unser Körper Schäden am Erbgut rechtzeitig repariert.

Diese Überlegungen helfen dabei, die Gefahr durch Atomkraftwerke besser einzuschätzen: In Fukushima waren etwa nur ein paar Hundert Menschen einer Strahlenbelastung von mehr als 100 Millisievert ausgesetzt, vor allem Arbeiter auf der Anlage. Die allermeisten Anwohner wurden hingegen deutlich weniger bestrahlt – auch deshalb, weil es rechtzeitig gelang, die betroffenen Gebiete zu evakuieren. Entsprechend geht das zuständige UN-Expertengremium nur von wenigen strahlungsbedingten Krebsfällen in der japanischen Präfektur aus.

Etwas anders sieht es in Tschernobyl aus. Dort entwich zehnmal so viel radioaktives Material wie in Fukushima. Und die sowjetischen Behörden sahen 1986 lange davon ab, Ortschaften zu räumen und vor dem Verzehr kontaminierter Lebensmittel zu warnen – etwa der Milch von Kühen, die auf verstrahlten Wiesen

weideten. Rund 7.000 Kinder entwickelten daraufhin Schilddrüsenkrebs, der sich zumindest in den allermeisten Fällen behandeln ließ.

Auch bei den 187.000 Arbeitern, die 1986 den brennenden Reaktor zuschütten mussten, dürfte die Strahlung mittlerweile zusätzliche Krebsfälle verursacht haben, sie bekamen im Durchschnitt eine Strahlenbelastung von 187 Millisievert ab. Anders als in Fukushima starben in Tschernobyl auch ganz unmittelbar Menschen an den Folgen von Radioaktivität: Etwa 30 Arbeiter und Feuerwehrleute wurden am offenen Reaktorkern so stark bestrahlt, dass sie kurz darauf starben. Dies geschieht ab einer Belastung von mehreren Tausend Millisievert.

Atomkritische Gruppen kommen auf Basis von Hochrechnungen teils auf deutlich höhere Opferzahlen. Die meisten Wissenschaftler halten diese Schätzungen jedoch für methodisch fragwürdig. Generell ist es bei der Diskussion um die Folgen von Reaktorkatastrophen sehr schwierig, die sozialen Folgen von denen der Strahlung zu trennen. Tschernobyl und Fukushima waren für Teile der Bevölkerung traumatische Ereignisse. Nicht wenige Menschen fühlen sich seitdem entwurzelt, kämpfen mit psychischen Problemen und leben ungesünder – Faktoren, die das Krebsrisiko beeinflussen können.

Man kann die Diskussion um die Strahlenfolgen daher für akademisch halten, schließlich verursachen Reaktorkatastrophen ganz reales Leid, losgelöst von der Strahlung (Lancet: Hasegawa et al., 2015). Aber ein Blick auf die Zahlen kann die Angst nehmen, die viele fast schon instinktiv beim Gedanken an Radioaktivität befällt – selbst wenn es um ein Atomkraftwerk in mehr als tausend Kilometern Entfernung geht.