

Kernkraft und Krieg

Kein ziviles Kernkraftwerk der Welt ist für den Betrieb während eines Krieges ausgelegt. Die nukleare Sicherheit und Gefahrenabwehr hängen von der Einhaltung eines komplexen Regelwerks, laufenden Inspektionen und Wartungsarbeiten sowie von der Verfügbarkeit qualifizierter Arbeitskräfte ab, die diese Aufgaben ausführen. Nichts davon ist in der Ukraine gewährleistet, seit Russland einen umfassenden Krieg gegen ein Land mit 15 Kernreaktoren entfesselt hat.

Schwachstellen von Reaktoren und Abklingbecken

Beim Betrieb eines jeden Kernkraftwerks muss stets die Beherrschung der Kritikalität, eine ausreichende Kühlung und die Unversehrtheit des Sicherheitsbehälters für alle radioaktiven Stoffe gewährleistet sein. Kernreaktoren arbeiten nach dem Prinzip der kontrollierten Kernspaltung. Wird ein Reaktor hochgefahren, wird er „kritisch“ und die Spaltungsreaktionen beginnen Wärme zu erzeugen. Die Kritikalität muss immer unter Kontrolle sein. Dazu werden entweder sogenannte Steuerstäbe verwendet, die in den Reaktorkern eingeführt werden, oder chemische Mittel, z. B. boriertes Wasser, das Neutronen absorbiert und den Spaltungsprozess verlangsamen kann. Der Prozess findet in den meisten Reaktortypen in einem Druckbehälter statt. Da die Kernreaktionen ein hohes Maß an Radioaktivität erzeugen, ist es enorm wichtig, die Biosphäre stets vor dem Austritt radioaktiver Strahlung zu schützen. Dafür sorgen vier Barrieren: der Brennstoff in Form von stabilen Pellets, die Brennstoffhülle, der Druckbehälter und die Rohre des primären Kühlkreislaufs sowie ein stahlverstärktes Containment aus Beton.

Die Sicherheit eines Kernkraftwerks hängt stark von der durchgehenden Funktion der Kühlsysteme ab, die die Zerfallswärme aus dem Reaktorkern und dem Abklingbecken ableiten, selbst wenn der Reaktor abgeschaltet ist. Unmittelbar nach der Abschaltung erzeugt ein Reaktorkern noch etwa 7 Prozent der thermischen Nennleistung. Die Zerfallswärme nimmt mit der Zeit ab, zunächst schnell, dann langsam. Nach einem Tag beträgt die Restwärme noch etwa 0,5 Prozent (beachtliche 15 Megawatt Wärme (MWth) bei

einem typischen Reaktor mit 1.000 Megawatt elektrisch (MWe), was 3.000 MWth entspricht) und nach 10 Tagen noch die Hälfte dieses Wertes.

Der Kühlbedarf beschränkt sich nicht nur auf den Brennstoff im Kern. Sobald die Brennelemente verbraucht sind, werden sie aus dem Reaktorkern entnommen und in ein mit Wasser gefülltes Becken transferiert. Dieser Transfer muss in den ersten drei Jahren nach der Entnahme aus einem in Betrieb befindlichen Reaktorkern kontinuierlich unter Kühlwasser erfolgen, um ein sofortiges Schmelzen aufgrund der Restwärme zu vermeiden. Wie bei den Brennelementen im Reaktordruckbehälter muss die Restwärme permanent aus dem Becken abgeführt werden, um eine Überhitzung des Brennstoffs zu verhindern. Wird der Brennstoff im Kern nicht gekühlt, kann es innerhalb von etwa einer Stunde zu einem Unfall in Form einer Kernschmelze kommen. Ein Kühlausfall im Abklingbecken kann zur Verdampfung des Kühlwassers führen. Abgebrannte Brennelemente, die nicht mehr vom Wasser bedeckt sind, überhitzen, was zur Folge haben kann, dass der Brennstoff schmilzt und Radioisotope freigesetzt werden. Außerdem kann die mögliche chemische Interaktion von heißen Brennstoffhüllen mit Dampf zu Wasserstoffexplosionen im Gebäude des Abklingbeckens führen, was dessen Zerstörung und die Freisetzung großer Mengen an Radioaktivität in die Umwelt zur Folge hätte. Wie lange es dauert, bis ein Schaden an den Brennelementen eintritt, hängt von der Kühlzeit vor dem Ereignis, dem Brennstoffabbrand, dem Wasserstand im Abklingbecken und der Dichte der abgebrannten Brennelemente ab und kann zwischen einigen Tagen und einigen Monaten betragen.

Daher müssen *immer* effektive Kühlketten aufrechterhalten werden, um Restwärme aus dem Reaktorkern und aus dem Abklingbecken abzuleiten.

Bewaffnete Konflikte bringen unmittelbare technische Herausforderungen für die nukleare Sicherheit mit sich. Doch auch die Durchsetzung des Kriegsrechts, das Autorität und Handlungsspielraum von Aufsichtsbehörden und Betreibern einschränkt, führt zu rechtlichen und organisatorischen Problemen wie Personalknappheit.

Stromversorgung und Kollateralschäden in Kriegszeiten

Einige Länder sind stark von Kernenergie abhängig. 2023 erzeugten neun Länder, alle in Europa, über ein Drittel ihres Stroms mit Kernenergie.¹ Bei zwei Ländern, Frankreich und der Slowakei, waren es über 50 Prozent. Je höher der Anteil der Kernenergie, desto schwieriger wird es, im Kriegsfall alle Reaktoren vorsorglich abzuschalten.

Der Aggressor könnte das Ziel haben, die Stromversorgung des angegriffenen Landes kurzfristig zu unterbrechen, er könnte sie aber auch längerfristig aufrechterhalten wollen, falls er beabsichtigt, die angegriffenen Gebiete zu besetzen. Außerdem könnte der Angreifer die potenzielle Zerstörung auch zu Erpressungszwecken einsetzen, da das Land, in dem sich die Kernkraftwerke befinden, ein offensichtliches Interesse daran hat, die öffentliche Gesundheit und die Umwelt zu schützen.

Unabhängig davon, ob eine militärische Absicht zur Besetzung, Rückeroberung oder Zerstörung eines Kernkraftwerks besteht, kann es unbeabsichtigte Ereignisse und Faktoren geben, die Auswirkungen auf die nukleare Sicherheit und Gefahrenabwehr haben:

- unbeabsichtigte Treffer aufgrund mangelnder Präzision der Waffensysteme,
- Kollateralschäden während einer Militärkampagne,
- mangelndes Wissen der Kriegsparteien über die sicherheitsrelevanten Teile eines Kernkraftwerks,
- Außerachtlassung der nuklearen Sicherheit in einer akuten Kampfsituation,
- Verwendung des Kraftwerks als Schutzschild und seine Verwandlung in eine uneinnehmbare Festung.

¹ Das ist in der Ukraine nicht anders. Die ukrainischen Behörden veröffentlichen seit 2021, als der Anteil der Kernenergie bei 55 Prozent lag, keine Produktionsdaten mehr. Es ist jedoch wahrscheinlich, dass 2023 über ein Drittel der Energie des Landes mit Kernenergie erzeugt wurde.

Spezifische Schwachstellen von Kernkraftwerken

Kernkraftwerke sind sehr komplexe Industrieanlagen. Wie sicher ihr Betrieb ist, hängt von der Stabilität des technischen, menschlichen, regulatorischen, politischen und wirtschaftlichen Umfelds ab. Bei bisherigen Studien zur nuklearen Sicherheit wurde eine solche Stabilität als gegeben vorausgesetzt. Doch in Kriegssituationen zeigt sich eine Reihe von Schwachstellen:

- Viele wichtige Sicherheitssysteme wie Elemente lebenswichtiger Kühlketten, große Teile der Stromversorgung, Transformatoren, dieselbetriebene Notstromgeneratoren, Generatorkraftstoff, Schaltanlagen und Kontrollräume sind in traditionellen, bunkerlosen Industriegebäuden untergebracht.
- Eine stabile Verbindung mit dem Stromnetz ist die wichtigste Voraussetzung für die Stromversorgung. Diese ist in der Ukraine derzeit nicht gegeben. Das Kernkraftwerk in Saporischschja mit sechs Reaktoren, das seit März 2022 vom russischen Militär besetzt ist, war mehrfach von der Stromversorgung abgeschnitten.
- Bei einem Netzausfall können Notstromgeneratoren für kurze Zeit (d. h. einige Tage) den Mindeststrom liefern, der zur Aufrechterhaltung der Kühlsysteme notwendig ist, aber sie sind nicht für längere Betriebszeiten ausgelegt.
- Da ein abgeschalteter Kernreaktor mit Dieselgeneratoren nicht wieder hochgefahren werden kann, ist für die Wiederaufnahme des Betriebs eine Netzanbindung notwendig.²
- Elektronische Kriegsführung, indem z. B. GPS-Signale gestört werden, wird in bewaffneten Konflikten sehr häufig eingesetzt. Elektronische Störungen können wichtige Sicherheitsfunktionen von Leit- und Steuerungssystemen beeinträchtigen.

Sicherheitsrelevante Infrastruktur

Eine aufrechte Kühlkapazität ist für die nukleare Sicherheit ebenso wichtig wie eine zuverlässige Stromversorgung.

² Mycle Schneider et al., „The World Nuclear Industry Status Report 2022“, Oktober 2022, S. 29, siehe worldnuclearreport.org/-World-Nuclear-Industry-Status-Report-2022-.html.

Eine Unterbrechung der Rohrleitungen, die Zerstörung der Verbindungen zur letzten Wärmesenke oder durch Trümmer blockierte Pumpeneinlässe würde die Kühlkapazität gefährden. Es gibt aber auch viele andere Bedingungen, die für die nukleare Sicherheit wichtig sind:

- Ein freier Straßenzugang ist für Schichtwechsel, die Lieferung von Ersatzteilen, externes Personal und Notfalldienste wie die Feuerwehr unerlässlich.
- Reaktorbetreiber, die im Betrieb einer bestimmten Anlage geschult sind, können nicht einfach durch Betreiber von anderen Anlagen ersetzt werden, auch nicht durch solche aus einemangreifenden Land.
- Unter Kriegsbedingungen sind die Mitarbeitenden möglicherweise unsicher, ob sie das Werk am Ende der Schicht verlassen können und, falls ja, ob sie ihre Familienangehörigen und Freunde bei der Rückkehr nach Hause noch lebend vorfinden – Unsicherheitsfaktoren, die den Stresspegel erhöhen.
- Der Betrieb eines Kernkraftwerks in Notsituationen unter Androhung von Waffengewalt könnte selbst Standardsicherheitsverfahren außer Kraft setzen, z. B. wenn aufgrund der Zerstörung konventioneller Kraftwerke dringend Strom benötigt wird.
- Den Mitarbeitenden würden in einem solchen Fall vermutlich ihre üblichen Kommunikationsmittel wie Mobiltelefone vorenthalten werden, was ihre Fähigkeit einschränken würde, sich mit Kollegen, Vorgesetzten und Aufsichtsbehörden auszutauschen und zu koordinieren.
- Regelmäßige Wartung ist unerlässlich. Dies beinhaltet Lieferung und Installation von Ersatzteilen, die möglicherweise bei ausländischen Lieferanten bestellt werden müssen.
- An jährlichen Revisionen sind in der Regel zahlreiche Subunternehmen beteiligt. Diese würden oder könnten ihre Mitarbeitenden möglicherweise nicht in ein Kriegsgebiet oder zu einem besetzten Kernkraftwerk entsenden.
- Inspektionen durch die staatliche Aufsichtsbehörde oder andere Dritte sind ein wesentlicher Bestandteil des Sicherheitskonzepts. Sie werden unter kriegsähnlichen Bedingungen nicht durchgeführt.
- Internationale Organisationen wie die IAEA haben nach internationalem Recht bestimmte Inspektionsrechte. Diese würden vermutlich nicht ausgeübt werden, zumindest nicht zu den üblichen Bedingungen. Die Ukraine ist dafür ein aktuelles Beispiel.

Erstellt: 2024