

Russische Angriffe auf das ukrainische Stromnetz gefährden nukleare Sicherheit aller laufenden Atomreaktoren in der Ukraine

Eine deutsche Übersetzung und Zusammenfassung der Analyse von Greenpeace Ukraine

Russische Angriffe auf das ukrainische Stromnetz gefährden nukleare Sicherheit aller laufenden Atomreaktoren in der Ukraine

Eine deutsche Übersetzung und Zusammenfassung der Analyse von Greenpeace Ukraine

► <https://www.greenpeace.de/publikationen/risk-of-unprecedented-nuclear-disaster-if-russias-attacks-on-ukraines-electricity>

Kein Geld von Industrie und Staat

Greenpeace arbeitet international und kämpft mit gewaltfreien Aktionen für den Schutz der Lebensgrundlagen. Unser Ziel ist es, Umweltzerstörung zu verhindern, Verhaltensweisen zu ändern und Lösungen durchzusetzen. Greenpeace ist überparteilich und völlig unabhängig von Politik und Wirtschaft. Rund 620.000 Fördermitglieder in Deutschland spenden an Greenpeace und gewährleisten damit unsere tägliche Arbeit zum Schutz der Umwelt, der Völkerverständigung und des Friedens.

Impressum

Greenpeace e.V. Hongkongstraße 10, 20457 Hamburg, T 040 30618-0 **Pressestelle** T 040 30618-340, F 040 30618-340, presse@greenpeace.de, greenpeace.de **Politische Vertretung Berlin** Marienstraße 19–20, 10117 Berlin, T 030 308899-0 **V.i.S.d.P.** Heinz Smital **Titelfoto** © Viacheslav Ratynskyi / REUTERS / dpa / pa (Ausschnitt) **Stand** 10 / 2024

Einführung

Die nukleare Sicherheitskrise in der Ukraine tritt in eine besonders gefährliche Phase ein. Russland hat die Energieinfrastruktur der Ukraine mit militärischen Angriffen ins Visier genommen, darunter ihre Stromerzeugungskapazität und Umspannwerke. Als direkte Folge dieser Angriffe wurde das nationale Stromnetz der Ukraine auf beispiellose Weise beschädigt und geschwächt. Zweieinhalb Jahre nach Russlands groß angelegter Invasion in der Ukraine, der Besetzung von Tschornobyl im Februar 2022 sowie dem Angriff und der anhaltenden, rechtswidrigen Besetzung der sechs Reaktoren im Atomkraftwerk Saporischschja im März 2022, sind die insgesamt neun laufenden Reaktoren in Riwnne, Chmelnyzkyj und der Südukraine aktuell besonders bedroht. Bei einem Zusammenbruch der Stromnetze besteht die Gefahr, dass die noch laufenden AKWs nicht mehr mit Strom versorgt werden können, was zu Kernschmelzen und der Freisetzung großer Mengen an Radioaktivität durch mehrere Reaktoren gleichzeitig führt. Dies würde nicht nur die Menschen und die Umwelt in der Ukraine enorm radioaktiv belasten, sondern auch andere Staaten in Europa und weltweit.

Die vorliegende Analyse versucht zu erläutern, welche Risiken ein Krieg für die nukleare Betriebssicherheit mit sich bringen kann, und zeigt die möglichen schwerwiegenden Folgen auf, wenn die russischen Angriffe auf das verbleibende ukrainische Stromnetz fortgesetzt werden.

Entwicklungen, die die nuklearen Risiken in der Ukraine verschärft haben

Jüngsten Berichten des Präsidenten und des Außenministers der Ukraine zufolge wolle Russland die ukrainische Strominfrastruktur und insbesondere die Umspannwerke und Schaltanlagen der Atomreaktoren weiter angreifen.¹ Umspannwerke, die der Stromübertragung dienen, sind für die Aufrechterhaltung und das Funktionieren des ukrainischen Energienetzes und des Betriebs der ukrainischen Atomreaktoren von entscheidender Bedeutung.

Im Zeitraum 2022-2023 hat die Ukraine etwa die Hälfte ihrer Stromerzeugungskapazität entweder durch russische Besetzungen verloren oder diese wurde zerstört oder beschädigt. Auch etwa die Hälfte der großen Umspannwerke des Stromnetzes wurden durch Raketen und Drohnen beschädigt.² Trotz dieser Angriffe blieb das Stromnetz der Ukraine funktionsfähig und robust genug. Dies bedeutet, dass die schnelle Wiederherstellung der Netzverbindungen zu Atomkraftwerken trotz eines Netzausfalls möglich war. Die Eskalation der russischen Angriffe ab März 2024 führte jedoch dazu, dass 95 Prozent der ukrainischen Wärmekraftwerke bis zum Ende des

1 Office of the President of Ukraine, There Can Be No Just Peace Without Ukraine - Speech of the President at the UN General Assembly, 25 September 2024, siehe <https://www.president.gov.ua/en/news/ne-mozhe-buti-spravedlivogo-miru-bez-ukrayini-vistup-prezide-934931> and, UKRINFORM, Russia preparing strikes on Ukraine's critical nuclear energy facilities – MFA, 23 September 2024, siehe <https://www.ukrinform.net/rubric-ato/3908093-russia-preparing-strikes-on-ukraines-critical-nuclear-energy-facilities-mfa.html>

2 International Energy Agency, Ukraine's Energy Security and the Coming Winter An energy action plan for Ukraine and its partners, September 2024, siehe <https://www.iea.org/reports/ukraines-energy-security-and-the-coming-winter>

Sommers 2024 zerstört oder schwer beschädigt wurden.³ Als Folge des Angriffs Russlands auf das ukrainische Stromnetz am 26. August 2024 mussten vier Atom-Reaktoren an den Standorten Riwna und Südukraine vom Netz getrennt werden, so dass sie ausschließlich auf die Stromversorgung durch Notstromdieselegeneratoren angewiesen waren.⁴ Da die russischen Angriffe weiter andauern, darunter auch Angriffe auf die nationale Energieinfrastruktur, sind für diesen Winter noch schwerwiegende Folgen für die Energieversorgung in der gesamten Ukraine zu erwarten.

Der russische Angriffskrieg in der Ukraine hat bereits erhebliche Störungen in der Strominfrastruktur verursacht. Das Ausmaß dieser Störungen übersteigt die Kapazitäten, für die nationale Atomenergieprogramme weltweit ausgelegt und vorbereitet sind. Atomaufsichtsbehörden auf der ganzen Welt verfügen derzeit über keine Sicherheitsanalysen, die eine Krise solchen Ausmaßes in einem nationalen Stromnetz einbeziehen. Auch die Folgen einer solchen Krise für die Sicherheit von Atomkraftwerken wurden bisher nicht ausreichend analysiert. Im Falle eines möglichen Atomunfalls aufgrund der andauernden Angriffe Russlands auf die ukrainische Strominfrastruktur wären die radiologischen Auswirkungen auf die Ukraine, Europa und darüber hinaus gravierend. Die drei ukrainischen Atomkraftwerke in Riwna, Chmelnyzkyj und in der Südukraine sind jeweils mit hunderten Tonnen hochradioaktivem Kernbrennstoff beladen. Zusätzlich zum Kernbrennstoff in den neun Reaktoren an diesen Standorten gibt es neun Abklingbecken für Brennelemente, die insgesamt mit mehreren tausend Tonnen abgebranntem Brennstoff beladen sind, darunter große Mengen von erst kürzlich entladenen und noch hochradioaktiven Brennelemente. Das Risiko und die Folgen möglicher mehrfacher und kaskadierender Ausfälle von Reaktoreinheiten aufgrund eines Zusammenbruchs des Stromnetzes infolge russischer Militärschläge können demnach nur als hochgradig katastrophal beschrieben werden.

Um das Risiko einer beispiellosen nuklearen Katastrophe in der Ukraine zu reduzieren, muss Russland mit sofortiger Wirkung alle Angriffe, nicht nur auf die wichtigsten Umspannwerke, sondern auf die gesamte fragile Strominfrastruktur der Ukraine, einstellen. Die internationale Gemeinschaft, einschließlich der IAEA, muss Druck auf Russland ausüben, um diese unverantwortlichen Kriegsverbrechen zu stoppen.

Die staatliche Atomaufsichtsbehörde der Ukraine (SNRIU) gab am 6. September 2024 bekannt, dass die Internationale Atomenergie-Organisation (IAEO) einer Anfrage zur Ausweitung ihrer ständigen Überwachungsmission in der Ukraine zugestimmt habe.⁵ Sechs Tage nach Bekanntgabe der IAEA fand eine Inspektion in einem ukrainischen Umspannwerk statt, das durch russische Militärschläge beschädigt wurde.⁶ Abgesehen davon sind jedoch keine weiteren Maßnahmen seitens der IAEA ergriffen worden. Eine Ausweitung der ständigen Überwachungsmission in der Ukraine würde bedeuten, dass die Präsenz der IAEA in der Ukraine durch ständige Entsendungen von Inspektor:innen an die betroffenen Standorte erhöht werde, wozu neben den beschädigten oder zerstörten Umspannwerken auch die noch laufenden Atomkraftwerken der Ukraine zählen. In einem Brief an den Generaldirektor der IAEA vom 30. September 2024 forderte Greenpeace International die IAEA auf, dringend zu handeln.

Neben der schnellen Entsendung einer erweiterten IAEA-Mission benötigt die Ukraine die volle Unterstützung für umfangreiche Investitionen in den Wiederaufbau ihrer Energieinfrastruktur und zur weiteren Erhöhung der Importkapazität aus dem Netz der europäischen Übertragungsnetzbetreiber ENTSO-E (European Network of

3 Iryna Doronina, Marie-Louise, Marcelo Galleguillos, Vasyl Doronin, Adrienne Grêt-Regamey, Tobias S. Schmidt, and Florian Egli, Why renewables should be at the center of rebuilding the Ukrainian electricity system, Technical University of Munich, 20 September 2024, siehe <https://www.tum.de/en/news-and-events/all-news/press-releases/details/how-ukraine-can-rebuild-its-energy-system>

4 <https://www.grs.de/de/aktuelles/infobereich-ukraine/aktuelle-entwicklungen>

5 SNRIU, Oleh Korikov: IAEA will expand its presence in Ukraine - substations important for NPP safety will be monitored by permanent missions, 6 September 2024, siehe: <https://snriu.gov.ua/en/news/oleh-korikov-iaea-will-expand-its-presence-in-ukraine-substations-important-for-npp-safety-will-be-monitored-by-permanent-missions>

6 Ukrainska Pravda, Russians attack energy facilities in six oblasts over past 24 hours, 24 September 2023, siehe <https://www.pravda.com.ua/eng/news/2024/09/23/7476346/>

Transmission System Operators for Electricity).⁷ Ebenso ist internationale Unterstützung auf der Nachfrageseite mit Energieeffizienzmaßnahmen und intelligentem Nachfragemanagement sowie auf der Erzeugungsseite mit einer Dezentralisierung und Etablierung von Batteriespeichersystemen im industriellen Maßstab in Kombination mit Photovoltaik- und Windkraft-Anlagen unerlässlich.

Hintergrund

Die Ukraine erzeugt derzeit Strom in insgesamt neun Atomreaktoren – vier in Riwne, in der Nähe von Warasch, Oblast Riwne; zwei in Chmelnyzkyj, Oblast Chmelnyzkyj; und drei im AKW Südukraine in der Oblast Mykolajiw. Sie haben eine Gesamtkapazität von 7,8 GW.⁸ Die sechs Reaktoren im AKW Saporischschja (ZNPP) mit einer Gesamtkapazität von 6 GW sind seit zwei Jahren abgeschaltet, nachdem das Kraftwerk im März 2022 von russischen Streitkräften angegriffen und durch den staatlichen russischen Atomkonzern Rosatom besetzt wurde. Bis 2024 wurden bereits 90 Prozent der Wärmekraftwerke und 40 Prozent der Wasserkraftwerke durch russische Angriffe zerstört.⁹ Die drei sich noch in Betrieb befindlichen Atomkraftwerke der Ukraine erzeugen derzeit den größten Anteil des Stroms der Ukraine.¹⁰

Im Sommer 2024 erlebte die Ukraine ein großes Stromdefizit, als die Erzeugungskapazität um 2,3 GW unter ihren Spitzenbedarf von 12 GW fiel, trotz Stromimporten aus den westlichen Nachbarländern der Ukraine.¹¹ Das Defizit wurde von Ukrenergo, dem staatlichen ukrainischen Stromübertragungsnetzbetreiber, durch verschiedene Notfallmaßnahmen bewältigt – rollierende Lieferkürzungen sowie Begrenzung der Stromversorgung in den am schlimmsten betroffenen Regionen auf wenige Stunden pro Tag.

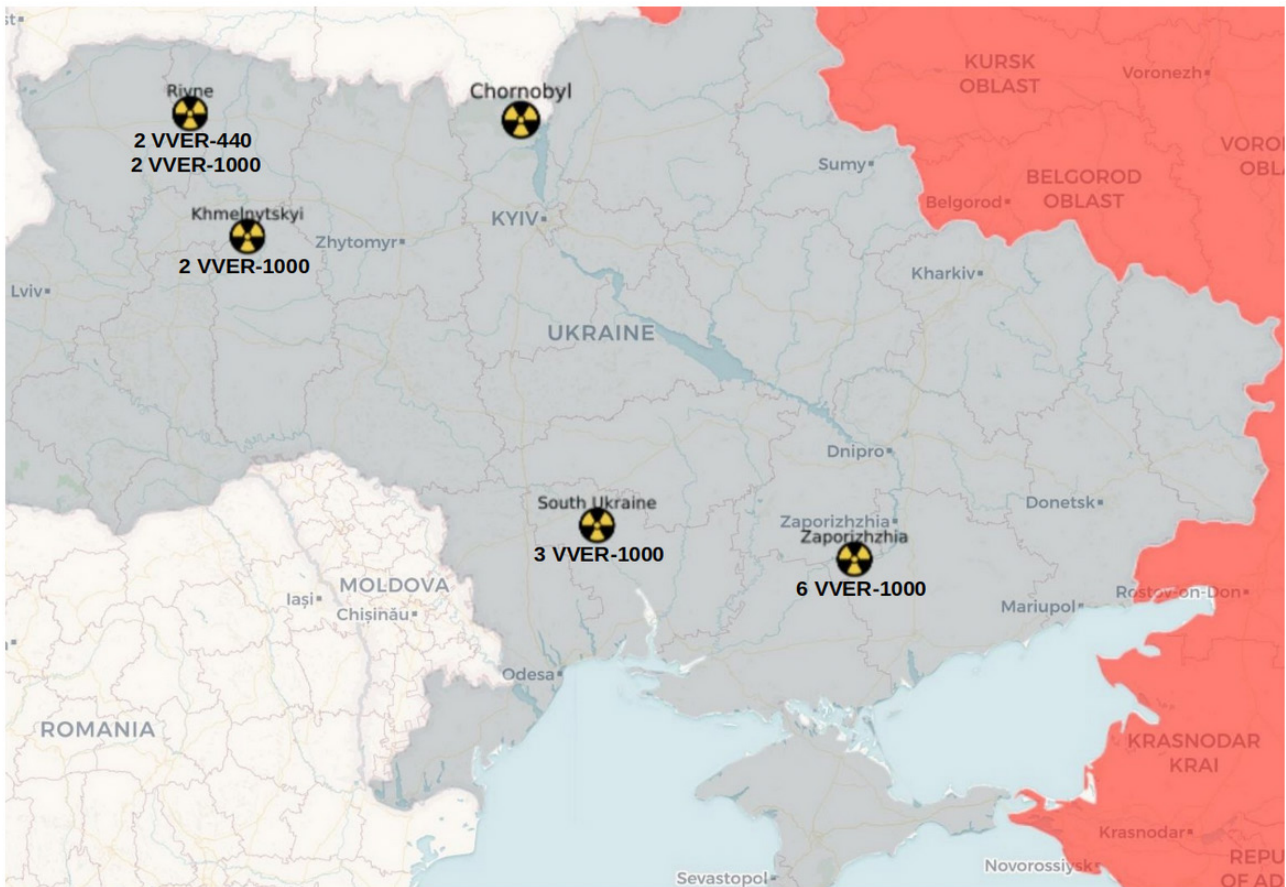
7 The European Network of Transmission System Operators, which represents 40 electricity transmission system operators from 36 countries across Europe, siehe <https://www.entsoe.eu/>

8 WNISR, World Nuclear Status Report 2024, Mycle Schneider, et al, September 2024, siehe <https://www.worldnuclearreport.org/IMG/pdf/wnisr2024-v1.pdf>

9 Forbes Ukraine, The IAEA will monitor key Ukrainian substations for the first time, Anastasia Dayna, 13 September 2024, siehe <https://forbes.ua/company/magate-vpershe-bude-monitoriti-ukrainski-klyuchovi-pidstantsii-chi-zakhistit-tse-ikh-vid-obstriliv-rf-a-krainu-vid-totalnogo-blekautu-13092024-23608>

10 Kateryna Hodunova, Russia has destroyed all thermal power plants, nearly all hydroelectric capacity in Ukraine ahead of winter, Zelensky says, Kyiv Independent, 25 September 2024, siehe <https://kyivindependent.com/russia-destroys-all-thermal-power-plants-nearly-all-hydroelectric-capacity-in-ukraine-ahead-of-winter-zelensky-says/#:~:text=According%20to%20the%20Energy%20Ministry%2C%20nuclear%20generation%20currently%20accounts%20for,Russian%20occupation%20since%20March%202022>

11 International Energy Agency, Ukraine's Energy Security and the Coming Winter An energy action plan for Ukraine and its partners, September 2024, siehe <https://iea.blob.core.windows.net/assets/cec49dc2-7d04-442f-92aa-54c18e6f51d6/UkrainesEnergySecurityandtheComingWinter.pdf>



Interaktive Karte zeigt schwere Gefahren in den ukrainischen Kernkraftwerken, die durch die russische Invasion verursacht wurden
Greenpeace International 2022-2024

Chronologie der russischen Angriffe auf das ukrainische Stromnetz und der IAEA-Missionen

23. Oktober 2022

Ein massiver russischer Raketenangriff führte zu einer Verringerung der Frequenz im ukrainischen Stromnetz. Die Reaktoren in Rivne, in der Südukraine und in Chmelnyzkyj blieben im Eigenlastbetrieb, d.h. sie erzeugten keinen Strom für das Netz, aber genug zur Versorgung des Standorts mit Strom. Die Stromversorgung der Reaktoren in Saporischschja wurde ebenfalls unterbrochen und das Kraftwerk mit Notstrom-Dieselmotoren betrieben.

22. März 2024

Russland startet seinen größten Angriff auf das ukrainische Stromnetz. Der damalige CEO von Ukrenergo, Vladimir Kudrinsky, bezeichnete den Angriff auf das Energiesystem als „den größten seit Beginn des Angriffskriegs“. Der Angriff war durch den Einsatz kombinierter Waffen gekennzeichnet. Die Angriffe erfolgten in verschiedenen Regionen der Ukraine, auf Wärme- und Wasserkraftwerke sowie auf von Ukrenergo verwaltete Hauptumspannwerke.

26. August 2024

Russland feuerte über 200 Raketen und Drohnen auf die Ukraine ab und zielt auf die Energieinfrastruktur, darunter Umspannwerke in den Regionen Charkiw, Odessa, Winnyzja, Schytomyr, Riwna, Lwiw und Iwano-Frankiwsk. Rund acht Millionen Haushalte waren ohne Vorwarnung ohne Strom. Die Hauptstadt Kiew erlebte ihren ersten ungeplanten Stromausfall seit November 2022.

26. August 2024

Der ukrainische Präsident Wolodymyr Selenskyj hielt am 26. August eine Sitzung des Stabs des Oberbefehlshabers ab. „Sitzung des Stabs des Oberbefehlshabers. Wiederherstellung der Energieinfrastruktur nach einem der größten russischen Angriffe. Mindestens 127 Raketen und 109 Drohnen“, schrieb der Präsident. Während der Sitzung berichteten der Leiter der ukrainischen Luftwaffe Mykola Oleschtschuk, der Innenminister Ihor Klymenko, der Energieminister Herman Haluschtschenko und der Vorstandsvorsitzende von NEC Ukrenergo Wolodymyr Kudryzki.

28. August 2024

Mitteilung der ukrainischen Regierung an die IAEA, INFCIRC 1242: „Am 26. August 2024 startete die Russische Föderation einen massiven Raketen- und Drohnenangriff auf die kritische Infrastruktur und den Energiesektor der Ukraine mit dem Ziel, den Betrieb der Stromerzeugungsanlagen der Ukraine lahmzulegen. Infolge des Angriffs wurden um 08:58 Uhr (OEST) die Blöcke 1, 3 und 4 des Atomkraftwerks Riwna vom Netz getrennt. Um 09:05 Uhr (OEST) wurde die Leistung der Blöcke des Atomkraftwerks Südukraine auf ein Gesamtniveau von 1.800 MW reduziert.“ Aufgrund von Schwankungen im nationalen Stromnetz, die durch den russischen Angriff verursacht wurden, wurde um 17:10 Uhr (OEST) der Block 3 des Atomkraftwerks Südukraine vom Netz getrennt. Die Russische Föderation greift weiterhin gezielt die Energieinfrastruktur der Ukraine an und beabsichtigt, den Betrieb der Atomkraftwerke des Landes zu stören, die den größten Teil des Stroms der Ukraine liefern. Russische Angriffe stellen ein erhebliches Risiko für den stabilen Betrieb der Atomkraftwerke in der Ukraine und für die Sicherheit von Millionen von Menschen dar.

3. September 2024

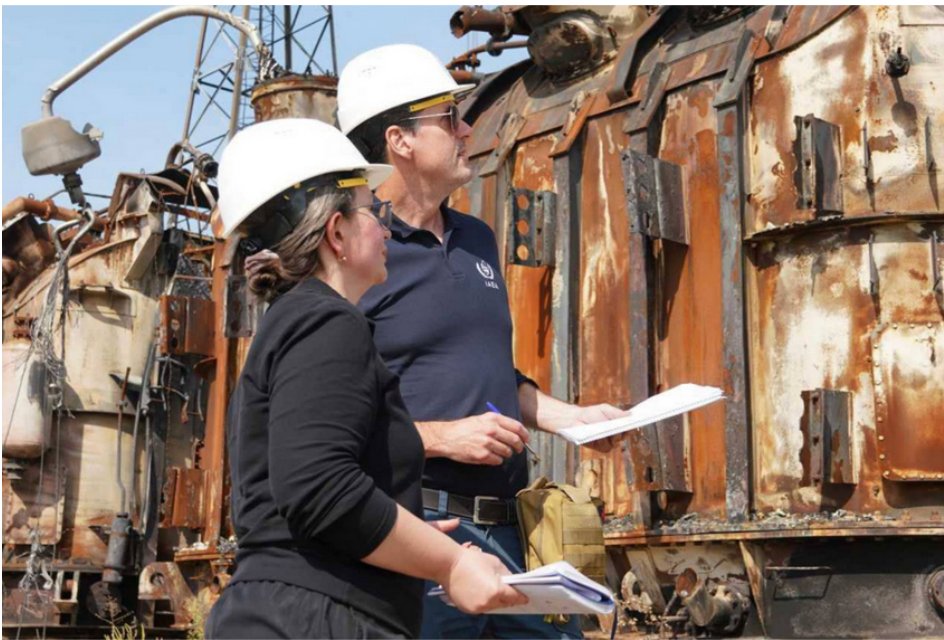
Während eines Treffens zwischen dem ukrainischen Präsidenten Wolodymyr Selenskyj und dem Generaldirektor der Internationalen Atomenergie-Organisation (IAEO), Rafael Mariano Grossi, am 3. September 2024 wurde eine Einigung über die Ausweitung der IAEO-Mission auf Umspannwerke erzielt. Der Präsident informierte seinen Gesprächspartner auch über die Folgen der massiven russischen Angriffe auf die Energieinfrastruktur der Ukraine mit ballistischen und Marschflugkörpern sowie Kamikaze-Drohnen, die zur vorübergehenden Trennung von Atomkraftwerksblöcken vom Netz und zu einer Verringerung ihrer Kapazität führten. „Der Beschuss kritischer Infrastruktur durch die Russische Föderation ist die größte Bedrohung für den sicheren Betrieb von Atomkraftwerken in der Ukraine. "Er betrifft in erster Linie die einfachen Menschen“, betonte die Staatsoberhaupt.

6. September 2024

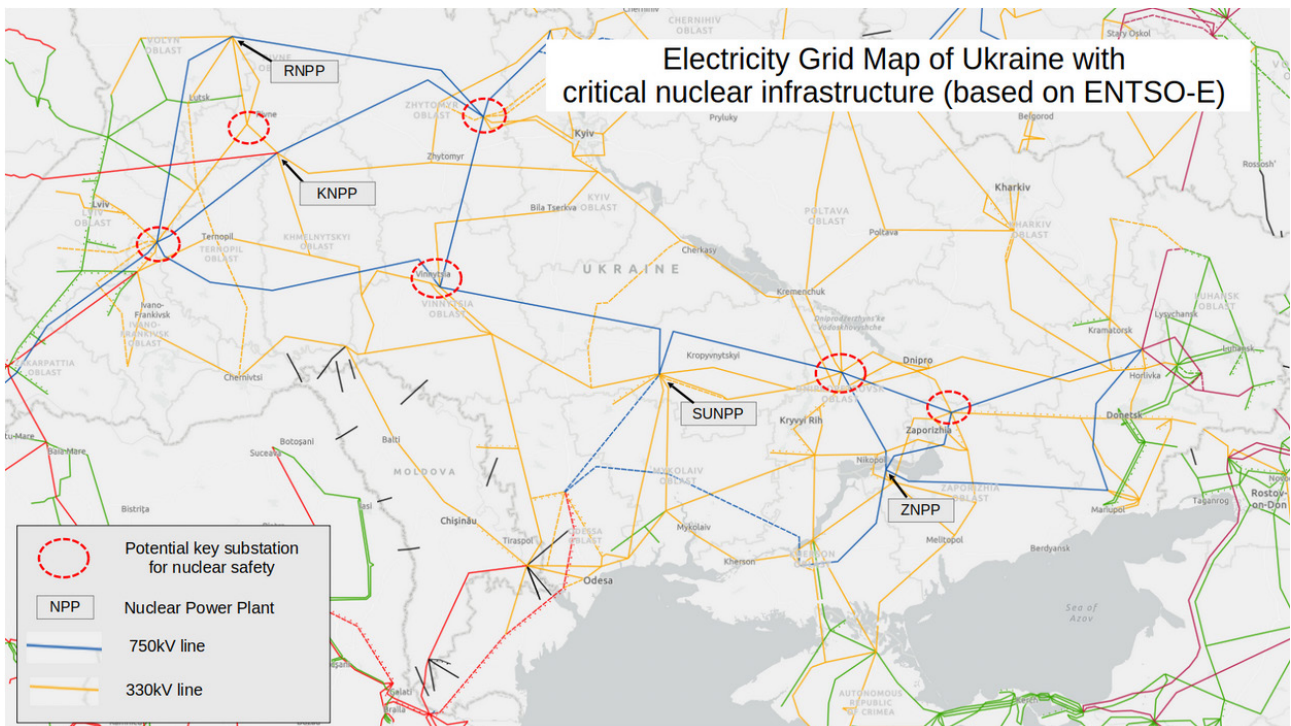
Oleh Korikov, Chefinspektor für Nuklear- und Strahlensicherheit der Ukraine bei der Staatlichen Atomaufsichtsbehörde der Ukraine (SNRIU), berichtete, dass die IAEO ihre Präsenz in der Ukraine ausweiten wird; auf Umspannwerke, die für die Sicherheit von Atomkraftwerken wichtig sind und von ständigen Missionen überwacht werden.

12. September 2024

IAEO-Überwachungspersonal besucht eines der Umspannwerke in der Ukraine, das infolge russischer Raketenangriffe erheblich beschädigt wurde. Vertreter von NNEGC „Energoatom“, NPC „Ukrenergo“, SNRIU und der IAEO führten eine Ortsbesichtigung und Inspektion durch, dokumentierten die Schäden, die die Anlage durch die Raketenangriffe erlitten hatte, erörterten die Auswirkungen dieser Schäden und Verluste auf die Sicherheit der Atomkraftwerke in der Ukraine und erstellten einen technischen Bericht für den Generaldirektor der IAEO.



Der erste IAEA-Einsatz in der Ukraine zu den elektrischen Umspannwerken fand am 12. September 2024 statt. Foto: © NAEK Energoatom



Dies ist ein Screenshot einer detaillierten Karte des ukrainischen Stromnetzes, die beim europäischen Netzbetreiber ENTSO-E erhältlich ist.¹² Zusätzlich wurden die Standorte der vier Atomkraftwerke hinzugefügt: das AKW Riwne (RNPP, 2 WWER-440, 2 WWER-1000-Reaktoren), das AKW Chmelnyzkyj (KNPP, 2 WWER-1000-Reaktoren) und das AKW Südukraine bei Juschnoukrainsk (SUNPP, 3 WWER-1000-Reaktoren), die noch immer Strom erzeugen, sowie das AKW Saporischschja (ZNPP, 6 WWER-1000-Reaktoren), das am 4. März 2022 von den russischen Streitkräften besetzt wurde und seit September 2022 abgeschaltet ist. Die auf der Karte angegebenen sechs Schlüsselumspannwerke sind nach Einschätzung der Atomexperten von Greenpeace CEE aufgrund ihrer zentralen Anbindung an das 750-kV-Netz die kritischsten.

12 ENTSO-E Transmission System Map, siehe <https://www.entsoe.eu/data/map/>

Die besonderen nuklearen Sicherheitsrisiken in der Ukraine

1. Die Risiken eines Station Black-Out (SBO)

Wenn ein Atomkraftwerk seine externe Stromversorgung aus dem Netz verliert, ein sogenannter Loss of Offsite Power (LOOP), greift das Kraftwerk auf drei Hauptstromquellen für seine kritischen Sicherheitssysteme zurück: Batterien, Backup-Dieselegeneratoren und die Möglichkeit, einen Reaktor im Kraftwerk in Betrieb zu lassen und ihn auf ca. 10 Prozent der Leistung, dem Eigenbedarf, herunterzulegen. Batterien können sofort Strom liefern, aber nur für einen kurzen Zeitraum. Die Dieselegeneratoren haben vor Ort einen Brennstoffvorrat, der für einen Betrieb von etwa zehn Tagen ausreicht. Sie haben eine Leistung von ca. 5 MW und brauchen ca. 30 Tonnen Diesel pro Tag für die Kühlung von einem Reaktor, wenn dieser zuvor im Leistungsbetrieb war. Nach 240 Stunden sind Wartungsarbeiten an den Dieselegeneratoren vorgeschrieben.¹³ Sie sind auf einen längeren Dauerbetrieb nicht ausgelegt. Auch der Lastabwurf auf Eigenbedarf, d.h. die Stromproduktion eines Reaktors auf ca. 10 Prozent der Nennleistung zu reduzieren, ist kein stabiler Zustand und nicht immer erfolgreich.¹⁴ Wenn die gesamte Stromversorgung ausfällt, sowohl außerhalb (LOOP) als auch vor Ort, kommt es zu einem Station Blackout (SBO). Bei einem in Betrieb befindlichen Atomkraftwerk kann dies dazu führen, dass das Kühlwasser im Reaktorbehälter innerhalb weniger Stunden auskocht, was zu Kernschäden und zur Freisetzung von Strahlung innerhalb des Reaktorsicherheitsbehälters und aufgrund des Überdrucks im Sicherheitsbehälter auch zur Freisetzung von Strahlung in die Umwelt führen kann.

Auch wenn Atomkraftwerke so ausgelegt sind, dass sie durch ihre Stromerzeugung vor Ort mit einem LOOP zurechtkommen, ist ein LOOP ein schwerwiegender Zwischenfall und wird als Vorstufe eines Station Black-Out (SBO) angesehen.¹⁵ Unter normalen Betriebsbedingungen ist das Risiko eines SBO ein Hauptfaktor für das Risiko von Reaktorkernschäden in einem Atomkraftwerk.¹⁶ Die Nuklearkatastrophe von Fukushima-Daiichi im Jahr 2011 und die darauf folgenden Stresstests von Atomkraftwerken auf der ganzen Welt haben ebenfalls die zentrale Bedeutung einer zuverlässigen Stromversorgung des Atomkraftwerks hervorgehoben. Und selbst Störungen im Stromnetz in beträchtlicher Entfernung von einem Atomkraftwerk können die Ursache für Reaktorabschaltungen oder den Verlust von externer Stromversorgung sein.¹⁷

Ein in Betrieb befindliches Atomkraftwerk benötigt erhebliche Energiemengen, um die Kühlung der Wärme des Brennstoffs in den Abklingbecken und die Restwärme in den Reaktorkernen nach der Abschaltung des Reaktors aufrechtzuerhalten. Ohne funktionierende Wasserumwälzpumpen verdampft das Kühlwasser im Reaktorkern innerhalb weniger Stunden und es kommt zu Kernschäden, einschließlich schmelzendem Brennstoff. Unmittelbar nach der Abschaltung des Reaktors beträgt seine Wärmeleistung noch etwa 6,5 Prozent und nach einer Stunde etwa 1,5 Prozent.¹⁸ Obwohl dies wenig erscheint, beträgt die Wärmeleistung eines WWER-1000-Reaktors etwa 3000 MWth, sodass 1,5 Prozent immer noch gewaltige 45.000 kWth oder etwa 22.000 typische Wasserkocher

13 <https://www.grs.de/de/aktuelles/infobereich-ukraine/was-passiert-bei-einem-netzausfall>

14 For example see the Forsmark nuclear plant 2006 incident: IAEA, Electric Grid Reliability and Interface with Nuclear Power Plants, 2012, siehe https://www-pub.iaea.org/MTCD/publications/PDF/Pub1542_web.pdf

15 IAEA, Electric Grid Reliability and Interface with Nuclear Power Plants, 2012, siehe https://www-pub.iaea.org/MTCD/publications/PDF/Pub1542_web.pdf

16 NRC, NUREG-1150 part 3 for internal events:

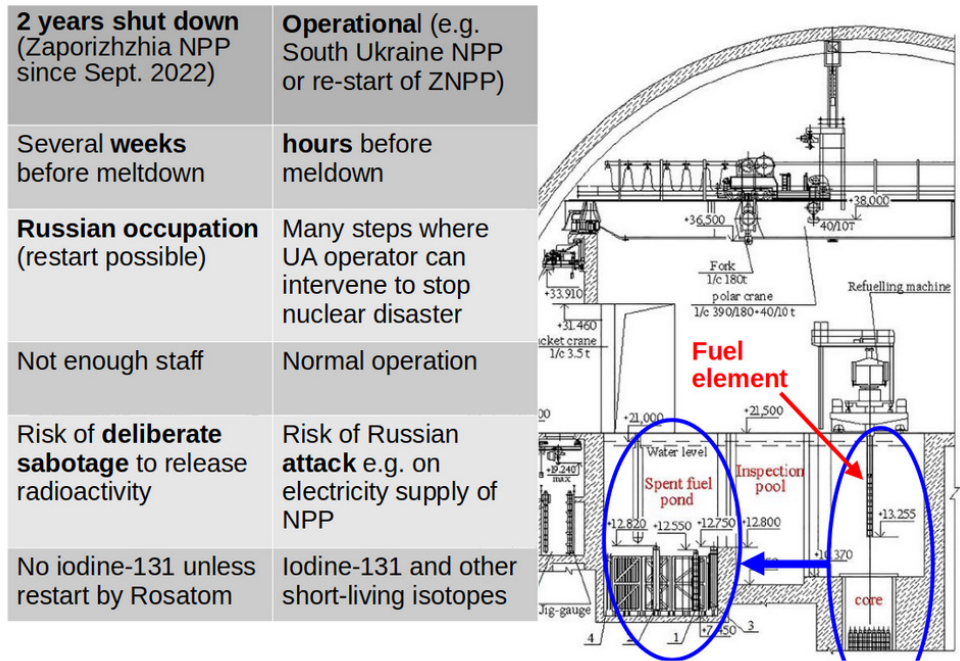
17 IAEA, 2012.

18 IAEA, Electric Grid Reliability and Interface with Nuclear Power Plants, 2012, siehe https://www-pub.iaea.org/MTCD/publications/PDF/Pub1542_web.pdf

sind, wie sie in einer Haushaltsküche verwendet werden. Sieben der Reaktoren in der Ukraine, die Strom erzeugen, sind vom Typ WWER 1000, während zwei vom Typ WWER 440 sind.¹⁹

Aufgrund des weiteren Zerfalls der Radioaktivität im Brennstoff des Reaktors nimmt die Wärme exponentiell ab. Daher sind die Risiken eines SBO für das Atomkraftwerk Saporizschja, wo der letzte Reaktor im September 2022 abgeschaltet wurde, und für die drei anderen Atomkraftwerke in der Ukraine, wo insgesamt sieben Reaktoren weiterhin in Betrieb sind, sehr unterschiedlich. Diese Unterschiede sind in der folgenden Abbildung zusammengefasst:

Betriebsfähiger WWER-1000-Reaktor im Vergleich zu einem Reaktor, der 2 Jahre lang abgeschaltet war: Zeit ohne Kühlung vor dem Schmelzen des Brennstoffs



In einem längeren Zeitraum, der eher mehrere Wochen als Stunden beträgt und je nach Abbrand des Brennstoffs und der Zeit seit der Entladung aus dem Reaktor vergeht, erhitzt sich der verbrauchte Brennstoff im Abkühlbecken und verdampft sein Kühlwasser. Nachdem der Wasserstand unter die Oberkante des Brennstoffs gesunken ist, wird dieser der Luft ausgesetzt, woraufhin es zur Entzündung in einem sogenannten Zirkoniumfeuer kommen kann, bei dem noch größere Mengen Strahlung freigesetzt werden als im Reaktorkern. Ist der abgebrannte Kernbrennstoff nicht mehr durch Wasser abgedeckt, nimmt auch die Strahlenbelastung massiv zu, so dass Sicherungsmaßnahmen massiv erschwert werden. Diese Risiken wurden im Briefing von Greenpeace International vom März 2022 mit dem Titel „The vulnerability of nuclear plants during military conflict“ ausführlicher erläutert.²⁰

19 IAEA, 2012.

20 Greenpeace International, The vulnerability of nuclear plants during military conflict Lessons from Fukushima Daiichi Focus on Zaporizhzhia, Ukraine, 2 March 2022, siehe <https://www.greenpeace.de/publikationen/vulnerability-nuclear-plants-during-military-conflict>

2. Mögliche radiologische Folgen eines Kraftwerksausfalls

Wie Greenpeace am 2. März 2022 vor dem russischen Angriff auf das Atomkraftwerk Saporischschja erklärt hat, muss die nukleare Sicherheit in einem breiteren Kontext verstanden werden. Das betrifft nicht nur die Anforderungen an ein stabiles landesweites externes Stromsystem, sondern auch die Verfügbarkeit von ausreichend kompetentem Personal vor Ort, die landesweite Logistik von Ersatzteilen für die Wartung sowie Vorräte wie Kraftstoff für Dieselgeneratoren oder schweres Gerät für den Notfall. Die Nuklearkrise von Fukushima Daiichi im Jahr 2011 zeigte die massive logistische Operation, die inmitten von Stromausfällen und den Folgen des Erdbebens der Stärke 9,0 und des daraus resultierenden Tsunamis in Japan stattfand.

Ein landesweiter Stromausfall in der Ukraine und die anhaltende Kriegssituation würden zahlreiche Herausforderungen mit sich bringen. Es wäre schwierig, eine ausreichende Versorgung der drei in Betrieb befindlichen Atomkraftwerke unter ukrainischer Kontrolle sicherzustellen. Die Herausforderung, die Stromerzeugung in den Kraftwerken nach einem LOOP aufrechtzuerhalten, und eine breitere gesellschaftliche Störung in einer solchen Situation würden sich auch auf das Personal auswirken. Es ist klar, dass die Auswirkungen des Krieges und eines langen, landesweiten Stromausfalls weit über die Auslegungsgrundlagen eines Atomkraftwerks hinausgeht und dies daher weitgehend unbekanntes Terrain ist.

Alle vier ukrainischen Atomkraftwerke könnten mehr oder weniger gleichzeitig von Stromausfällen betroffen sein (15 Reaktoren, von denen neun in Betrieb befindliche Reaktoren unter ukrainischer Kontrolle sind und sechs abgeschaltet sind, aber unter russischer Militärbesatzung stehen), was das Notfallmanagement massiv erschwert.

Es muss noch einmal betont werden, wie kritisch und einzigartig die derzeitige Situation in der Ukraine am Rande einer Nuklearkrise ist. Die Herausforderungen sind von beispiellosem Ausmaß in der Geschichte der Atomenergie. Radioaktive Freisetzungen könnten noch größer sein, als bei den Unfällen von Fukushima oder Tschornobyl.

Die Atomaufsichtsbehörden in verschiedenen Ländern wurden von der ukrainischen Behörde SNRIU ausführlich informiert²¹ und sind sich der Dringlichkeit der Situation bewusst. Die Verantwortung liegt nun an den Regierungen weltweit und der IAEO, Druck auf Russland auszuüben, um eine mögliche nukleare Katastrophe zu verhindern, die nicht nur die Ukraine, sondern den gesamten europäischen Kontinent betreffen wird.

Mehr als zwei Jahre nach dem Beginn des russischen Angriffskriegs in der Ukraine, hält es Greenpeace für empörend, dass einzelne Staaten der EU weiterhin fast uneingeschränkt mit dem russischen Atomkonzern Rosatom Handel betreiben. Aufgrund der Blockade der Umsetzung von Atomsanktionen gegen Russland, insbesondere durch Ungarn und Frankreich, konnte der Handel mit dem russischen Atomsektor, der sich nachweislich an völkerrechtswidrigen Verbrechen beteiligt, bisher fast vollständig von den EU-Sanktionspaketen ausgeschlossen werden. Darüber hinaus unterstützt die IAEO weiterhin aktiv Russlands Atomkraft-Ausbauprojekte weltweit, etwa in der Türkei und in Ägypten.

21 Letter of the Head of SNRIU – Chief State Inspector for Nuclear and Radiation Safety of Ukraine Oleh Korikov – dated 21 September 2024 to the European Commission, European Nuclear Safety Regulators Group (ENSREG), the Western European Nuclear Regulators Association (WENRA), the Nuclear Energy Agency (NEA), nuclear regulators of the USA, the UK, Canada, Finland, Poland, Norway, Germany, France, Lithuania, Sweden, the Czech Republic, Slovakia: <https://snriu.gov.ua/en/news/snriu-chairman-new-russian-attacks-on-ukraines-energy-infrastructure-will-create-new-challenges-and-threats-for-nuclear-safety>

Die Bedeutung des externen Stromnetzes und die Risiken in der Ukraine

Ein funktionierendes Stromnetz in der Ukraine ist für die Sicherheit der ukrainischen AKWs unbedingt notwendig. Deshalb ist dieses über mehrere Stromleitungen miteinander verbunden. Das Atomkraftwerk Saporischschja verfügt beispielsweise über zehn Anschlüsse ans Stromnetz, sowohl mit 330 als auch mit 750 kV. Im Kriegskontext hat sich diese Redundanz als nicht ausreichend erwiesen, da das Kraftwerk ZKB seit der groß angelegten russischen Invasion bereits achtmal einen Wegfall der externen Stromversorgung erlitt. Dies wird als „Ausfall aufgrund gemeinsamer Ursache“ bezeichnet, bei dem eine Ursache (in diesem Fall die verheerende Aggression Russlands) dazu führt, dass alle Netzverbindungen wegfallen. Eine solche gemeinsame Ursache liegt weit außerhalb der Auslegungsgrundlage eines Atomkraftwerks.

Nicht nur die physische Verbindung eines Atomkraftwerks zum Stromnetz ist notwendig, auch die Stabilität der Stromerzeugung ist für einen sicheren Betrieb der Kraftwerke erforderlich. Dies ist insbesondere in der Ukraine ein Problem, wo allein im Jahr 2024 9 GW Produktionskapazität aufgrund der russischen Aggression verloren gegangen sind. Es liegt in der Verantwortung des ukrainischen Netzbetreibers (Ukrenergo), Erzeugung und Nachfrage auszugleichen und Spannung und Frequenz innerhalb enger Grenzen zu halten. Wenn ein Ungleichgewicht zwischen Erzeugung und Last besteht, sinkt die Netzfrequenz tendenziell, beispielsweise durch den Ausfall eines großen Generators oder einen Fehler in einem Umspannwerk. Wenn die Frequenz zu niedrig ist, fordert der Netzbetreiber zunächst eine höhere Erzeugungsleistung, was aufgrund der russischen Zerstörungen im aktuellen ukrainischen Kontext eine große Herausforderung darstellt. In Folge einer niedrigen Frequenz kommt es zu Lastabwürfen, bei denen Teile des Netzes abgeschaltet werden, um die Strom-Nachfrage zu senken.

Ein erstes Problem bei einem instabilen Netz, selbst ohne LOOP, ist, dass die Pumpen, die das Kühlwasser in einem Atomreaktor zirkulieren lassen, auf eine stabile Stromversorgung angewiesen sind. Wenn Netzspannung und -frequenz nicht ausreichen, können die laufenden Motoren nicht genügend Drehmoment aufrechterhalten und das elektrische System schaltet sie ab.²²

Ein zweites Problem ist das Risiko eines kaskadierenden systemweiten Stromausfalls in großen Teilen des Landes. Wenn ein oder mehrere Atomkraftwerke ausfallen und/oder wichtige Umspannwerke durch russische Militärschläge beschädigt oder zerstört werden, könnten Spannung und Frequenz über die Landesgrenzen hinaus steigen, ohne dass zusätzliche Erzeugungskapazitäten zur Verfügung stehen. Dies kann dann dazu führen, dass andere Erzeugungskapazitäten ausfallen, was zu einem kaskadierenden und systemweiten Stromausfall führt. In diesem Fall könnten alle vier AKWs in der Ukraine in eine LOOP-Situation kommen.

²² Grid Stability and Safety Issues Associated with Nuclear Power Plants Dr. John H. Bickel Evergreen Safety and Reliability Technologies, LLC , 2026, siehe <http://large.stanford.edu/courses/2016/ph241/yang2/docs/bickel.pdf>

Mögliche Abfolge von Ereignissen, die zu Kernschäden führen

Phase 1: Zusammenbruch des Netzes

- Schäden an einem oder mehreren Umspannwerken
- Kritische Störungen im Netz, die die Kriterien für Frequenz oder Spannung überschreiten
- Ausfall der externen Stromversorgung (LOOP) für ein oder mehrere Atomkraftwerke
- Reaktor-Schnellabschaltung; der für die Sicherheitssysteme erforderliche Strom im Kraftwerk wird durch Dieselgeneratoren vor Ort, Batterien und/oder die Versorgung der Verbraucher mit einem Reaktor bei minimaler Leistung bereitgestellt
- Aufgrund des Verlusts der Erzeugungskapazität eines oder mehrerer Atomkraftwerke kann die begrenzte verbleibende Erzeugungskapazität im Netz dies nicht kompensieren, was zu einem allgemeinen Stromausfall führt

Phase 2: Neustart des Netzes nicht möglich (Schwarzstart)

- Ein Schwarzstart des Netzes ist nicht möglich, da die meisten Wasser- und fossilen Kraftwerke beschädigt sind und Atomkraftwerke nicht über eine Schwarzstartfähigkeit verfügen²³; ein längerer Stromausfall folgt
- Dieselgeneratoren gehen der Treibstoff aus oder funktionieren nicht mehr, die Eigenbedarfsproduktion im Atomkraftwerk fällt aus
- Atomkraftwerks-Stromausfall (Station Black-Out), alle Sicherheitsfunktionen werden unterbrochen
- Schäden am Reaktorkern und großflächige Freisetzung von Radioaktivität

²³ IAEA, Electric Grid Reliability and Interface with Nuclear Power Plants, 2012: https://www-pub.iaea.org/MTCD/publications/PDF/Pub1542_web.pdf

Russische Angriffe auf das Energiesystem und Auswirkungen auf die Gesellschaft

Die Bedrohung der nuklearen Sicherheit und Ordnung durch die militärischen Angriffe Russlands muss auch im größeren Kontext der Auswirkungen gesehen werden, die bereits auf das Energienetz und die Gesellschaft der Ukraine erfolgt sind. Wie die UN-Mission zur Überwachung der Menschenrechte in der Ukraine (HRMMU) kürzlich berichtete, hatten die „russischen Angriffe auf das ukrainische Stromnetz, bei denen zahlreiche Anlagen zur Stromerzeugung, -übertragung und -verteilung beschädigt oder zerstört wurden, weitreichende Auswirkungen und schädigten die Zivilbevölkerung und die Stromversorgung, die Wasserverteilung, die Abwasser- und Sanitärsysteme, Heizung und Warmwasser, die öffentliche Gesundheit, das Bildungswesen und die Wirtschaft des Landes.“²⁴

Darüber hinaus besteht die Frage der Verletzung der Grundsätze des Völkerrechts. Die unabhängige internationale Untersuchungskommission der Vereinten Nationen zur Ukraine ist bereits zu dem Schluss gekommen, dass die russischen Angriffe auf die Strominfrastruktur in den Jahren 2022-2023 weit verbreitet, systematisch und unverhältnismäßig waren und ein Kriegsverbrechen mit übermäßigem zufälligem Schaden für die Zivilbevölkerung und möglicherweise ein Verbrechen gegen die Menschlichkeit darstellen.²⁵

Da Millionen ukrainischer Bürger:innen aufgrund des russischen Angriffskrieges bereits aus ihren Häusern vertrieben wurden, „haben die Angriffe auf die Energieinfrastruktur zu weiteren Vertreibungen der Bevölkerung geführt und Gruppen in einer gefährdeten Situation überproportional getroffen, wie etwa ältere Menschen, Menschen mit Behinderungen, Haushalte mit geringerem Einkommen und Binnenflüchtlinge, wobei Frauen besonders betroffen sind“, warnte HRMMU. „Die Fragilität des Stromnetzes wird im kommenden Winter zusammen mit dem Stromverbrauch zunehmen, da die russischen Angriffe weitergehen. Die Ukraine wird im Winter mit einem erheblichen Stromdefizit konfrontiert sein, da es in den kalten Monaten zu täglichen Stromausfällen kommt und die Zivilbevölkerung ohne den Strom auskommt, den sie braucht, um ihre Häuser zu versorgen, Wasserpumpen zu betreiben und Kindern das Online-Lernen zu ermöglichen.“

Auch ohne eine Atomkatastrophe sind die Bedingungen für die Menschen in der Ukraine in diesem Winter möglicherweise hart, was längere Stromausfälle und einen fehlenden Zugang zu Heizungen zur Folge hat. Unter Kriegsbedingungen unternehmen die ukrainischen Regierungsbehörden, Energieunternehmen sowie Hilfs- und Wiederaufbau-Organisationen enorme Anstrengungen, um eine humanitäre Krise in diesem Winter abzuwenden.²⁶ Die vollen Konsequenzen andauernder russischer Angriffe, die zu weiteren Netzausfällen und landesweiten Stromausfällen, dann zu einer möglichen kaskadierenden Krise in Mehrreaktoreinheiten sowie mehreren Atomkraftwerken und schließlich zu einer möglichen großen radiologischen Freisetzung führen, sind aktuell unvorstellbar. Abgesehen von den Szenarien eines Atomkriegs und den Auswirkungen des Einsatzes von Atomwaffen wäre eine Atomkatastrophe eine schreckliche Realität, mit der sich die Menschen in der Ukraine möglicherweise konfrontiert sehen. Die Worst-Case-Szenarien können vermieden werden, aber sie erfordern die absolute Aufmerksamkeit der internationalen Gemeinschaft, um die russischen Angriffe auf ukrainische Stromnetze zu stoppen und zu verhindern, dass die derzeitige Katastrophe noch schlimmer wird.

24 OHCHR, Attacks on Ukraine's Energy Infrastructure: Harm to the Civilian Population UN Human Rights Monitoring Mission in Ukraine, September 2024, siehe <https://ukraine.ohchr.org/sites/default/files/2024-09/ENG%20Attacks%20on%20Ukraine's%20Energy%20Infrastructure-%20%20Harm%20to%20the%20Civilian%20Population.pdf>

25 Report of the Independent International Commission of Inquiry on Ukraine, A/HRC/52/62 (hereinafter: A/HRC/52/62), 16 March 2023, siehe www.ohchr.org/en/hr-bodies/hrc/iicir-ukraine/index

26 OHCHR, 2024.

Fazit

Mehr als zweieinhalb Jahre nach Beginn der groß angelegten russischen Invasion der Ukraine tritt die nukleare Sicherheitskrise in der Ukraine in eine einzigartig gefährliche Phase ein. Russland nimmt weiterhin gezielt die Energieinfrastruktur der Ukraine ins Visier, einschließlich ihrer Erzeugungskapazität und Umspannwerke. Als direkte Folge wird das nationale Stromnetz der Ukraine in beispiellosem Ausmaß beschädigt und geschwächt. Was dies für die operative nukleare Sicherheit bedeutet, wird auf öffentlicher Ebene selten erklärt. Diese Analyse ist ein Versuch, die möglichen Folgen aufzuzeigen, wenn die russischen Angriffe auf das verbleibende Energiesystem der Ukraine, insbesondere auf Umspannwerke, anhalten. Das grundlegende Kernproblem ist, dass dies eine Folge des Krieges Russlands gegen die Ukraine ist und ohne ein Ende der russischen Angriffe die Aussichten auf nukleare Sicherheit in der Ukraine und in ganz Europa düster bleiben.

Als Folge der Zerstörung des größten Teils des ukrainischen Strom- und Energiesystems erhöht die hohe Abhängigkeit von der nuklearen Stromerzeugungskapazität in der Ukraine das Risiko eines systemweiten Stromausfalls bei weiteren russischen Angriffen. Wenn es einmal zu einem Stromausfall gekommen ist, könnten Kraftwerke möglicherweise nicht schnell genug wieder hochgefahren werden. Denn Atomkraftwerke haben keine Schwarzstartfähigkeit und die schwarzstartfähige Stromerzeugung ist in der Ukraine möglicherweise nicht ausreichend verfügbar. Und das, obwohl die ukrainischen Atomkraftwerke selbst stark von der Versorgung aus dem Netz abhängig sind, um die Sicherheitssysteme zum Kühlen des heißen Brennstoffs funktionsfähig zu halten, ohne welche eine nukleare Katastrophe nicht zu vermeiden wäre.

Angesichts der Fragilität des ukrainischen Stromsystems aufgrund der mehr als zwei Jahre andauernden militärischen Angriffe Russlands auf das zivile Stromsystem besteht Unsicherheit darüber, wie viel das System noch aushalten kann, bevor es zusammenbricht. Unserer Meinung nach ist jetzt nicht nur der aktive Schutz einer begrenzten Anzahl wichtiger Umspannwerke erforderlich, sondern auch ein sofortiges Ende aller weiteren Angriffe auf das ukrainische Stromsystem überfällig, einschließlich der verbleibenden betriebsbereiten Erzeugungskapazität. Es könnte Jahre dauern, bis ausreichende Reparaturen des Netzes und Investitionen in die Erzeugungskapazität das ukrainische Stromsystem wieder in ein gesundes Gleichgewicht bringen.

Während die Beendigung russischer Militärschläge die erste und unmittelbare Priorität hat und für den kommenden Winter unerlässlich ist, gibt es in den nächsten Jahren weitere Maßnahmen, denen die Ukraine Priorität einräumen sollte. Dazu gehören die dezentrale Installation von Batteriespeichersystemen in Kombination mit dem schnellen Wachstum von Wind- und Solarenergie. Der Verband der europäischen Netzbetreiber ENTSO-E sollte die Verbindungskapazität mit der Ukraine weiter erhöhen. Die Kombination eines starken Hochspannungsnetzes einschließlich Verbindungsleitungen mit einem schnellen Wachstum der dezentralen Erzeugung, Energieeffizienz und Smart-Grid-Technologien ist der beste Weg, um ein sicheres, widerstandsfähiges Stromsystem für die Ukraine aufzubauen.

Erforderliche Hauptmaßnahmen:

- Russland muss weitere Angriffe auf das Stromnetz der Ukraine stoppen, und zwar nicht nur auf die Atomkraftwerke und die wichtigsten Umspannwerke.
- Die internationale Gemeinschaft muss allen möglichen Druck auf Russland ausüben, um die Angriffe zu stoppen.
- Die IAEO muss mit der vollen Unterstützung der Mitgliedstaaten ihre geplante erweiterte Mission in der Ukraine unverzüglich umsetzen, um Inspektor:innen in die kritische Strominfrastruktur zu

entsenden, insbesondere in die für den Betrieb der Atomkraftwerke wichtigen Umspannwerke, und so als Abschreckung für weitere russische Militärangriffe wirken.

- Die internationale Unterstützung zum Wiederaufbau und Schutz der beschädigten Energieinfrastruktur der Ukraine ausweiten und schneller anwenden.
- Die Importkapazität durch die ENTSO-E-Netzverbindungen mit der Ukraine müssen weiter erhöht werden.
- Auf der Seite der Stromnachfrage – Energieeffizienzmaßnahmen und intelligente Zähler müssen ausgebaut und das Nachfragemanagement sowohl ausgebaut als auch angewendet werden.
- Auf der Seite der Stromerzeugung – Weitere Dezentralisierung, Batteriespeichersysteme im industriellen Maßstab, die mit Photovoltaik und Windkraft kombiniert werden, um die Ukraine weniger anfällig für Angriffe zu machen, sind notwendig.