

Zeitschrift: Ferrum : Nachrichten aus der Eisenbibliothek, Stiftung der Georg Fischer AG
Herausgeber: Eisenbibliothek
Band: 86 (2014)

Artikel: Wissensformen der Kerntechnik im transnationalen Vergleich
Autor: Wendland, Anna Veronika
DOI: <https://doi.org/10.5169/seals-391851>

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften auf E-Periodica. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Zeitschriften und ist nicht verantwortlich für deren Inhalte. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern beziehungsweise den externen Rechteinhabern. Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen sowie auf Social Media-Kanälen oder Webseiten ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. [Mehr erfahren](#)

Conditions d'utilisation

L'ETH Library est le fournisseur des revues numérisées. Elle ne détient aucun droit d'auteur sur les revues et n'est pas responsable de leur contenu. En règle générale, les droits sont détenus par les éditeurs ou les détenteurs de droits externes. La reproduction d'images dans des publications imprimées ou en ligne ainsi que sur des canaux de médias sociaux ou des sites web n'est autorisée qu'avec l'accord préalable des détenteurs des droits. [En savoir plus](#)

Terms of use

The ETH Library is the provider of the digitised journals. It does not own any copyrights to the journals and is not responsible for their content. The rights usually lie with the publishers or the external rights holders. Publishing images in print and online publications, as well as on social media channels or websites, is only permitted with the prior consent of the rights holders. [Find out more](#)

Download PDF: 30.06.2025

ETH-Bibliothek Zürich, E-Periodica, <https://www.e-periodica.ch>

Wissensformen der Kerntechnik im transnationalen Vergleich

Der Beitrag untersucht Wissensformen der Kerntechnik und nukleare Sicherheitskulturen in ihrer national unterschiedlichen Ausformung und Interdependenz. Besondere Beachtung finden internationale Wissenstransfers infolge von Lernprozessen nach grossen Unfällen, aber auch die Geschichte verhinderten Wissens. Ausserdem wird das Ineinandergreifen unterschiedlicher, historisch jüngerer und älterer medialer Formate kerntechnischen Wissens beschrieben, wie sie heute wesentlich den Charakter der Mensch-Maschine-Beziehungen in Kernkraftwerken bestimmen. Empirischer Ausgangspunkt der Überlegungen ist eine 2013 durchgeführte Fallstudie im Kernkraftwerk Rivne (Ukraine).

The article examines the distinct national features and the interdependence of forms of knowledge in nuclear engineering and nuclear safety cultures. Special attention is paid to international knowledge transfer resulting from learning processes in the wake of major incidents as well as the history of hindered knowledge. Furthermore, the article also describes how different historically older and newer media formats of nuclear know-how, such as currently define the nature of the man-machine interface in nuclear power plants, fit together. The empirical starting point of these reflections is a case study performed in 2013 in the Rivne nuclear power plant (Ukraine).

Die spektakulären Unfälle der Kerntechnik – Three Mile Island-2 (1979), Tschernobyl-4 (1986) und zuletzt Fukushima Daiichi-1-4 (2011) – haben immer auch zu Überlegungen Anlass gegeben, ob länderspezifische Faktoren zu Unfallursachen oder -verlauf beigetragen haben – und ob ein «besseres Wissen», eine bessere Organisation der Wissenstransfers innerhalb der Expertengruppen hätten helfen können, die Katastrophe zu verhindern. Tatsächlich ist zu beobachten, dass es in unterschiedlichen ökonomisch-sozialen Systemen verschiedene Arten der Wissensweitergabe gibt. Häufig unterscheiden sich weniger die eingesetzten Technologien als vielmehr die Ausbildungsgänge, die Standards und Designs von Betriebshandbüchern, die Störfall-Instruktionen und die ihnen zugrundeliegenden «Philosophien» – und vor allem die Wissensweitergabe über normabweichende Betriebsabläufe. Auch kulturelle Faktoren spielen eine erhebliche Rolle – so die Auslegung von innerbetrieblichen, behördlichen oder Konzern-Hierarchien. Für Japan könnte die Firmenkultur der TEPCO als Beispiel angeführt werden,¹ für die späte Sowjetunion, in deren

Kontext der Unfall von Tschernobyl sich ereignete, der staatlich-industriell-militärische Kerntechnik-Komplex Minsredmaš («Ministerium für Mittleren Maschinenbau»). Damit sind kurz die Rahmenbedingungen für die Genese unterschiedlicher Wissensformen der Kerntechnik abgesteckt. Ich möchte dazu einige Überlegungen formulieren, die im Vergleich zu den Wissensformen und Wissensträgern anderer Technologien oder Industrien diskutiert werden könnten.

Dazu möchte ich kurz voranstellen, auf welcher Wissens- und Quellenbasis dieser Beitrag basiert. Er entstammt einem grösseren Forschungs- und Monographieprojekt, das sich mit der Technik- und Sozialgeschichte der osteuropäischen «Atomstädte» – das sind Werkstädte von Kernkraftwerken – beschäftigt.² Ich untersuche in dem Projekt unter anderem jene Faktoren, die im östlichen Europa für die Genese spezifischer Arbeitswelten sowie sozialer und professioneller Identitäten der Kerntechniker von grosser Bedeutung sind: Wissenstransfers, Lernprozesse und Mensch-Maschi-

ne-Beziehungen in der Kerntechnik. Die Untersuchung gründet nicht nur auf klassischem Archivmaterial, sondern auch auf einem aus der Ethnologie stammenden Ansatz, der fallstudienbasiert durchgeführt wird. Im Sommer 2013 habe ich als *participant observer* die Ingenieure und Techniker im Kernkraftwerk Rivne (Ukraine) über mehrere Wochen bei ihrer Arbeit begleitet, mit ihnen Gespräche geführt und dabei Informationen über institutionalisiertes und informelles Wissen in der Kerntechnik gesammelt. Ich hatte die Möglichkeit, die im Kraftwerk bzw. den Abteilungsarchiven aufbewahrte technische Dokumentation, Betriebshandbücher, Schichtbücher sowie elektronische Informationssysteme einzusehen.³

Im Folgenden möchte ich einige Beobachtungen zusammenfassen, die, wenn sie auch vor allem auf Erkenntnissen über Osteuropa basieren, doch für eine Betrachtung von Wissensformen der Kerntechnik in transnationaler Perspektive von Bedeutung sein können. Es handelt sich dabei um Wissensformen unterschiedlicher Reichweite, die an unterschiedliche mediale Formate gebunden sind. Ich gehe in historischer Perspektive auf Bedingungen und Charakteristiken der Wissensproduktion sowie auf Wissenstransfers ein; zur Geschichte von Wissenstransfers gehört aber immer auch die Geschichte veränderter oder anderweitig erschwelter Transfers. Ausserdem soll das Verhältnis von formellen zu informellen Wissensformen in der Kerntechnik angesprochen werden.

Wissen und Wissensträger

Die Kerntechnik und insbesondere die Kernkraftwerkstechnik ist historisch eine verhältnismässig junge Technologie, die in den Industriegesellschaften des globalen Nordens ab Mitte der 1960er-Jahre, im grossindustriellen Massstab aber erst seit Mitte der 1970er-Jahre eingesetzt wurde. Folglich können wir relativ zeitnah beobachten, wie Wissen mit den Wissensträgern aus alten in neue Industrien wandert. Genaugenommen beginnt die Geschichte des kerntechnischen Wissens natürlich in den Laboren von Marie Curie, Otto Hahn oder Lise Meitner, lange vor der grossindustriellen Geschichte der Kerntechnik. Jedoch trat die Kernforschung im Zweiten Weltkrieg rasch aus der theoretisch-experimentellen in die praktisch-industrielle Phase über. Für Isotopentrennung, Urananreicherung und Kernspaltung zwecks Plutoniumherstellung war man in immer grösserem Masse auf das Know-how von Technikern, Ingenieuren und Logistikern angewiesen. Viele dieser Spezialisten, die noch klassische Ausbildungsgänge durchlaufen hatten (Physik, Chemie, Metallurgie), wechselten später in die zivile Atomindustrie. Seit den 1950er-Jahren schufen etablierte Institutionen neue Fachbereiche für die Ausbildung des kerntechnischen Nachwuchses: In Frankreich fand

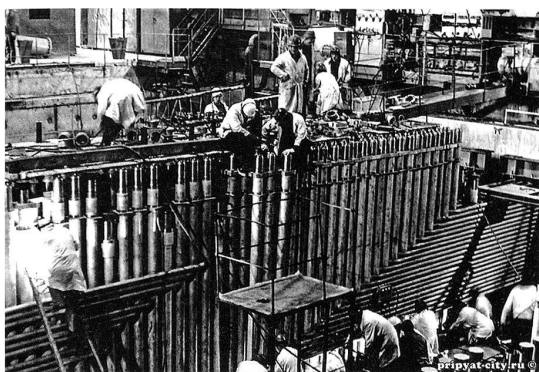


Kerntechnisches Wissen popularisieren: Broschüre über das KKW Tschernobyl aus der Zeit des Kernenergie-Booms in der Sowjetunion. Hier wird das Bauprinzip des Druckröhren-Siedewasserreaktors RBMK zur Grundlage einer grafischen Ästhetisierung. (Quelle: Černobyl'skaja AĖS s reaktorom RBMK-1000. Pervaja na Ukraine, Kiev 1977, Titelblatt)

diese an den traditionsreichen Grandes Écoles (Polytechnique und École des Mines) statt, in der DDR waren die Bergakademie Freiberg, die TU Dresden und das Forschungszentrum Rossendorf die kerntechnischen Wissenszentren, und in der Sowjetunion entstanden mit dem Kurčatov-Institut und Universitäten wie Tomsk, die durch räumliche Nähe mit der geheimen Nuklearforschung und -rüstungsindustrie verbunden waren, neue Forschungs- und Ausbildungsschwerpunkte. Der zweite Traditionsstrang und Wissenshintergrund der «Migranten» in die Kerntechnik sind die konventionelle Kraftwerkstechnik und die Elektrotechnik. In der Sowjetunion waren diese beiden Stränge auch organisatorisch auf zwei Grosswirtschaftsverwaltungen aufgeteilt, den bereits genannten Minsredmaš-Komplex sowie das Energieministerium Minenergo. Die sowjetischen Kernkraftwerke wurden in der Regel unter der Kontrolle der erstgenannten Struktur gebaut und in Betrieb genommen und erst nach dem Probetrieb in die Kompetenz der «Energetiker» übergeben.⁴

Wissenskulturen und Reaktorlinien

Diese Wissenstransfers und -überlagerungen liefen nicht konfliktfrei ab. Das zeigen die prinzipiellen Kontroversen bis hin zu regelrechten «Kriegen» [wie z.B. die *guerre des filières*⁵ in Frankreich Ende der 1960er-



Reaktormontage des RBMK, Tschernobyl-1, ca. 1976. Die Möglichkeit, diesen modular aufgebauten Reaktor direkt am Standort zu montieren, ohne Grosskomponenten über lange Strecken befördern zu müssen, galt als wesentlicher ökonomischer Vorteil dieses Reaktortyps. Die Aufnahme stammt von einem Amateurfotografen: Die sowjetischen Atomingenieure dokumentierten ihre Arbeit häufig mit der eigenen Kamera, was eigentlich verboten war, aber von Seiten der Kraftwerksleitungen stillschweigend geduldet wurde.

(Quelle: Privatarchiv Vitalii Kozlov, pripyat-city.ru)

Jahre) über die industrielle Etablierung verschiedener Reaktor-Baulinien. Während im Falle Deutschlands angesichts politischer Planlosigkeit die Industrielobbies (Elektrotechnik, Chemie, kohlebasierte Energiekonzerne) den Entscheidungsprozess wesentlich mit beeinflussten,⁶ prägten bei den Atommächten lange Zeit Militärs und Grossforschungseinrichtungen die Entscheidungen in der zivilen Kerntechnik. Transnationale Verflechtungen spielten ihrerseits eine bedeutende Rolle – beispielsweise die Fertigung von Leistungsreaktoren unterschiedlicher Baulinien nach US-Lizenz in Westeuropa oder der schlüsselfertige Export sowjetischer VVER-Kernkraftanlagen in die Ostblockstaaten.

In der Sowjetunion wurde in den 1970er-Jahren im Gefolge der globalen Ölkrisen, die den Verkauf von fossilen Energieträgern auf dem Weltmarkt gegen Devisen attraktiv machten, auf einen raschen Ausbau des zivilen Kernenergiesektors gesetzt. Wirtschaftlichkeit und schnelle Errichtung der Anlagen waren in den 1970er-Jahren prioritär. Das begünstigte zunächst nicht den weltweit im Vormarsch befindlichen Druckwasserreaktor, für dessen Errichtung teure und rare Kapazitäten der Druckbehälterproduktion benötigt wurden, sondern ein aus der Frühzeit der militärischen Reaktortechnik stammendes modulares Reaktorkonzept: jenes des RBMK, des grafitmoderierten Siedewasserreaktors in Druckröhrenbauweise.⁷

Solche Anlagen konnten vor Ort in Serie montiert werden, wiesen aber, wie sich schliesslich beim Unfall in Tschernobyl-4 auf tragische Weise herausstellte,

wesentliche inhärente Instabilitäten auf. Allerdings besiegelte der Unfall, in dessen Gefolge das RBMK-Konzept trotz beträchtlicher Modernisierungserfolge aufgegeben wurde, letztlich nur einen schon vor 1986 angelegten Trend: In der sowjetischen Kerntechnik war dem Druckwasserreaktor (VVER) aus Gründen der Betriebssicherheit und der geringeren Radionuklid-Emissionen bereits der Vorrang vor dem Siedewasserreaktor eingeräumt worden. Seit Mitte der 1980er-Jahre plante man vorwiegend VVER-Kraftwerke. So auch in der Ukraine: Rivne, der Standort meiner Feldstudie mit vier Druckwasserreaktor-Blöcken, war nach Tschernobyl das zweite in der Ukrainischen SSR errichtete KKW; auch alle weiteren ukrainischen Anlagen⁸ wurden mit Druckwasserreaktoren ausgerüstet.

Auch die Verhältnisse im Inneren der Betriebe zeigen die historische Vorprägung unterschiedlicher Traditionslinien und Wissenskulturen. Ein Beispiel dafür sind die in der Frühzeit der sowjetischen und französischen zivilen Kerntechnik stark unterschiedlichen professionellen Identitäten von Atomingenieuren im engeren Sinne, die aus der militärischen Kerntechnik einwanderten, und der «Energetiker», deren Ausbildungsgang und Wissensvorrat an den Erfordernissen der Stromerzeugung ausgerichtet war. Auch die Rekrutierungssysteme unterschieden sich hier wesentlich voneinander. Am Standort Rivne in der westlichen Ukraine kann man solche Verhältnisse bis zu den Herkunftsregionen und Muttersprachen der Mitarbeiter verschiedener Abteilungen im Kernkraftwerk zurückverfolgen: Während die Maschinentechniker und Elektroingenieure, die für den konventionellen Teil der Kraftwerkstechnik zuständig sind, angesichts akuten Arbeitskräftemangels vor allem aus der ukrainischsprachigen Standortregion rekrutiert wurden, stammten die Kerntechniker und leitenden Ingenieure der ersten Generation aus allen Teilen der ehemaligen Sowjetunion und hatten ihre Ausbildungen und ersten Karriereschritte an Hochschulen und kerntechnischen Anlagen auf dem Gebiet der heutigen Russischen Föderation durchlaufen. Erst in den 1990er-Jahren änderten sich diese Rekrutierungsmuster infolge der Nationalisierung der postsowjetischen Kernenergiewirtschaften.⁹

Lern- und Wissensformen

In der Kerntechnik beobachten wir, wie in jeder neu eingeführten Technologie, eine allmähliche Aneignung, Aggregation und Institutionalisierung von Erfahrungswissen durch die Akteure. Kerntechnisches Wissen wurde überall in einem längeren Prozess niedergelegt, verstetigt und normiert. Handlungsanweisungen, wie sie etwa in Betriebshandbüchern (BHB) und Unfallinstruktionen niedergelegt sind, waren nicht von vornherein «da», sondern wurden in einem langen Prozess erarbeitet und standardisiert. In Westdeutschland

basierten sie auf den vom Anlagenhersteller gelieferten Unterlagen und wurden infolge interner und externer Erfahrungsauswertungen angepasst; sie unterlagen einer Begutachtung und Genehmigung durch die Aufsichtsbehörden. Auch an den sowjetischen Standorten bildeten Herstellerunterlagen und behördliche Genehmigungsverfahren das Rückgrat der Betriebshandbücher. Die Präzisierung der Betriebsanweisungen wurde dann während der Inbetriebsetzungsarbeiten und des Probetriebs erarbeitet. Gleichwohl wurde Wissen auch in nichtschriftlicher Form vermittelt: durch das Lernen im Alltagsbetrieb, von älteren Kollegen oder bei Ausbildungsgängen in bereits laufenden Anlagen. Informelles oder nur vor Ort, im Lernkollektiv der einzelnen Anlage vorgehaltenes Wissen war dem institutionalisierten, in Richtlinien gegossenen und landesweit verbindlichen Wissen häufig vorgängig. «Wir hatten kein Betriebshandbuch [in der heutigen Ausformung], wir haben es selbst geschrieben», so eine Aussage aus Rivne.¹⁰ Die leitenden Ingenieure legten sich bei der Inbetriebsetzung einer neuen Anlage als zusätzliches Instrument der Wissensbewahrung auch minutiös geführte eigene Handbücher an, die man mit Blick auf Umfang und Komplexität ironisch-liebevoll *talmud* nannte. Zudem waren die Anlagen Rivne-1 und -2 Referenzanlagen für den Export in das ostmitteleuropäische Ausland und die DDR, produzierten also auch Betriebserfahrungen für das Design von Komponenten und Betriebsanweisungen in den aussersowjetischen Anlagen. «Bei uns war alles neu und wurde zum ersten Mal getestet», erinnerten sich die dienstälteren Ingenieure. Indikatoren solcher Lernprozesse sind neben den Aussagen von Respondenten auch die verfügbaren Betriebsergebnisse, Angaben über die aufgenommenen Strahlungsdosen und Angaben über die Häufigkeit von besonderen Vorkommnissen im diachronen Vergleich.¹¹

Mensch-Maschine-Beziehungen im Lichte von Wissenstransfer und Transferinhibition

Heutige Systeme der Störfallmeldung und Wissensweitergabe über anormale Betriebsabläufe sind stark transnationalisiert (z.B. die WANO-Datenbank der World Organisation of Nuclear Operators, das IAEA-INES-Meldesystem) und durch den Einsatz moderner Informations- und Vernetzungstechnologien gekennzeichnet. Diese Meldesysteme sind erst in Reaktion auf die grossen kerntechnischen Unfälle in Three Mile Island und Tschernobyl entstanden. Weder in historischer noch in transnationaler Perspektive kann man feststellen, dass die Wissensweitergabe in der Kerntechnik stets reibungslos ablief. Kulturelle und politische Faktoren haben in der Vergangenheit und bis heute zu erheblichen Wissensdefiziten und auch zur systematischen Verhinderung von Wissenstransfers geführt; eine grosse Rolle spielen dabei auch soziale Faktoren, beispielsweise die Belohnungs- und Bestrafungssysteme

in betrieblichen Hierarchien. Sie bestimmen Modus und Qualität des Wissenstransfers – sowohl zwischen einzelnen Experten als auch zwischen Betrieben, welche die gleiche Technologie nutzen, als auch zwischen Institutionen.

Diese Überlegung kann exemplarisch am Beispiel der Unfallanamnese von Tschernobyl-4 ausgeführt werden. Technisch gesehen handelte es sich nicht um eine Kernschmelze (wie in Three Mile Island-2 oder Fukushima I-1-3), sondern um einen Reaktivitätsstörfall, der zu einer prompt überkritischen Leistungsexkursion und Zerstörung der Anlage führte. In einen grösseren Zusammenhang gesetzt, handelte es sich genau genommen nicht einfach um einen Funktionsfehler im technischen Artefakt. Vielmehr beobachteten wir in Tschernobyl das krisenhafte Umschlagen eines soziotechnischen Systems, das aus dem Reaktor und den Menschen bestand, die ihn konstruierten und betrieben. In diesem System trafen rahmende soziale und politische Faktoren (Erfolgsdruck im Kernenergiesektor und sozialer Druck von Vorgesetzten auf Untergebene) mit physikalischen und technologischen zusammen.

In den 1980er-Jahren, in Zeiten einer bis aufs Äusserste angespannten Energieversorgungssituation, die durch Frequenzschwankungen, Stromsperrern und instabile Verbundnetze geprägt war, standen die sowjetischen Kernkraftwerksbelegschaften unter immensem Produktionsdruck. Es gab rigide Systeme von Belohnung, Bestrafung und politischer Kontrolle, die eine offene Fehlerdiskussion verunmöglichten. «Der KGB suchte immer nach Spionen und Schädlingen», bei Störungen wurde Sabotage gewittert.¹² Somit wurde, was eigentlich erwünscht sein sollte – die Vermeidung von Fehlern durch ihre Kommunikation –, systembedingt verhindert.

Zu den technischen Seiten des komplexen Mensch-Maschine-Gesellschaft-Systems im Block 4 gehören einerseits die reaktorphysikalischen Eigenschaften des in Tschernobyl eingesetzten Reaktortyps¹³ und andererseits eine durch seine Konstrukteure vorgenommene fehlerhafte Systemauslegung. Wie häufig bei grossen technischen Unfällen wäre jeder Faktor für sich allein genommen nicht unfallauslösend gewesen, aber alle zusammengenommen waren es: ein mit Fehlern behaftetes technisches System; die unter Druck eines Vorgesetzten vorgenommene Verletzung von Betriebsvorschriften durch das Schichtpersonal¹⁴; ein Inbetriebsetzungstest, der bestimmungswidrig bei einem nach drei Betriebsjahren im Abfahrprozess befindlichen Reaktor durchgeführt wurde, in dem ein hoher Abbrand die Neutronenökonomie ungünstig beeinflusste; und schliesslich ein Abschaltssystem, das zu langsam war und für ein paar Sekundenbruchteile dem System Re-

aktivität zuführte statt entnahm.¹⁵ Solche fatalen Konstellationen an der Schnittstelle hochkomplexer, enggekoppelter sozialer und technischer Systeme wurden von dem amerikanischen Organisationssoziologen Charles Perrow als «normale Unfälle» bezeichnet und als Grundsatzproblem grosstechnischer Systeme in die Diskussion gebracht.¹⁶

Die sowjetischen Ingenieure haben vermutlich 1986 Perrows Buch noch nicht gekannt. Gleichwohl gab es in einigen Spezialistengruppen Wissen über die mögliche Genese solcher Verläufe – aber es wurde nicht weitergegeben. In anderen RBMK-Kraftwerken hatten Messreihen auf das potenzielle Problem aufmerksam gemacht, und in einem Fall war es zu einem glimpflich verlaufenen, aber geheim gehaltenen kleineren Reaktivitätsstörfall gekommen. Die in diesem Zusammenhang angestellten Analysen wurden, nach alter Minsredmaš-Kommunikationstradition, jeweils nur nach oben in die Hierarchie weitergegeben. In horizontaler Richtung jedoch wurde das Wissen nicht weiterverbreitet – institutionalisierte Informationssysteme und -kanäle, die Kraftwerk mit Kraftwerk oder Forschungsinstitute mit Kraftwerken vernetzten, gab es in der damaligen Sowjetunion nicht. Informationen wurden allerdings informell weitergegeben: über private Beziehungen und in gelegentlichen Telefonaten unter Kollegen, die zusammen studiert hatten oder sich von Tagungen kannten.

Vor allem aber war das operative Personal in den Kontrollräumen von der für ihre Arbeit eigentlich lebensnotwendigen Information abgeschnitten; auch bei Fortbildungen waren sie kein Gegenstand der Diskussion. Die genannten Vorfälle und Analysen waren Gegenstand von Gerüchten, mehr nicht. Die *operativniki* machten sich im Arbeitsalltag derweil ihren eigenen Reim auf unvorhergesehene Verhaltensweisen ihres Reaktors, gaben aber die so gesammelten Informationen nur informell, häufig mündlich und nur unter Hierarchiegleichen weiter. Selbst im operativen Geschäft sehr erfahrene Ingenieure bezeichneten den RBMK wegen seines für Überraschungen guten Neutronenhaushalts als «unergründlich».¹⁷

Derweil lagen in den Forschungsinstituten Pläne zur Nachrüstung des RBMK bereits vor dem Unfall in der Schublade – sie wurden aus ökonomischen Gründen in Zeiten notorischer Stromknappheit aber nicht in die Tat umgesetzt. Die sehr rasche Aufklärung der Unfallursachen legt ebenfalls nahe, dass Wissen und analytische Fähigkeiten zur Benennung der Defizite vor dem Unfall vorhanden waren, dass aber dieses Wissen nicht verarbeitet wurde oder sich an entscheidender (Partei-)Stelle nicht durchsetzen konnte. Bereits im Sommer 1986 waren sich die Spezialisten darüber im Klaren, was in

Tschernobyl passiert war und dass die Unfallursachen wesentlich auf die Reaktorauslegung zurückgingen. Aus politischen Gründen wurde diese Tatsache bis 1990, als eine neue Untersuchungskommission einen umfassenden Bericht vorlegte und dieser schliesslich auch veröffentlicht wurde, zunächst in den Berichten an die IAEA und im eigenen Land verheimlicht; bis dahin wurde die Version vom ausschliesslichen Personalversagen als Unfallursache verbreitet, die sich bis heute auch in vielen Darstellungen immer noch hartnäckig hält.¹⁸

Lernprozesse im Transfer

Eben die schweren kerntechnischen Unfälle stellten aber auch wesentliche Meilensteine bei der Etablierung eines internationalen Wissenstransfers dar. So legte der Unfallablauf in TMI-2 offen, dass das Missverstehen oder die Nichtbeachtung von wichtigen Anzeigen im Kontrollraum, genauer noch: ein strukturelles Defizit bei der Unterscheidung wichtiger von unwichtigen Signalen, das durch die Ergonomie des Kontrollraums und Ausbildungsdefizite des Personals bedingt war, einen wesentlichen Beitrag zur Genese des schweren Unfalls aus «harmlosen» Ausgangsereignissen geleistet hatte.¹⁹ Dieses Erkenntnis löste einen zunächst in der westlichen Welt ablaufenden, dann auch Osteuropa erreichenden transnationalen Reformprozess im Design von Schaltwarten und bei der Formulierung von Störfallanweisungen aus. Sogenannte «symptomorientierte» und «schutzzielorientierte» Unfallinstruktionen lösten die klassischen Checklistsensysteme ab, aus denen die Operateure in eigener Entscheidung ihre Schlüsse ziehen mussten. Symptomorientierte Anweisungen arbeiten mit Abfragen nach einer binären Logik, also Fragen, die nur die Antwort Ja oder Nein zulassen: Ist der Druck im Primärkreislauf niedriger als xx bar? Je nach Antwort erfolgt dann eine Anweisung über die einzuleitenden Massnahmen oder eine Weiterleitung zu einer nächsten Frage. Diese Instruktionen, so ihre Entwickler, führen die Operateure also auf einem sicheren Leitpfad durch eine durch Informationsüberfluss und Uneindeutigkeit gekennzeichnete Situation. Wenn die Auslegungstechnik erschöpft ist, werden primäre Schutzziele (z.B. Unterkritikalität, Wärmesenke) priorisiert. Hinzu treten als Ultima Ratio die für schwersten Unfallverläufe konzipierten SAMGs (Severe Accident Management Guidelines), die ebenfalls in den USA entwickelt wurden.²⁰

Am Beispiel der spät- und postsowjetischen Kerntechnik ist recht gut nachzuweisen, wie nach Tschernobyl durch transnationale Organisationen (IAEA, WANO) sowie im Rahmen europäischer Kooperations- und Nachrüstungsprojekte (TACIS, INSC) nicht nur ein Technologietransfer in Gang kam, sondern sich auch die Wissensform des Störfallhandbuchs wesentlich transformierte. Von den ursprünglichen «Instruktionen

оголоение активной зоны и разуплотнение ТВЭЛ.				
3.6.2.2. Непосредственные действия оперативного персонала				
№		Объект воздействия или место расположения	Наименование действия	Примечание
1	2	3	4	
1.	Приборы пан Б-4 пульс Б-1А	По признакам установить факт срыва естественной циркуляции		
2.	Пульс связи	Уведомить НС АЭС, НСВ и оперативный персонал БЩУ, КЗ о срыве естественной циркуляции.		
3.	Пульс Б-6А пан.Б-1С	Проконтролировать работу системы расхолаживания (расход воды по тракту П контура, работу I(2) НР-I(2,3), расход технической воды на ТК-I(2), при неисправностях в работе осуществить переход на резервное оборудование.		
4.	I(2)P7-I(2+6) I(2)P8,9-I(2+6)	Проконтролировать положение арматуры: - дренажей и воздушников на петлях (закрыто) - состояние ГЗ на петлях участвующих в расхолаживании (открыто) и на петлях (отключенных (закрыто)).		
5.	Прибор РШБ501 пульс Б-5А	Проконтролировать уровень в реакторе и если произошло снижение уровня воды в реакторе - восстановить уровень: - открыть воздушники коллекторов ПГ участвующих в водо-водяном расхолаживании;		
	I(2)P7-I(2+6) пом.А201/I(2)			
Лист 50				
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата

Ausschnitt aus einer ereignisorientierten Störfallinstruktion, KKW Rivne, 1988: Störfallscenario 3.6.2 «Abriss der natürlichen Kühlmittelzirkulation während der Restwärmeabfuhr im kalt-unterkritischen Reaktor» [kalt-unterirdisch ist ein Betriebszustand, wie er z. B. nach dem Abfahren des Reaktors für Brennelementwechsel und Revision vorkommt], Anweisung 3.6.2.2 «Unmittelbare Handlungen des operativen Personals». Links: numerische Aufzählung der Reihenfolge der Handlungen sowie «Objekt der Einwirkung und Standort». Die hier als «Objekte» aufgeführten Ziffern-Buchstaben-Kombinationen bezeichnen Segmente der Anzeigetafeln bzw. Schaltpulte sowie einzelne Messgeräte auf der Warte, aber auch Komponenten bzw. die Räume, wo sich diese befinden. In der Mitte: «Benennung der Handlung», rechts: «Bemerkungen».

(Quelle: KKW Rivne, Abteilungsarchiv des Dienstes für Sicherheitsanalysen SAB)

zur Liquidierung von Havarien»²¹, die ereignisorientiert waren, die geforderten Personalhandlungen allgemeiner umschrieben und den Ingenieuren relativ viel Entscheidungsfreiheit liessen, ging man über zu den heute benutzten symptomorientierten Unfall-Instruktionen (*Simptomno-orientovanye avarijnye instrukcii, SOAI*), die nach der oben beschriebenen Logik funktionieren und nach US-Vorbildern konzipiert wurden.

Im Ergebnis dieser technologischen Verflechtungsgeschichte zählen heute die Druckwasserreaktoren sowjetischer bzw. russischer Bauart bei Experten hinsichtlich Sicherheit und Übersichtlichkeit zu den besten DWR-

Anlagen weltweit, weil bestehende technische Vorzüge im Transferprozess gestärkt, (sowjet-)systembedingte Mängel aber beseitigt wurden. Es ist wichtig zu betonen, dass es sich bei solchen Prozessen nicht um eine unreflektierte Übernahme der aus dem Westen kommenden Vorbilder handelt, sondern um eine kritisch durchdachte und diskutierte Adaptation. Das zeigen auch die internen Diskussionen unter den osteuropäischen Ingenieuren im operativen Betrieb, die allesamt eine Hochschulausbildung durchlaufen haben. Während die ältere Generation des heute aktiven Schichtpersonals betont, dass die Entscheidungsfreiheit früherer Instruktionen einem gut ausgebildeten Ingenieur ermögliche, auch in den Regelwerken nicht antizipierte Transienten sicher zu beherrschen und auf Nachteile der SOAI hinzuweisen, die sie streckenweise an Drossur erinnerten, wächst die jüngere Generation bereits mit diesen Handlungsanweisungen auf und stellt sie weniger infrage. Gleichzeitig lernen aber die Jüngeren von ihren Vorgesetzten, dass auf möglichst breiter Bildung basierende Intuition und Improvisationsfähigkeit in Störfallsituationen für die Problemlösung von grosser Bedeutung sein können. Ich konnte mich selbst bei der Beobachtung von Trainingssituationen im Simulator und während der anschliessenden Manöverkritiken sowie in vielen Einzelgesprächen davon überzeugen, wie neues Wissen in der intergenerationellen Kommunikation generiert wird und wie Wissenstransfers durchaus nicht nur undiskutiert übernommen, sondern auch hinterfragt werden.

Kerntechnisches Wissen und seine Medialisierung

Darüber hinaus müssen aber auch Medien und Speicherformen des kerntechnischen Wissens angesprochen werden. Dazu gehört die Frage nach dem Formalisierungsgrad des Wissens, der häufig mit dem verwendeten Medium korreliert: ob papiergebundene Wissensfixierung, elektronisches Format oder die mündliche Wissensweitergabe und durch soziale Praxis eingeübte Wissensspeicherung in der individuellen Erinnerung von Lernenden. Die folgenden Überlegungen beruhen auf meinen Erhebungen im «Feld», d.h. aus der Beobachtungsarbeit unter Routine-Arbeitsbedingungen im Kernkraftwerk Rivne, einer Anlage, deren vier Blöcke zwischen 1980 und 2004 in Betrieb gingen und seitdem beständig modernisiert wurden. Sie sollten, das sei einschränkend vorweggenommen, mit Hinblick auf eine transnationale Aussagefähigkeit mit ähnlichen Beobachtungen in westlichen Anlagen verglichen werden, die noch folgen sollen.

Grundsätzlich ist anzumerken, dass die digitale Revolution, welche auch die Wissensformen der Kerntechnik wesentlich prägt, in den heute betriebenen Kernkraftwerken eigentlich keine Revolution, sondern eine Evolution war. Elektronische Daten- und Signalverar-

beitung war nach dem jeweiligen Stand der Technik in der Kernenergetik wie auch in der fossilen Kraftwerkstechnik selbstverständlich. Allerdings war der Digitalisierungs- und Automatisierungsgrad aufgrund systembedingter struktureller Defizite in den osteuropäischen Anlagen niedriger, die Leistungsfähigkeit der Grossrechner geringer als in westlichen Anlagen vergleichbarer Leistung. Die Erfahrung einer flächendeckenden Digitalisierung der Leit-, Mess- und Regeltechnik sowie der Informations- und Archivierungssysteme – also alles, was als «I&C» bezeichnet wird – und die Angleichung an den Weltstandard ist in Osteuropa also tatsächlich eine jüngere Erfahrung seit den 1990er-Jahren, und diese historisch junge Entwicklung spiegelt sich noch in gewissen Praktiken. Mit der Digitalisierung geht auch ein Generationswechsel einher, oder präziser ausgedrückt, eine Umkehrung der Lernhierarchien: So werden heute im KKW Rivne die älteren, mit der Relais-Schalttechnik aufgewachsenen Techniker und Meister durch die an Schlüsselstellen in den Arbeitsgruppen (früher: «Brigaden») eingesetzten Jungingenieure in den Wissenstransfer eingebunden.²²

Das heutige Wissen der Kerntechniker ist im KKW Rivne in unterschiedlichen Medienformaten und in institutionalisierter Form genauso niedergelegt wie in informellen Wissensspeichern. Normenwerke, Betriebshandbücher, Anlagenpässe, Schaltpläne, Unfallinstruktionen, Defekt-Meldesysteme, Schichtbücher existieren, je nach Stand der Modernisierung oder der Arbeitsroutinen, papiergebunden oder in digitaler Form. Häufig existieren beide Formen als «Redundanz» parallel.²³ So ist in den ukrainischen Kernkraftwerken das Defekt-Meldesystem vollständig informatisiert – gleichzeitig halten aber die einzelnen Abteilungen immer noch eine Papierform der entsprechenden Informationen vor. Teilweise geschieht dies aus Routine-, teilweise aus Sicherheitserwägungen. Auch hier bestimmt oft die Generationszugehörigkeit, ob der Diensthabende zuerst die Workstation ansteuert oder das papiergebundene Medium – auch wenn die elektronische Form die endgültige und massgebliche ist. Die Schichtbücher (*operativnye žurnaly*) auf den Schaltwarten werden nach wie vor von Hand geführt,²⁴ obwohl die dort niedergelegten Parameter und weiteren Informationen längst auch von den digitalen Schichtplänen und den I&C-Archivierungssystemen vorgehalten werden.

Des Weiteren ist zu beobachten, dass in verschiedenen Arbeitssituationen unterschiedliche mediale Formen dominieren. So ist die Mensch-Maschine-Kommunikation auf der Schaltwarte eines Kernkraftwerks aus den 1980er-Jahren in der Regel vom Ineinandergreifen verschiedener und historisch-genetisch aufeinanderfolgender Visualisierungsformen von Wissen geprägt. Die Ausrüstung mit wandfüllenden Fliessbildern, Meldeta-

bleaus und Schaltpulten aus der vordigitalen Zeit ist in solchen Anlagen in der Regel kombiniert mit moderner IT-Technik. In der russischen und ukrainischen Fachsprache verweist auch die technische Semantik auf die Bedeutung von Wissen in seiner im Bild formalisierten Gestalt: Hier heissen Prozessfliessbilder *mnemosxema*, und Visualisierungen wie die Kernquerschnittstafeln von Leistungsreaktoren (welche über die Position von Regelementen im Reaktorkern Auskunft geben) *mnemotablo*, d.h., sie werden semantisch mit Gedächtnisformen und Mnemotechniken in Verbindung gebracht.

Die Wissensordnung der Anlagenfahrer auf der Warte ist auch in räumlicher Hinsicht eine historisch gewachsene Ordnung: Die funktionelle Raumaufteilung in die Bereiche Überwachen/Diagnostizieren/Archivieren sowie Eingreifen/Steuern²⁵ hat sich seit den 1940er-Jahren des 20. Jahrhunderts in der Prozessleittechnik grosser Industrieanlagen etabliert. Sie ist in den Kernkraftwerken nach einer Vertikal-/Horizontal-Ordnung sowie nach fachlicher Zuständigkeit und Prozessfluss in einer Links-rechts-Lese-richtung organisiert. Das bedeutet, dass «Lesen» und Informationsaufnahme vor allem in der Vertikalen der Anzeigetableaus angesiedelt ist, «Handeln» in der (abgeschrägten) Horizontalen der Schaltpulte. Allerdings ist diese Aufteilung nicht konsequent erfolgt, und etliche Schalter und Regler sind auch in der Vertikalen angebracht, wie das auch an den «Stehpulten» früher Leitstände üblich war.²⁶ Die Links-rechts-Ausrichtung der Handlungsebene an den Pulten und der ihnen zugeordneten Schaubilder und Anzeigen nimmt die Ursache-Folge-Beziehungen sowie die vorgestellte zeitliche Abfolge des Produktionsprozesses auf. Sie bildet gleichzeitig auch die Arbeitsteilung auf der Warte ab: Reaktorfahrpult links («Ursache»: Wärmeproduktion durch Kernspaltung); intermediäre Systeme wie die Dampferzeuger in der Mitte («Vermittlung»: Hauptwärmesenke); Turbosatzfahrpult und elektrische Maschinen rechts («Ergebnis»: Umwandlung kinetischer in elektrische Energie sowie deren Umformung auf die Spannungsebenen des Verbundnetzes). Die Signal- und Bedientafeln der Notkühlsysteme und anderer selten genutzter oder unter Normalbedingungen passiver Systeme befinden sich auf Nebenleitständen links aus- oder im rückwärtigen Bereich der Leitwarte.

Diese traditionellen Formen der Visualisierung und Instrumentierung wurden an meinem Beobachtungsstandort, ähnlich vielen anderen KKW vergleichbaren Alters, nicht komplett ersetzt, etwa durch die in modernen Warten üblichen Grossbildprojektionen mit digital erzeugten Fliessbildern. Vielmehr werden sie in Kombination mit elektronischen Ausgabemedien genutzt. Diese sind entweder in die Anzeigetafeln integriert und nehmen dort die Funktion der früheren Schreiber und



Wissensordnung an der Mensch-Maschine-Schnittstelle, 2013: KKW Rivne, Simulator Schaltwarte Block 2, VVER-440, Reaktorfahrpult und dazugehörige Anzeigetafeln. Die Ausrüstung des Simulators ist identisch mit jener der Original-Schaltwarte. Gut erkennbar sind oben links und rechts die aus der analogen Zeit beibehaltenen Flie遥bilder des Primärkreislaufs und seiner Hilfssysteme. Im zentralen Bereich haben die digitalen Ausgabemedien des Reaktorschutzsystems die analoge Instrumentierung abgelöst. Die Kernquerschnittstafel im Zentrum oben zeigt auf einen Blick die sektoralen Positionen der (in den Anzeigefenstern farbig unterschiedlich umrahmten) Steuerstabgruppen, die hier sämtlich bis auf die unterste Position eingefahren sind: Der «Reaktor» wurde im Zuge einer Störfallsimulation schnellabgeschaltet. Dieses sogenannte mnemotablo wurde erst im Zuge einer Modernisierung eingerichtet: In der Originalausstattung der Warte von 1980 gaben analoge Anzeigen der Drehmeldesysteme (russ. sel'siny, von engl. selsyns) Auskunft über die Position der Steuerelemente.

(Quelle: A.V. Wendland, 2013)

anderer Anzeigeelemente (für Steuerstabpositionen, Neutronenflussdichte, Reaktorperiode, Drücke, Temperaturen, Drehzahlen u.dgl.) wahr, zeigen also konstant bestimmte Parameter an, oder sie befinden sich als Pultmonitore am Arbeitsplatz des Anlagenfahrers. Hier können Prozessparameter in ihrer zeitlichen Entwicklung, Komponenten- und Schaltpläne sowie Prozessschaubilder aufgerufen werden, d.h., der Operator wechselt häufiger zwischen den Anzeigen und benutzt dafür auch mehrere Eingabegeräte. Die traditionelle räumliche Zuordnung bleibt also prinzipiell auch bei den IT-gestützten Gerätschaften in Kraft, aber sie wird durch die Bedienmöglichkeiten (Zoomen, Auswählen, Wechseln zwischen Ansichten etc.) auch fluider. Vielleicht sollte man neben «Lesen» und «Handeln» noch die aus der traditionellen räumlichen Trennung der Funktionen resultierende Tätigkeit «Laufen» hinzufügen, denn die Anlagenfahrer sind, gerade wenn sie handeln müssen, häufig in Bewegung zwischen Anzei-

getafeln, eigenem Pultsegment bzw. Schreibtisch, auf dem die Schichtbücher, Notizen und andere Schriftstücke liegen und wo die Telefone installiert sind. Es gibt ein russisches Kerntechnikersprichwort: *VIUR-a nogi kormljat* «Den VIUR [Reaktorfahrer]²⁷ ernähren seine Beine», in Abänderung des volkstümlichen *volka nogi kormljat* «Den Wolf ernähren seine Beine».²⁸

Das eigentliche Eingreifen in den Prozess erfolgt jedoch nach wie vor über die Schalthandlung an Schaltpult oder -tafel, also nicht über integrierte Benutzeroberflächen und Eingabegeräte wie Mäuse, Tastaturen oder Joysticks wie in hochmodernen Leitständen; die Kommunikation mit den Technikern auf den diversen Posten ausserhalb der Warte wird übers Telefon abgewickelt, nicht über mobile Endgeräte; auch gibt es nach wie vor externe Leitstände für bestimmte Komponenten.²⁹ Die papiergebundene Form der Schaltpläne wird vom Schichtpersonal wiederum konsultiert, wenn es nicht

um die routinemässige Abfrage von Parametern geht, sondern um Spezialprobleme, z.B. die Ausarbeitung von Reparaturplänen oder die Abstimmung von Arbeitsanweisungen zwischen verschiedenen Abteilungen auf Dienstbesprechungen. Und nach wie vor gibt es einen grossen Wissensraum des informellen und mündlich oder durch Nachmachen weitergegebenen Wissens, dessen Medien weder papiergebunden noch in elektronischer Form etabliert sind: Das kann man überall dort feststellen, wo direkt in Tuchfühlung mit den Komponenten gearbeitet wird, d.h. vor allem auf der Ebene der Techniker und bei der Organisation der Tätigkeiten auf den routinemässigen Rundgängen. Hier – bei der Begehung von Räumen, die während des Betriebs frei oder je nach Ortsdosisleistung kurzzeitig betretbar sind, und beim Probetrieb von Pumpen und anderen Aggregaten spielen nach wie vor Horchen, Beobachten, Tasten eine genauso wichtige Rolle beim Antizipieren von Unregelmässigkeiten wie das Ablesen der Messgeräte vor Ort sowie die Fernkontrolle über die auf der Warte auflaufenden Parameter. Überdies gehen auch die Schichtleiter häufig auf Rundgang und ergänzen die Fernkontrolle durch die direkte Inaugenscheinnahme der Anlage. Der Nachwuchs, der während der Ausbildung immer in Begleitung eines erfahrenen Technikers losgeschickt wird, lernt diese Verfahren durch Beobachten und Nachmachen.

Fazit

Die Wissensformen der Kerntechnik sind, wie ich an einigen Beispielen gezeigt habe, historisch relativ jung. Wie in anderen Fachgebieten ist auch das Wissen der Kerntechnik in ganz unterschiedlichen Medienformen niedergelegt, an die wiederum bestimmte Routinen, Arbeits- und soziale Praktiken gebunden sind. Die Form, in der Wissen niedergelegt ist, das Alter der Anlage und das daraus resultierende Ineinandergreifen historisch jüngerer und älterer Wissensformen bestimmt wesentlich den Charakter der Mensch-Maschine-Schnittstellen im Kernkraftwerk. Die Wissensformen der Kerntechnik unterlagen trotz ihrer im Verhältnis zu anderen Wissensformen der Technik kurzen Geschichte grossen Veränderungen und Verwerfungen, und es gibt sie in national unterschiedlichen Ausformungen von Wissens- und Sicherheitskulturen, die aber gleichwohl interdependent sind. Von historischer Bedeutung als Auslöser von Transformations- und Transferprozessen kerntechnischen Wissens sind nicht nur epochale technische Umwälzungen wie die Digitalisierung, sondern auch einschneidende traumatische Ereignisse wie die grossen Reaktorunfälle. Umgekehrt kann gezeigt werden, dass Inhibitionen von Wissenstransfers wesentlich zur Genese solcher epochaler Wendepunkte in der Geschichte der zivil genutzten Kerntechnik beigetragen haben.



Dr. Anna Veronika Wendland

(*1966) Ist Osteuropa-Historikerin mit Arbeitsschwerpunkten in der Stadt-, Technik- und Transfergeschichte. Derzeit Vertreterin des Direktors / Forschung am Herder-Institut für Historische Ostmitteleuropaforschung – Institut der Leibniz-Gemeinschaft in Marburg. Studium in Köln und Kiew (Ukraine), Promotion in Köln. Berufliche Stationen am Geisteswissenschaftlichen Zentrum Geschichte und Kultur Ostmitteleuropas (Leipzig) und an der Universität München.

Wichtigste neuere Publikationen:

Tschernobyl: (k)eine Visuelle Geschichte. Nukleare Bilderwelten in der Sowjetunion und ihren Nachfolgestaaten 1970–2011. In: Melanie Arndt (Hg.): Politik und Gesellschaft nach Tschernobyl. Köln–Wien 2014 (erscheint Frühjahr 2014).

Galizien postcolonial? Imperiales Differenzmanagement, mikrokoloniale Beziehungen und Strategien kultureller Essentialisierung. In: Alexander Kratochvil, Renata Makarska et al. (Hg.): Kulturgrenzen in postimperialen Räumen. Bosnien und die Westukraine als transkulturelle Regionen. Bielefeld 2013, S.19–32.

Urbanisierung und Urbanität als Forschungsproblem in der Geschichte Ost- und Ostmitteleuropas. In: Informationen zur Modernen Stadtgeschichte H.2 (2012), S.53–62.

Ikonografien des Raumbilds Ukraine. Eine europäische Transfergeschichte. In: Peter Haslinger, Vadim Oswalt (Hg.): Kampf der Karten. Propaganda- und Geschichtskarten als politische Instrumente und Identitätstexte. Marburg 2012, S.85–120.

- ¹ Richard Hindmarsh: Nuclear Disaster at Fukushima Daiichi: Social, Political and Environmental Issues. Oxford – New York 2013.
- ² Atomograpy. Kernkraftwerksstädte zwischen Utopie und Katastrophe im östlichen Europa 1965–2011.
- ³ Die Feldstudie wurde durch eine Reisekostenbeihilfe der Fritz Thyssen Stiftung gefördert. Mein besonderer Dank gilt, stellvertretend für viele andere, vier Ingenieuren: Asmus Hansen (RWE, Essen) und Sergej Fedorčenko (KKW Rivne, Kuznecovs'k) gaben mir wichtige technische Einblicke und unterzogen diesen Beitrag einer kritischen Durchsicht. Roman Kondrak (KKW Rivne, Kuznecovs'k) verdanke ich wertvolle Hinweise zum Schichtleiteralltag und zu Spezifika von Betriebsabläufen und Betriebshandbüchern. Valerij Kolesnik (KKW Rivne, Kuznecovs'k) war ein zuvorkommender und enzyklopädischer Gesprächspartner zur Modernisierungs- und Digitalisierungsgeschichte des KKW Rivne.
- ⁴ Sean F. Johnston: The neutron's children: nuclear engineers and the shaping of identity. Oxford 2012; Gabrielle Hecht: The Radiance of France. Nuclear power and national identity after World War II, Cambridge 1998; Peter Liewers, Johannes Abele, Gerhard Barkleit (Hg.): Zur Geschichte der Kernenergie in der DDR. Frankfurt/M. 2000; Viktor Sidorenko (Hg.): Istorija atomnoi energetiki Sovetskogo Sojuza i Rossii. Moskva 2001.
- ⁵ Hecht, Radiance of France (wie Anm. 4), S. 271–324.
- ⁶ Joachim Radkau: Aufstieg und Krise der deutschen Atomwirtschaft 1945–1975. Verdrängte Alternativen in d. Kerntechnik und der Ursprung der nuklearen Kontroverse. Reinbek 1983.
- ⁷ Exemplarische und zeitnahe Darstellung dieser Argumente in: V. M. Babanin et al. (Hg.): Leningradskaja AĖS. Leningrad 1984.
- ⁸ Chmelnyč'kyj-1 und -2, Južnoukrainsk-1 bis -3, Zaporizžja-1 bis -6.
- ⁹ KKW Rivne, Biografische Hintergrundgespräche während der Teilnehmenden Beobachtung. Personalakten konnten aus Datenschutzgründen nicht eingesehen werden. Vgl. auch Sonja D. Schmid: Organizational Culture and Professional Identities in the Soviet Nuclear Power Industry. In: Osiris 23 (2008), No. 1, S. 82–111.
- ¹⁰ Leitender Ingenieur. Biografisches Hintergrundgespräch im KKW Rivne, 7. August 2013.
- ¹¹ Einsichtnahme (Stichproben) der Rechenschaftsberichte 1991 bis 2008, u. a. Otčet za god 1998 (2000). Kuznecovsk 1999 (2001). Im Gespräch mit Ingenieuren der ersten Generation im KKW (Arbeitsantritt 1977–1982) erhielt ich die Bestätigung, dass Transienten mit Reaktorschnellabschaltung seit den Anfangsjahren kontinuierlich seltener eintraten und die Expositionsraten des Personals sanken. Die genannten Zitate über das «Selberschreiben» fielen in diesen Gesprächen häufig. Einblick in seinen *talmud* aus den 1980er-Jahren gewährte mir Aleksej Kislyj, ehemaliger Leiter der Abteilung CTAI (Leit-, Mess- und Regeltechnik).
- ¹² Leitender Ingenieur, KKW Rivne, 30./31.1.2013; Sergej Fedorčenko: Kreščenie pervogo bloka [Bericht über einen Störfall mit Kühlmittelaustritt in den Sekundärkreislauf, 22.1.1982, RAES-1, der langwierige Reparaturarbeiten zur Folge hatte und zunächst geheimgehalten wurde]. In: Energija Nr. 3 (1989), 19.1.2012.
- ¹³ Nikolaj Karpan: Mest' mirnogo atoma. Dnepropetrovsk 2006, S. 281 f. Alexander Kerner, Reinhard Stück, Frank-Peter Weiss: Der Unfall von Tschernobyl 1986. In: atw 56 (2011), H. 2, S. 2, 7. Im grafitmoderierten Siedewasserreaktor RBMK (vor den Auslegungsänderungen nach 1986) führte ein erhöhter Dampfblasengehalt im Kühlmittel zu einer Reaktivitätszufuhr, weil das Wasser an Dichte verliert und folglich weniger Neutronen absorbiert; die Moderatorwirkung des Wassers ist im RBMK gegenüber jener des Grafit eine zu vernachlässigende Grösse (positiver void-Koeffizient der Reaktivität). Vgl. dagegen den stets negativen void-Koeffizienten in leichtwassermoderierten und -gekühlten Siedewasserreaktoren, wo das Verdampfen des Kühlmittels auch eine Verringerung der Moderatordichte bewirkt und daher zur Abnahme der Reaktivität und zum Erliegen der nuklearen Kettenreaktion führt.
- ¹⁴ Inwieweit gegen damals geltende Betriebsvorschriften verstossen wurde, ist umstritten. Anatolij Kopčinskij, Nikolaj Štejnberg: Bezopasnost' atomnyx stancij. Černobyl' v prošlom, nastojaščem i buduščem. Kiev 2011, S. 160–61, verweist auf die im April 1986 geltenden (aber nach dem Unfall geänderten) Regelungen, an die sich das Personal gehalten habe. Eine Übertretung wird in der westlichen Literatur, teilweise noch basierend auf dem ersten, jedoch manipulierten sowjetischen Unfallbericht an die IAEA, nach wie vor angenommen, vgl. Kerner et al., Unfall (wie Anm. 13), S. 3f.; Vladimir M. Munipov: Chernobyl operators: criminals or victims? In: Applied Ergonomics 23 (1992), No. 5, S. 337–342; Vladimir M. Munipov: Disregarding Ergonomic Design Principles: Chernobyl. In: Wolfgang Laurig, Joachim Vedder (Hg.): Diversity and importance of Ergonomics – Two Examples. Encyclopedia of Occupational Health and Safety, Genève 2011, URL: <http://iloencyclopedia.org/part-iv/ergonomics/diversity-and-importance-of-ergonomics/item/643-disregarding-ergonomic-design-principles-chernobyl> (31.1.2013).
- ¹⁵ Das Abschaltsystem des RBMK Stand 1986 hatte einen positiven Reaktivitätseffekt – als «positiver Abschaltteffekt» bezeichnet –, weil die Verdrängerteile der Steuer- bzw. Abschalteteile aus Grafit bestanden. Das bedeutete beim Einwerfen der Steuerstäbe einen kurzfristigen positiven Reaktivitätseintrag (Ersetzung des n-absorbierenden Wassers im entsprechenden Kanal durch n-moderierendes Grafit), bevor der Absorberteil zur vollen Wirkung kam, und eine sehr ungünstige axiale Reaktivitätsverteilung im Reaktorkern.
- ¹⁶ Charles Perrow: Normal Accidents: Living with High-Risk Technologies. New York 1984 (dt. Ausgabe «Normale Katastrophen»). Das Werk wurde nicht ins Russische übersetzt, aber offenbar von einzelnen russischsprachigen Atomingenieuren im Original gelesen. Jedenfalls wird es in russischsprachigen Atomingenieurs-Kreisen (z. B. in Internetforen) diskutiert.

- ¹⁷ Dies geht, neben Erkenntnissen der Fachliteratur, auch aus mehreren Gesprächen hervor, die ich über die operative Alltagserfahrung mit dem RBMK mit Aleksej Breus, 1984–1986 Ingenieur auf der Schaltwarte von Tschernobyl-4, geführt habe [Kiew, 25.10.2011, 18.8.2013].
- ¹⁸ So im ersten Bericht INSAG-1 (International Nuclear Safety Advisory Group) an die IAEA. Vgl. dagegen den Bericht der sogenannten Stejnberg-Kommission, O príčinach i obstojaťel'stvach аварії на 4 блоке Чорнобильської АЕС 26 квітня 1986г. Доклад Комісії Госпроматомнадзора СРСР, Москва 27.Февраль 1990, publ.1991. In: Kopčinskij/Štejnbërg, Bezopasnost'. Priloženie, S. 175–223.
- ¹⁹ Der Störfall von Harrisburg. Der offizielle Bericht der von Präsident Carter eingesetzten Kommission über den Reaktorunfall auf Three Mile Island. Düsseldorf 1979, S. 115–120.
- ²⁰ A. Torri, V. Pokorny, U. Lüttringhaus: Development, Validation and Training of Severe Accident Management Measures. Risk management Associates, Inc., Oct-09, 2009, 1–2; Jens Rasmussen: Information Processing and Human-Machine Interaction. An Approach to Cognitive Engineering. New York 1986.
- ²¹ Ein Beispiel ist die (später noch mehrmals überarbeitete) Unfallinstruktion für Block 1 und 2 des KKW Rivne von 1988, die ich im Archiv des Dienstes für Sicherheitsanalysen (SAB) einsehen konnte: Ministerstvo atomnoj energetiki SSSR. Rovenskaja AES imeni 60-letija SSSR. Likvidacija аварій на реакторній установці В-213. Блоки 1, 2. Інструкція 1-Є-ЗГІ, Кознецовск 1988.
- ²² Gespräch mit Abteilungsleiter CTAI (Leit-, Mess- und Regeltechnik), 9.9.2013.
- ²³ Gespräch mit stellvertretendem Abteilungsleiter CTAI und Durchsicht der Defekt- und Reparatur-Meldejournale Block 3, 26.9.2013.
- ²⁴ Exemplarisch: Schichtbuch für die Schichtleitung Rivne-2: Ministerstvo Enerhetiky i vuhil'noj promyslovosti Ukraїny. NAEK «Enerhoatom», VP «Rivnenska AES». Operatyvnyj žurnal NSB-1, 2. Blok Nr. 2. 113-01/2-Ž-HOUE-1,2.
- ²⁵ Gunnar Johannsen: Mensch-Maschine-Systeme. Berlin 2012; für die osteuropäischen KKW vgl. das Einführungskapitel Mixail Jastrebenekij, Jurij Rozen, Svetlana Vinogradskaja et al.: Bezopasnost' atomnyx stancij. Sistemy upravlenija i zaščity jadernyx reaktorov. Kiev 2011.
- ²⁶ Teilnehmende Beobachtung und Gespräch mit dem Schichtpersonal auf der Warte von Rivne-3, VVER-1000, 29.8.2013.
- ²⁷ VIUR = Veduščij inženier po upravlennju reaktorom, «Leitender Ingenieur für Reaktorregelung».
- ²⁸ Gespräch mit Schichtleiter, Rivne-2 (VVER-440), 21.8.2013.
- ²⁹ Tobias Schwarz, Flavius Kehr, Holger Oortmann, Harald Reiterer: Die Leitwarte von heute verstehen – die Leitwarte von morgen gestalten! In: J. Ziegler u. A. Schmidt (Hg.): Mensch & Computer. München 2010, S. 93–102. Der Vorrang leitungsgebundener Telekommunikation hat auch eine technische Ursache, nämlich die schlechte Mobilfunkverbindung innerhalb der Gebäude aufgrund der baulichen Abschirmung kerntechnischer Komponenten.