



da weltweit ein Ausstieg aus dieser Energieerzeugung mittel- und langfristig nicht zu erwarten ist. Allein China baut derzeit 28 Neuanlagen und ist bei der Planung von über 150 weiteren Anlagen aktiv [Moh13].

Der Rückbau kerntechnischer Anlagen stellt dabei aufgrund komplexer Randbedingungen, wie zum Beispiel der Strahlenbelastung, räumlicher Zugänglichkeit, Bauteilgeometrie, Materialdicke und -zusammensetzung sowie dem Zwang zur Emissions- und Abfallminimierung eine große Herausforderung für leistungsfähige Schneid-, Abtrag- und Dekontaminationsverfahren dar. Die Zerlege-, Abtrag- und Dekontaminationsverfahren müssen dabei einen großen Bereich abdecken, vom einfachen Rohr über große Systeme bis hin zu dem eigentlichen Reaktor und den Betriebsgebäuden [Has11].

Neben diesen prozesstechnischen Rahmenbedingungen, welche ein tiefgehendes Know-how über die eingesetzten Verfahren erforderlich machen, führen u. a. auch die rechtlichen Rahmenbedingungen sowie die sehr hohen Sicherheitsanforderungen im Sinne des Strahlen- und Arbeitsschutzes beim Rückbau kerntechnischer Anlagen dazu, dass sich nur die Kraftwerksbetreiber und einige spezialisierte, hoch qualifizierte Unternehmen mit dem Rückbau kerntechnischer Anlagen beschäftigen. Zu den Firmen, die sich international mit dem Rückbau beschäftigen, zählen auch eine Reihe von Unternehmen, die in Deutschland ansässig sind. Diese befinden sich in einem harten internationalen Wettbewerb, der weitestgehend auf dem internationalen Markt stattfindet, da die einheimischen Kraftwerksbetreiber ihre Anlagen überwiegend selbst zurück-

bauen. Zu den Staaten, in denen derzeit international ausgedehnte Rückbauprojekte durchgeführt werden, zählen u. a. Frankreich und Litauen [Bie11].

**Logistik des Betriebes von Kernkraftwerken, Abschaltung und Rückbauplanung**

Eine kerntechnische Anlage stellt eine komplexe Einheit

der Betrieb einer solchen Anlage, während die Anlage an sich sowie die vorhandene Radioaktivität bestehen bleiben. Das heißt, es muss sich der Betriebsphase eine Nachbetriebsphase anschließen, in welcher im KKW keine Energie produziert wird, aber alle Sicherungsanlagen voll aufrechterhalten werden müssen. Während dieser Phase erfolgen die Entfernung der Brennelemente aus der Anlage und die Planung und das Geneh-

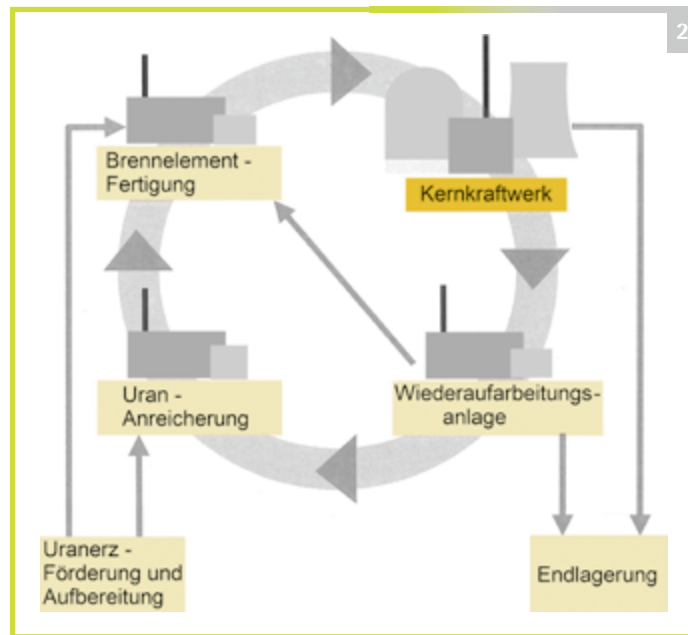


Abbildung 1 Überblick über die Kernkraftwerke in Deutschland [Ver11]

Abbildung 2 Übersicht über den Brennstoffkreislauf und die darin integrierten rückzubauenden Anlagen, welche in Summe als kerntechnische Anlagen bezeichnet werden [Thi12].

dar, wobei nicht alle Bereiche der Gesamtanlage radioaktiv kontaminiert sind. Beim in Abbildung 1 dargestellten Brennstoffkreislauf sind für die einzelnen Anlagen die kritischen Bereiche die Anlagenbestandteile des »heißen« Bereiches, welche aktiviertes oder kontaminiertes Inventar enthalten können. Nach der Herstellung der Brennstofffreiheit betrifft dies für Rückbau dieser logistisch aufgebauten Produktionsstandorte die aktivierten oder kontaminierten Anlagenbestandteile.

Wird zum Beispiel ein Kernkraftwerk endgültig vom Netz genommen, so endet lediglich

das mündliche Genehmigungsverfahren für die Stilllegung nach §7(3) des Atomgesetzes. Erst nach der Erteilung der Stilllegungsgenehmigung kann die Struktur des Kraftwerks auf einen sicheren Einschluss für eine lange Abklingzeit reduziert werden. Rückbau eines KKW bedeutet aber den vollständigen Abbau des KKW ohne Restbestand, welcher im AtG verbleiben muss und stellt das Ende jeder Stilllegungsvariante, also die »Grüne Wiese«, dar.

Der Prozess des Rückbaus eines KKW wird in unterschiedlichen Phasen durchgeführt, wobei im Wesentlichen die Art und Struktur des

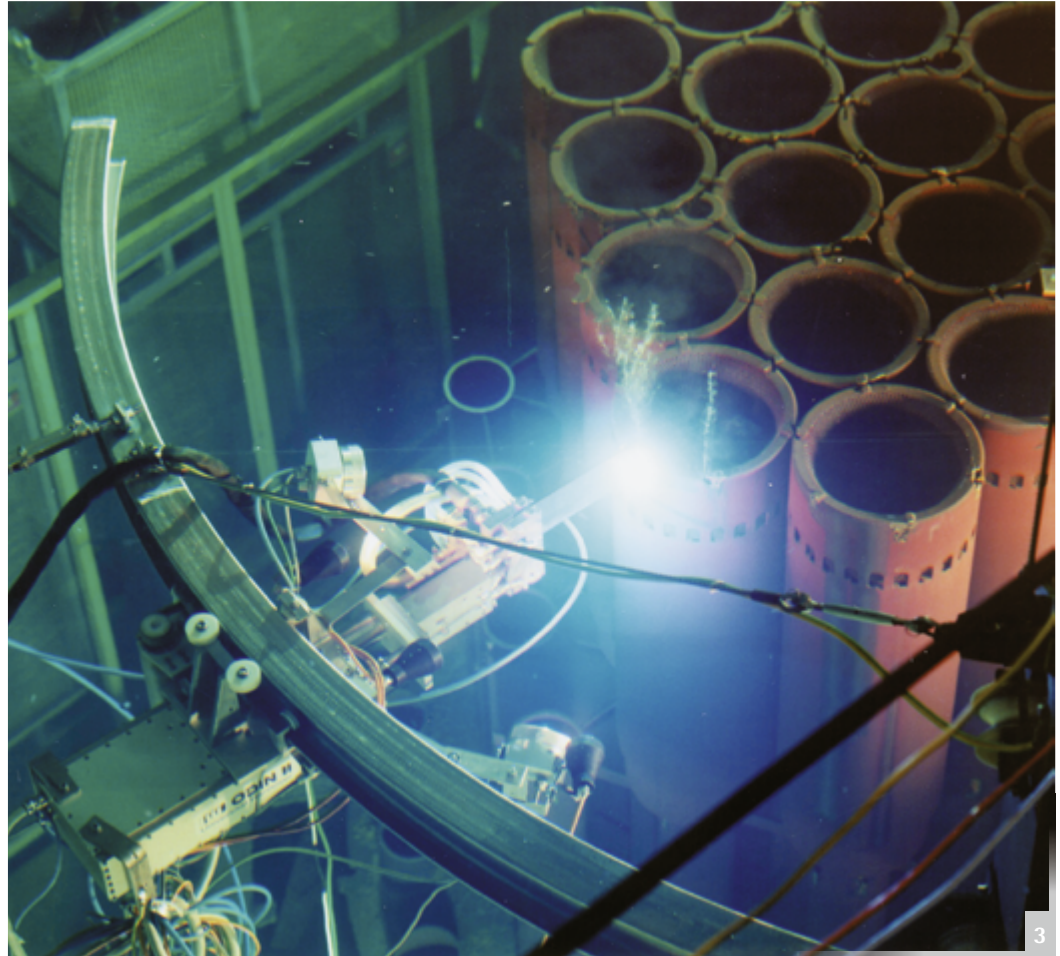


Abbildung 3  
Entwicklungsarbeit im Unterwassertechnikum Hannover des Institutes für Werkstoffkunde der Leibniz Universität zum Unterwasser Contact-Arc-Metal-Cutting von Reaktorkomponenten (ODIN CAMC – Schneidanlage; KKW Gundremmingen).

Kraftwerkes die Anzahl der Phasen bestimmt. So sind beispielsweise beim Rückbau des KKW in Würzgassen sechs Rückbauphasen geplant worden, welche folgendermaßen definiert worden sind:

**Phase I:** Maschinenhaus- und UNS<sup>1</sup> Gebäude

**Phase II:** Reaktorgebäude außerhalb Sicherheitsbehälter

**Phase III:** Komponenten im Sicherheitsbehälter

**Phase IV:** Reaktordruckgefäß, Biologischer Schild etc.

**Phase V:** Entfernung der Infrastruktur im Kontrollbereich, UNS wird Lager

**Phase VI:** Gebäudeabriss und Rekultivierung

Der 1997 begonnene Rückbau befindet sich derzeit in der Endphase und soll 2014 abgeschlossen werden. Die für den Rückbau notwendigen, komplexen Arbeitsschritte zeigen, dass die »grüne Wiese« nur durch einen langwierigen, produktionstechnisch gut geplanten Prozess möglich ist.

#### Rückbauverfahren

Die Masse eines KKW der Leistungsklasse um 700 MW (Megawatt) beträgt zwischen 250.000 und 300.000 Mg (Megagramm), wobei circa 80 Prozent der Gesamtmasse aus Betonstrukturen besteht. Dabei wird von unbelasteten, kontaminierten und aktivierten Strukturen gesprochen, welche jede eigene Abfallbehandlungspfade und Abfallbehandlungs-

maßnahmen erfordern. Nur circa zwei Prozent der gesamten Rückbaumasse müssen schlussendlich als radioaktiver Abfall entsorgt werden. Dieser Betrag wird auch aktiv minimiert, indem zum Beispiel die kontaminierten Materialien durch die Anwendung von Dekontaminationstechniken gereinigt, freigemessen und anschließend der konventionellen Verwertung zugeführt werden. Für die aktivierten Bereiche im Zentrum der Anlage, also um den Reaktorkern, sind fernhantierte Techniken erforderlich, um die KKW Komponenten zu zerteilen und in die jeweiligen Lagerungssysteme zu verbringen. Mit Wandstärken von bis zu 550 mm Dicke stellen dabei die Reaktorkomponenten eine große Herausforderung für die zu verwendende Schneidtechnik dar, da

1 UNS: Unabhängiges Nachkühlssystem

zum einen nahezu unveränderliche Platz- und Raumbedingungen herrschen. Weiterhin gibt es nur eingeschränkte Manipulationseinrichtungen die im Betrieb des KKW, zum Beispiel für Revisionsarbeiten, genutzt worden sind und andererseits muss eine fernhantiierte Zerteilung dieser Komponenten erfolgen, da die Strahlenbelastung der Komponenten zu groß ist und zum Teil sogar unter Wasserabschirmung gearbeitet werden muss.

Diese Technologieentwicklung des fernhantierten Schneidens von unterschiedlichsten Materialien, Geometrien, Wandstärken und Verbänden in den jeweiligen Sonderumgebungen und entsprechender räumlicher Begrenzung ist schon seit langer Zeit ein Forschungsschwerpunkt im Unterwassertechnikum Hannover des Instituts für Werkstoffkunde. Die Maxime, die an die Schneidtechnik gesetzt werden, sind hierbei neben der absoluten Robustheit und einer möglichst geringen Erzeugung von Sekundärmüll die Sicherheit des Bedienpersonals, also die Minimierung der Strahlenexposition der involvierten Bedienmannschaften. Zur Verfügung steht dabei ein ganzes Portfolio an mechanischen und thermischen Trennverfahren, welche einen so genannten technologischen Werkzeugkasten darstellen, auf den im Bedarfsfall zurückgegriffen werden kann.

Thermischen Schneidverfahren, wie autogenes Brennschneiden, Kontakt-Lichtbogen-Metall- (siehe Abbildung 3), Lichtbogen-Sauerstoff-Impuls-, Lichtbogenwasserstrahl-, Plasma- und Hot-Wire Plasmaschneiden, sind hierbei schon hinsichtlich der Leistungsgrenzen und der Verfahrensgrundlagen Untersuchungsschwerpunkt gewesen. Ebenfalls sind auf dem Gebiet des Wasserstrahlschneidens

und der Dekontaminations-techniken mittels Trockeneisstrahlens schon beachtliche Erfolge erzielt worden. Die Untersuchungen zielen vor allem auf die Leistungsgrenzen der Techniken und auf die Bestimmung und Untersuchung der Stäube und Aerosole, welche beim Schneiden entstehen, ab.

#### LITERATUR

- [Ver11] Versemann, R.; Kaiser, B.: Stilllegung und Rückbau von Kernkraftwerken Projekte in Deutschland, Rückbauvarianten, Schutzziele, Übergang Betrieb – Stilllegung, Restbetrieb, Entsorgung, Rückstellung, Tagungsband »Stilllegung und Rückbau von Kernkraftwerken in Deutschland«, Haus der Technik, Essen, 07.–09.11.2011
- [Pet13] Petersen, M.; Jakob, H.; Köhler, A.; Bach, Fr.-W.; Hassel, T.: Hot-Wire-Plasmaschneiden: Zerlegen von komplexen Bauteilen und Verbundwerkstoffen; KONTEC 2013, 11. Internationales Symposium »Konditionierung radioaktiver Betriebs- und Stilllegungsabfälle«, 13.–15.03.2013, Dresden, S. 436–446
- [Bie11] Bienia, H.; Noll, T.: Brennilis – Erster Einsatz von Industrierobotern für den Rückbau eines französischen Kernkraftwerks KONTEC 2011, 10. Internationales Symposium »Konditionierung radioaktiver Betriebs- und Stilllegungsabfälle«, 06.–08.04.2011, Dresden, S. 305–318
- [Moh13] Mohrbach, L.: Fukushima two years after tsunami – the consequences worldwide; atw – International Journal of Nuclear Power, 03/2013; pp152–155
- [Thi12] Thierfeldt, S.; Schartmann, F.: Stilllegung und Rückbau kerntechnischer Anlagen; Erfahrungen und Perspektiven; Brenk Systemplanung, Aachen, Erstellt im Auftrag des BMBF; 4. neu bearbeitete Auflage; 2012
- [Ste12] Steiner, H.: Dismantling and demolition processes and technologies in nuclear decommissioning projects; in Nuclear Decommissioning edited by M. Laraia; Woodhead Publications Series in Energy; Chapter 12; pp 293–318; 2012



**Prof. Dr.-Ing. habil. Dr.-Ing. E.h. Dr. h.c. Friedrich-Wilhelm Bach**

Jahrgang 1944, arbeitet seit dem 1. Oktober 2012 als Niedersachsenprofessor für Werkstofftechnik-Rückbautechnologie. Im Rahmen seiner Niedersachsenprofessur beschäftigt sich der Wissenschaftler vom Institut für Werkstoffkunde mit dem Thema »Werkstofftechnik – Rückbautechnologie«. Eins seiner Ziele ist es, Strategien und Werkzeuge für den sicheren Rückbau kerntechnischer Anlagen zu entwickeln bis hin zur gesicherten Endlagerung. Ein weiterer Schwerpunkt ist der Rückbau von Offshore-Strukturen – vor allem von Windenergie- und Förderanlagen. Von 2001 bis 2012 leitete er das Institut für Werkstoffkunde.



**Dr.-Ing. Thomas Hassel**

Jahrgang 1969, ist Bereichsleiter Unterwassertechnikum Hannover (UWTH) am Institut für Werkstoffkunde. Seine Arbeitsschwerpunkte liegen im Bereich der Elektronenstrahltechnik, Schweiß- und Schneidtechnik, der Wasserstrahltechnik sowie der Korrosionsprüfung. Er beschäftigt sich ebenfalls thematisch mit der Thematik der Rückbautechnologien aus dem Blickwinkel der Werkstofftechnik.