

## STATUSBERICHT ZUR STILLLEGUNG KERntechnischer ANLAGEN

Eike Gelfort

VDI-Gesellschaft für Energietechnik, Fachausschuss Kerntechnik

### 1. Bestand

Von den ca. 110 kerntechnischen Anlagen in Deutschland wurden, bzw. werden derzeit (Stand: IV, 2000) ca. 70 Anlagen stillgelegt. Davon befinden sich ca. 60 Anlagen in der Verantwortung des Bundes und der Länder. Die Tabellen 1 bis 4 nennen den Bestand an Stilllegungsprojekten einschliesslich deren Status (in Stilllegung, Rückbau beendet, sicherer Einschluss):

Betriebszeiten (Betriebsdauer)	Anlage, Leistung, Typ	Charakteristika der Stilllegung
1966 - 1977 (11)	KRB-A Gundremmingen 250 MW <sub>e</sub> , SWR	ab 1983 Durchführung d. Beseitigung bis ca 2001
1968 - 1977 (9)	KWL Lingen 240 MW <sub>e</sub> , SWR	ab 1988, sicherer Einschluss, ab 2023 geplanter Abriss
1975 - 1995 (20)	KWW Würiggassen 670 MW <sub>e</sub> , SWR	ab 1997 Durchführung d. Beseitigung bis ca 2008
1974 - 1990 (17)	KGR I Greifswald 440 MW <sub>e</sub> , WWER	geplante Beseitigung bis ca 2010
1975 - 1990 (15)	KGR II Greifswald 440 MW <sub>e</sub> , WWER	geplante Beseitigung bis ca 2010
1978 - 1990 (12)	KGR III Greifswald 440 MW <sub>e</sub> , WWER	geplante Beseitigung bis ca 2010
1979 - 1990 (11)	KGR IV Greifswald 440 MW <sub>e</sub> , WWER	geplante Beseitigung bis ca 2010
1983 - 1989 (6)	THTR Hamm-Uentrop 300 MW <sub>e</sub> , HTR	1993 - 1997 sicherer Einschluss (ca 30 Jahre)
1989 - 1989 (0,5)	KGR V Greifswald 440 MW <sub>e</sub> , WWER	geplante Beseitigung bis ca 2010
1986 - 1988 (2)	KMK Mülheim Kärlich 1300 MW <sub>e</sub> , DWR	geplante Beseitigung ab 2001

**Tab. 1: Leistungs-Reaktoren:** DWR: Druckwasser-Reaktor, HTR: Hochtemperatur-Reaktor, SWR: Siedewasser-Reaktor, WWER: Druckwasser-Reaktor sowjetischer Bauart

- Leistungsreaktoren in Kernkraftwerken (KRB-A Gundremmingen; KWL Lingen – sicherer Einschluss; KWW Würiggassen; KGR Greifswald Block 1 bis 5; THTR Hamm-Uentrop),
- Prototyp-Reaktoren (VAK Kahl; MZFR Karlsruhe; AVR Jülich; KKR Rheinsberg; NS Geesthach; KNK II Karlsruhe; HDR Grosswelzheim und KKN Niederaichbach vollständiger Abriss),
- Forschungs-Reaktoren (Siemens-Unterrichtsreaktoren, Nullleistungs-Reaktoren, Materialtest-Reaktoren, TRIGA),
- Teststände (kerntechnische Einrichtungen in Karlsruhe, Jülich, Rossendorf, Geesthacht, TU-München; Heisse Zellen Erlangen und Karstein),
- Anlagen des nuklearen Brennstoffkreislaufs (Uranerz-Aufbereitungs-Anlagen, Brennelement-Fabriken, Wiederaufbereitungs-Anlagen, Versuchsendlager).

Betriebszeiten (Betriebsdauer)	Anlage, Leistung, Typ	Charakteristika der Stilllegung
1960 - 1985 (25)	VAK Kahl 16 MW <sub>e</sub> , SWR	ab 1988 Vorbereitung, Beseitigung bis ca 2005
1965 - 1984 (19)	MZFR FZ Karlsruhe 58 MW <sub>e</sub> , DWR (D20)	stillgelegt 1987; geplante Beseitigung bis ca 2004
1964 - 1988 (25)	AVR Jülich, 15 MW <sub>e</sub> , HTR	Beseitigung bis ca 2008
1966 - 1990 (24)	KKR Rheinsberg, 70 MW <sub>e</sub> , WWER	Beseitigung bis ca 2004
1968 - 1979 (10,5)	NS-Otto Hahn GKSS 38 MW <sub>th</sub> , DWR (I)	Demontage der Nuklearanlagen 1980 - 1982 abgebaut
1970 - 1971 (1)	HDR Grosswelzheim 25 MW <sub>e</sub> , SWR	1975 Beginn d. Stilllegung, vollständiger Abbau erreicht 1992 - 1998
1972 - 1974 (2)	KKN Niederaichbach 100 MW <sub>e</sub> , HWCR	1976 stillgelegt, vollständiger Abbau erreicht von 1981 - 1995
1977 - 1991 (14)	KNK I/II FZ Karlsruhe 20 MW <sub>e</sub> , SBR	ab 1992 Durchführung d. Beseitigung bis ca 2004

**Tab. 2: Prototyp-Reaktoren**

**HWCR:** D<sub>2</sub>O-CO<sub>2</sub>-Druckröhren-Reaktor, **SBR:** Schneller Brutreaktor, **HDR:** Heissdampf-Reaktor Grosswelzheim (nukleare Überhitzer), **NS:** Nuklearschiff – Kernenergie-betriebenes Handelsschiff, **VAK:** Versuchs-Atomkraftwerk Kahl, **AVR:** Helium-Grafit-Atom Versuchs-Reaktor, **KNK:** Kompakte Natrium-gekühlte Kernreaktor-Anlage (KNK Nr. 1 von 1971 bis 1974), **MZFR:** Mehrzweck-Forschungs-Reaktor, **GKSS:** Gesellschaft für Kernenergie-Verwertung in Schiffsbau und Schifffahrt mbH, Geesthach

Betriebszeiten	Anlage, Leistung, Typ	Charakteristika der Stilllegung
1957 - 2000	FRM-1 München, 4 MW <sub>th</sub>	Start: 31.10.1957, Stilllegung: 31. 06. 2000
1957 - 1991	RFR Rossendorf, VKTA 2 MW <sub>th</sub> / 10 MW <sub>th</sub>	ab 1998 in Stilllegung
1958 - 1974	BER-1 HMI-Berlin	1974 - 1978 abgebaut
1958 - 1968	FRF-1 U Frankfurt	1970 - 1977 abgebaut
1959 - 1992	SAR TU-München ARGONAUT	1992 - 1998 abgebaut
1961 - 1981	FR-2 FZ-Karlsruhe	Stilllegungsmassnahmen von 1986 - 1996; sicherer Einschluss
1961 - 1976	PR-10 AEG Karlstein ARGONAUT	1976 - 1978 abgebaut
1970 - 1981	SUR-M TU-München, 100 MW <sub>th</sub>	1981 - 1998 abgebaut
1962 - 1985	FRJ-1 MERLIN, 10 MW <sub>th</sub> , FZ Jülich	ab 1995 in Stilllegung, bis 2002 abgebaut
1963 - 1995	FGR-2 Geesthach, 15 MW <sub>th</sub> , GKSS	ab 1995 in Stilllegung
1963 - 1995	FGR-2 Geesthach, 15 MW <sub>th</sub> , GKSS	ab 1995 in Stilllegung
1963 - 1989	SUR-DA TH-Darmstadt, 800 MW <sub>th</sub>	1989 - 1996 abgebaut
1966 - 1996	SUR-KA FZ Karlsruhe, 100 MW <sub>th</sub>	1996 - 1998 abgebaut
1966 - 1977	HD-1 DKFZ Heidelberg 0,25 MW <sub>th</sub> TRIGA I	Stilllegungsmassnahme 1980, sicherer Einschluss
1967 - 1995	FMRB PTB 1 MW <sub>th</sub> Braunschweig	ab 1999 in Stilllegung: Genehmigung erwartet ab 2000
1967 - 1973	Nullenergie-Reaktor, AEG Karlstein	1981 abgebaut
1967 - 1993	SUR-HB TH-Bremen, 100 MW <sub>th</sub>	ab 1997 Stilllegungsmassnahmen
	FRN Neuberberg GSF1 MW <sub>th</sub> , TRIGA III	Stilllegungsmassnahmen 1983 - 1984; sicherer Einschluss

1973 - 1997	FRH MHH Hannover 0,25 MW <sub>th</sub> , TRIGA I	Stilllegungsmassnahmen ab 2001, 1999 Rückführung der BE
1977 - 1983	FRF-2 U Frankfurt, 100 MW <sub>th</sub>	ab 1982 Stilllegung
1978 - 2001	HD 2 DKFZ Heidelberg 0,25 MW <sub>th</sub> , TRIGA I	BE-Abtransport nach USA
1963 -	SUR-B TU-Berlin, 100 MW <sub>th</sub>	Stilllegung in Vorbereitung
1971 - 2000	SUR-H TU-Hannover, 100 MW <sub>th</sub>	Stilllegung in Vorbereitung
1970 -	SUR-HH FH-Hamburg, 100 MW <sub>th</sub>	abgebaut 1999
1961 - 1976	PR-10 Karlstein AEG-Prüfreaktor/TRIGA	abgebaut 1978
1966 -	SUR-KI U-Kiel, 100 MW <sub>th</sub>	Stilllegung in Vorbereitung
1966 -	SUR-AC RWTH Aachen, 100 MW <sub>th</sub>	Stilllegung in Vorbereitung
1969 - 1991	RAKE Rossendorf, 10 MW <sub>th</sub> VKTA	1997 - 1998 abgebaut

**Tab. 3: Forschungs-Reaktoren**

**SUR:** Siemens Unterrichts Reaktor; **Argonaut:** Argonne Assembly for Universal Training, 20% U308, Al-Be-Platten; **VKTA:** Verein für Kernverfahrenstechnik und Analytik Rossendorf e.V., Dresden; **RFR:** Rossendorfer Forschungs-Reaktor; **RRR:** Rossendorfer Ringzonen-Reaktor; **Merlin:** Medium Energy Research Light Water Moderation Industrial Reactor; **TRIGA:** Training Research Isotopes General Atomic – Schulreaktor der General Atomic, Mark 1: unterirdischer Einbau, Mark 2: Einbau über Bodenhöhe, Mark 3: 20% U308, Zirkonhydridplatten, H20 Moderator mit Grafitreflektor; **FMBR:** Forschungsreaktor der Physikalisch-Technischen Bundesanstalt Braunschweig; **DKFZ:** Deutsches Krebs-Forschungs-Zentrum Heidelberg; **MHH:** Medizinische Hochschule Hannover; **HMI:** Hahn-Meitner-Institut Berlin; **GSF:** Gesellschaft für Strahlenforschung / Forschungszentrum für Umwelt und Gesundheit Mü.-Neuherberg; **RAKE:** Rossendorfer Anordnung für kritische Experimente

Betriebszeiten	Anlage, Leistung, Typ	Charakteristika der Stilllegung
1972 - 1974	SNEAK FZ Karlsruhe	1985 - 1988 abgebaut
1963 - 1976	STARK FZ Karlsruhe, Argonaut-Typ	1976 - 1977 abgebaut
1964 - 1979	SUAK FZ Karlsruhe	abgebaut
1967 -	SUA TU-München	1968 - 1988 abgebaut
1967 - 1972	ADIBKA FZ Jülich	1977 abgebaut
1973 - 1985	KATHER FZ Jülich	1987 - 1988 abgebaut
1971 - 1982	KEITER FZ Jülich	1982 - 1988 abgebaut
1964 - 1978	ANEX Geesthach	1979 - 1980 abgebaut
1965 - 1978	ASSE Wolfenbüttel Forschungs-Salzbergwerk	Verfüllung ab 1995
1978 - 1998	ERAM, Endlager für radioaktive Abfälle – Morsleben	25.09.1998 Einlagerungsstop
1953 - 1990	Uran-Erz-Aufbereitungsanlage Seelingstädt	ab 1990 in Stilllegung
1956 - 1990	Uran-Erz-Aufbereitungsanlage Crossen	ab 1990 in Stilllegung
1958 - 1989	Uran-Anlage Ellweiler Versuchsanlage zur Erzaufbereitung	1997 - 1999 abgebaut
1962 - 1988	NUKEM 1 Hanau, Brennelement-Fabrik	1993 stillgelegt, ab 1999 Abbau
1962 - 1992	HOBEG Hanau, Brennelement-Fabrik	Stilllegung abgeschlossen
1982 - 1996	AEG Brennelement-Werk Karlstein	1995 - 1999 abgebaut
1968 - 1991	ALKEM Hanau Brennelement-Fabrik	ab 1995 Stilllegungsmassnahmen bis 2003
1969 - 1995	RBÜ 1 Hanau, Brennelement-Fabrik	ab 1995 Stilllegungsmassnahmen bis 2002
1980 - 1990	AMOR I Rossendorf VKTA	ab 1996 Stilllegungsmassnahmen

1985 - 1991	AMOR II Rossendorf VKTA	ab 1996 Stilllegungsmassnahmen
1986 - 1991	AMOR III Rossendorf VKTA	ab 1998 Stilllegungsmassnahmen
1971 - 1991	WAK Karlsruhe, Aufarbeitungsanlage	1996 - 2009 Rückbau, 1996 - 2005 Verglasungseinrichtung
1970 - 1989	MILLI FZ-Karlsruhe, Aufbereitungsanlage	1991-1998 abgebaut
1967 - 1989	Heisse Zellen Erlangen, Siemens	ab 1994 Stilllegungsmassnahmen
1967 - 1989	Heisse Zellen Karlstein, AEG-Siemens	ab 1989 Stilllegungsmassnahmen bis 2001

**Tab. 4: Sonstige stillzulegende kerntechnische Anlagen  
(Kernbrennstoffkreislauf, Isotopentechnik, Teststände, Heisse Zellen)**

**ANEX:** Anlage für Nullleistungsexperimente; **ADIBKA:** Abbrandmessung differentieller Brennelemente mit kritischer Anordnung; **KAITER:** Kritische Anordnung Incore Thermionik Reaktor; **KATHER:** Kritische Anordnung Hochtemperaturreaktor; **SNEAK:** Schnelle Null Energie Anordnung Karlsruhe; **SUAK:** Schnelle Unterkritische Anordnung Karlsruhe; **SUA:** Siemens Thermisch-Kritische Anordnung; **STARK:** Schneller Thermischer Argonaut Reaktor; **AMOR:** Anlage zur Spalt-Molybdän-Gewinnung Rossendorf-Dresden, 1. Molybdän-Extraktion, 2. Uranerzeugung, 3. Targetherstellung; **NUKEM:** Nuklear-Chemie-Metallurgie GmbH, BE für Uran u. Thorium; **ALKEM:** Alpha-Chemie-Metallurgie GmbH, BE für Mischoxid Uran und Plutonium; **RBÜ:** Reaktor-Brennelement-Union GmbH; **HOBEG:** Hochtemperatur-Reaktor-Brennelement GmbH; **MILLI:** Aufarbeitungs-Versuchsanlage, Kapazität: 1 kg pro Tag (1 MILLI Tonne); **WAK:** Wiederaufarbeitungsanlage Karlsruhe BGmbH, Kapazität: 40 t pro Jahr.

Die frühzeitig eingeleiteten FuE-Arbeiten und die erworbenen Erfahrungen aus einer grossen Reihe von Stilllegungsbeispielen haben zu einem gesicherten technischen Kenntnisstand für das Vorgehen bei der Ausserbetriebnahme, bei dem Rückbau und beim vollständigen Abriss verschiedenster kerntechnischer Anlagen geführt, so dass nach kosteneinsparenden Synergien gefragt wird.

Bezeichnung		Typ	Thermische Leistung Watt	Betrieb 1. Kritikalität	Standort
FRM II	Forschungsreaktor München II	Tank	20 000 000	Bau seit 1993	Reaktorstation TU München
FRG I	Forschungsreaktor Geesthacht I	Schwimmbad	5 000 000	1958	GKSS Geesthach
FRJ II	Forschungsreaktor DIDO Jülich II	D20 moderiert & gekühlt, Tank	23 000 000	1962	Forschungszentrum Jülich (2006)
FRMZ	Forschungsreaktor Mainz	TRIGA II	100 000 bis 23 000 000	1965	Institut f. Kernchemie U Mainz
BER II	Berliner Experimentier- reaktor II	Schwimmbad	10 000 000	1973	Hahn-Meitner Institut Berlin
AKR	Ausbildungs- kernreaktor Dresden	homogen	2	1978	Institut f. Kernenergetik TU Dresden
ZLFR	Zittauer Lehr- und Forschungsreaktor	Tank	10	1979	FH Zittau-Görlitz
SUR-UL	Siemens Unterrichts- reaktor Ulm	homogen	1	1965	FH Ulm
SUR-S	Siemens Unterrichts- reaktor Stuttgart	homogen	0,1	1964	TU Stuttgart
SUR-VS	Siemens Unterrichts- reaktor Furtwangen	homogen	0,1	1973	FH Furtwangen
SUR-AC	Siemens Unterrichts- reaktor Aachen	homogen	0,1	1966	RWTH Aachen Institut für elektr. Anlagen & Energien

**Tab. 5 : Bestand an Kernreaktoren für Forschung und Ausbildung , die sich in Betrieb befinden  
(Stand IV.2000)**

Der Auflistung in Tab. 5 ist zu entnehmen, dass sich die Zahl der Forschungsreaktoren (F) und der Ausbildungsreaktoren (A) im erheblichen Masse verkleinert hat /Spo/. Aus ihr und aus Abb. 1 ergibt sich derzeit (IV, 2000) ein Bestand von 10 F+A-Reaktoren. Sie sind alle bereits über 20 Jahre alt; ein einziger, bestrittener Neubau wird durchgeführt (FRM II); von den 10 Objekten werden in den nächsten Jahren zweidrittel der F+A-Reaktoren den Betrieb einstellen; um den Kompetenzerhalt ist deshalb energisch zu kämpfen.

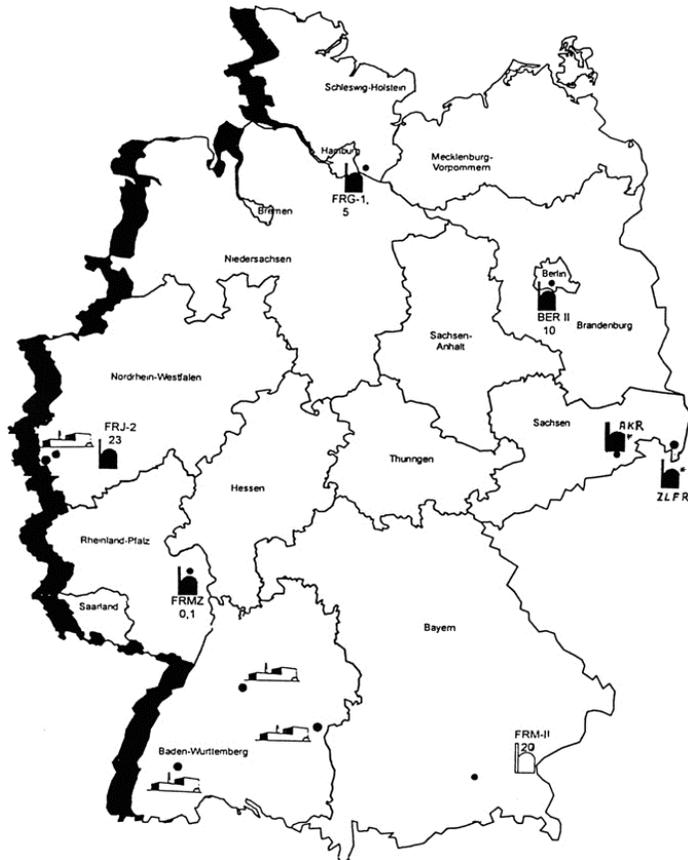


Abb. 1: in Betrieb befindliche Kernreaktoren für die Forschung und Ausbildung in Deutschland mit der Angabe der thermischen Leistung in Mega-Watt (MWth); AKR: 2 Wth ; ZLFR: 10 Wth; Siemens Unterrichtsreaktor (SUR) 0,1 Wth , (Stand IV. 2000)

Land	Anzahl der Kernkraftwerke in Betrieb	Status der stillgelegten Kernreaktoren			
		gesicherter Einschluss	Abbau	Teilabbau	Abbau beendet
Deutschland	19	3	14		2
Frankreich	57			9	2
England	35			11	
Schweiz	5	1			
Belgien	7			1	
Niederlande	1	1			
Schweden, Finnland	15				
Italien			4		
Spanien	9	1			
Rumänien, Bulgarien, Ungarn	11				
Tschechien, Slowakien, Slowenien	10		1		
ehemalige Sowjetunion	44	13		3	
USA	109			17	
Kanada	24			3	
Japan	54				1
China, Indien, Südostasien	14				
Korea	17				

Tab. 6: Weltweiter Bestand an Kernkraftwerken, die sich in Betrieb, in Stilllegung oder im Rückbau befinden /Bac-1/

Ein weltweiter Vergleich hinsichtlich der Stilllegung von kerntechnischen Anlagen (ohne militärische Aspekte) gemäss Tab.6 nach /Bac/ zeigt, dass sich Deutschland in der Gruppe befindet, die hinsichtlich Erfahrungen und Durchführungen den Spitzenplatz einnimmt. International gesehen, muss aber auch klar herausgestellt werden, dass sich die Mehrheit der KKW betreibenden Staaten Zeit lässt, um den Rückbau und die Entsorgung zu veranlassen.

## 2. Zielsetzung

Als kerntechnische Anlage wird grundsätzlich jede Anordnung oder Anlage angesehen, die bei ihrem Abriss in irgendeiner Form zu radioaktiven Abfällen führt, die geordnet zu beseitigen sind. Angefallene radioaktive Hinterlassenschaften werden in Zwischenlager für radioaktive Abfälle entsorgt. Endgültige Lösungen im Sinne einer generellen Entsorgung gibt es nicht. Zeitweilig wurden Abfälle in die Versuchsanlage ASSE und in das Salzbergwerk ERAM (geschlossen durch Gerichtsbeschluss vom September 1998) endgelagert. Dadurch steht die Stilllegung kerntechnischer Anlagen vor einer Stagnation, zu der nachfolgend Konsequenzen beschrieben werden.

Der Begriff "Stilllegung" nach § 7 (3) des Atomgesetzes (AtG) betrifft alle kerntechnischen Anlagen, d.h. Kernkraftwerke, Forschungsreaktoren und Anlagen des Kernbrennstoffkreislaufs. Die Stilllegung einer kerntechnischen Anlage umfasst jene Massnahme nach der endgültigen Betriebseinstellung, die den sicheren Einschluss oder den Abbau der Anlage als

Ziel hat. Stilllegung beinhaltet gleichfalls den Abbau von Anlagenteilen und bleibt verbunden mit der "Innehabung" der sicher eingeschlossenen, bzw. teilweise abgebauten Anlage für den Betreiber. Das AtG und relevante Rechtsnormen enthalten hinsichtlich der Stilllegung einer kerntechnischen Anlage keine spezifischen Vorschriften. Im Gesetz wird auf eine sinngemäße Anwendung der Vorschriften für Errichtung und Betrieb verwiesen. Eine sinngemäße Anwendung findet aufgrund fehlender spezifischer Vorschriften statt, bzw. wurde entwickelt /Sch/.

Auf dieser Basis sind bisher Stilllegungen, auch Teilschritte genehmigt und ausgeführt worden, allerdings folgt aus der sinngemässen Anwendung bestimmter Rechtsvorschriften ein Ermessungsspielraum für die Behörden, die über die beantragte Genehmigung entscheiden. Hierdurch erklären sich auch weitgehend die Unterschiede bei den Verfahrensabwicklungen in den einzelnen Bundesländern. In diesem Zusammenhang sind die Bestrebungen des BMU zur länderübergreifenden Vereinheitlichung der Vorgehensweise durch die Erarbeitung des sogenannten "Stilllegungsleitfadens" zu nennen /Sti/.

Es zeichnet sich ab, dass die Umweltverträglichkeitsprüfung für Bau und Betrieb der Kernkraftwerke in der EU, die in der Atomrechtlichen Verfahrensordnung, Stand 12.2.1990, umgesetzt wurde, zu Änderungen führt. Denn die EU hat am 3.3.1997 in einer Änderungsrichtlinie (Anhang 1 Nr.2, Nr.3; UVP Richtlinie der EU vom 27.6.1985) festgelegt, dass auch die Stilllegung und der Rückbau der Kernkraftwerke UVP-pflichtig ist. Es sollte deshalb bei der Umsetzung darauf ankommen, dass die Darstellung der insgesamt geplanten Massnahmen für die Stilllegungstätigkeiten nur zur ersten, einmaligen Stilllegungsgenehmigung und nicht zu mehr zu späteren Änderungsgenehmigungen, bzw. einzelnen Abbaugenehmigungen führt. Sollte allerdings für jede einzelne Stilllegungsmassnahme jedes Mal eine Darstellung der insgesamt geplanten Massnahmen notwendig werden, wäre der bürokratische Aufwand für den Anlageninhaber, für die atomrechtliche Behörde und für den Gutachter immens.

Einerseits durch die rechtlichen und andererseits durch die technischen Aspekte stellt die kerntechnische Stilllegung einen sehr komplexen Sachverhalt mit einer Reihe von Aufgaben und Auswirkungen dar, die allesamt im Kontext behandelt werden müssen. Ausserdem sind zwei Wege möglich: der Abriss oder der Einschluss.

- Direkter Rückbau (dR): Hierzu gehört sowohl der Gesamtabriss bis zur "grünen Wiese", als auch der Teilabbau, bei dem alle nuklearen Komponenten der Anlage abgebaut und beseitigt, aber andere Anlagenteile (Gebäude) erhalten und einer neuen Nutzung zugeführt werden.
- Sicherer Einschluss (sE): Beim sicheren Einschluss bleibt die Anlage in wesentlichen Teilen erhalten und im Geltungsbereich des AtG. Der Kernbrennstoff ist entfernt. Inaktive Komponenten sind teilweise ausgebaut. Das verbleibende radioaktive Material ist für einen befristeten Zeitraum sicher eingeschlossen.

Bisher erschien der unmittelbare Rückbau einer kerntechnischen Anlage bis zur Entlassung aus dem AtG kostengünstiger als die Herstellung des sicheren Einschlusses, weil eine Endlagerung folgen sollte. Es tritt derzeit ein Paradigmenwechsel ein; der sichere Einschluss wird zur gängigen Vorgehensweise, weil kein Endlager zur Verfügung steht und deshalb kostengünstiger wird. Zwischenlager an verschiedenen Stellen in Deutschland mit Standzeiten von 40 Jahren stellen sich sozusagen als Anlagen mit behandelten Abfällen in sicherem Einschluss dar.

Betriebseinstellung, Nachbetriebsphase, Rückbau mit Abriss oder sicheren Einschluss sowie Abfallbehandlung oder Schrottfreigabe und Endlagerung haben als gemeinsamen Nenner die Stilllegung der verschiedensten kerntechnischen Anlagen den Strahlenschutz. Er ist Pflicht und Aufgabe.

Diesbezüglich erklärt das AtG (§ 1, 2) vor den Gefahren der schädlichen Wirkung ionisierender Strahlen zu schützen und durch ionisierende Strahlen verursachte Schäden auszugleichen, sowie, auf der Grundlage der Ermächtigung nach § 12 AtG, eine Strahlenschutzverordnung zu erlassen, um über diese in § 28 der StrSchV die Strahlenschutzgrundsätze zu präzisieren. Es ist:

- jede unnötige Strahlenexposition oder Kontamination von Personen, Sachgütern oder der Umwelt zu vermeiden und
- jede Strahlenexposition oder Kontamination von Personen, Sachgütern oder der Umwelt unter Beachtung des Standes von Wissenschaft und Technik und unter Berücksichtigung aller Umstände des Einzelfalles auch unterhalb der in dieser Verordnung festgesetzten Grenzwerte so gering wie möglich zu halten.

Demzufolge gilt ein Optimierungsgebot. Es ist zu vergleichen die direkte Aktion längs der heutigen Handhabungskette: sofortiger Rückbau, Abfallbehandlung, Zwischenlagerung und späteres Endlager, sowie der Handhabungskette: sicherer Einschluss, Überwachung, Vorteilsnahme von radioaktivem Zerfall, Abriss, Abfallbehandlung und Endlager.

Der sE kann den dE zwecks Strahlenschutz nicht ersetzen, sondern verschiebt ihn lediglich auf einen späteren Zeitpunkt. In der deutschen Genehmigungspraxis wird im allgemeinen mit einer Zeitspanne von etwa 30 Jahren gerechnet. Die Rückbaukosten nach dieser Zeit werden bei den Leistungsreaktoren wegen der abgeklungenen Aktivität der Anlage und der dann einmaligen Abfallbehandlung mit sofortiger Endlagerung niedriger sein.

Bei Forschungsreaktoren und Aufarbeitungsanlagen spielt dieser Effekt wegen ihres geringen Aktivitätsinventars und der unterschiedlichen Zerfallsnuklide eine untergeordnete Rolle. Hier dominieren die Zusatzkosten für die notwendigen Massnahmen zur Herstellung des sicheren Einschlusses und zu seiner Gewährleistung, zu denen sowohl technische Massnahmen wie auch die Bereithaltung der Organisation, Anlagensicherung u.a. gehören. Kosten und Pro-

bleme können ferner entstehen, weil in der Regel nach 30 Jahren das anlagenkundige Personal nicht mehr zur Verfügung steht. Insgesamt erscheint der unmittelbare Rückbau einer kerntechnischen Anlage bis zur Entlassung aus dem AtG kostengünstiger als die Herstellung des sicheren Einschlusses mit dem anschließenden Rückbau, immer vorausgesetzt, es steht unmittelbar ein Endlager zur Verfügung, um das Ziel: Entsorgung zu erreichen.

Mit den Vorgaben durch den Strahlenschutz, im Rahmen der Endlagermöglichkeiten und mit den Gesichtspunkten schnelle Nutzung des Standortes sowie Pflicht zur Kosteneinsparung ist jeweils ein spezifisches Vorgehen bei einer Stilllegung – Abriss oder Einschluss – als eine fallweise optimierte Zielsetzung durchzuführen.

### 3. Vorgehensweise

Der Entschluss und der Zeitpunkt der Stilllegung werden durch die Ergebnisse aus einer Nutzen-Kosten-Analyse bestimmt. Massgebend für solch eine Entscheidung ist der jeweilige Umfang einer sicherheitstechnischen Nachrüstung, um den Stand von Wissenschaft und Technik zu berücksichtigen, zu den Vorteilen einer weiteren Nutzung. In jedem Fall wird die Vorgehensweise für eine Stilllegung unter den Aspekten von Sicherheit und Kosten zu diskutieren sein, inwieweit ein sofortiger Abriss oder ein vorläufiger Einschluss erfolgen sollte. Den Rahmen gibt ein angemessener Strahlenschutz ganzheitlich betrachtet von der fernhantierten Demontage, über die Abfallbehandlung bis zur Endlagerung vor. Mit der Festlegung der Stilllegungsstrategie, den Beginn einer rechtzeitigen Planung und der Stilllegungsabwicklung sind die Kenntnisse Dritter zu nutzen, um Doppelarbeiten auszuschließen /Ein/. Nach dem Stand der Praxis und den bisherigen Erfahrungen müssen Vorbereitungen zu Stilllegung und Rückbau einer kerntechnischen Anlage möglichst früh im Rahmen der Betriebsgenehmigung beginnen. Sie betreffen:

- Festlegung der Stilllegungsstrategie und vorbereitende Information der Behörden
- Entfernung des Kernbrennstoffs aus der Anlage
- Entfernen der Betriebsabfälle aus der Anlage
- Erstellung des Aktivitätskatasters
- Durchführung von Materialanalysen und von Dekontaminationsmassnahmen
- Erarbeitung der Unterlagen mit Stilllegungsantrag, Sicherheitsbericht für die Stilllegung, Demontagehandbuch.

Zur Sicherstellung eines planmässigen und kostenoptimierten Rückbaus sind folgende Randbedingungen zu gewährleisten bzw. folgende Massnahmen durchzuführen:

- Rechtliche Planungssicherheit (AtG, StrlSchV, Endlagerbedingungen)
- Finanzielle Planungssicherheit (verbindliches Budget über die gesamte Projektlaufzeit)
- Einrichtung eines effektiven Projektmanagement und Controllingsystems.

Derzeit führt jede kerntechnische Anlage diese Massnahmen mehr oder minder allein für sich selbst durch. Es besteht im Prinzip kein Kontakt zu Anlagen an anderen Standorten und keine Nutzung von deren Erfahrungen und Unterlagen. Bei ähnlichen Anlagen kommt es so zur unnötigen Doppelarbeit (zB. bei TRIGA besteht ein Einsparpotential in Höhe von 20% bis 50% bei der Erstellung der Antragsunterlagen des 2. Reaktors, das sind geschätzt mindestens 1 Mio DM). Ganz allgemein ist es eine Erfahrung, dass Informationsgespräche zwischen Behörden, Gutachtern und Antragstellern von der Vorbereitung der Stilllegung bis zur Durchführung von grossem Nutzen sind.

### 4. Stilllegungsrelevanter Strahlenschutz

Die Zielvorgaben der nuklearen Entsorgung werden grundsätzlich durch den Strahlenschutz bestimmt. Für die Stilllegung ist er genau zu hinterfragen. Um die Strahlenbelastung so gering wie möglich zu halten, sind sinnvolle d.h. angepasste Massnahmen durchzuführen und bei einem nicht verfügbaren Endlager ist dem sicheren Einschluss unter Berücksichtigung des ALARA-Prinzips (as low as reasonable achievable) der Vorzug zu geben.

Nach über 40 Jahren des Sammelns von Erfahrungen und der wissenschaftlichen Abklärung sowie erheblicher Untersuchungen und Auswertungen der Vielzahl von Fällen für den Strahlenschutz sind dessen Positionen, Vorgehen, Begründungen sowie Erklärungen im Sinne des ALARA neu zu gestalten.

Es ist Paradigmenwechsel angesagt. Der Ausgangspunkt seinerzeit war die Vorsicht wegen Unkenntnis der Zusammenhänge mit den Sicherheitsaufschlägen und mit einer konservativen Vorgehensweise Gefahren auszugrenzen. Dieses Unsicherheitspotential hat sich bis heute mechanisch fortgeschrieben, ist jedoch zu überwinden. Die Dinge haben mittlerweile eine Eigendynamik entwickelt, um eine Strahlenphobie zu erhalten bzw. fortzuschreiben /Kra/. Einerseits ist abzuklären, wieviel gesundheitliches Risiko ergibt sich pro Sievert an Strahlenexposition. Dabei sind die Modell-Annahmen Schritt für Schritt für jedermann einsehbar zu erörtern, beziehungsweise zu begründen, sodass eine ergebnisoffene Diskussion abläuft. Andererseits hat diese öffentliche Abklärung der konservativen Annahmen zur Folge, dass sich F+E-Arbeiten generieren und der Schritt von Sicherheitszuschlägen zu Messdaten erfolgt.

P. Pellerin, langjähriger Chef des Französischen Strahlenschutzamtes (SCRIP-Paris), spricht hier von einer klassischen Lobbyhaltung der echten und sogenannten Strahlenschutzexperten und bedauert die gigantischen Kosten zur Vermeidung höchst unwahrscheinlicher Wirkungen sehr kleiner Strahlendosen /Bec/. Das Mann-Sievert-Konzept ist zu restrukturieren und neuen Strahlenschutz-Konzepten anzupassen, sodass seine Revision ein Baustein unter vielen anderen zum Paradigmenwechsel ergibt.

Im Ergebnis lassen sich die Strahlenschutz-Grenzwerte erheblich senken und Strahlenschutz-Massnahmen deutlich erleichtern. Das erfordert, dass transparent und detailliert begründete Fälle (mit klar genannten Randbedingungen) als durchgerechnete Beispiele für die radiologischen Auswirkungen von der Stilllegung über den Abbau, über die Abfallkonditionierung, über die Zwischenlagerung und den Transport, bis zur Endlager-Abgabe betrachtet werden.

Anzumerken ist, dass eine einheitliche Anwendung in der Europäischen Gemeinschaft für den stilllegungsrelevanten Strahlenschutz gefordert werden muss /Hel/. Der Grundsatz der einheitlichen Anwendung auf der Basis der neuen Grundnormen für den Strahlenschutz von 1996 für die vielen Aktivitäten bei der Stilllegung Kerntechnischer Anlagen in Europa stellt gleichfalls einen Baustein zum Paradigmenwechsel dar und ist eine Grundlage des freien Zugangs zu Dienstleistungen in allen EU-Ländern gleichermaßen.

## 5. Technik

Seit den 60er Jahren wurden Verfahren entwickelt und Erfahrungen gesammelt sowie ausgewertet, wobei das BMFT/BMBF erhebliche finanzielle Mittel bereitstellen konnte, mit den Zielen:

- Reduzierung der radiologischen Belastung des Personals
- Eingrenzung des Anfalls von radioaktiven Abfällen (Volumenreduzierung)
- Einsparung beim finanziellen Aufwand durch Optimierung der Technik und des Zeitaufwandes.

Die generelle Erfahrung lehrt, dass es kein Universalverfahren für alle Demontageaufgaben gibt. Es ist jeweils die ausgewählte Methode einzusetzen, die die gestellte Aufgabe mit geringster radiologischer Belastung von Personal und Umwelt und geringstem Aufwand bei den Abfallmengen zu lösen gestattet /Bac-1/ .

### 5.1 Zerlegetechniken

Mechanische Zerlegetechniken und thermische Schneidverfahren sind etabliert. Die Entwicklungen der letzten Jahre wurden mit dem Ziel der Reduzierung des technischen Aufwandes, der Zeitdauer und damit der radiologischen Belastung des Betriebspersonals und der Kosten mit Erfolg durchgeführt (Wasserabrasivstrahlschneiden, Laserschneiden, Plasmafeinstrahlschneiden, Handhabungssysteme). Die generelle Erfahrung ist, dass es kein Universalverfahren gibt, sondern spezielle Verfahren für die verschiedenen Aufgaben erforderlich sind. Jeweils das ist einzusetzen, was die Aufgabe mit geringstem Aufwand und damit geringster radiologischer Belastung von Personal und Umwelt zu lösen gestattet.

### 5.2 Dekontaminationstechniken:

Neben den etablierten Techniken, die für den zu bearbeitenden Werkstoff das entsprechende Dekontaminationsverfahren berücksichtigen, ist eine Sondertechnik für Forschungsreaktoren zur Anwendung gekommen (Trockeneis-Laserstrahl-Thermoschock-Verfahren) /Bac-2/.

### 5.3 Freimesstechniken:

Neben den etablierten Freimesstechniken wurde in jüngerer Zeit das in-situ Gamma-scanning anwendungsorientiert entwickelt, das beträchtliche Kosteneinsparungen erwarten lässt.

Die derzeit verfügbaren bzw. in Entwicklung befindlichen Techniken erscheinen ausreichend. Ein Identifizieren zusätzlicher Probleme mit der Forderung nach neuen Verfahren kann aber nicht ausgeschlossen werden. Neue Verfahren sollten aber in jedem Fall unter der Mitwirkung von Betreibern entwickelt werden und immer ein Einsparpotential eröffnen. Ein Charakteristikum nach dem heutigen Stand ist es, dass sich jede F+E-Entwicklung weitgehend auf eine Anlage beschränkte, mit deren Betreiber sie durchgeführt wurde. Eine Einbindung verschiedener Anlagenbetreiber in Entwicklungsarbeiten findet bisher nur vereinzelt statt.

## 6. Einsparpotentiale

So wie der Stilllegungsprozess wegen seiner Komplexität differenziert zu handhaben ist, so sind differenziert Einsparpotentiale zu betrachten:

- Strahlenschutz-spezifische Einsparpotentiale werden bestimmt durch das ALARA - Prinzip
- Technische Einsparpotentiale durch den Einsatz einer hochqualifizierten Technik, wobei die Geräte und Verfahren weitgehend ausgeschöpft wurden; fallweise bringen sehr spezielle Anpassungen noch kleinere Vorteile
- Management-bezogene Einsparpotentiale lassen sich erreichen durch die Organisation des know-how-transfer verbunden mit der Ausschaltung von Doppelarbeit
- Entsorgungsbedingte Einsparpotentiale betreffen die Vorkehrungen bei der Abfallbehandlung und die Verfügbarkeit von Zwischen- und Endlager. Letzteres wird nachfolgend angesprochen:

Einsparmöglichkeiten bei der Lagerung :

Die Ziele und deren Erreichbarkeit für eine zügige Endlagerung radioaktiver Abfälle in Deutschland in Vergangenheit und Zukunft werden hier nicht reflektiert. Eine tabellarische Aufstellung (Tab. 7) gibt eine Übersicht über die untersuchten kerntechnischen Anlagen in der Bundesrepublik Deutschland, deren Rückbau und Entsorgung von der öffentlichen Hand zu finanzieren sind.

<b>Anlagen:</b> Kernreaktoren, Kerntechnische Anlage Anzahl, Typ	<b>Status:</b> in Betrieb, in Stilllegung, im Rückbau, im Einschluss	<b>Abfall:</b> Volumen des radioaktiven Rohabfalls*, pro Anlage/Reaktor in m <sup>3</sup> <b>Summe</b>	<b>Kosten:</b> Geschätzte Stilllegungskosten pro Anlage/Reaktor (ohne Entsorgung) in Mio DM <b>Summe:</b>	<b>Zuständigkeit:</b> Finanziert aus dem Haushalt des/der
13 Nullleistungs- reaktoren	in Stilllegung in Betrieb	0,5 - 10	1 - 1,5	BMBF, Länder
12 Siemens- Unterrichts- reaktoren	5 abgebaut 4 in Betrieb 3 in Stilllegung	0,5 - 10	1 - 1,5	Länder
6 TRIGA (DKFZ I, II; MH- H Neuherberg, Mainz, FRF 2)	2 in Betrieb 2 im Rückbau 2 im Einschluss	30 - 60	20	BMBF, Länder
10 MTR (FRG I, II; BER I, II; FRJ I, II; FMRB; FRM; FR 2; RFR)	5 in Betrieb 1 im rückbau 2 in Stilllegung 2 im Einschluss	60 - 260	30 - 150	BMBF, Länder
6 Leistungsreaktoren	6 im Rückbau	4000	433	BMF/BMWi
MZFR	im Rückbau	300	320	BMBF, Baden Württemberg
KNK II	im Rückbau	350	330	BMBF, Land BW
MILLI	abgebaut	600	20	BMBF, Land BW
AMOR 1, 2, 3	im Rückbau	167	80	Freistaat Sachsen
Heisse Zellen im FZJ u. FZK	in Betrieb	400	200	BMBF, Länder
<b>Kumulative Summen:</b>		<b>27.000 bis 30.000 m<sup>3</sup></b>	<b>4,4 bis 5,6 Mrd. DM</b>	

**Tab. 7: Zusammenstellung der Kosten für die Stilllegung kerntechnischer Anlagen /Ein/, die sich in der Verantwortung des Bundes und der Länder befinden (Stand IV.2000), (kumulative Zahlenwerte folgen aus Anzahl der Anlagen multipliziert mit dem Mindest- oder Maximalwert)**

Alle derzeit stillgelegten Anlagen sollen bis zum Jahr 2012 abgebaut sein. Zudem ist in den nächsten 10 Jahren mit der Stilllegung bzw. dem Rückbau von weiteren 10 Anlagen zu rechnen. Die geschätzten Stilllegungskosten (Basis 1999) gelten bis zur Entlassung aus dem AtG. Somit sind 27.000 bis 30.000 M3 radioaktiver Rohabfälle zu betrachten. Bei einem durchschnittlichen Füllfaktor von 0.2 ergeben sich 135.000 bis 150.000 M3 in Gebinden konditionierter Abfall. Für die Entsorgung dieser radioaktiven konditionierten Abfälle werden drei Entsorgungsvarianten einander gegenübergestellt /Ein/:

- Variante 1: umgehende Endlagerung (Kosten nach KONRAD-Endlager-Bedingungen 25.000 DM/M3);
- Variante 2: Zentrale Zwischenlagerung über 30 Jahre (am Beispiel des Zwischenlagers Rubenow/Greifswald; Kosten bei Einlagerung unter Berücksichtigung der Errichtungs- und Betriebskosten: 250 bis 500 DM/M3 \*a), dann Endlagerung; die Zusatzkosten für den einmaligen Transport zum Zwischenlager wurden nicht berücksichtigt;
- Variante 3: Dezentrale Zwischenlagerungen über 30 Jahre am jeweiligen Standort (Kosten bei Einlagerung in einem erst neu zu errichtendem Langzeit-Zwischenlager am Standort, d.h. unter Einrechnung von Errichtungs- und Betriebskosten, an den Beispielen: des Zwischenlagers VKTA Rossendorf: 730 DM/m3 \*a und des Zwischenlagers bei GKSS: 1550 DM/M3 \*a), dann Endlagerung.

Zu Grunde gelegt werden in allen Fällen zusätzliche einmalige Nebenkosten in Höhe von 3500 DM/m (Informationen aus den Erfahrungen von VKTA, FZK und FZJ) für Transporte, Konditionierung und Produktkontrolle. Für die angegebenen Varianten mit ca. 30 000 m3 radioaktivem Primärabfall ergeben sich damit Kosten von :

- Variante 1: 3,9 bis 4,3 Mrd. DM
- Variante 2: 4,9 bis 6,1 Mrd. DM
- Variante 3: 6,8 bis 11, 1 Mrd. DM

Die möglichen Einsparpotentiale sind aus dieser Gegenüberstellung ablesbar. Sie beziehen sich allein auf die angegebenen kerntechnischen Anlagen nach der obigen tabellarischen Zusammenstellung und deren Abfallaufkommen. Es muss festgestellt werden, dass bei dezentralem Zwischenlager (3.Variante) wesentlich höhere Kosten entstehen als bei den anderen Varianten. Dagegen fallen die übrigen Einsparpotentiale (Technik, Management, u.a.) im Vergleich zu den anderen Aspekten bescheiden aus.

## 7. Ausblick

Für die hier angesprochenen kerntechnischen Anlagen in öffentlicher Hand beträgt der Finanzbedarf aller Stilllegungsprojekte mehr als 18 Mrd DM /Ein/. Er wird steigen, zumal die Endlagerkosten nicht berücksichtigt worden sind. Diese Situation erzwingt es, nach möglichen Einsparpotentialen zu suchen auch dann, wenn diese nur wenige Prozent des Gesamtaufkommens betragen sollten, da jedoch wenige Prozente Einsparungen in zweistelliger Millionenhöhe pro Jahr bedeuten werden. Das BMBF ist in diesem Zusammenhang nachdrücklich darum bemüht, den finanziellen Aufwand für die Stilllegung und die Entsorgung zu minimieren. Das BFS koordinierte ein vom BMBF gefördertes Forschungsvorhaben FM 8084, um Abschätzungen für mögliche Einsparpotentiale zu bekommen /Ein/.

Ein Fazit lautet: unabhängig von der Genehmigungs- und Aufsichtspraxis, unabhängig von der Endlagersituation, allein bereits durch Know-how-transfer und generalisiertes Management (soweit sinnvoll) lassen sich erhebliche Geldbeträge einsparen. Es wird zur Diskussion gestellt, einen Informations- und Arbeitskreis Stilllegung Kerntechnischer Einrichtungen zu etablieren. Eine Mitarbeit könnte jede Behörde durch Auflagen zur Pflicht machen, weil unter dem Gesichtspunkt Strahlenschutz-Optimierung das Know-how Dritter zu berücksichtigen ist. Diesem Ausschuss stehen eine Datenbank, aufbereitete Statusberichte und alle Beispiele von Stilllegungsmaßnahmen mit ihren Unterlagen zur Verfügung, um Doppelarbeit auszuschließen.

Ein zweites Fazit bezieht sich auf den Paradigmenwechsel beim Strahlenschutz, in dem das ALARA-Prinzip eindeutig zur Anwendung kommt und die derzeitigen Modell-Annahmen hinterfragt werden. Dabei können die Grenzwerte kraft jahrzehntelanger Erfahrungen sich senken lassen.

Ein drittes Fazit ergibt sich aus dem Faktum, dass kein Endlager zur Verfügung steht, Zwischenlager verwendet werden und der sichere Einschluss als die eine vorteilhafter gegebene Vorgehensweise gleichfalls den Paradigmenwechsels hervorruft.

#### **Literatur:**

- /Bac-1 / Bach, Fr.-W.; u.a.; Stilllegung im internationalen Vergleich; atw 46.Jg. H.2; S. 100 (2001)
- /Bac-2/ Bach, Fr.-W.; u.a.; Abtrags- und Zerlegetechnik für den Rückbau kerntechnischer Anlagen; atw 46. Jg. H.2, S.1 12, (2001)
- /Bec/ Becker, K.; Schwelle oder nicht Schwelle - ist das hier die Frage; Strahlenschutz-Praxis, 3.Jg. H.2, S.2 1; (1997)
- /Ein/ BMBF-Vorhaben "Ermittlung von Einsparpotentialen bei Stilllegung und Rückbau deutscher kerntechnischer Anlagen" (FKZ: 02-S-7778) (1999)
- /Spo/ Spoden, E.; Übersicht über Stilllegungsprojekte in Deutschland, Teil II; Forschungsreaktoren, BFS, KT-IB 81, Salzgitter (April 1999)
- /Hel/ Heller, W.; Strahlenschutz in Europa harmonisieren; atw 45. Jg., Heft 6; S. 412 (2000)
- /Kra/ Kraus, W.D.; Strahlenschutz so vernünftig wie möglich, oder: Wie leben wir mit dem Dilemma unserer Unsicherheit?; Strahlenschutz-Praxis; 3. Jg; Heft 2, S. 24 (1997)
- /Sch/ Schatke, H.: Rechtliche Vorgaben für die Stilllegung kerntechnischer Anlagen; atw 46. Jg., H:2, S. 108, (2001)
- /Sti/ BMU-Leitfaden zur Stilllegung von Anlagen nach § 7 Atomgesetz; (Juni 1996)