

Inhaltsverzeichnis

1	Einleitung.....	1
1.1	Trennmaßnahmen in der Stilllegung.....	1
1.2	Dekontaminationsmaßnahmen in der Stilllegung.....	2
1.3	Manuelle und fernhantierte Nutzung von Trenn- und Dekontaminations- verfahren.....	4
1.4	Strukturierung des Berichtes	5
2	Nationales und internationales Regelwerk mit Bezug zu Trennungs- und Dekontaminationsmaßnahmen unter Berücksichtigung innovativer Verfahren	7
2.1	Internationales Regelwerk.....	7
2.2	Nationales Regelwerk	10
2.3	Zusammenfassung.....	11
3	Zusammenstellung und Bewertung etablierter Trenn- und Dekontaminationsverfahren für die Stilllegung kerntechnischer Anlagen.....	13
3.1	Auswahlkriterien für Trenn- und Dekontaminationsverfahren	14
3.2	Trennverfahren.....	18
3.2.1	Beschreibung etablierter Verfahren	18
3.2.1.1	Thermische Trennverfahren	20
3.2.1.1.1	Autogenes Brennschneiden	20
3.2.1.1.2	Pulverbrennschneiden.....	25
3.2.1.1.3	Sauerstofflanze	26
3.2.1.1.4	Laserstrahlschneiden	29
3.2.1.1.5	Plasma-Schmelzschneiden	36
3.2.1.1.6	Kontakt-Lichtbogen-Metall-Bearbeitung.....	40
3.2.1.1.7	Funkenerosive Bearbeitungsverfahren	50
3.2.1.2	Mechanische Trennverfahren.....	53

3.2.1.2.1	Sägeverfahren (Band-, Stich-, Kreis-, Wand-, Säbel- und Bügelsägen)....	53
3.2.1.2.2	Fräsen (Stirnfräsen, Walzenfräsen).....	60
3.2.1.2.3	Scherverfahren (Trennscheren, Rohrscheren und Nibbeln).....	63
3.2.1.2.4	Schleifen (Trennschleifen und Diamantseilschleifen).....	66
3.2.1.2.5	Wasserstrahlschneiden	71
3.2.2	Qualitative Einschätzung etablierte Trennverfahren	76
3.2.2.1	Auswahl von Einschätzungsfaktoren	77
3.2.2.2	Grundsätzlicher Vergleich thermischer und mechanischer Trenn- verfahren.....	82
3.2.2.3	Darstellung und Diskussion der Bewertungsmatrix.....	85
3.3	Dekontaminationsverfahren.....	91
3.3.1	Wirkweise chemischer Verfahren für die Dekontamination von Metallen ..	93
3.3.2	Beschreibung etablierter Verfahren	97
3.3.2.1	Mehrstufige chemische Dekontaminationsverfahren	100
3.3.2.1.1	HP/CORD UV und HP/CORD D UV	102
3.3.2.1.2	ASDOC_D und ASDOC_D-MOD Verfahren	106
3.3.2.1.3	CAN-DEREM	110
3.3.2.1.4	LOMI	112
3.3.2.1.5	DFD.....	113
3.3.2.2	Beschreibung einstufiger chemische Dekontaminationsverfahren	116
3.3.2.2.1	Verfahren mit Ce ⁴⁺ (SODP, REDOX, MEDOC)	117
3.3.2.2.2	DECOHA-Verfahren	121
3.3.2.2.3	Salpeter- / Flusssäure-Verfahren.....	122
3.3.2.3	Elektrochemische Dekontaminationsverfahren.....	124
3.3.2.4	Verfahren mit Dekontaminationsschäumen und -gelen	128
3.3.2.5	Mechanische Dekontaminationsverfahren.....	129
3.3.2.5.1	Konventionelle Reinigungsverfahren (Abstauben, Absaugen, Abwischen, Abscheuern, Wasserspülen, Dampfreinigen).....	129
3.3.2.5.2	Schleifen, Polieren und Bürsten	130
3.3.2.5.3	Druckluftstrahlverfahren	131

3.3.2.5.4	Wasserstrahlverfahren	134
3.3.2.5.5	Abrasivstrahlverfahren	137
3.3.2.5.6	Fräsverfahren.....	139
3.3.2.5.7	Nadelverfahren.....	140
3.3.2.5.8	Ultraschallbad	141
3.3.2.6	Dekontamination durch Einschmelzen.....	142
3.3.3	Qualitative Einschätzung etablierter Dekontaminationsverfahren	143
3.3.3.1	Grundsätzliche Gegenüberstellung chemischer und mechanischer Dekontaminationsverfahren.....	144
3.3.3.2	Auswahl von Einschätzungsfaktoren	147
3.3.3.3	Darstellung und Diskussion der Einschätzungsfaktoren	151
3.4	Abbruchverfahren und Hilfsmittel bei der Anwendung von Trenn- und Dekontaminationsverfahren.....	160
3.4.1	Abbruchverfahren.....	160
3.4.1.1	Sprengen	160
3.4.1.2	Sequenzielles Kollabieren	164
3.4.1.3	Weitere mechanische Abbruchverfahren.....	165
3.4.2	Brecheranlagen für die Vor-Ort Zerkleinerung	166
3.4.3	Mobile Einhausungen.....	168
3.4.4	Mobile Filter- und Lüftungsanlagen	168
3.5	Zusammenfassung.....	169
4	Ausgewählte branchenübergreifende Entwicklung und ihre Berücksichtigung im Bereich der Stilllegung.....	173
4.1	Robotik und Automatisierung	173
4.1.1	Gestuftes Vorgehen zur Beschreibung des Automatisierungsgrades	175
4.1.2	Robotik-Anwendungen in der Stilllegung	177
4.1.2.1	Roboter-gestützte Bearbeitung von Baugruppen (ROBBE)	180
4.1.2.2	Abbruchroboter in der Stilllegung	181

4.1.2.3	Kompetenzzentrum Robotersysteme für die Dekontamination in menschenfeindlichen Umgebungen (ROBDEKON)	182
4.1.2.4	Automatisierte Zerlegung mittels Unterwasser-Robotertechnik.....	183
4.1.3	Zusammenfassung.....	184
4.2	Bauwerksdatenmodellierung	184
4.2.1	Anwendung in der Kerntechnik.....	185
4.3	Maschinelles Lernen und Aspekte Künstlicher Intelligenz.....	187
4.3.1	Anwendung des Maschinellen Lernens in der Kerntechnik.....	189
4.4	Digitale Realitäten – Virtuelle Realität und Erweiterte Realität	190
4.4.1	Anwendung Digitaler Realitäten in der Kerntechnik	192
4.5	Zusammenfassung.....	193
5	Betrachtung von Trenn- und Dekontaminationstechniken im Entwicklungs- bzw. Prototypstadium mit perspektivischem Nutzen für die Stilllegung kerntechnischer Anlagen.....	195
5.1	Innovationen im Bereich der Trennverfahren.....	196
5.1.1	Laserstrahlschneiden	196
5.1.1.1	LD-SAFE Konsortium	196
5.1.1.2	Unterwasserlaserstrahlschneiden.....	197
5.1.1.3	Fernbedientes, robotergestütztes Laserstrahlschneiden.....	199
5.1.2	Wasserstrahlschneiden	200
5.1.3	Kontakt-Lichtbogen-Metall-Schleifen (CAMG)	203
5.1.4	Rohrinnentrenner	205
5.1.5	Verbesserungen für das Seilschleifen	207
5.2	Innovationen im Bereich der Dekontaminationsverfahren.....	208
5.2.1	Laserdekontaminationsverfahren	209
5.2.2	Elektrokinetisches Dekontaminationsverfahren	211
5.2.3	Automatisierte Dekontaminationskabine AuDeKa.....	214
5.2.4	Automatisierte Wandflächendekontamination.....	215

5.2.5	Trocken-Mechanische Dekontamination von Innenkanten, Ecken und Störstellen mittels hand- sowie ferngesteuerten Geräten.....	216
5.2.6	Dekontamination von radioaktiv kontaminiertem Beton mittels elektrohydraulischer Fragmentierung	217
5.2.7	Dekontamination von borsäurehaltigem Verdampferkonzentrat.....	219
5.2.8	Biodekontamination.....	220
5.2.9	Weiterentwicklung bei elektrochemischen Dekontaminationsverfahren ..	221
5.3	Qualitative Einschätzung innovativer Verfahren	222
5.3.1	Auswahl qualitativer Faktoren für die Einschätzung.....	222
5.3.2	Darstellung der Einschätzungsmatrix und Diskussion der Verfahren	226
5.4	Zusammenfassung.....	228
6	Transfer von Wissen und rückbaurelevanter Verfahren aus anderen Industriezweigen in die kerntechnische Industrie	231
6.1	Zusammenstellung wesentlicher Anforderungen im Bereich der Stilllegung kerntechnischer Anlagen.....	233
6.2	Industriezweige mit partiellen Übereinstimmungen hinsichtlich des Anforderungsprofils für den Rückbau	235
6.3	Industrieübergreifender Austausch.....	236
6.4	Fallbeispiele für einen Wissens- und Technologietransfer in die kerntechnische Industrie innerhalb Deutschlands.....	238
6.4.1	Austausch zwischen kerntechnischen Betreibern und Dienstleistern bzw. Technologieanbietern aus anderen Industriezweigen.....	238
6.4.2	Austausch zwischen kerntechnischen Betreibern und Dienstleistern bzw. Technologieanbietern mit Bezug zur Kerntechnik.....	241
6.4.3	Austausch zwischen kerntechnischen Betreibern und F+E-Einrichtungen (z. B. Universitäten).....	242
6.4.4	Austausch zwischen kerntechnischen Betreibern und Betreibern anderer Industriezweige	243
6.5	Zusammenfassung.....	244
7	Zusammenfassung.....	247

8	Ausblick	251
	Literaturverzeichnis	255
	Abkürzungsverzeichnis	277
	Abbildungsverzeichnis	281
	Tabellenverzeichnis	285
	Stichwortverzeichnis.....	287
	Glossar	291
A	Anhang: Wesentliche Definitionen der Norm DIN 8580 und verwandter Normen im Kontext der Trennverfahren.....	293