

**Titel, Thema**  
Genehmigungsverfahren 1. Stilllegungs- und  
Abbaugenehmigung  
Fachbericht U\_1.2  
Radiologisches Inventar

Anzahl der Anlagen

0

**Schlagwörter**

Aktivitätsinventar; Rückbaumassen; Aktivierung

**Betroffene Anlagenkennzeichen**

XX; ZA; ZC; ZF

**Verteiler**

GD-NB; GD-NBP; GD-NBU  
GD-NBQ; GD-NBM; GD-NBS  
GD-NBE; GD-NBB

Hr. Luckow, GD-NEL;  
Hr. Hinderks, GD-NEE

Hr. Bächler, GD-NB

**erweiterter Verteiler**

MELUR; TÜV NORD

erstellt von **GD-NBUW** geprüft von **GD-NBU** **GD-NEE**

Name:

Datum:

Unterschrift:

geprüft von **GD-NBE** **GD-NBM** **GD-NBP** **GD-NBQ** **GD-NBU**

Name

Prüfdatum

Unterschrift

freigegeben von **KKB**

Datum

Unterschrift

Unterlagen Ident-Nr.

01150086050 /0024



UL-IdentNr.: [01150086050/0024/1/P]

Der Empfänger dieser Unterlage ist verpflichtet, die darin enthaltenen Informationen als Betriebs- und Geschäftsgeheimnis i.S. der geltenden Gesetze zu behandeln.

## Änderungsverzeichnis

Revision	Datum	Änderungsgrund
0	24.09.2015	Ersterstellung
1	20.04.2016	Redaktionelle Änderungen

## Inhaltsverzeichnis

Zusammenfassung .....	5
1 Einleitung .....	6
2 Aktivitätsinventar .....	7
2.1 Defektstäbe .....	7
2.2 Aktivierte Bauteile .....	9
2.3 Kontaminierte Bauteile .....	11
2.3.1 Betrachtungsgegenstand .....	11
2.3.2 Vorgehen und Annahmen .....	12
2.3.3 Ergebnis der Abschätzung .....	13
3 Massenuntersuchung KKB - Entsorgungsmassen und radioaktiver Abfall .....	14
3.1 Generelles Vorgehen .....	14
3.2 Strahlenschutzbereiche .....	15
3.3 Radiologische Kategorien.....	16
3.3.1 Kategorie: nicht kontaminiert.....	16
3.3.2 Kategorie: aktiviert .....	16
3.3.3 Kategorien: kontaminiert / vermutlich kontaminiert .....	16
3.4 Entsorgungswege .....	17
3.4.1 Dekontaminierbarkeitsklassen.....	17
3.4.2 Abfall- und Reststoffpfad .....	18
3.5 Sekundärmassen .....	19
3.6 Ergebnisse der Massenuntersuchung .....	20
4 Referenzen.....	22

### Tabellenverzeichnis

Tabelle 2.1.1:	Basisdaten der 13 Defektstäbe im KKB
Tabelle 2.1.2:	Berechnungsergebnisse für die 13 Defektstäbe im KKB
Tabelle 2.2:	Mittlere spezifische Aktivität und Gesamtaktivität verschiedener Komponenten
Tabelle 2.3:	Berechnung der Systemaktivitäten
Tabelle 2.2:	Massen in Strahlenschutzbereichen
Tabelle 3.3:	Radiologische Kategorisierung der KKB-Massen
Tabelle 3.4.1:	Dekontaminationserfolgswahrscheinlichkeiten
Tabelle 3.4.2:	Massenzuordnung zum Abfall- und Reststoffpfad
Tabelle 3.5.:	Sekundärmasse

### Abbildungsverzeichnis

Abbildung 3.1:	Schematische Darstellung der Vorgehensweise zur Ermittlung der Masse des radioaktiven Abfalls
Abbildung 3.4.2:	Graphische Darstellung der Massenzuordnung zu Abfall- und Reststoffpfad
Abbildung 3.6:	Massenfluss zu den Entsorgungswegen Abfall- und Reststoffpfad

### Abkürzungsverzeichnis

BE	Brennelement
BFS	Betriebsführungssystem
BS	Brennstab
FKZ	Filterkonzentrat
Halbwertsdicke	Diejenige Dicke eines durchstrahlten Materials , die die Strahlungsintensität um die Hälfte reduziert.
KKB	Kernkraftwerk Brunsbüttel
RDB	Reaktordruckbehälter
StrISchV	Strahlenschutzverordnung
UNS-Gebäude	Unabhängiges Notstandsgebäude
VKZ	Verdampferkonzentrat

### Zusammenfassung

Ziel der vorliegenden Unterlage ist es, den im Sicherheitsbericht /2/ als abdeckend konservativ abgeschätzten Wert von  $1,0 \text{ E}+17 \text{ Bq}$  für das radiologische Inventar der Anlage KKB und den im Sicherheitsbericht /2/ angegebenen Wert von 6000 Mg für die Masse des radioaktiven Abfalls zu verifizieren.

#### Ergebnisse:

Das Aktivitätsinventar der aktivierten Bauteile ist maßgeblich für das Gesamtaktivitätsinventar der Anlage KKB. Die Betrachtungen in Kapitel 2.2 zeigen, dass der Wert von  $1,0 \text{ E}+17 \text{ Bq}$  konservativ abdeckend für das Gesamtinventar der Anlage KKB ist.

Aus der Massenuntersuchung in Kapitel 3 geht hervor, dass bei Abbau der Anlage KKB ca. 6000 Mg radioaktiver Abfall anfallen.

## 1 Einleitung

Am 01. November 2012 hat die Kernkraftwerk Brunsbüttel GmbH & Co. oHG den Antrag nach § 7 Abs. 3 AtG auf Stilllegung und Abbau gestellt /1/. Im Rahmen des Genehmigungsverfahrens wurde der Sicherheitsbericht /2/ vorgelegt. Die untersetzenden Unterlagen (Fachberichte) zum Sicherheitsbericht sind in der Liste der Antragsunterlagen /3/ aufgeführt.

Der vorliegende Technische Bericht stellt als Fachbericht und Genehmigungsunterlage für den beantragten Umfang zum einen das radiologische Inventar in der Anlage dar und gibt zum anderen auf Basis der Masseninventars /8/ eine Abschätzung über die Zuordnung der Entsorgungsmassen zu radiologischen Kategorien und davon ausgehend zu den Entsorgungszielen.

Das Aktivitätsinventar in der Anlage setzt sich i. W. zusammen aus dem Aktivitätsinventar der Defektstäbe, der aktivierten Anlagenteile und der Kontaminationen in der gesamten Anlage. Das Inventar der Defektstäbe und der aktivierten Anlagenteile wurde auf Basis von detaillierteren Berechnungen ermittelt. Das Aktivitätsinventar durch Kontaminationen wurde durch vereinfachte Ansätze auf Basis vorliegender Daten abgeschätzt.

## 2 Aktivitätsinventar

Es wird dargestellt, wie die Aktivitätsinventare der vorhandenen Defektstäbe, der aktivierten Bauteile und der kontaminierten Bauteile ermittelt wird.

### 2.1 Defektstäbe

Im Abklingbecken des KKB befinden sich 13 Defektstäbe. Im folgenden Abschnitt werden die Ergebnisse der Berechnungen zum Aktivitätsinventar und zur Nachzerfallswärme dieser Defektstäbe zusammengestellt. Ausführlich wird der Rechenweg in /4/ beschrieben.

Für die Berechnungen wurden folgende Werkzeuge eingesetzt:

- Die Berechnung der Nachzerfallswärme wurde mit dem Studsvik-Scandpower-Programm SNF (V 1.6) durchgeführt.
- Mit der CASMO-4E (V 2.10.12)-Simulation wurde die Neutronen- und Gamma-Bestrahlung im Kern in 2D analysiert.
- Die Transientenanalyse wurde mit Hilfe des SIMULATE-3 (V 6.09.16\_VAT-13.2) durchgeführt.
- Zusätzlich kam für die Kommunikation zwischen den Programmen das Datentransfertool CMS-LINK (V 1.25.06) zum Einsatz.

Die Datenbasis zu den Rechnungen ist in Tabelle 2.1.1 wiedergegeben.

Die Ergebnisse der Berechnungen für jeden Defektstab liegen in Tabelle 2.1.2 vor.

Zum Stichtag 01.01.2014 ergeben die Berechnungen folgende Ergebnisse:

- Die **Gesamtaktivität** der 13 KKB-Defektstäbe betrug am 01.01.2014  
**2,66E+14 Bq.**
- Die kumulierte **Nachzerfallswärme** aus den 13 Defektstäben betrug am 01.01.2014  
**21,9 Watt.**

Tabelle 2.1.1: Basisdaten der 13 Defektstäbe im KKB

A	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11		12
	Lfd.-Nr.	BE-ID	BE-Typ	Position im BE	Stab-ID	Abschalt-datum	Brenn-stoff	max. Anfangsan-reicherung (Gew.%)	Schwer-metall-masse (g)	max. Abbrand (GWd/ISM)	Anzahl	von-bis	
B	1	HA012	8x8-2	A2	BHAO0275	31.07.1988	Uran	1,75	2880	26,5	3	5-7	
C	2	HA033	8x8-2	A2	BHAO0045	31.07.1988	Uran	1,75	2877	23,6	3	5-7	
D	3	HA033	8x8-2	D1	CEAO0868	31.07.1988	Uran	2,45	2877	23,6	3	5-7	
E	4	HA046	8x8-2	D4	DIAO1253	08.10.1989	Uran	3,85	2880	31,6	4	5-8	
F	5	HA082	8x8-2	A5	BHAO0111	31.07.1988	Uran	1,75	2882	23,6	3	5-7	
G	6	HA082	8x8-2	B1	CEAO1108	31.07.1988	Uran	2,45	2882	23,6	3	5-7	
H	7	HA082	8x8-2	C3	CEAO1126	31.07.1988	Uran	2,45	2882	23,6	3	5-7	
I	8	HA082	8x8-2	D1	DALC0506	31.07.1988	Uran/Gd	3,05	2882	23,6	3	5-7	
J	9	NA014	SVEA-64C/L	B2	22702	27.07.1996	Uran	4,25	2660	20,1	2	10-11	
K	10	UA052	SVEA-96L	J3	64625589	06.03.2004	Uran	3,05	1806	27,1	3	15-17	
L	11	UA055	SVEA-96L	C8	64602031	18.02.2002	Uran	4,51	1806	19,6	2	15-16	
M	12	UB081	SVEA-96L	A5	64625935	01.07.2001	Uran	4,79	1808	20,8	2	14-15	
N	13	VC015	ATRIUM-10B	C6	H37031031317	18.07.2007	Uran	5,00	1961	44,8	6	16-21	

Tabelle 2.1.2: Berechnungsergebnisse für die 13 Defektstäbe im KKB

A	1	2	3	4	5
	Lfd.-Nr.	BE-ID	Abklingzeit (d)	Nachzerfalls-wärme (W)	Aktivität (Bq)
B	1	BHAO0275	9.285	1,64	1,858E+13
C	2	BHAO0045	9.285	1,42	1,656E+13
D	3	CEAO0868	9.285	1,43	1,703E+13
E	4	DIAO1253	8.851	2,23	2,583E+13
F	5	BHAO0111	9.285	1,54	1,816E+13
G	6	CEAO1108	9.285	1,42	1,655E+13
H	7	CEAO1126	9.285	1,26	1,510E+13
I	8	DALC0506	9.285	1,54	1,813E+13
J	9	22702	6.367	1,49	1,894E+13
K	10	64625589	3.588	1,61	2,169E+13
L	11	64602031	4.335	1,12	1,519E+13
M	12	64625935	4.567	1,35	1,832E+13
N	13	H37031031317	2.359	3,80	4,555E+13
O	<b>Summen:</b>			<b>21,9</b>	<b>2,656E+14</b>

Das Bezugsdatum für die Berechnungen ist der 01.01.2014.



## 2.2 Aktivierte Bauteile

Die Berechnung der spezifischen Aktivitäten der aktivierten Bauteile gemäß /5/ erfolgte in zwei Schritten:

Zunächst wurde die Neutronenflussdichteverteilung innerhalb des Sicherheitsbehälters des KKB bestimmt. Hierfür wurden die Programme SAS1, DORT und Attila eingesetzt. Am Ende der Berechnung liegt die räumliche Flussdichteverteilung für das gesamte Modell im Falle von Attila in 22 Energiegruppen vor.

Im zweiten Schritt wurden die Flussdichten auf drei Gruppen kondensiert und für die Aktivierungsrechnungen mit dem DSR-Aktivierungsprogramm verwendet. Die für die Aktivierungsberechnungen verwendeten Materialdaten wurden aus komponentenweise vorliegenden Werkstoffdaten abgeleitet.

Basierend auf den errechneten spezifischen Aktivitäten kann eine mittlere spezifische Aktivität für bestimmte Komponenten des Reaktors bzw. des Bioschildes angegeben werden. In Verbindung mit der Masse dieser Komponenten ergibt sich die Gesamtaktivität.

Tabelle 2.2 zeigt eine Zusammenfassung der durchschnittlichen spezifischen Aktivität verschiedener Komponenten und die sich daraus ergebende durch Aktivierung verursachte Aktivität von  $1,2E+16$  Bq zum Bezugsdatum 30.06.2015.

Die Bestimmung der **tatsächlichen durch aktivierte Bauteile verursachten Aktivität** kann nur durch Probenentnahme und -auswertung zu einem späteren Zeitpunkt erfolgen. Schwankungsbreiten um den Faktor zwei bis fünf können für einzelne Bauteile nicht ausgeschlossen werden. Die durch Aktivierung verursachte Aktivität der aktivierten Bauteile wird daher auf **ca.  $6E+16$  Bq** abgeschätzt.

Die durch Kontamination verursachte Aktivität der aktivierten Bauteile wird in Kap. 2.3.1 behandelt.

Tabelle 2.2: Mittlere spezifische Aktivität und Gesamtaktivität verschiedener Komponenten

A	1	2	3	4		5		6		7	
				Pos.	Komponente	Masse [Mg]	Spez. Aktivität [Bq/g]		Aktivität [Bq]		Aktivität [Bq]
					Co-60	Gesamt		Co-60	Gesamt		
B	1	RDB						2,40E+12			1,00E+13
C	1.1	RDB-Deckel	69	2,50E+00	1,10E+01		1,70E+08				7,60E+08
D	1.2	RDB-Mantel oberhalb des Bioschildes	101	3,40E+01	1,80E+02		3,40E+09				1,80E+10
E	1.3	RDB-Mantel oberh. Spaltzone bis Oberkante Bioschild	98	1,10E+03	5,30E+03		1,10E+11				5,20E+11
F	1.4	RDB-Mantel Höhe Spaltzone	82	2,70E+04	1,10E+05		2,20E+12				9,00E+12
G	1.5	RDB-Mantel unterhalb Spaltzone	84	1,10E+03	4,90E+03		9,20E+10				4,10E+11
H	1.6	RDB-Bodenkalotte	79	7,50E+00	3,50E+01		5,90E+08				2,80E+09
I	1.7	Zwangsumwälzpumpen	33	6,20E+00	2,90E+01		2,00E+08				9,60E+08
J	2	Dampftrockner	30	4,90E-01	3,30E+00		1,50E+07				9,90E+07
K	3	Dampf-Wasser-Abscheider	65				1,00E+12				1,70E+12
L	3.1	Zyklone	30	4,10E+00	6,40E+00		1,20E+08				1,90E+08
M	3.2	Kerndeckel + Deckelstandrohre	35	2,90E+04	4,90E+04		1,00E+12				1,70E+12
N	4	Speisewasserverteiler	2	3,10E+01	2,80E+02		6,20E+07				5,60E+08
O	5	Kernmantel	43	9,30E+06	2,30E+07		4,00E+14				9,90E+14
P	6	Oberes Kerngitter	5	6,40E+08	2,20E+09		3,20E+15				1,10E+16
Q	7	Unteres Kerngitter	6	2,60E+06	5,00E+06		1,60E+13				3,00E+13
R	8	Steuerstabführungsrohre + Kernflussmessgehäuserohre	23	3,80E+03	5,20E+03		8,70E+10				1,20E+11
S	9	Steuerstabantriebsgehäuserohre	44	3,10E+00	1,80E+01		1,40E+08				7,90E+08
T	10	Standzarge	27	1,30E+02	8,80E+02		3,50E+09				2,40E+10
U	11	Abschirmplatte	69	2,90E+01	4,20E+01		2,00E+09				2,90E+09
V	12	Bioschild inkl. Bewehrung					6,10E+10				6,10E+11
W	12.1	Beton	810	3,40E+01	4,20E+02		2,80E+10				3,40E+11
X	12.2	Bewehrung	70	4,80E+02	3,90E+03		3,40E+10				2,70E+11
Y	<b>Summen:</b>		<b>1805</b>				<b>3,6E+15</b>				<b>1,2E+16</b>

Das Bezugsdatum für die Berechnungen ist der 30.06.2015

### 2.3 Kontaminierte Bauteile

Die Abschätzung des Aktivitätsinventars der kontaminierten Bauteile zu einem Zeitpunkt in der Nachbetriebsphase wird dadurch erschwert, dass nur begrenzt Kontaminationsmessungen an den Systemkomponenten aus der Zeit nach dem letzten Zyklus der Anlage vorliegen und in der Nachbetriebsphase nur zerstörungsfreie Messungen durchgeführt werden können. Um dennoch eine grobe Abschätzung der Höhe der Kontamination an den Bauteilen durchzuführen, ist es zweckmäßig, den Betrachtungsgegenstand einzugrenzen und die Berechnungen sinnvoll zu vereinfachen.

#### 2.3.1 Betrachtungsgegenstand

Der Betrachtungsumfang beschränkt sich auf die Abschätzung des Inventars der Innenflächen der kontaminationsführenden Systeme

- a) Reaktorwasserreinigungssystem TC,
- b) Lagerbeckenkühlsystem TG,
- c) Nachkühlsystem TH,
- d) Einspeisesystem TJ,
- e) Abwasseraufbereitung TR,
- f) Konzentrat-Aufbereitungssystem TT und
- g) Abwassersammelsystem TX.

Eine Abschätzung des Aktivitätsinventars des Reaktordruckbehälters und seiner Einbauten inklusive Dampftrockner, das allein aus Kontamination und nicht aus Aktivierung resultiert, kann zum Zeitpunkt der Berichterstellung nur sehr grob erfolgen und ergibt einen Wert in der Größenordnung der Gesamtkontamination der betrachteten Systeme a) bis g).

Das kumulierte Aktivitätsinventar der hier nicht betrachteten Systeme wird auf einen Wert im kleinen einstelligen Prozentbereich der Gesamtaktivität der Systeme a) – g) abgeschätzt und im Weiteren vernachlässigt.

### 2.3.2 Vorgehen und Annahmen

Aus Dosisleistungsmessungen an den Systemkomponenten wird mittels Gamma-Dosisleistungskonstanten das Aktivitätsinventar in den Systemen abgeschätzt.

- Es wird vereinfacht unter Außerachtlassung anderer Nuklide eine Nuklidzusammensetzung der Kontamination von 50 % Co-60 und 50 % Cs-137 zugrunde gelegt, die homogen auf den Systeminnenseiten verteilt ist.
- Die Wandstärken der Systeme werden mit jeweils einer Halbwertsdicke angenommen; andere Abschirmwirkungen werden vernachlässigt.
- Der Abstand des Messgeräts von der Aktivitätsschicht wird mit 25 cm angenommen, zirka eine mittlere Dicke der Isolierung.
- Luftgetragene (Außen-)Kontamination an den Systemen wird nicht berücksichtigt.
- Die Dosisleistungsmesswerte werden über jedes System gemittelt siehe Tabelle 2.3.

Unter den vorgenannten Annahmen und Vereinfachungen kann die Aktivität in den Systemen abgeschätzt werden mit der Formel:

$$A_{ges} \approx \sum_{i=Co}^{Cs} \sum_{j=a}^{g)} \frac{d}{\Gamma_{H,i}} \cdot DL_j \cdot F_j$$

Darin bedeuten:

$A_{ges}$ : Gesamtaktivität der Innenseiten der Systeme aus 2.3.1 in GBq

$i$ : 2 Nuklide (Co-60 und Cs-137)

$j$ : 7 Systeme; a) – g) aus 2.3.1

$d$ : Abstand des Messpunktes von der aktivitätsführenden Schicht in m  
(siehe oben:  $d = 0,25$  m)

$\Gamma_{H,i}$ : Dosisleistungskonstante des Nuklids  $i$  nach DIN 6844-3 /6/ in  $\mu\text{Sv}\cdot\text{m}^2\cdot\text{h}^{-1}\cdot\text{GBq}^{-1}$

( $\Gamma_{H,Co-60} = 354 \mu\text{Sv}\cdot\text{m}^2\cdot\text{h}^{-1}\cdot\text{GBq}^{-1}$  ;  $\Gamma_{H,Cs-137} = 92,7 \mu\text{Sv}\cdot\text{m}^2\cdot\text{h}^{-1}\cdot\text{GBq}^{-1}$ )

$DL_j$ : Mittelwert der gemessenen Dosisleistungen am System  $j$  in  $\mu\text{Sv/h}$   
(Tabelle 2.3 – Spalte 4)

$F_j$ : Innenfläche des Systems  $j$  in  $\text{m}^2$  (berechnet aus den jeweiligen Schaltplänen und Isometrien)

### 2.3.3 Ergebnis der Abschätzung

Durch Einsetzen der Werte in die Formel aus 2.3.2 ergibt sich, dass das Aktivitätsinventar der kontaminierten Bauteile auf einen Wert von einigen Tera-Becquerel abgeschätzt werden kann. Tabelle 2.3 zeigt die einzelnen Zwischenergebnisse.

Tabelle 2.3: Berechnung der Systemaktivitäten

	1	2	3	4	5	6	7	8	9
A	System	Innenoberflächen		Mittlere DL	Aktivität Co-60		Aktivität Cs-137		Gesamtaktivität
		Rohrleitungen	Komponenten		pro cm <sup>2</sup>	pro System	pro cm <sup>2</sup>	pro System	
B	TC	130 m <sup>2</sup>	70 m <sup>2</sup>	330 µSv/h	2E+04 Bq	5E+10 Bq	9E+04 Bq	2E+11 Bq	2E+11 Bq
C	TG	420 m <sup>2</sup>	40 m <sup>2</sup>	240 µSv/h	2E+04 Bq	8E+10 Bq	6E+04 Bq	3E+11 Bq	4E+11 Bq
D	TH	1300 m <sup>2</sup>	130 m <sup>2</sup>	50 µSv/h	4E+03 Bq	5E+10 Bq	1E+04 Bq	2E+11 Bq	2E+11 Bq
E	TJ	220 m <sup>2</sup>	30 m <sup>2</sup>	40 µSv/h	3E+03 Bq	7E+09 Bq	1E+04 Bq	3E+10 Bq	3E+10 Bq
F	TR	940 m <sup>2</sup>	2400 m <sup>2</sup>	150 µSv/h	1E+04 Bq	4E+11 Bq	4E+04 Bq	1E+12 Bq	2E+12 Bq
G	TT	750 m <sup>2</sup>	560 m <sup>2</sup>	60 µSv/h	4E+03 Bq	6E+10 Bq	2E+04 Bq	2E+11 Bq	3E+11 Bq
H	TX	20 m <sup>2</sup>	100 m <sup>2</sup>	410 µSv/h	3E+04 Bq	3E+10 Bq	1E+05 Bq	1E+11 Bq	2E+11 Bq
I	Summe der Systeme a) bis g)							Akt. <sub>sys</sub> ≈ 3E+12 Bq	
J	Kontamination des Reaktordruckbehälters mit Einbauten							Akt. <sub>RDB</sub> ≈ 3E+12 Bq	
K								Akt. <sub>ges</sub> ≈ 6E+12 Bq	

Der Empfänger dieser Unterlage ist verpflichtet, die darin enthaltenen Informationen als Betriebs- und Geschäftsgeheimnis i.S. der geltenden Gesetze zu behandeln.

Insbesondere die Abschätzung für die flächenbezogene Aktivität steht mit einer Untersuchung von Fräsproben aus einem ausgebauten TG-Kühler /7/ in Einklang.

Die **tatsächliche durch Kontamination verursachte Aktivität** kann nur durch Probenentnahme und -auswertung zu einem späteren Zeitpunkt erfolgen. Schwankungsbreiten um den Faktor zwei bis zehn können für einzelne Bauteile nicht ausgeschlossen werden. Die durch Kontamination verursachte Aktivität der Bauteile wird daher auf **ca. 3E+13 Bq** abgeschätzt.

Die abgeschätzte Summe liegt in der Größenordnung der bei Dekontaminationen von reaktornahen Systemen ausgetragenen Aktivität anderer Rückbauprojekte.

### 3 Massenuntersuchung KKB - Entsorgungsmassen und radioaktiver Abfall

Im Rahmen der Anlageninventarisierung wurden für die abzubauenen Anlagenteile und Komponenten relevante Daten erhoben. Zu den in /8/ bereits genannten Daten

- zum Aufstellungsort (Gebäude, Raum und Ebene),
- zur Systemzugehörigkeit (AKZ),
- zum Komponententyp,
- zum Material und
- zur Masse

kommen Angaben

- zum radiologischer Zustand (kontaminiert/aktiviert) und
- zur Dekontaminierbarkeit (schwer/mittel/leicht)

hinzu. Auch diese Daten wurden auf Basis der im KKB vorliegenden Dokumentation erfasst.

Eine Übersicht über die erfassten Massen und die Vorgehensweisen zu deren Ermittlung findet sich in /8/.

Im Folgenden wird dargelegt, wie die Abbaumassen hinsichtlich der Entsorgung klassifiziert sind, daraus deren Bearbeitung oder Behandlung abgeleitet und die Masse der radioaktiven Abfälle abgeschätzt.

#### 3.1 Generelles Vorgehen

Zunächst werden in 3.2 die Massen den Strahlenschutzbereichen zugeordnet, um Massen außerhalb von Strahlenschutzbereichen zunächst der Zuordnung zu radioaktivem Abfall zu entziehen.

Die radiologische Kategorisierung (3.3) dient dazu, Massen vom Abfallpfad auszuschließen, bei denen keine Kontamination zu erwarten ist. Auch werden in diesem Schritt aktivierte Massen beschrieben, die vollständig dem radioaktiven Abfall zugerechnet werden. Mittels Differenzbildung wird die Masse, die einer Reststoffbearbeitung unterzogen werden muss, ermittelt.

Die Massen, die der Reststoffbearbeitung zugeführt werden, werden in Dekontaminierbarkeitsklassen eingeteilt (3.4.1) und auf diese Weise die Wahrscheinlichkeit für eine erfolgreiche Dekontamination abgeschätzt.

Mit Hilfe dieser Abschätzung werden die Massen, die als radioaktiver Abfall behandelt werden müssen, errechnet (3.4.2).

Eine graphische Darstellung der Vorgehensweise befindet sich in Abbildung 3.1.

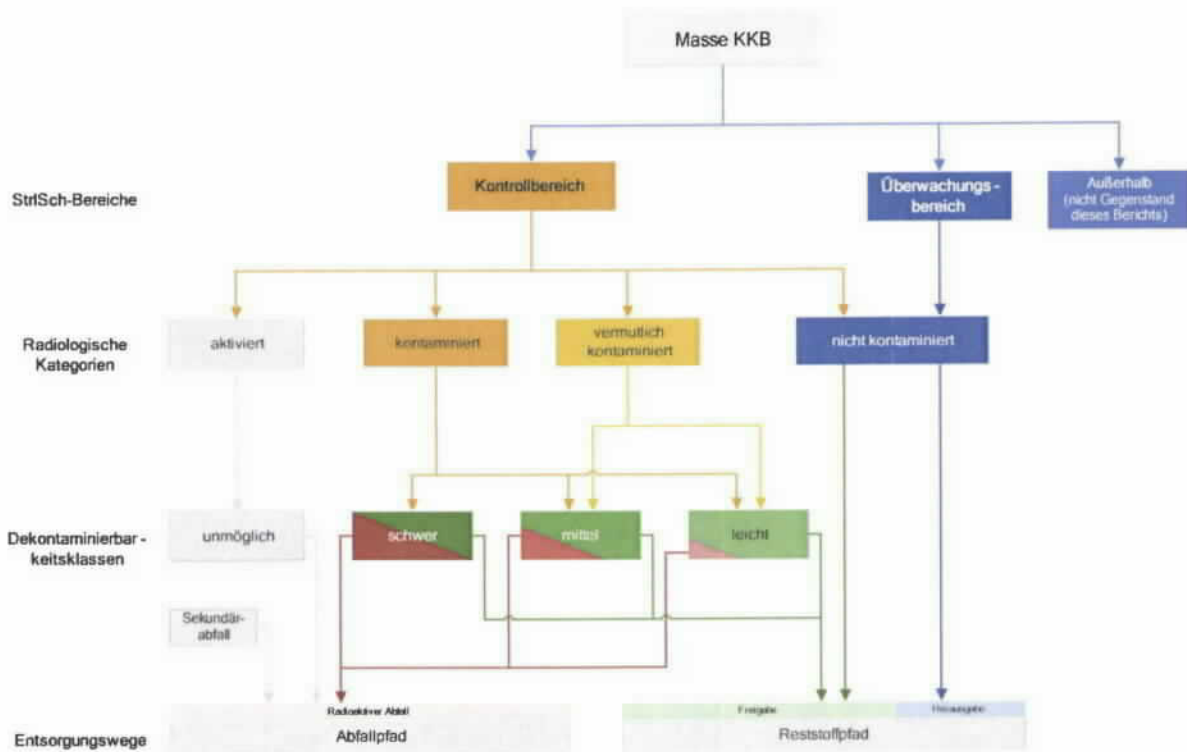


Abbildung 3.1: Schematische Darstellung der Vorgehensweise zur Ermittlung der Masse des radioaktiven Abfalls

### 3.2 Strahlenschutzbereiche

Durch das raumweise Vorgehen bei der Massenermittlung können die Daten unter Zuhilfenahme der Raumliste KKB ohne weitere Verarbeitung den Strahlenschutzbereichen nach § 36 StrlSchV Kontrollbereich und Überwachungsbereich zugeordnet werden. Auf eine Zuordnung zum Strahlenschutzbereich Sperrbereich wird verzichtet, weil diese Information für die weiteren Betrachtungen unerheblich ist. Die Massen verteilen sich auf die Strahlenschutzbereiche wie in Tabelle 3.2 dargestellt.

Tabelle 3.2: Massen in Strahlenschutzbereichen

	1	2
A	Kontrollbereich	194.100 Mg
B	Überwachungsbereich	101.500 Mg
C	Summe	295.600 Mg

Dieser Bericht bezieht sich auf Massen aus dem Kontroll- und Überwachungsbereich, also 295.600 Mg (Feld C2 – Tabelle 3.2). Diese Masse entspricht der Vollfläche in den Kreisdiagrammen aus den Tabellen 3.2, 3.3 und der Abbildung 3.4.2.

### 3.3 Radiologische Kategorien

Die KKB-Massen werden komponentenweise einer der folgenden radiologischen Kategorien zugeordnet:

- aktiviert
- kontaminiert
- vermutlich kontaminiert
- nicht kontaminiert

#### 3.3.1 Kategorie: nicht kontaminiert

Feld E2 – Tabelle 3.3

Die Massen aus dem Überwachungsbereich (Feld B2 – Tabelle 3.2) werden als nicht kontaminiert kategorisiert. Sie werden keiner Bearbeitung unterzogen und herausgegeben. Aus der Kategorisierung ergibt sich die Kategorie nicht kontaminiert für ca. 160.000 Mg der Gebäudestruktur des Kontrollbereichs (ca. 95% der Summe Beton + Armierung) sowie für ca. 1.400 Mg aus Komponenten aus dem Kontrollbereich (überwiegend Elektrik, ein Teil der Setzsteine und Massen aus dem Kontrollbereich des UNS-Gebäudes).

#### 3.3.2 Kategorie: aktiviert

Feld B2 – Tabelle 3.3

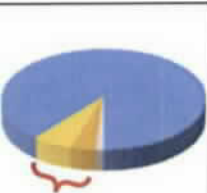
Eine Masse von ca. 3.400 Mg rund um den mittleren Teil des Reaktordruckbehälters muss als aktiviert eingestuft werden. Neben den Massen der Bauteile aus 2.2 werden ca. 1600 Mg der Gebäudemassen als aktiviert kategorisiert. Diese Masse wird nicht der Reststoffbearbeitung sondern direkt der Abfallbehandlung zugeführt.

#### 3.3.3 Kategorien: kontaminiert / vermutlich kontaminiert

Felder C2 und D2 – Tabelle 3.3

Es ergibt sich aus der Einteilung der Massen in die radiologischen Kategorien aus 3.3.1 und 3.3.2, dass eine Reststoffbearbeitung für eine Masse von ca. 29.300 Mg erforderlich bzw. möglich ist, wobei ca. 40 % dieser Masse sicher kontaminiert ist.

Tabelle 3.3: Radiologische Kategorisierung der KKB-Massen

	1	2	
<b>A</b>	<b>Kategorie</b>	<b>Masse</b>	
<b>B</b>	aktiviert	3.400 Mg	 <p>Bearbeitung erforderlich</p>
<b>C</b>	kontaminiert	11.500 Mg	
<b>D</b>	vermutlich kontaminiert	17.800 Mg	
<b>E</b>	nicht kontaminiert	262.900 Mg	
<b>F</b>	Summe	295.600 Mg	



### 3.4 Entsorgungswege

Um die Massen dem Abfall- oder dem Reststoffpfad zuordnen zu können, wird für die Massen aus 3.3.3 der Schwierigkeitsgrad der Dekontamination (Dekontaminierbarkeit) der kontaminierten und vermutlich kontaminierten Komponenten und Bauteile bewertet.

#### 3.4.1 Dekontaminierbarkeitsklassen

Die Einschätzung des Schwierigkeitsgrades der Dekontamination wird derart vorgenommen, dass jede Komponente der Kategorien kontaminiert und vermutlich kontaminiert in eine der folgenden Dekontaminierbarkeitsklassen eingruppiert wird:

- unmöglich
- schwer
- mittel
- leicht

Als Dekontaminationserfolg wird die Zuführung der Komponente zum Reststoffpfad gewertet. Weist eine Komponente nach allen sinnvollen Dekontaminationsversuchen eine Restaktivität über den Freigabewerten der Anlage III, Tabelle 1, StrlSchV auf, so muss diese Komponente dem Abfallpfad zugeführt werden. Die Wahrscheinlichkeiten für den Dekontaminationserfolg bzw. -misserfolg sind in Tabelle 3.4.1 für jede Klasse in Massen-% abgeschätzt.

Tabelle 3.4.1: Dekontaminationserfolgswahrscheinlichkeiten

	1	2	3
<b>A Klasse</b>		<b>Wahrscheinlichkeit für Dekonterfolg</b>	<b>Wahrscheinlichkeit für Restaktivität</b>
<b>B</b>	unmöglich	0%	100%
<b>C</b>	schwer	85%	15%
<b>D</b>	mittel	90%	10%
<b>E</b>	leicht	98%	2%

Zu beachten ist bei der Beurteilung der Dekontaminierbarkeit, dass die Höhe der Kontamination nur eine untergeordnete Rolle spielt. Der Klassifizierung liegen folgende Maßstäbe zugrunde:

- Aktivierung ja / nein
- Betriebshistorie der Komponente
- Erfahrung aus anderen Projekten mit ähnlichen Komponenten
- Geometrie der Komponente
- Möglichkeit der Teilmassenbildung aus einer Komponente
- Art der Kontamination
- Strahlungsniveau an der ausgebauten Komponente

### 3.4.2 Abfall- und Reststoffpfad

Aus der Einteilung der Komponenten in Dekontaminierbarkeitsklassen ergibt sich unter Berücksichtigung der Wahrscheinlichkeiten aus Tabelle 3.4.1 die Masseneinteilung für den Abfall- und den Reststoffpfad. Tabelle 3.4.2 und Abbildung 3.4.2 zeigen diese Einteilung tabellarisch und graphisch.

Tabelle 3.4.2: Massenzuordnung zum Abfall- und Reststoffpfad

	1	2	3	4
A	Abfallpfad		Reststoffpfad	
B	Klasse	Masse	Klasse	Masse
C	unmöglich	3.400 Mg		
D	schwer (15%)	1.400 Mg	schwer (85%)	8.000 Mg
E	mittel (10%)	600 Mg	mittel (90%)	5.400 Mg
F	leicht (2%)	300 Mg	leicht (98%)	13.600 Mg
G			kontaminationsfrei	262.900 Mg
H	Summe	5.700 Mg	Summe	289.900 Mg

Der Empfänger dieser Unterlage ist verpflichtet, die darin enthaltenen Informationen als Betriebs- und Geschäftsgeheimnis i.S. der geltenden Gesetze zu behandeln.

Dekontamination ist

- unmöglich (Abfall)
- schwer (15%)
- mittel (10%)
- leicht (2%)
- schwer (85%)
- mittel (90%)
- leicht (98%)
- kontaminationsfrei

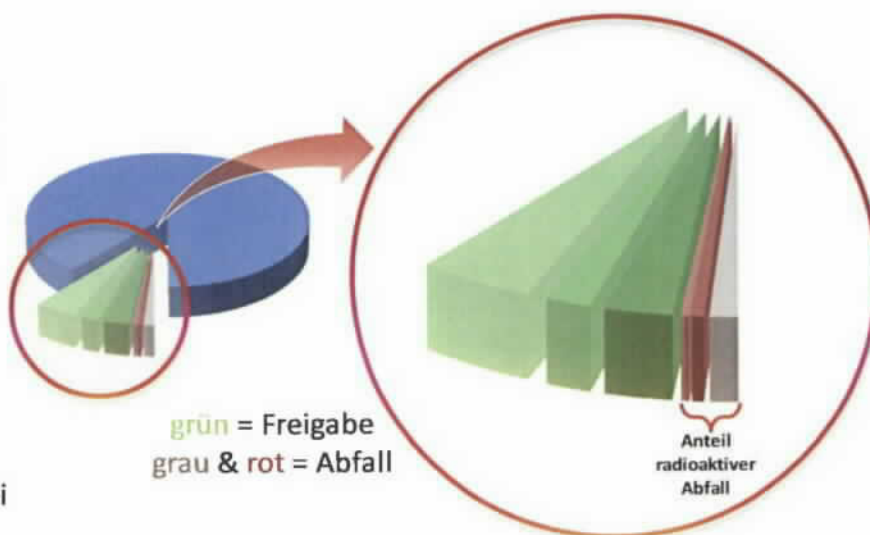


Abbildung 3.4.2: Graphische Darstellung der Massenzuordnung zu Abfall- und Reststoffpfad

### 3.5 Sekundärmassen

Aufgrund der Rückbautätigkeiten werden Hilfsmittel und Werkzeuge verbraucht, wodurch radioaktiver Abfall zur Entsorgung anfällt; die Sekundärmassen. Um die Größenordnung des Anfalls von Sekundärmassen zu bewerten, werden mittels einer Schätzung Masse-Faktoren für die wesentlichen Tätigkeiten im Rückbau festgelegt. Die Faktoren werden auf die den Tätigkeiten zugeordneten Massen angewendet. Die Zuordnung der Massen zu den Tätigkeiten ergibt sich aus 3.3, 3.4 sowie aus /8/. In Tabelle 3.5 liegen die Zahlen vor.

Bei der Ermittlung der Faktoren werden folgende Punkte beachtet:

- Brennbare Abfälle und nicht brennbare Abfälle bilden erfahrungsgemäß den größten Teil der Sekundärmassen.  
Brennbare Abfälle setzen sich im Allgemeinen aus verbrauchten Reinigungshilfsmitteln (z. B. Putzlappen) und der verbrauchten persönlichen Schutzausrüstung der Mitarbeiter zusammen. Nicht brennbare Abfälle bestehen zum größten Teil aus nicht mehr benutzbaren und nicht mehr dekontaminierbaren Werkzeugen, die im Zuge des Rückbaus zum Einsatz kommen.
- Die Tätigkeit mit dem höchsten Aufkommen an Sekundärmasse ist die mechanische Dekontamination der ausgebauten kontaminierten Anlagenteile. Beim Mediumstrahlen fällt verbrauchtes Strahlgut (Kies, Sand o. ä.) an; bei der Nassdekontamination ist verbrauchtes Filtermaterial, das zum Zweck der Wasserreinigung eingesetzt wird, zu entsorgen.
- Luftfiltereinsätze fallen hauptsächlich beim Abtrag der Gebäude wegen der großen Staubentwicklung an.
- Für die chemische Systemdekontamination liegen eigene Erfahrungen sowie Erfahrungen aus anderen Projekten vor. Diese wurden berücksichtigt.
- Anfallende Wässer werden gereinigt, so dass als zu entsorgende Masse nur der Feststoffanteil berücksichtigt wird.

Tabelle 3.5.: Sekundärmassen

	1	2	3	4	5	6	7	8
A	zu bearbeitende Masse:	22.200 Mg	8.400 Mg	159.300 Mg	5.700 Mg	29.300 Mg	580 Mg	
B		Demontage der Komponenten Mg Faktor	Abbruch von Betonstrukturen Mg Faktor	Abtrag der Gebäude Mg Faktor	Abfallbehandlung Mg Faktor	Mechanische Dekontamination Mg Faktor	Chemische Systemdekontamination Mg Faktor	Summen Sekundärabfall:
C	Brennbar	22,20 (f=1E-03)	8,40 (f=1E-03)	15,93 (f=1E-04)	5,70 (f=1E-03)	29,30 (f=1E-03)	0,58 (f=1E-03)	82 Mg
D	Nicht brennbar	22,20 (f=1E-03)	8,40 (f=1E-03)	15,93 (f=1E-04)	5,70 (f=1E-03)	29,30 (f=1E-03)	0,58 (f=1E-03)	82 Mg
E	Luftfiltereinsätze	2,22 (f=1E-04)	0,84 (f=1E-04)	1,59 (f=1E-05)	0,57 (f=1E-04)	2,93 (f=1E-04)	---	8 Mg
F	Dekontfeststoffabfälle (Strahlgut)	---	---	---	---	29,30 (f=1E-03)	---	29 Mg
G	Chemikalien Systemdekont	---	---	---	---	---	1,00 ---	1 Mg
H	Filterharze Systemdekont	---	---	---	---	---	30,00 ---	30 Mg
I	aus Spülwasser der Systemdekontamination	---	---	---	---	---	5,80 (f=1E-02)	6 Mg
J	aus Nassdekontabwasser	---	---	---	---	29,30 (f=1E-03)	---	29 Mg
K	aus Hygieneabwasser	2,22 (f=1E-04)	0,84 (f=1E-04)	1,59 (f=1E-05)	0,57 (f=1E-04)	2,93 (f=1E-04)	0,058 (f=1E-04)	8 Mg
L	Summen Sekundärabfall:	49 Mg	18 Mg	35 Mg	13 Mg	123 Mg	38 Mg	280 Mg

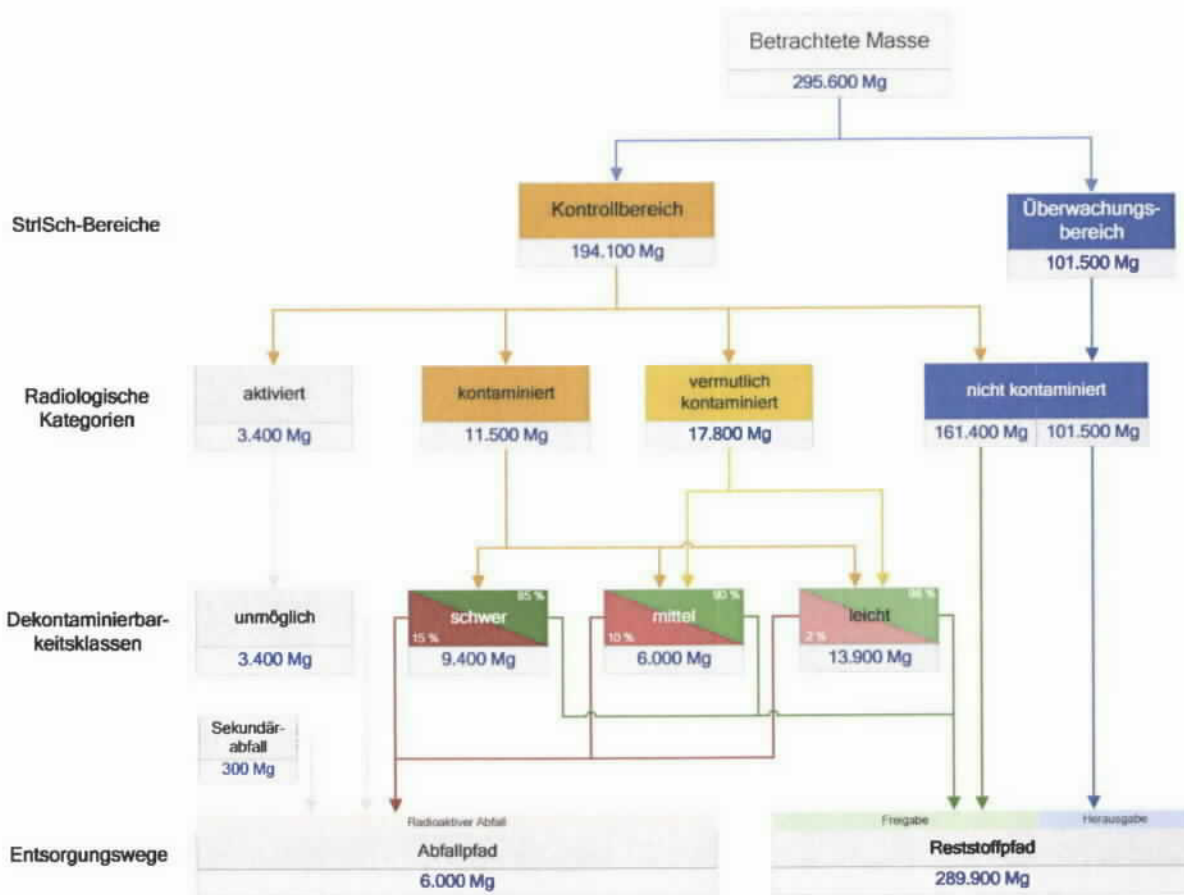
Feld A2: Gesamtmasse ohne Beton incl. Armierung und Setzsteine  
 Feld A3: 5 % der Masse von Beton + Armierung im KB (siehe auch 3.3.1)  
 Feld A4: 95 % der Masse von Beton + Armierung im KB (siehe auch 3.3.1)  
 Feld A5: siehe Tabelle 2.4.2 - Feld H2  
 Feld A6: siehe 3.3.3  
 Feld A7: Hier wurden pauschal die Massen aus den Systemen TG, TH, TJ, TK, TM, TN, TR und TT angesetzt.  
 Feld G7: Nur Feststoffmasse - abgeschätzt aus eigenen Erfahrungen und Erfahrungen anderer Rückbauprojekte  
 Feld H7: Abgeschätzt aus eigenen Erfahrungen und Erfahrungen anderer Rückbauprojekte

Für den Rückbau des KKB wird ein Anfall von **ca. 300 Mg Sekundärabfall** abgeschätzt.

### 3.6 Ergebnisse der Massenuntersuchung

- (1) Alle Anlagenteile, die sich im Überwachungsbereich befinden, werden der Herausgabe oder Freigabe zugeführt.
- (2) Anlagenteile aus dem Kontrollbereich werden nach Erfordernis dekontaminiert und der Freigabe oder Entsorgung als radioaktiver Abfall zugeführt.
- (3) Insgesamt werden ca. 98 % der Gesamtmasse der Anlage KKB entweder über das Freigabeverfahren und das Herausgabeverfahren aus dem Geltungsbereich des Atomgesetzes entlassen und nach dem Kreislaufwirtschaftsgesetz entsorgt.
- (4) Aus den KKB-Massen entstehen ca. 5.700 Mg radioaktive Abfälle mit vernachlässigbarer Wärmeentwicklung.
- (5) Aufgrund der Rückbautätigkeiten wie z. B. Demontage, Abbruch, Bearbeitung, etc. fallen ca. 300 Mg Sekundärabfälle an.
- (6) Insgesamt ergibt der beim Rückbau des KKB anfallende radioaktive Abfall eine Masse von ca. 6.000 Mg.

Werden die abgeschätzten bzw. errechneten Zahlen in die Abbildung 3.1 eingetragen, so ergibt sich die Darstellung eines Massenflusses. Abbildung 3.6 stellt dies dar.



Der Empfänger dieser Unterlagen ist verpflichtet, die darin enthaltenen Informationen als Betriebs- und Geschäftsgeheimnis i.S. der geltenden Gesetze zu behandeln

Abbildung 3.6: Massenfluss zu den Entsorgungswegen Abfall- und Reststoffpfad

#### 4 Referenzen

- /1/ Kernkraftwerk Brunsbüttel GmbH & Co. oHG: Antrag nach § 7 Abs. 3 AtG auf Stilllegung und Abbau. Brunsbüttel, 01. November 2012
- /2/ Kernkraftwerk Brunsbüttel GmbH & Co. oHG: Sicherheitsbericht – Stilllegung und Abbau Kernkraftwerk Brunsbüttel. Brunsbüttel, Rev. 2 vom 12.02.2015
- /3/ Kernkraftwerk Brunsbüttel GmbH & Co. oHG: Liste der Antragsunterlagen – Stilllegung und Abbau Kernkraftwerk Brunsbüttel. Brunsbüttel, 09. Dezember 2013
- /4/ VE-NE-Bericht CN-TV-RP001-14R0, Calculation of the activity of 13 defect fuel rods at KKB, vom 10.01.2014
- /5/ Technischer Bericht DSR/06/14, Aktivierungsberechnung für Reaktordruckbehälter, Einbauten und Biologischen Schild des KKW Brunsbüttel vom 07.10.2014
- /6/ DIN 6844:2006-12, Nuklearmedizinische Betriebe Teil 3 – Strahlenschutzberechnungen
- /7/ Areva Prüfbericht NTCR-G/2008/de/0310, Radiochemische Sondernuklidanalyse an 2 Fräsproben vom TG-Kühler aus dem KKB, vom 12.09.2008
- /8/ KKB Technischer Bericht 2013-0134, Genehmigungsverfahren 1.SAG, Fachbericht U\_1.3, Masseninventar