

# Vergleich der Massenströme bei der Stilllegung von Kernkraftwerken in Deutschland und Frankreich

Entsorgungskommission (ESK)  
[www.entsorgungskommission.de](http://www.entsorgungskommission.de)

99. ESK-Sitzung am 15.06.2022

1

## VORWORT

Diese ESK-Präsentation ist eine aktualisierte Fassung der ESK-Präsentation vom 04.12.2014 mit demselben Titel. Sie wurde in der 99. ESK-Sitzung am 15.06.2022 verabschiedet.

Bei der Aktualisierung wurde Folgendes berücksichtigt:

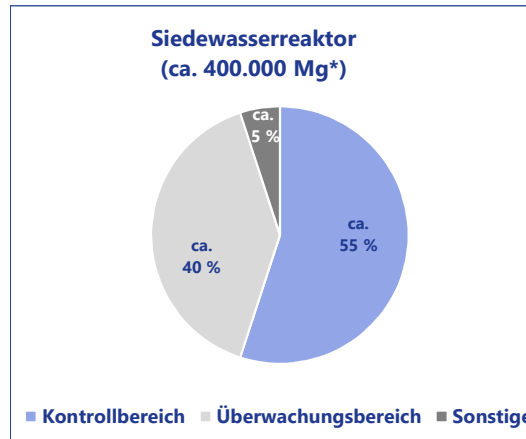
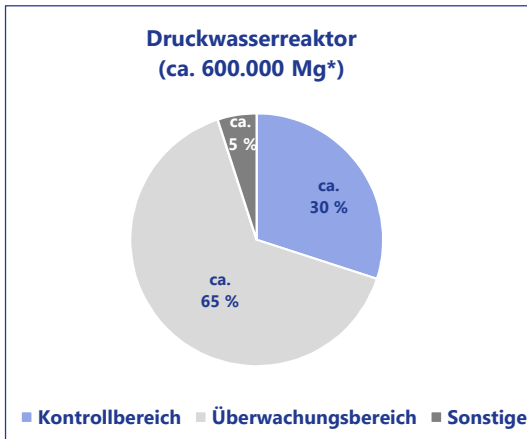
- Die Begriffe wurden an die Nomenklatur der neuen Strahlenschutzverordnung angepasst, insbesondere an die Verwendung der Begriffe „spezifische Freigabe“ und „uneingeschränkte Freigabe“. Der Begriff „eingeschränkte Freigabe“ wird heute nicht mehr verwendet. Ausführliche Erläuterungen dazu können dem ESK-Informationspapier „Freigabe radioaktiver Stoffe und Herausgabe nicht radioaktiver Stoffe aus dem Abbau von Kernkraftwerken“ vom 01.09.2022 entnommen werden.
- Das französische Regelwerk wurde zwischenzeitlich aktualisiert, hier wurden insbesondere Änderungen des französischen Umweltgesetzes „code de l’environnement“ berücksichtigt.
- Es wurden aktuelle Daten aus deutschen Stilllegungsvorhaben sowie von einzelnen französischen Referenzanlagen berücksichtigt und zusätzlich mit veröffentlichten Daten aus der Schweiz abgeglichen.

In der vorliegenden Präsentation werden die jeweiligen Vorgehensweisen nur grob skizziert bzw. vereinfacht dargestellt, um insbesondere die Unterschiede bei der Entsorgung von sehr schwach kontaminierten Reststoffen zwischen Frankreich und Deutschland herauszustellen.

Die Entsorgung der bestrahlten Brennelemente und der hoch radioaktiven Abfälle wird hier nicht betrachtet.

# Gesamtmasse beim Abbau eines deutschen KKW

davon mehr als 90 % Gebäudestrukturen



\* Über verschiedene Standorte ermittelte Gesamtmassen aller Gebäude aus Strahlenschutzbereichen und sonstigen Bereichen

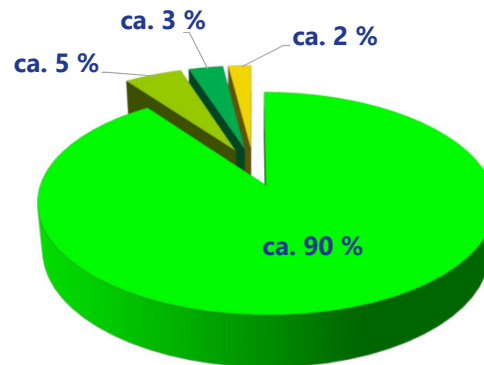
Die hier angegebenen Gesamtmassen beziehen sich auf die in Deutschland zum Abbau anstehenden Kernkraftwerke (KKW). Bei den bereits abgebauten, kleineren Anlagen sind z. T. deutlich geringere Massen angefallen. Einzelne in den 1980er-Jahren in Betrieb genommene Kernkraftwerke, wie z. B. das Kernkraftwerk Krümmel (KKK), weisen deutlich größere Gesamtmassen auf, ohne dass daraus wesentliche Unterschiede in Bezug auf die o. g. Prozentanteile resultieren.

Obwohl die über verschiedene Standorte gemittelte Gesamtmasse aller Gebäude eines KKW-Standorts – einschließlich der Standortzwischenlager für die bestrahlten Brennelemente – für Standorte mit Druckwasserreaktoren deutlich über der von Siedewasserreaktoren liegt, sind die aus den zugehörigen Kontrollbereichen zur Entsorgung anstehenden Massen mit jeweils ca. 200.000 Mg bei Siedewasser- und Druckwasserreaktorstandorten in etwa gleich groß.

Am Standort einzelner Anlagen werden aus logistischen Gründen externe Reststoffbearbeitungszentren (RBZ) errichtet. Auch bei Berücksichtigung der zusätzlichen Massen aus dem Abbau dieser Gebäude ändern sich die o. g. Daten nicht wesentlich.

## Gesamtmasse Kontrollbereich Deutschland

ca. 200.000 Mg / KKW



- ca. 180.000 Mg spezifische Freigabe von Gebäuden (ca. 90 %)
- ca. 10.000 Mg uneingeschränkte Freigabe (ca. 5 %)
- ca. 6.000 Mg spezifische Freigabe auf Deponien und Verbrennungsanlagen (ca. 3 %)
- ca. 4.000 Mg radioaktive Abfälle (ca. 2 %)

Etwa 90 % der Gesamtmasse von ca. 200.000 Mg, die aus dem Abbau eines Kontrollbereichs in Deutschland resultieren, sind dekontaminierte Gebäudemassen, die einer spezifischen Freigabe zur Weiterverwendung (konventionelle uneingeschränkte Folgenutzung möglich) oder der spezifischen Freigabe zum Abriss (konventionelle uneingeschränkte Verwertung des anfallenden Bauschutts ist möglich) zugeführt werden. Diese Gebäudemassen wurden gemäß der Strahlenschutzverordnung 2001 zur uneingeschränkten Freigabe gerechnet. Dabei resultieren aus der Strahlenschutzverordnung 2018 im Vergleich zu jener von 2001 keine Änderungen der technischen Vorgehensweise bei der Gebäudefreigabe.

Für etwa 5 % des aus dem Abbau der Kontrollbereiche resultierenden Stoffstroms ist eine uneingeschränkte Freigabe als fester Stoff möglich, für weitere rund 3 % kann die noch vorhandene Radioaktivität unter bestimmten Voraussetzungen außer Acht gelassen werden (= spezifische Freigabe zur Beseitigung auf Deponien und in Verbrennungsanlagen). Hier sind bei der Entsorgung oder Verwertung bestimmte Randbedingungen einzuhalten, die ebenfalls von der Behörde in einem Freigabeverfahren festgelegt werden. Bei Einhaltung der mit dieser spezifischen Freigabe verbundenen Randbedingungen liegt die resultierende Dosis ebenfalls im Bereich von 10  $\mu$ Sv im Jahr und kann vernachlässigt werden.

Geringe Massenanteile werden einer kontrollierten Verwertung zugeführt, das heißt, dass beispielsweise metallische Komponenten eingeschmolzen und daraus Gegenstände hergestellt werden, die unter einer atom- oder strahlenschutzrechtlichen Genehmigung weiterverwendet werden, z. B. als Behälter für radioaktive Abfälle oder als Abschirmungen. Daneben wird in geringem Maße eine Freigabe von Metallschrott zum Recycling durchgeführt. Diese Entsorgungswege machen in Summe deutlich weniger als 1 % der gesamten Kontrollbereichsmasse aus und sind im obigen Diagramm zur einfacheren Darstellung nicht aufgeführt.

Aufgrund verschiedener Maßnahmen und optimierter Techniken beim Abbau und der Dekontamination von Anlagen, Komponenten und Gebäuden wird die Menge des anfallenden radioaktiven Abfalls minimiert und liegt in Deutschland im Mittel bei ca. 4.000 Mg pro Kernkraftwerk, das entspricht etwa 2 % der Kontrollbereichsmassen.

## Gesamtmasse Frankreich (Zonierung am Beispiel Fessenheim)



ca. 403.000 Mg bei zwei Reaktorblöcken

davon:

- ca. 385.000 Mg Abfälle zur konventionellen Entsorgung (= nicht kontaminierte Zone)
- ca. 18.000 Mg radioaktiver Abfall (= potenziell kontaminierte Zone):

### radioaktiver Abfall zur Endlagerung

- |        |               |                              |
|--------|---------------|------------------------------|
| – TFA  | ca. 12.000 Mg | → Centre Morvilliers (CIRES) |
| – FAMA | ca. 6.000 Mg  | → Centre de l'Aube (CSA)     |
| – MAVL | ca. 200 Mg    | → CIGEO                      |

Während die Zahlen zu den in Deutschland auftretenden Massen über mehrere Standorte gemittelte Werte darstellen, beziehen sich die hier dargestellten Zahlen aus Frankreich auf eine repräsentative Anlage: die Prognose für die beiden 900-MWe-DWR-Blöcke Fessenheim. In den nächsten Jahrzehnten werden an anderen Standorten weitere 32 ähnliche 900-MWe-DWR-Blöcke stillgelegt. Ein Vergleich der Situation in den Ländern sollte daher primär anhand der prozentualen Verteilung der Stoffströme und weniger anhand der absoluten Massen erfolgen. Dabei ist zu beachten, dass sich die prozentuale Verteilung der Abfallvolumina in Frankreich auf die Gesamtmasse, in Deutschland jedoch nur auf den Kontrollbereich bezieht. Das französische Verfahren beinhaltet daher größere Mengen an Stoffen, für die aus der Betriebshistorie Kontaminationen nicht zu unterstellen sind.

Die radioaktiven Stilllegungsabfälle von DWR (SWR gibt es in Frankreich nicht) werden auf drei Kategorien aufgeteilt, die jeweils anderen Entsorgungszentren zugeordnet werden:

- (1) sehr schwach radioaktiver Abfall (TFA),
- (2) Abfall mit kurzlebigen schwach und mittel radioaktiven Radionukliden (FAMA) und
- (3) mittel radioaktive Abfälle mit langlebigen Radionukliden (MAVL).

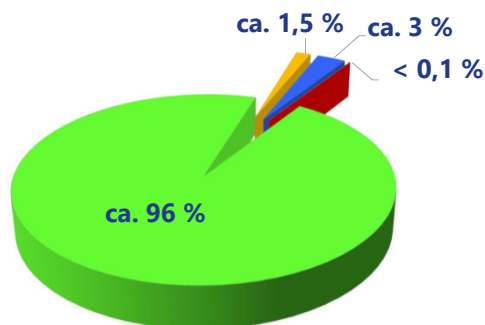
Nicht aufgeführt in den obigen Zahlen (Gesamtmasse und Abfallmassen) sind 2.000 Mg Abfälle von gelagerten Dampferzeugern, die zur Wiederverwertung vorgesehen sind und nicht im Rahmen von Stilllegung und Abbau angefallen sind.

Zusätzliche Erläuterung:

französische Abkürzung	Bedeutung (französisch)	Bedeutung (englisch)
TFA	très faible activité	very low level radioactive waste
FAMA	faible et moyenne activité à vie courte	short lived low and medium level waste
MAVL	moyenne activité à vie longue	long lived medium level waste

## Prognostizierte Verteilung der Stoffströme bei Stilllegungsvorhaben für Fessenheim (Frankreich)

ca. 403.000 Mg Gesamtmasse



- ca. 385.000 Mg konventionelle Abfälle (ca. 96 %)
- ca. 6.000 Mg kurzlebige schwach und mittel radioaktive Abfälle, CSA (ca. 1,5 %)
- ca. 12.000 Mg sehr schwach radioaktive Abfälle, CIRES (ca. 3 %)
- ca. 200 Mg mittel radioaktive Abfälle, CIGEO (kleiner als 0,1 %)

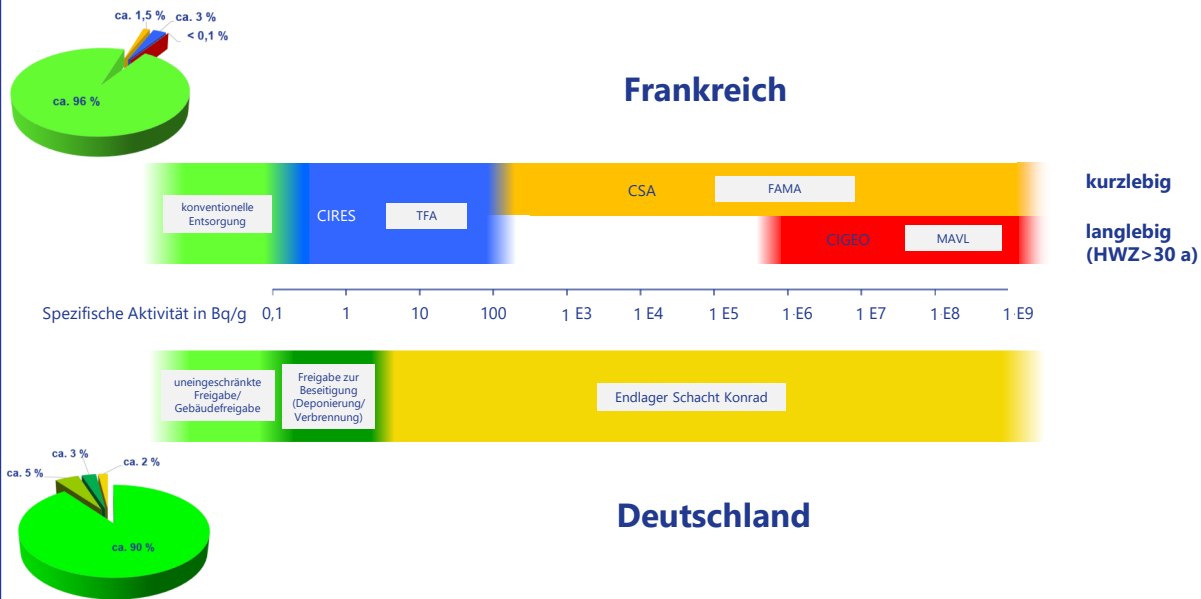
Der weitaus größte Teil von ca. 96 % der Gesamtmasse von 403.000 Mg wird aufgrund des „Zonenmodells“ in Frankreich (ASN Guide 14, 2016) der konventionellen Zone zugeordnet und konventionell verwertet oder entsorgt. Etwa 4,5 % der Gesamtmasse gelten als potenziell kontaminiert und werden als radioaktiver Abfall kategorisiert. Dies unterscheidet sich von der deutschen Vorgehensweise, bei der zunächst der ganze Kontrollbereich als potenziell kontaminiert angesehen wird, der aber größtenteils freigegeben werden kann. Im Ergebnis entspricht also der deutschen Freigabe (die es in Frankreich nicht gibt) die Zuordnung zur nicht kontaminierten Zone. Die Zonierung kann im Laufe des Abbaus der Anlage den Messungen angepasst werden.

Im Einzelnen werden in Frankreich etwa 1,5 % der Gesamtmasse dem schwach und mittel radioaktiven Abfall (FAMA) zugeordnet, der im Centre de l'Aube (CSA), einem Oberflächenendlager, entsorgt wird.

Ein mengenmäßig etwa doppelt so großer Stoffstrom (TFA) von ca. 3 % der Gesamtmasse, aber mit deutlich niedrigeren spezifischen Aktivitäten, oder von Stoffen, die aus potenziell kontaminierten Bereichen stammen, ohne vielleicht selbst radioaktiv zu sein, wird in einer Oberflächendeponie (CIRES - Centre Morvilliers) für sehr schwach radioaktive Abfälle entsorgt.

Weniger als 0,1 % der Gesamtmasse sind mittel radioaktive Abfälle mit langlebigen Radionukliden (Halbwertszeit >30 Jahre). Diese Abfälle (MAVL) sollen in das 500 m tiefe Endlager CIGEO kommen, wenn dies in Betrieb ist.

## Stoffströme bei der Entsorgung und deren Klassifizierung



Beim Vergleich der Übergänge zwischen den verschiedenen Kategorien der Stoffströme bei der Entsorgung ist zu beachten, dass diese in beiden Ländern nuklidspezifisch festgelegt sind und unterschiedlichen Konzepten Rechnung tragen.

Mit der Einschränkung, dass für einzelne Nuklide deutliche Unterschiede bestehen, können folgende generalisierte Feststellungen im Hinblick auf die spezifischen Aktivitäten der aus dem Abbau von Kernkraftwerken resultierenden Stoffströme gemacht werden:

- Die konventionelle Entsorgung (nach Kontrollmessungen) der nicht-kontaminierten Zone in Frankreich entspricht in etwa der spezifischen Freigabe von Gebäuden in Deutschland. Dies umfasst insbesondere die Gebäudemassen der dekontaminierten Kontrollbereichsgebäude, die in beiden Ländern den dominierenden Beitrag zu den Entsorgungsmassen liefern.
- Die spezifische Freigabe zur Beseitigung in Deutschland (Deponierung und Verbrennung) unterscheidet sich deutlich von der Endlagerung der sehr schwach radioaktiven Abfälle (TFA) in Frankreich. Die nuklidspezifischen Begrenzungen der spezifischen Aktivität bei der Freigabe zur Beseitigung in Deutschland liegen z. T. um mehrere Größenordnungen unter den Annahmebedingungen für das TFA-Lager in Frankreich. Da umgekehrt die Gesamtmasse der als möglicherweise kontaminiert klassifizierten Zone in Frankreich nicht freigegeben werden kann, kann es auch geschehen, dass Stoffe ins TFA-Lager gebracht werden müssen, die in Deutschland freigegeben werden könnten.
- Ein anderer Teil der TFA-Abfälle, die in Frankreich in einem oberflächennahen Endlager entsorgt werden, müsste in Deutschland in einem Endlager für nicht Wärme entwickelnde Abfälle in tiefen geologischen Schichten endgelagert werden.
- Anders als in Deutschland, wo alle radioaktiven Abfälle in tiefen geologischen Schichten endgelagert werden sollen, werden in Frankreich die sehr schwach radioaktiven Abfälle (TFA), wie auch die schwach und mittel radioaktiven Abfälle (FAMA) mit Halbwertszeiten kleiner 30 Jahren, in separaten Lagern an der Erdoberfläche endgelagert. Aus den unterschiedlichen Endlagerkonzepten in Deutschland und Frankreich resultieren auch unterschiedliche Anforderungen an die radioaktiven Abfälle.
- Radioaktive Abfälle mit mittleren und hohen Aktivitäten an langlebigen Nukliden (MAVL) sollen in Frankreich ebenfalls in tiefen geologischen Schichten endgelagert werden. Dies betrifft aber weniger als 0,1 % der Gesamtmasse der zu entsorgenden Anlagen.

## Beispiel: Kontaminationsfreie bzw. fertig dekontaminierte Baustrukturen aus Kontrollbereichen



### Deutschland:

- spezifische Freigabe durch Freimessung an der „stehenden Struktur“
- nach Abriss uneingeschränkt verwertbarer Bauschutt

### Frankreich:

- aufgrund von Kontrollmessungen wird die Baustruktur der „konventionellen Zone“ zugeordnet
- nach Abriss uneingeschränkt verwertbarer Bauschutt

Für den größten Stoffstrom beim Abbau eines Kernkraftwerks, den Bauschutt aus den massiven Baustrukturen, unterscheiden sich die Vorgehensweisen in Deutschland und Frankreich mehr in der Philosophie und vielleicht der Kontrolldichte als im Ergebnis.

Während die Gebäude in Deutschland in einem von der Behörde festgelegten und von hinzugezogenen Sachverständigen kontrollierten Freigabeverfahren zum überwiegenden Teil an der „stehenden Struktur“ ausgemessen werden, erfolgt in Frankreich nach Durchführung von Kontrollmessungen eine Zuordnung der dekontaminierten Gebäudestrukturen zu der „konventionellen Zone“.

In beiden Fällen kann der beim Abriss entstehende Bauschutt uneingeschränkt verwertet werden.

## Zusammenfassung

- Der weitaus größte Stoffstrom, der beim Abbau von Kernkraftwerken anfällt,
  - geht in Frankreich nach dem „Zonenmodell“ und/oder einer messtechnischen Kontrolle unter Berücksichtigung der Betriebshistorie (Einzelfallentscheidung) nach Genehmigung der ASN in die konventionelle Entsorgung und
  - wird in Deutschland über ein von der Behörde festgelegtes und überprüftes Freigabeverfahren der schadlosen Verwertung zugeführt.
- Diese Stoffströme sind in Frankreich und in Deutschland pro Kernkraftwerk prozentual etwa gleich groß.
- Aufgrund der unterschiedlichen Aktivitätsgrenzen und der Unmöglichkeit der Freigabe in Frankreich würde ein Teil der Stoffe, die in Frankreich in ein TFA-Lager eingelagert werden, in Deutschland freigegeben werden, während ein anderer Teil der tiefen Endlagerung im Endlager Konrad zugeführt wird.
- Der Unterschied in den Stoffströmen, die in Frankreich und in Deutschland dem radioaktiven Abfall zugeordnet werden, ist auf den unterschiedlichen Aufwand im Hinblick auf die Minimierung des radioaktiven Abfalls und zur Dekontamination der Reststoffe in beiden Ländern zurückzuführen.