

Wie gefährlich sind Transporte von verbrauchten Brennelementen?

von Peter Borsch

e-mail Peter.Borsch@energie-fakten.de

Hier die Fakten - vereinfachte Kurzfassung

Allein in Deutschland hat es bisher etwa 2000 Transporte mit abgebrannten Brennelementen oder verglasten hochaktiven Abfällen gegeben. Dass es dabei keine sicherheitstechnischen Probleme gab, ist nicht verwunderlich. Denn ein umfangreiches System von Sicherheitsvorschriften, Tests und weiteren sicherheitstechnischen Untersuchungen sorgt weltweit dafür, dass die Anforderungen

- Begrenzung der vom Transportbehälter ausgehenden Strahlung,
- Verhinderung von Freisetzung des radioaktiven Inventars auch bei Unfällen,
- Abfuhr der Zerfallswärme und
- Verhinderung des Entstehens ei-

ner kritischen Anordnung, das heißt einer sich selbst tragenden Kettenreaktion zuverlässig erfüllt werden.

Zwar wurde in der Vergangenheit von denen, die gegen die Transporte demonstrierten und zum Teil auch Transporte behinderten, die Gefährlichkeit als Argument benutzt. Einige dieser Personen befinden sich inzwischen in verantwortlichen Positionen, z.B. als Bundesminister für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit (BMU) oder als Präsident des Bundesamtes für Strahlenschutz. Sie haben gelernt, dass die Transporte sicher sind. So heißt es z.B. in der "Info-Mappe zu Atomtransporten" des BMU

vom März 2001: "Die Tests zur Behältersicherheit demonstrieren ein im internationalen Vergleich hohes Sicherheitsniveau nach aktuellem Stand von Wissenschaft und Technik". Und im Hinblick auf die Strahlenexposition von Polizei- und Sicherheitskräften wird auf die Studie der Gesellschaft für Reaktorsicherheit (S. 4 in diesem Text) verwiesen: Die Menschen in der Umgebung der Transportbehälter sind durch die Strahlung nicht gefährdet. ■

Wie gefährlich sind Transporte von verbrauchten Brennelementen?

von Peter Borsch

e-mail Peter.Borsch@energie-fakten.de

Hier die Fakten - Langfassung

1. Transporte von radioaktiven Stoffen

Etwa 100 Transporte finden jährlich mit hochaktivem Material - abgebrannte Brennelemente und Glaskokillen mit hochaktiven Spaltprodukten aus der Wiederaufarbeitung - statt. Etwa 2000 solcher Transporte verliefen bis etwa 1997 ziemlich problemlos und ohne besondere öffentliche Aufmerksamkeit. 1998 erreichten die Demonstrationen und Behinderungen jedoch eine neue Dimension. Nur mit dem Einsatz von Tausenden von Polizisten konnten die Transportbehälter ihr Ziel erreichen. Ein wesentliches Argument der Behinderer war die Gefährlichkeit. Wie gefährlich sind diese Transporte wirklich?

2. Sicherheitsvorschriften

Jährlich werden in Deutschland etwa 445 000 Sendungen mit radioaktivem Inhalt transportiert. Die meisten davon - etwa 435 000 - enthalten geringe Mengen radioaktiver Stoffe für Mess- und Forschungszwecke

sowie für medizinische Anwendungen. Der Rest - etwa 10000 - umfasst die Ver- und Entsorgung von Kernkraftwerken und Forschungsreaktoren sowie die Transporte von Abfallgebinden in ein Zwischen- oder Endlager (bis 1998).

Von der Internationalen Atomenergie-Organisation (IAEO) wurden schon vor Jahrzehnten Empfehlungen für den sicheren Transport radioaktiver Stoffe herausgegeben. Sie sind Grundlage der jeweiligen nationalen Sicherheitsvorschriften. Wichtigster Grundsatz dabei ist, dass die Sicherheit in das Versandstück selbst - Inhalt und Verpackung - gelegt wird und nicht vom Fahrzeug abhängt. Das gilt sowohl für kleine Versandstücke - wie z.B. radioaktive Stoffe für medizinische Anwendungen, die beim Transport durch mehrere Hände gehen - als auch für die relativ wenigen Transporte mit hochaktiven Stoffen - wie z.B. abgebrannte Brennelemente. Dabei richtet sich die Verpackung nach dem Inhalt und dem Transportweg.

Dies bedeutet, dass z.B. für kleinere Versandstücke eine relativ einfache stoßfeste Verpackung aus Karton ausreicht; für stark strahlende große und schwere Sendungen muss die Verpackung die Strahlung ausreichend abschirmen und auch bei den schwersten Transportunfällen das Material sicher einschließen.

Da solches Material als Gefahrgut gilt, sind zusätzlich die Vorschriften der Gefahrgutverordnungen (für Bahn bzw. Straße) anzuwenden und natürlich gelten auch die allgemeinen Verkehrsvorschriften.

Übersteigt die Radioaktivität des Versandstücks bestimmte Grenzwerte, die im Atomrecht und in der Gefahrgutverordnung festgelegt sind, benötigt der Transporteur eine Beförderungsgenehmigung. Bei Kernbrennstoffen und anderen stark strahlenden Stoffen ist die dafür zuständige Behörde das Bundesamt für Strahlenschutz in Salzgitter. Die Aufsicht über den Transport obliegt - je nach Beförderungsweg - dem Eisen-

LANGFASSUNG

bahn-Bundesamt, dem Luftfahrt-Bundesamt oder den Landesbehörden.

Die Gefahren beim Transport von abgebrannten Brennelementen oder Glaskokillen mit radioaktiven Spaltprodukten sind unter folgenden Aspekten zu betrachten:

- Begrenzung der vom Transportbehälter ausgehenden Strahlung,
- Verhinderung von Freisetzung des radioaktiven Inventars,
- Abfuhr der beim radioaktiven Zerfall entstehenden Wärme,
- Verhinderung des Entstehens einer kritischen Anordnung, das heißt einer sich selbst tragenden Kettenreaktion.

Transportbehälter werden nur

genehmigt, wenn sie diese Anforderungen nachweislich erfüllen.

In Deutschland wurden Transportbehälter entwickelt, die auch als Lagerbehälter verwendbar sind und den Namen CASTOR[®] tragen. Das ist die Abkürzung für die englische Bezeichnung "Cask for Storage and Transport of Radioactive Material" (Behälter zur Aufbewahrung und zum Transport von radioaktivem Material). Für die verschiedenen Arten von Brennelementen gibt es unterschiedliche CASTOR[®]-Ausführungen. In anderen Ländern sind ähnliche Behälter entwickelt worden, die die gleichen Anforderungen erfüllen. Abgebrannte Brennelemente,

die in Frankreich wiederaufgearbeitet werden, werden dort hin in französischen Transportbehältern gebracht. Bevor die einzelnen Sicherheitsaspekte diskutiert werden, soll zunächst ein solcher CASTOR[®]-Behälter beschrieben werden.

3. Wie ist ein CASTOR[®]-Behälter aufgebaut?

Beispielhaft soll im folgenden der Behälter CASTOR[®] V/19 beschrieben werden; er wird für den Transport und die Zwischenlagerung von 19 abgebrannten Brennelementen aus Druckwasserreaktoren gebraucht. Einen Querschnitt durch den Behälter zeigt die Abbildung 1.

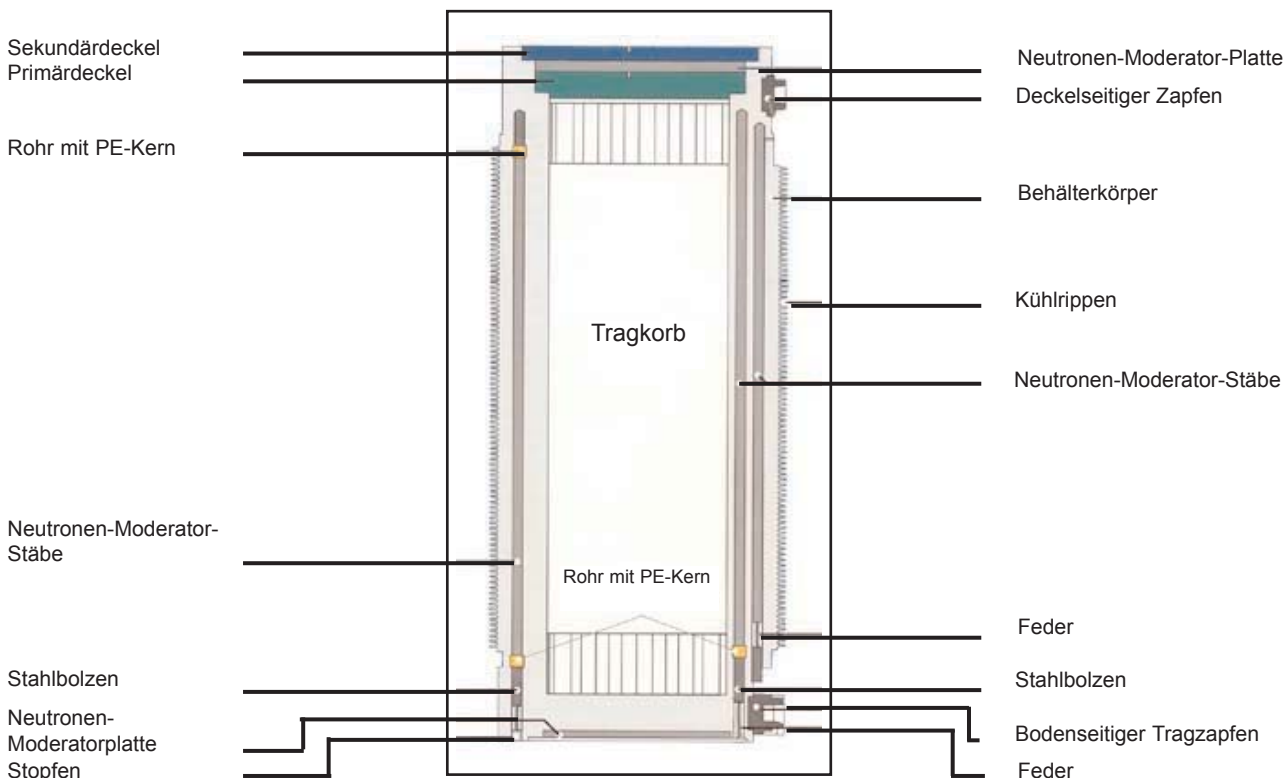


Abb.1: Querschnitt durch den CASTOR[®] V/19

LANGFASSUNG

Der eigentliche Behälter ist ein Hohlzylinder, fast 6 m lang, mit einem äußeren Durchmesser von etwa 2,5 m und einer Wandstärke von etwa 40 cm. Der Boden am unteren Ende ist etwa 40 cm dick. Die Behälter bestehen aus einem speziellen Gusseisen (Gusseisen mit Kugelgraphit), das auch als Sphäroguss bekannt ist; sie werden in einem Stück gegossen. Im Behälter befindet sich ein Tragkorb, der die Brennelemente aufnimmt und fixiert. Der Behälter wird oben mit zwei Deckeln abgeschlossen, die mit ringförmigen Metalldichtungen gegen den Behälterkörper abgedichtet sind. Darüber wird noch eine metallene Schutzplatte montiert. Zwischen den beiden Deckeln und im Behälterboden befinden sich Moderatorplatten aus Kunststoff, z.B. Polyethylen (PE). Sie dienen - ebenso wie die in die Wand eingelassenen Kunststoff-Stäbe - der Neutronenabschirmung. Kühlrippen an der zylindrischen Oberfläche verbessern die Wärmeabfuhr. Beim Transport sind auf Boden und Deckel Stoßdämpfer aufgesetzt.

Der leere Behälter wiegt ohne Stoßdämpfer über 100 t, der Inhalt etwa 19 t. Der Raum zwischen den Deckeln wird vor der Zwischenlagerung mit Helium im Überdruck gefüllt. Während der Lagerzeit wird der Helium-Druck permanent überwacht, so dass ein eventuelles Nachlassen der Dichtheit eines Deckels sofort entdeckt werden kann. Aber auch in einem sol-

chen Fall bleibt der Behälter durch den anderen Deckel dicht.

Behälter für andere Brennelementtypen (aus Siedewasserreaktoren oder Hochtemperaturreaktoren) sowie für verglaste hochaktive Abfälle aus der Wiederaufarbeitung sind ganz ähnlich aufgebaut, sie weichen in Einzelheiten relativ geringfügig davon ab.

4. Begrenzung der vom Transportbehälter ausgehenden Strahlung

Die jährlich etwa 100 Transporte von abgebrannten Brennelementen und verglasten hochaktiven Abfällen sind zwar nur ein winziger Bruchteil der Gesamtzahl der Transporte von radioaktivem Material; sie enthalten jedoch mehr als 99,5 % der beförderten Radioaktivität. Die davon ausgehende Strahlung wird soweit abgeschirmt, dass das Transportpersonal und die Umgebung nicht gefährdet werden.

Die radioaktiven Spaltprodukte (in abgebrannten Brennelementen oder Glaskokillen) senden Alpha-, Beta- und Gamma- und Neutronenstrahlung aus. Von der fast einen halben Meter dicken Behälterwand werden die Alpha- und Betastrahlen, die in Materie nur eine geringe Reichweite haben, vollständig abgeschirmt. Gamma- und Neutronenstrahlung werden zwar stark geschwächt, aber nicht vollständig zurückgehalten.

Nach den internationalen Schutzvorschriften darf die

Strahlendosis in zwei Meter Abstand zum Transportfahrzeug nicht mehr als 0,1 Millisievert pro Stunde betragen. Die Einsatzzeit des Begleitpersonals und der zum Schutz der Transporte eingesetzten Polizistinnen und Polizisten ist so zu bemessen, dass - zusätzlich zur natürlichen Strahlung - eine Dosis von einem Millisievert nicht überschritten wird. Das entspricht dem Jahresgrenzwert für die Bevölkerung.

Die Gesellschaft für Anlagen- und Reaktorsicherheit (GRS) hat im Jahre 2000 eine Sicherheitsanalyse zum Transport radioaktiver Abfälle und abgebrannter Brennelemente durchgeführt und kommt dabei zu dem Ergebnis, dass für Polizisten und die Bevölkerung je nach Abstand (5-20 m) zum vorbeifahrenden Behälter die Strahlendosis zwischen 0,01 bis 0,055 Millisievert beträgt. Das entspricht etwa der Strahlendosis bei einem Urlaubsflug (Hin- und Rückreise) von Berlin nach Teneriffa.

Bei früheren Einsätzen waren etwa 1000 Polizei- und Sicherheitskräfte mit Dosimetern ausgerüstet worden. In allen Fällen lagen die Messwerte unter der Nachweisgrenze von



Abb. 2: Behälter für abgebrannte Brennelemente nach der Ankunft im Zwischenlager

LANGFASSUNG

0,1 Millisievert.

Im Mai 1998 gab es große Aufregung, als auf der Oberfläche von Transportbehältern an einzelnen Stellen erhöhte Kontamination (nicht festhaftende radioaktive Stoffe) festgestellt wurden. Daraufhin wurden zunächst weitere Transporte untersagt, umfangreiche Untersuchungen angestellt und Maßnahmen ergriffen, um ähnliche Vorkommnisse in Zukunft auszuschließen. Inzwischen gibt es bekanntlich wieder Transportgenehmigungen und Transporte.

Niemand war dadurch einer messbaren zusätzlichen Strahlendosis ausgesetzt worden, denn der Grenzwert von 4 Becquerel pro Quadratzentimeter wurde vor Jahrzehnten international eingeführt und für Menschen abgeleitet, die täglich viele kleine Versandstücke handhaben und ohne weitere Schutzmaßnahmen mit diesen in engen Kontakt kommen. Dieser Grenzwert wurde für große Versandstücke wie CASTOR[®]-Behälter übernommen, obwohl diese praktisch gar nicht mit den Händen angefasst werden. Zudem sind die Behälter beim Transport noch mit einer Haube überdeckt, sodass auch durch Regen die Kontamination kaum hätte abgewaschen werden können. Die von den Kontaminationen 1998 ausgehende Strahlung war so gering, dass sie gegenüber der Direktstrahlung aus dem Behälter nicht feststellbar war.

5. Verhinderung von Freisetzung des radioaktiven Inventars während des Normalbetriebs und bei Unfällen

5.1 Normalbetrieb

Da die Behälter auch zur Aufbewahrung abgebrannter Brennelemente und hochaktiver Glaskokillen in einem Zwischenlager über rund 40 Jahre dienen, müssen sie auch langfristig dicht sein. Diesem Zweck dient das Doppeldeckelsystem mit den beiden Dichtungen. Der Zwischenraum zwischen den beiden Deckeln steht während der Lagerzeit unter Helium-Überdruck.

Es ist theoretisch denkbar, dass während der Zwischenlagerung durch Korrosion einzelne Brennstabhüllen undicht werden. Dann könnten gasförmige Spaltprodukte aus dem Brennstab austreten. Wenn zusätzlich noch die Dichtung des inneren Deckels versagen würde, dann würde Helium aus dem Zwischenraum zwischen den Deckeln in den Behälter strömen. Ein solches Vorkommnis würde entdeckt, weil der Helium-Überdruck im Zwischenlager überwacht wird. Ebenso würde natürlich ein Versagen der äußeren Deckeldichtung entdeckt. Für die Wiederherstellung der doppelten Dichtungsbarriere der Behälter stehen geeignete Einrichtungen bereit.

Selbst das beliebig unwahrscheinliche Ereignis einer Freisetzung von gasförmigen Spaltprodukten aus einem Brenn-

stab und dazu gleichzeitiges Versagen beider Deckeldichtungen wäre keine Katastrophe. Die Menge freigesetzter Radioaktivität wäre sehr gering. Die Gefahr einer nennenswerten Strahlenbelastung in der Umgebung entstünde dadurch nicht.

5.2 Unfälle

Verkehrsunfälle kommen immer wieder vor, und die Entwickler von Fahrzeugen bemühen sich, oft auch gezwungen durch Vorschriften, z.B. bei der Beförderung von Personen, die Folgen für die Betroffenen möglichst zu minimieren. Bei der Beförderung von abgebrannten Brennelementen oder Glaskokillen mit hochaktiven Spaltprodukten muss der Behälter dafür sorgen, dass auch bei schweren Unfällen keine radioaktiven Stoffe freigesetzt werden.

Den Empfehlungen der IAEA entsprechend müssen die Behälter folgende Prüfungen bestehen:

- Freier Fall aus 9 Meter Höhe auf ein unnachgiebiges Aufprallfundament,
- Freier Fall aus 1 Meter Höhe auf einen Stahldorn von 15 cm Durchmesser,
- Feuertest in einer allseitigen Flammenumgebung mit einer Temperatur von mindestens 800°C für die Dauer von 30 Minuten,
- Druckprüfung entsprechend einem Eintauchen des Behälters von 8 Stunden Dauer in 15 Meter Wassertiefe,
- Druckprüfung entsprechend

LANGFASSUNG

einem Eintauchen des Behälters von einer Stunde Dauer in 200 Meter Wassertiefe für Behälter für abgebrannte Brennelemente.

Für jeden Behältertyp muss bei der Bundesanstalt für Materialforschung und -prüfung die Erfüllung dieser Bedingungen nachgewiesen werden.

Oft wird der Vorwurf erhoben, eine Fallhöhe von 9 Metern sei deutlich geringer als bei vielen Brücken. Dabei wird übersehen, dass bei den Prüfbedingungen ein unnachgiebiges Fundament gefordert wird. Unnachgiebige Straßenbeläge oder Eisenbahnstrecken gibt es nicht; das heißt, der Fall auf ein unnachgiebiges Fundament entspricht in der realen Wirklichkeit einem Fall aus weit größerer Höhe.

Zur Demonstration der Reserven an Behältersicherheit gab es eine Fülle weiterer Versuche, z.B.:

- Abkühlung eines Behälters vor dem Falltest auf minus 40° C, was den Behälterwerkstoff erheblich spröder macht;
- Zusammenprall mit einem Eisenbahnzug (Lokomotive mit drei Waggonen), der eine Geschwindigkeit von 165 Kilometern pro Stunde hatte. Dabei zeigte sich, dass die Belastungen halb so groß waren wie beim Falltest aus 9 m Höhe.
- Absturz aus einigen Hundert Metern auf harten Wüstenboden.
- Beschuss mit einem Geschoss von einer Tonne Gewicht

mit nahezu Schallgeschwindigkeit.

- Brandtest mit nahezu 1200° C Umgebungstemperatur über 30 Minuten.

In allen diesen Versuchen blieben die Behälter dicht; es kam beim Beschuss lediglich zu Schäden an einzelnen Kühlrippen. Wenn allerdings ein solcher Behälter mit einem Gewicht von etwa 100 Tonnen einmal abstürzen sollte, z.B. von einer Brücke, dann würde die Aufprallstelle natürlich stark deformiert. Das heißt, die konventionellen Unfallfolgen würden sich auswirken. Bereits in den 80er Jahren wurde ermittelt, dass das konventionelle Unfallrisiko, d.h. Schädigung der Gesundheit von betroffenen Personen durch mechanische Einwirkungen beim Transport radioaktiver Stoffe sehr viel größer ist als das Strahlenrisiko.

5.2.1 Und wenn doch einmal radioaktives Inventar freigesetzt werden sollte?

Die Vorstellung, dass ein CASTOR[®] Behälter so beschädigt wird, dass Teile seines Inhalts in die Umgebung gelangen, ist unrealistisch, es sei denn, man unterstellt die gezielte Einwirkung sehr schwerer Waffen.

Trotzdem soll einmal angenommen werden, bei einem schweren Unfall werde aus einem Transportbehälter Material freigesetzt:

Wenn es sich um einen Behälter mit Glaskokillen handelt, könnte theoretisch die

Stahlhülle der Glaskokille bersten, das Glas zerbrechen und einzelne Glasbrocken könnten in der Umgebung verstreut werden. Das radioaktive Material ist im Glas fest eingeschmolzen, so wie die braune oder grüne Farbe in Flaschenglas. Die Glasbrocken würden stark strahlen, so dass die betroffene Fläche abgesperrt werden müsste. Mit Strahlenmessgeräten lassen sich die freigesetzten Teile leicht aufspüren, und sie könnten eingesammelt werden. Größere Glasbrocken würden allerdings so stark strahlen, dass sie nur mit fernbedienten Geräten geborgen werden könnten. Dies könnte einige Tage dauern, für die die Absperrung aufrecht erhalten werden müsste. Wenn es in dieser Zeit regnet, könnte radioaktives Material aus dem Glas praktisch nicht ausgewaschen werden. Eine Gefährdung der Bevölkerung bestünde außerhalb der Absperrung nicht.

Bei abgebrannten Brennelementen könnten Brennstäbe brechen. Dabei würden gasförmige und eventuell leicht flüchtige radioaktive Stoffe entweichen. Deren Menge ist jedoch gering, sie würden in der Luft so stark verdünnt, dass sie auch in diesem Fall keine Gefährdung der Umgebung darstellen würden. Fernbedientes Hantieren mit größeren Teilmengen des Behälterinventars wäre auch in diesem Fall erforderlich. Durch Regen während der Bergungsarbeiten

LANGFASSUNG

könnten möglicherweise auch geringe Mengen radioaktiven Materials aus dem Brennstoff ausgewaschen werden. Deshalb wäre nach dem Ende der Bergungsarbeiten eine gründliche Kontrolle des Bodens erforderlich, eventuell müsste radioaktiv verunreinigter Boden entfernt werden.

In beiden Fällen würde die Bergung des radioaktiven Materials erheblichen Aufwand erfordern. Fachleute und Gerät dafür sind in Deutschland vorhanden. Nach Abschluss der Aktion wäre die betroffene Fläche wieder frei zugänglich. Es sei wiederholt: Dies ist ein rein hypothetisches Szenario. Wenn man weiß, welchen Belastungen die Behälter in Tests nachweisbar standhalten, kann man sich nicht vorstellen, dass ein solcher Fall eintritt.

6. Abfuhr der Zerfallswärme

Beim radioaktiven Zerfall wird Energie freigesetzt, die als Wärme auftritt. In abgebrannten Brennelementen und Glas-

blöcken mit hochaktiven Spaltprodukten ist diese Energiefreisetzung mit etwa 40 Kilowatt nicht unerheblich. Durch Kühlrippen wird die Oberfläche des Behälters vergrößert und damit die Wärmeabfuhr verbessert, so dass die zulässige Oberflächentemperatur nicht überschritten wird. Im transportierten Material sind die Temperaturen höher als an der Oberfläche, aber keinesfalls so hoch, dass die Dichtigkeit der Brennstabhüllen und die Rückhalteigenschaften des Materials irgendwie gefährdet sind.

7. Sicherung der Unterkritikalität

Eine Anordnung von spaltbarem Material wird als kritisch bezeichnet, wenn in ihr eine sich selbst erhaltende Kettenreaktion von Kernspaltungen auftreten kann. Glaskokillen mit hochaktiven Spaltprodukten enthalten allenfalls als Verunreinigung minimale Spaltstoffmengen; Kritikalität ist hier unmöglich.

Abgebrannte Brennelemente waren vorher im Reaktor Träger der Kernspaltung, allerdings im Verbund mit einer großen Anzahl weiterer Brennelemente. Dort war eine Kettenreaktion nur möglich, weil die Brennelemente vom Moderator Wasser umgeben waren, der die bei der Kernspaltung freiwerdenden schnellen Neutronen so abbremst, dass sie mit hoher Wahrscheinlichkeit weitere Kernspaltungen erzeugen.

Im Transportbehälter befinden sich trockene abgebrannte Brennelemente, dort sind sie dann mit Sicherheit unterkritisch. Das Doppeldeckelsystem verhindert den Zutritt von Feuchtigkeit. Ein Behälter mit abgebrannten Brennelementen könnte aber bei einem Seetransportunfall in das Meer fallen und damit von Wasser umgeben sein. Durch kernphysikalische Rechnungen ist nachgewiesen, dass auch in diesem Fall keine Kettenreaktion entstehen kann. ■