

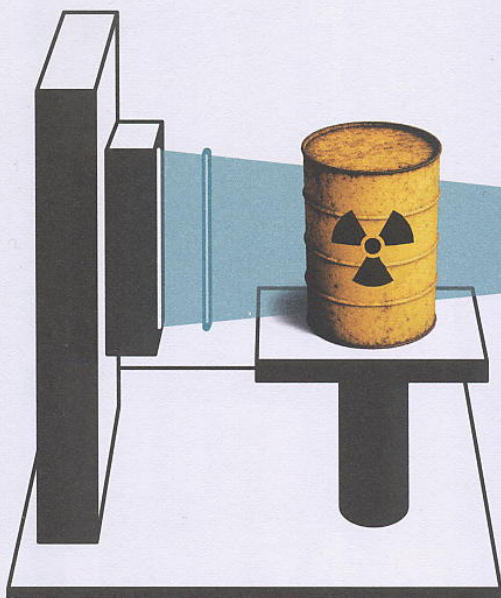
DURCHBLICK BEIM ATOMMÜLL



Nuklearer Abfall bleibt ein Problem für die nächsten eine Millionen Jahre.

Doch bei vielen älteren Abfallbehältern weiß niemand mehr, was eigentlich genau drinsteckt.

Jetzt kann man gefahrlos nachschauen — mit einem lasergetriebenen Neutronenstrahl.



So klappt's mit dem Durchblick: Eine Kombi aus hochenergetischen Röntgenphotonen und Neutronen durchdringt den Behälter. Das Röntgenbild gibt Aufschluss über Formen und die Neutronen über die Materialien.

Autor **Bernd Metzger** ist als Projektleiter verantwortlich für die Entwicklung von Hochenergie-Laserverstärkern bei TRUMPF.



Asse: In der berühmten niedersächsischen Schachtanlage warten fast 126.000 nukleare Abfallbehälter darauf, dass etwas passiert. Ab 1967 wurden sie in das frühere Bergwerk gekippt, seit Jahrzehnten sickert Wasser in die instabile Schachtanlage. Eine Kontamination des Umfelds ist nicht auszuschließen.

Der ganze Abfall soll nun wieder raus. Doch bei vielen Fässern und Containern weiß kein Mensch mehr, was drin ist, wie es verpackt ist und wie stark und wie lange der Inhalt noch strahlt. Ohne das zu wissen, kann niemand mit ruhigem Gewissen entscheiden, wie und wo die Container und Fässer in Zukunft gelagert werden können. Manchmal bringt Durchleuchten die Antwort, sehr oft aber nur die Säge. Das gilt besonders für stärker abgeschirmte Container. Bei ihnen gibt es für handelsübliche Röntgenstrahlung kein Durchkommen mehr. Das nächste Problem folgt auf dem Fuß: Wer nuklearen Abfall auspackt, muss ihn auch wieder einpacken – alles immer unter strahlungssicheren Bedingungen. Das kostet. Aktuelle Schätzungen – bis zum Beginn der Rückholung, nur für die Asse und noch ohne tatsächliche Inspektion – belaufen sich auf 4,7 Milliarden Euro.

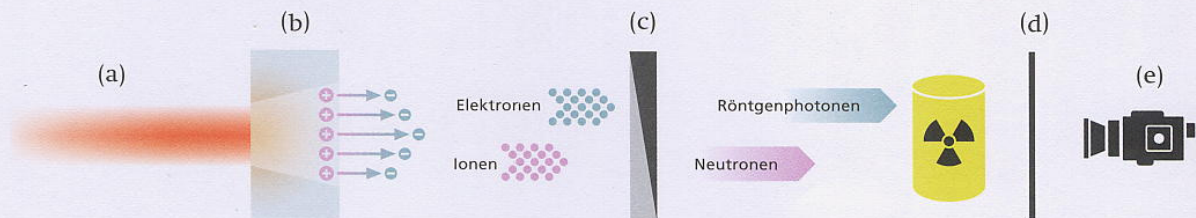
LASER STATT GROSSFORSCHUNGSANLAGE Der Traum wäre, eine Art Super-Röntgenblick zu haben, der solche beton-, eisen- und bleiummantelte Behälter samt Inhalt durchleuchten könnte – zerstörungsfrei, praktikabel, schnell und (vergleichsweise) günstig. Dieser Traum vom Superauge ist auf dem Weg, wahr zu werden: Das entsprechende Verfahren heißt Laser-Driven Radiation Sources (LDRS) und stammt von dem Laserfusionsspezialisten Focused Energy aus Darmstadt. Es kombiniert hochenergetische Neutronen- und Röntgenstrahlen. Diese durchdringen Materie auf verschiedene Art und liefern zusammen ein klares Gesamtbild.

Um Neutronenstrahlen und extrem hartes Röntgenlicht zu gewinnen, braucht man etwas, das kleinste Teilchen auf dieselbe Flugbahn zwingt und beschleunigt. Ein klassischer Teilchenbeschleuniger mit Elektromagneten an ewig langen Rohren ist aber riesig, immobil und kostet Hunderte Millionen, wenn nicht gar Milliarden. Also genau das, was man hier nicht haben will. Zum Glück gibt es eine noch junge alternative Technik, Teilchen zu beschleunigen: Auf einer Strecke von wenigen Millimetern setzen ultrakurze und hochintensive Laserpulse eine Teilchenkaskade in Gang. An deren Ende entsteht dann sowohl extrem hartes Röntgenlicht als auch ein Neutronenstrahl.

Im Labor arbeiten diese neuen Beschleuniger schon länger. Sie erzielen auch mehr als den benötigten Röntgen- und Neutronenfluss pro Impuls – allerdings bisher nur mit Pausen von mehreren Minuten bis Stunden zwischen zwei Pulsen. Das mobile LDRS-Gerät auf der Atomabfalldeponie soll bis zu hundert Pulse pro Sekunde erreichen: mit einer neuen Generation von Hochleistungs-Ultrakurzpulslasern als Quelle und einem von TRUMPF speziell entwickelten Laserverstärker.

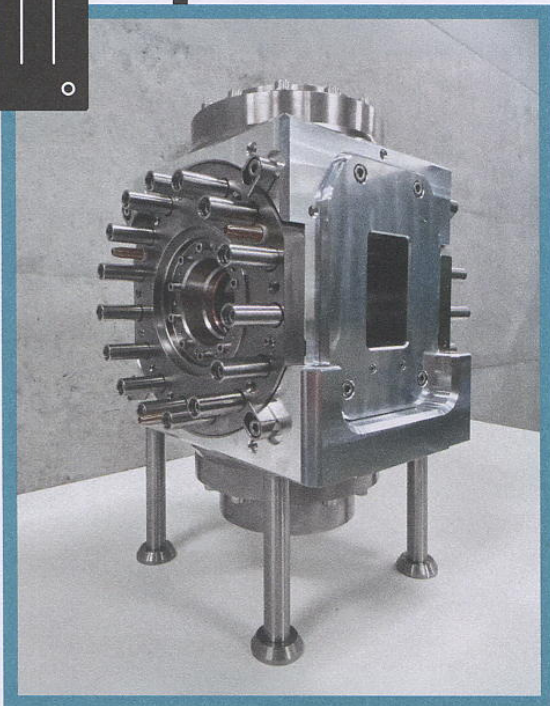
KLARHEIT MIT NEUTRONENBILDERN Im LDRS-Gerät treffen die Laserpulse auf einen hauchdünnen, ständig nachfließenden Wasserfilm. In den Wassermolekülen schlucken Elektronen die Energie der Laserphotonen und jagen fast lichtschnell davon. Dabei reißen sie Protonen oder – wenn es schweres Wasser ist – Deuteronen mit, Kernteilchen aus einem Proton und einem Neutron. Die Teilchen prasseln auf einen Konverter, zum Beispiel aus Beryllium. Dort setzen sie zum einen hochenergetische Röntgenphotonen frei und boxen zum anderen Neutronen aus den Atomkernen. So entstehen die Neutronen- und Röntgenstrahlen, die sich auf ein Prüfobjekt wie etwa einen Behälter mit radioaktivem Abfall richten lassen. Dahinter steht ein Detektorschirm,

Wenn dann die Industrialisierung glattgeht, wird eine komplette Laser-Neutronenquelle in einen rund zwölf Meter langen, mobilen Schiffscontainer passen.



Jeder Laserpuls (a) reißt Elektronen und Ionen aus einem Wasserfilm (b). Die rasend schnellen Teilchen erzeugen im Konverter (c) Röntgenphotonen und schlagen Neutronen los. Ein Detektor (d) fängt die Partikel auf und eine Hochgeschwindigkeitskamera (e) filmt die Bilder ab.

Der eigens entwickelte sogenannte Plattenverstärkerkopf steigert die Pulspower.



ein sogenannter Szintillator. Die auftreffenden Strahlen regen dessen Leuchtstoff an und erzeugen Graustufenbilder.

Die Röntgenbilder entstehen dabei einen winzigen Tick vor den Neutronenschattenwürfen, weil die Neutronen etwas langsamer fliegen als die lichtschnellen Röntgenphotonen. Eine Kamera, die das Ganze mit sehr hoher Zeitauflösung abfilmt, ermöglicht es, die zwei Bilder getrennt zu verarbeiten. Die Neutronen durchdringen selbst Blei und Eisen und geben Aufschluss über die Materialien dahinter. Die Röntgenaufnahmen erlauben dagegen Rückschlüsse auf deren Dichteverhältnis. Beide Informationen lassen sich zu einem Gesamtbild kombinieren.

PILOTANLAGE IN DEUTSCHLAND Forschungen und Tests für das 2024 gestartete Projekt (siehe Infokasten) laufen im früheren Kernkraftwerk Biblis. Dort hat der Energiekonzern RWE Räumlichkeiten bereitgestellt. 2028 oder 2029 will das staatlich geförderte Projekt demonstrieren, dass Technologie und Anwendung funktionieren – mit einem relativ moderaten Investitionsvolumen von 27 Millionen Euro. Geht die Industrialisierung glatt, wird später eine komplette Laser-Neutronenquelle in einen rund zwölf Meter langen, mobilen Schiffscontainer passen. Und dann nichts wie ab in die Asse zum Einsatz! ■

DAS SIND DIE FORSCHUNGSPARTNER

Folgende Partner konzipieren die Einzelkomponenten für das Projekt zur Entwicklung einer laserbasierten Neutronenquelle für die zerstörungsfreie Prüfung von industriell relevanten Objekten (PLANET): Helmholtz-Zentrum Dresden-Rossendorf e. V. (Institut für Strahlenphysik), Focused Energy GmbH, Fraunhofer-Institut für Lasertechnik ILT, Photonis Germany GmbH, Technische Universität Darmstadt (Institut für Kernphysik) und TRUMPF Laser SE.

www.photonikforschung.de/projekte/lasertechnik/projekt/planet.html

Offizielle Förderkennzeichen lauten: 13N16946 bis 13N16951