

Sicherheit in Technik und Chemie

EXPERIMENTELLE UNTERSUCHUNGEN AN BEHÄLTERN FÜR RADIOAKTIVE STOFFE



**THEMENFELD
ENERGIE**

Aufgabenportfolio

Im Zuge von nationalen und internationalen Zulassungs- und Genehmigungsverfahren von Behältern zum Transport und für die Zwischen- und Endlagerung radioaktiver Stoffe wird eine Bauartprüfung durchgeführt. Diese umfasst experimentelle Untersuchungen von Prüfmustern und Behälterwerkstoffen und -komponenten. Hierzu gehören mechanische und thermische Prüfungen. Diese werden umgesetzt auf von der BAM betriebenen Fallprüfeinrichtungen und Brandprüfplätzen.

Die Arbeiten der BAM umfassen die Planung, Vorbereitung, Durchführung, Analyse und Bewertung von experimentellen Untersuchungen.

Die Definition von Versuchszielen im Einklang mit sicherheitstechnischen Nachweiskonzepten und die Planung der Sensorik gehören ebenso dazu wie die Auswertung komplexer Beanspruchungszustände an Behältern. Die BAM verwendet umfangreiche Messwerterfassungssysteme, Videotechnik, führt Dichtheitsprüfungen durch und vermisst Behälter mittels modernster optischer Messtechnik.

Darüber hinaus werden Beurteilungsmethoden für den dichten Einschluss des radioaktiven Materials und der Nachweis der Behälterintegrität unter Betriebs- und Störfallbedingungen von uns entwickelt. Das Zusammenspiel von experimentellen Untersuchungen und rechnerischer Simulation zum Behälterverhalten bildet die Basis der Forschungstätigkeit der BAM.

Die Ergebnisse der Prüf- und Forschungsarbeiten fließen in Normen, Standards und internationale Regelwerke beispielsweise von der Internationalen Atom- und Energieorganisation (IAEO) ein.

Übersicht



200 t
Fallversuchsanlage
S.6



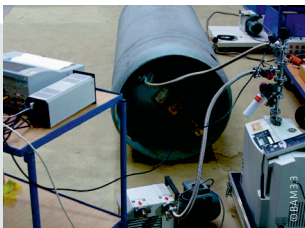
55 t Fallturm
S.7



geführter
Fallprüfstand
S.8



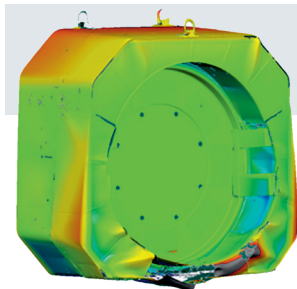
Brandprüfstand
S.9



Dichtheitsprüfung
S.10



Messtechnik
S.11



Optische
3D-Messtechnik
S.12

© BAM 3.3

High-Speed/
Videotechnik
S.13



© BAM 3.3



© BAM 3.3



© BAM 3.3

Forschung & Entwicklung
S.14

200 t Fallversuchsanlage

Die große Fallversuchsanlage besteht aus dem Fallturm mit Hubwinde und Abwurfvorrichtungen für 2 bis 200 t, dem Aufprallfundament gemäß IAE0 Anforderungen sowie einer Versuchs- und Montagehalle mit 80 t Brückenkran, Messwarte, Laborräumen und Beobachtungsstand.

Technische Daten

max. Prüfmasse: 200.000 kg
max. Fallhöhe: 30 m

Aufprallfundament

stahlarmierter Betonquader mit integrierten Sensoren und verankerter Stahlaufprallplatte

Gesamtmasse: ca. 2.600.000 kg
Abmessungen: 14 m x 14 m x 5 m
Aufprallbereich: 10 m x 4,5 m x 0,22 m

Die Gesamtmasse und Konstruktion des Aufprallfundamentes gewährleisten die Unnachgiebigkeit gemäß IAE0 Vorgaben für Prüfmuster bis 200 t.



55 t Fallturm



Der Fallturm in offener Bauweise ermöglicht auch die Prüfung von mit Flüssigkeit gefüllten Testbehältern. Die Anlage besteht aus Fallturm mit Windenhaus, 55 t Doppelhaken, einem stahlarmierten Aufprallfundament sowie einem Kontroll- und Messraum.

Technische Daten

max. Prüfmasse: 55.000 kg

max. Fallhöhe: 18 m

Aufprallfundament

Betonblock mit verankerter Stahlaufprallplatte

Gesamtmasse: ca. 600.000 kg

Abmessungen: 10 m x 10 m x 2,5 m

Aufprallbereich: 7 m x 4 m x 0,21 m

Die Gesamtmasse und Konstruktion des Aufprallfundamentes gewährleisten die Unnachgiebigkeit gemäß IAEO Vorgaben.

Geführter Fallprüfstand

Der Prüfstand für geführte Fallversuche ermöglicht dynamische Beanspruchungsanalysen von Komponenten, Bauteilen und Materialproben in Biege-, Stauch- und Crash-Tests.

Das Führungsgerüst ist vom unnachgiebigen Aufprallfundament entkoppelt. Der Abstand der Führungsschienen ermöglicht den Einbau von Prüfmustern mit einer Breite bis 1.600 mm.

Technische Daten

max. Fallmasse: 1.000 kg

max. Fallhöhe: 12 m

Aufprallfundament

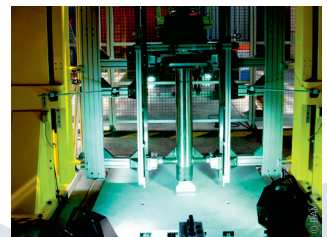
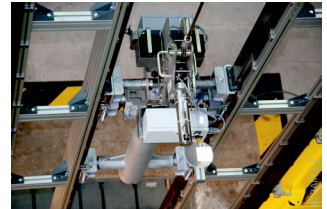
Betonblock mit Stahlaufspannplatte

Gesamtmasse: ca. 18.000 kg

Abmessungen: 2 m x 2 m

Fallmassen-Auffangsystem bei Rücksprung

max. Fallmasse: 500 kg (erweiterbar)



Brandprüfstand



Der Brandprüfstand ermöglicht thermische Belastungen von Bauteilen und Baugruppen mittels eines simulierten Unfallfeuers (Poolfeuer). Weitere thermische Belastungen sind ebenfalls realisierbar. Der Prüfstand besteht aus einem umlaufenden Ringbrenner, der variabel auf die Prüfkörpergeometrie angepasst werden kann, sowie einer Wasserkühlung zum Schutz des Betonfundaments. Zur Minimierung von Windeinflüssen kann die Prüffläche mit Schutzschilden verkleidet werden.

Technische Daten

max. Prüfmasse: 200.000 kg

durchschnittliche

Wärmebelastung: 110 kW/m²

Prüffläche

Betonfundament mit umlaufender Wasserkühlung und Schutzschilden

Abmessungen: 12 m x 18 m x 2,8 m

Medium

Propan (flüssig)

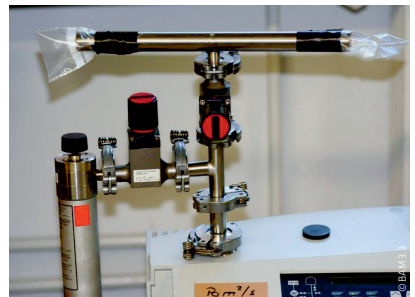
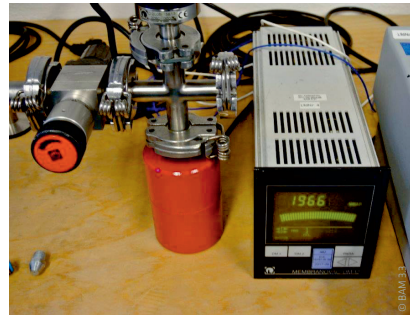
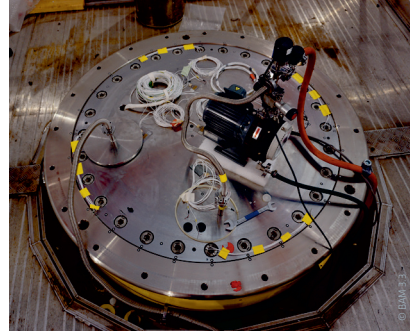
Max. Massestrom: 6.000 kg/h

Dichtheitsprüfung

Die Dichtheitsprüfung als Form der zerstörungsfreien Prüfung ist ein wesentlicher Bestandteil zur Erfüllung der Anforderungen an eine dichte Umschließung von Transport- und Lagerbehältern für radioaktive Stoffe sowie umschlossener radioaktiver Stoffe. Die Dichtheitsprüfverfahren dienen nicht nur zur Bestimmung einer geforderter zulässigen Standard-Leckagerate vor und nach mechanischer bzw. thermischer Beanspruchung, sondern auch zur Lokalisierung von Leckagen.

Die Dichtheitsprüfverfahren werden nach ISO 20485, Zerstörungsfreie Prüfung – Dichtheitsprüfung – Prüfgasverfahren, durchgeführt. Für die Prüfung an umschlossenen radioaktiven Stoffen wird die ISO 9978 eingehalten.

Je nach Nachweisgrenze kommen verschiedene Dichtheitsprüfverfahren als Überdruck- oder Vakuumverfahren zum Einsatz: Blasenprüfmethode, Druckabfallmethode, Schnüffelmethode, Druckanstiegsmethode und Heliumdichtheitsprüfmethode.



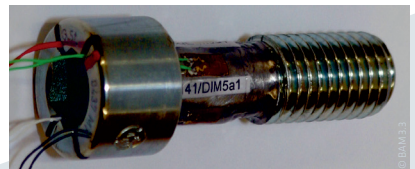
Messtechnik

Die vorhandene Messtechnik kann je nach Bedarf eingesetzt und kombiniert werden. Für die Signalerfassung aller prüftechnisch relevanten Daten wie Weg-, Geschwindigkeit-, Verzögerung-, Dehnungs- und Kraft-Zeit-Verläufe stehen mehrkanalige Messwerterfassungssysteme zur Verfügung. Um diese Verläufe aufzeichnen zu können, werden die Prüfkörper mit Dehnungsmessstreifen und Beschleunigungsaufnehmern instrumentiert.

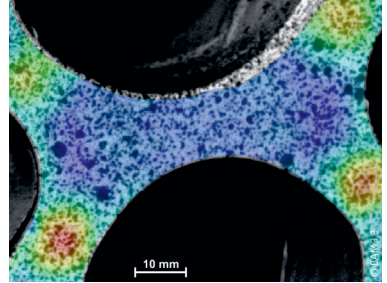
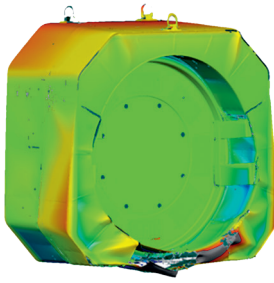
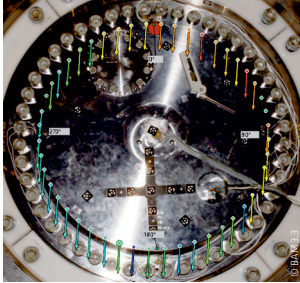
Abtastrate:	bis zu 2 MHz
Speichertiefe:	bis zu 24 Bit
Messkanäle:	bis zu 128

Zur Temperaturüberwachung und Messung stehen ebenfalls mehrkanalige Erfassungssysteme zur Verfügung. Für die Messungen werden Temperaturmesssensoren vom Typ K verwendet.

Temperaturbereich:	-70 °C bis 180 °C
Messkanäle:	bis zu 64



Optische 3D-Messtechnik



Kamerabasierte Koordinatenmessverfahren dienen im Rahmen experimenteller Beanspruchungsuntersuchungen zur quantitativen Analyse von Verpackungen für radioaktive Stoffe sowie deren Bauteile hinsichtlich geometrischer, mechanischer oder kinematischer Bestimmungsgrößen. Dabei gestattet die Kombinierbarkeit der Messverfahren einen hohen Grad messtechnischer Flexibilität.

Kombinierbare Messverfahren

Mehrbildfotogrammetrie; Streifenprojektion; punkt- oder flächengestützte Stereo-Fotogrammetrie; optischer Taster

Typische Bestimmungsgrößen

Digitale Rundum-Erfassung der Gestalt von Behältern, Stoßdämpfern oder Funktionsflächen sowie deren beanspruchungsbedingte Verformung; hierzu Soll-Ist- oder Vor-Nach-Vergleich mit CAD-Daten oder einer Referenz-messung; punktbasierte Verschiebung und Ovalisierung; Dehnungsfeld

Kenngrößen

Koordinatenunsicherheit:	ab ca. $20 \mu\text{m}/\text{m}^3$
Scan-Punktedichte:	typ. $0,3 \text{ mm}$ @ $700 \text{ mm} \times 530 \text{ mm}$ Messfeld
Zeitregime:	vor-nach; quasi-statisch; dynamisch typ. 20 kfps @ 1 MPx (Stereo-Anordnung)

High-Speed/ Videotechnik

Für die Analyse der Aufprallkinematik von Versuchsobjekten bis hin zur Erfassung von Bauteilverformungen von Behältern und Komponenten während der Fallprüfungen stehen neben Full-HD Videotechnik auch mehrere High-Speed Kamerasysteme zur Verfügung.

Photron FastCam SA-1:

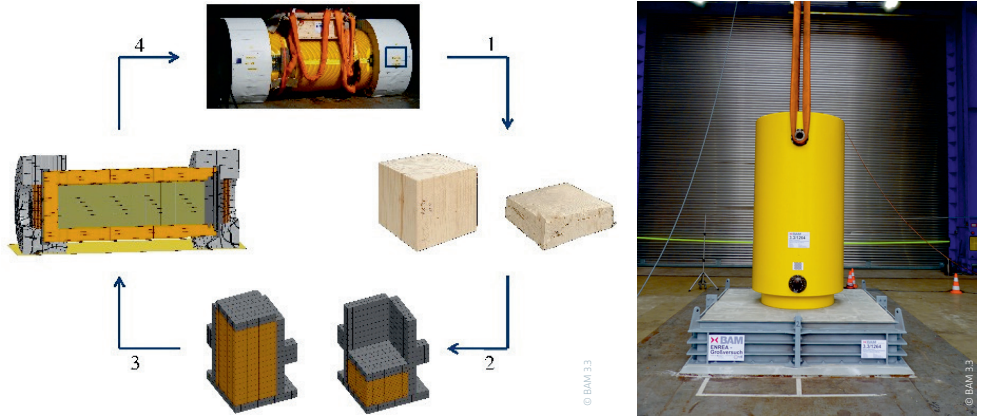
Vollauflösung 1.024 x 1.024 Px bis zu 5.400 fps
CMOS-Sensor mit 36 Bit (RGB) und 12 Bit (S/W)

Photron FastCam SA-X2:

Vollauflösung 1.024 x 1.024 Px bis zu 12.500 fps
CMOS-Farbsensor mit 36 Bit



Verhalten stoßdämpfender Werkstoffe



Im Zuge von sicherheitstechnischen Bewertungen von Behältern unter hypothetischen Unfall- oder Störfällen werden numerische Simulationen eingesetzt, um das Verhalten der beteiligten Komponenten beurteilen zu können. Als Grundlage für die numerischen Berechnungen dienen Materialmodelle, für die Werkstoffkennwerte bekannt sein müssen. Hierzu werden systematische Werkstoffuntersuchungen stoßdämpfender Strukturen notwendig, die einerseits die Datenbasis erweitern und andererseits die Prüfmethoden weiterentwickeln.

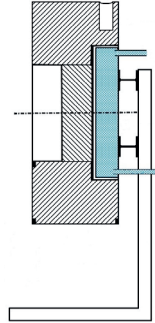
Im Zuge des Forschungsvorhabens ENREA sind dynamische Stauch- und Eindringversuche am geführten Fallprüfstand durchgeführt worden. Hierbei wurden Last-Verformungskennlinien für die Werkstoffe Fichtenholz und Dämpferbeton bei unterschiedlichen Dehnraten und Temperaturen ermittelt. Fichtenholz wird typischerweise eingesetzte in Stoßdämpfern von Transportbehältern als energieabsorbierendes Material. Die so ermittelten Kennwerte wurden eingesetzt zur Entwicklung eines neuartigen Materialmodells für den FEM-Code LS DYNA. Die Ergebnisse der Eindringversuche dienen der Abschätzung des Energieabbaus beim Aufprall auf ein Fundament aus Dämpferbeton und der Überprüfung eines vorhandenen Materialmodells auf Anwendbarkeit.

Brandverhalten von Stoßdämpfern

Während die stoßdämpfenden Behälterkomponenten bei mechanischen Prüfungen Energie absorbieren, können sie im Zusammenhang mit den thermischen Prüfungen Energie emittieren. Dabei ist es von sicherheitstechnischer Bedeutung mit welchem Brandverhalten die Stoß-

dämpfer das Versandstück bei der Erhitzungsprüfung belasten. Dabei sind Vorschädigungen der holzgefüllten Stoßdämpfer aus den mechanischen Prüfungen zu berücksichtigen, mit denen das Versandstück einem halbstündigen Feuer und der anschließenden Abkühl- bzw. Nachbrandphase ausgesetzt ist.

Im Zuge eines Forschungsvorhabens wurde ein Großbrandversuch konzipiert, welcher die wirkende Leistung eines typischen holzgefüllten Stoßdämpfers während der Erhitzungsprüfung ermittelte. Es wurde ein für verschiedene Stoßdämpfergrößen einsetzbarer Versuchsstand entwickelt, mit dem ein Stoßdämpfer von 2,3 m Durchmesser einem Feuer gemäß internationalen Anforderungen der IAEO ausgesetzt wurde. Das Brandverhalten inklusive der auf das Versandstück übertragenen Leistung sind dabei messtechnisch erfasst worden. Die gewonnen Erkenntnisse werden in der Bauartprüfung realer Transportbehälter für radioaktive Stoffe.



Bundesanstalt für Materialforschung
und -prüfung (BAM)
Abteilung 3 Gefahrgutumschließungen
Unter den Eichen 44-46
12203 Berlin

 www.bam.de

BAM Testgelände Technische Sicherheit (TTS)
An der Düne 44
15837 Baruth/ Mark

 www.tes.bam.de

Ansprechpartner für experimentelle
Behälterprüfungen

Dr.-Ing. Frank Wille

 +49 30 8104-1330

 frank.wille@bam.de

Dipl.-Ing. Thomas Quercetti

 +49 30 8104-3911

 thomas.quercetti@bam.de