



**Forschungszentrum
Dresden** Rossendorf

M. Beyer, H. Carl

Ursachenermittlung und Beseitigung der Folgen des Brandes am Heißstrangmodell der TOPFLOW-Anlage

(Stand: 07.12.2006)

**Institutsbericht
FZD\FWS\2006\02
November 2006**

(vertraulich)

Forschungszentrum Dresden-Rossendorf e.V.
Institut für Sicherheitsforschung
PF 510119
01314 Dresden
Tel. 0351 260 3480
Fax 0351 260 3440
www.fzd.de/FWS

1. Ereignisablauf

Am 12.05.2006 kam es gegen 13⁰⁰ Uhr bei einem Test der Wärmeisolierung für das so genannte Heißstrangmodell zu einem Brand im Druckbehälter. Der damit verbundene Temperatur- und Druckanstieg im Behälter führte trotz einwandfreier Funktion der installierten Sicherheitsabschaltungen zum Abriss der zum Sicherheitsventil führenden Leitung. Der austretende Druckluftstrahl beschädigte Teile der hinteren Dachkonstruktion im Anbau von Gebäude 68. Radioaktive Substanzen wurden beim Experiment nicht eingesetzt. Die Betriebsmannschaft hat sich korrekt verhalten und Personen kamen nicht zu Schaden.

Die nachfolgende Übersicht beschreibt in zusammengefasster Form die seit dem 12.05.2006 zur Ermittlung der Brandursachen und zur Beseitigung der Brandfolgen bisher durchgeführten Untersuchungen und Reparaturen. Ausführliche Informationen sind in den im Quellenverzeichnis aufgeführten Dokumenten enthalten.

Bereits unmittelbar nach Eintritt des Brandes wurden durch den technischen Service des FZR alle notwendigen Maßnahmen zur Sicherung des Gebäudes eingeleitet und eine Grobreinigung des Umfeldes des Gebäudes veranlasst. Außerdem wurde das Regierungspräsidium – Abteilung Arbeitsschutz – sofort über den Vorfall informiert. Das Regierungspräsidium seinerseits beauftragte die TÜV Süd Industrie Service GmbH mit der Ermittlung der Brandfolgen.

Die Ereignisse im Zusammenhang mit dem Brand im Behälter wurden vom Leiter der Anlage und vom verantwortlichen Schichtleiter in einem vorläufigen Bericht dokumentiert [1]. Des Weiteren wurde zur Vorbereitung der Brandursachenermittlung eine Liste von Materialien zusammengestellt, die zum Zeitpunkt des Brandes im Behälter eingesetzt waren [2].

2. Festlegung der notwendigen Maßnahmen zur Ursachenermittlung und Beseitigung der Folgen

Als Voraussetzung für eine Wiederinbetriebnahme des Druckbehälters wurden die folgenden Maßnahmen festgelegt:

1. Detaillierte Aufklärung der Ursachen für die Brandentstehung,
2. Begutachtung des Zustandes des Behälters sowie Behebung der Schäden am Behälter und am Gebäude,
3. Auswahl und Test geeigneter neuer Werkstoffe zur Wärmeisolierung.

Zusätzlich soll bei Experimenten mit Einsatz komplexer Messtechnik im Behälter eine Inertisierung der Behälteratmosphäre erfolgen. Mit diesen Maßnahmen soll eine erneute Brandentstehung bei zukünftigen Experimenten mit Sicherheit ausgeschlossen werden.

3. Ursachen der Brandentstehung

Bereits am Vormittag des 15.05. wurden von der Environmental Services SGS, Institut Fresenius, GmbH (Fresenius) Gas-, Asche- und Isolationsmaterialproben aus dem Behälter entnommen. Die bei der Analyse der Proben erzielten Befunde enthält [3]. Danach bildet das verwendete Isoliermaterial (Polysiloxanschaum RTF762) bei

Temperaturen zwischen 100 und 200 °C zyklische bzw. kurzkettenige Siloxane, die unter Wärmefreisetzung in Luftatmosphäre verbrennen können. Dieses Ergebnis, das bei den Vorversuchen selbst in einem höheren Druck- und Temperaturbereich nicht festgestellt wurde, war Anlass für weitere Untersuchungen an thermisch geschädigtem und frischem Isoliermaterial bei Fresenius und im FZR [4, 5]. Danach wird das Entstehen der vorgenannten zyklischen Siloxane bei Temperaturerhöhung als Brandursache angesehen und es wird von einem lokalen Effekt der Brandentstehung durch Selbstentzündung mit einer sehr raschen Flammenausbreitung über die gesamte Oberfläche des Isolationsmaterials ausgegangen, wobei sich die mit steigendem Behälterinnendruck abnehmenden Zündtemperaturen der freigesetzten organischen Substanzen begünstigend auf die Brandentstehung und –ausbreitung ausgewirkt haben könnten.

Mehrere Kontaktaufnahmen mit dem Hersteller des Isoliermaterials bezüglich der Bereitstellung detaillierter Informationen über die chemische Zusammensetzung des Polysiloxanschaumes verliefen leider ergebnislos.

Zusätzlich zu den vorgenannten Maßnahmen wurde unmittelbar nach dem Ereignis ein Brandsachverständiger zur Klärung der Ursache und des Verlaufs des Brandes eingeschaltet. In einem Sachstandsbericht vom 17.05.06 beschreibt er als eine mögliche Ursache den Eintrag von Öl aus den Kompressoren der Verdichteranlage des Heißstrangversuchs [6]. Um die Berechtigung dieser Aussage bewerten zu können, wurden vom TÜV die Druckluftzuleitung und der Windkessel visuell auf Ölsuren untersucht, vom Hersteller der Ölfilter in der Luftzuleitung zum Behälter Zertifikate über deren Wirksamkeit angefordert sowie beim Institut für Luft und Kältetechnik (ILK) eine Untersuchung der Ölkonzentration in der in den Behälter eingespeisten Druckluft beauftragt. Die vom TÜV untersuchten Anlagenteile wiesen keine Ölabbagerungen auf. Die eingeholten Zertifikate bestätigen eine Reduzierung der Ölkonzentration auf ca. 1/10000 der Ausgangskonzentration [7]. Die Ölkonzentrationsmessungen in der Druckluft ergaben, dass eine Ölgesamtfracht von rund 1 g/h durch die Kompressorenanlage emittiert und in den Druckbehälter eingetragen wird. Der Gehalt an Öldampf war bei den Messungen 75-mal höher als der Gehalt an Aerosol. Es wurden außerdem an der Druckluftzuleitung und am Drucklufteintrittsstutzen keinerlei Ablagerungen von Öl festgestellt. Jedoch ist der Betrieb der Kompressoren mit einer erheblichen Geruchsentwicklung verbunden, die auf den Öldampfgehalt zurückzuführen ist [14].

In der Gutachterlichen Stellungnahme des Brandursachenermittlers zur Brandentstehung ist u. a. ausgeführt [16]:

„Die Untersuchung des Inneren vom Versuchsbehälter sowie von der Versuchsanordnung erbrachte keine Anhaltspunkte für konzentrierte Schädigungs- bzw. Abbrandbereiche, die mit der Entstehung des Brandes in Verbindung gebracht werden können. Die vorgefundenen Schädigungsspuren wiesen vielmehr über alle Oberflächenbereiche eine relativ gleichmäßige Ausprägung auf. Im Zusammenhang mit den aufgezeichneten Temperaturwerten ist somit auf eine spontane und großflächige Wärmefreisetzung zu schlussfolgern. Ein derartiges Abbrandverhalten weisen im Allgemeinen nur brennbare Gase oder zündfähige Dampf- bzw. Aerosol-Luft-Gemische auf.

Da zu Beginn der Untersuchungen eine Entzündungsmöglichkeit von dem verwendeten Silikonschaummaterial ausgeschlossen wurde und sich aus den vorliegenden Unterlagen auch keine Rückschlüsse auf mögliche Pyrolysereaktionen ergaben, war

vordergründig von einem zu hohen Eintrag von Schmieröl aus dem Drucklifterzeugungssystem ins Innere des Versuchsbehälters auszugehen. Weiterführende Untersuchungen haben jedoch gezeigt, dass ein solcher Öleintrag eher als gering einzustufen ist, wobei keine praktischen Erfahrungen vorliegen, bei welchen Umgebungsbedingungen auch hier eine Entzündung möglich ist.

Die Pyrolyseuntersuchungen des verwendeten Silikonschaummaterials erbrachten den Nachweis, dass bei der thermischen Belastung dieses Materials leicht brennbare zyklische Siloxane entstehen, die bei Temperaturerhöhung freigesetzt werden und unter Anwesenheit von Sauerstoff exothermisch verbrennen können. Dabei könnte auch die Anreicherung von Sauerstoff mit zunehmendem Luftdruck einen Einfluss haben.

Unabhängig noch offener Fragestellungen wird es seitens des Unterzeichners für am Wahrscheinlichsten gehalten, dass in Verbindung mit dem verwendeten Silikonschaumstoff die Entstehung des Brandes auf eine versuchstechnisch- bzw. betriebsbedingte Freisetzung von Pyrolysegasen zurückzuführen ist. Dabei könnte die Entzündung dieser Pyrolysegase einerseits auf adiabatische Erwärmungsvorgänge oder auch auf eine Zündung an heißen Oberflächen zurückzuführen sein. Für letzteres sind die vorhandenen heißen, unisolierten Oberflächen unter der Haube besonders in Betracht zu ziehen, da diese nach ausreichender Anreicherung durch verwirbelte Gase bzw. Dämpfe relativ einfach umströmt werden können.

Eine Weiterverwendung des Silikonschaummaterials (Polysiloxan RTF 762) wird bis zur abschließenden Klärung der möglichen Wechselwirkungen zwischen der Temperatur- und Druckbelastung nicht empfohlen. Mit der erneuten Inbetriebnahme sollte bereits im Vorfeld abgeschätzt werden, welche Dämmmaterialien bei den im Versuchsbehälter herrschenden Bedingungen zu keiner negativen Verbrennungsreaktion neigen.“

Aus den Analysen der Environmental Services SGS, Institut Fresenius, GmbH (Fresenius), der Stellungnahme des Brandsachverständigen sowie eigenen Analysen wird davon ausgegangen, dass die Freisetzung leicht entzündlicher Substanzen aus dem Isolationswerkstoff bei Temperaturerhöhung die Brandursache ist. Dabei wird ein lokaler Effekt der Brandentstehung durch Selbstentzündung in Verbindung mit einer druckbedingten Herabsetzung der Zündtemperatur und eine sehr rasche Flammenausbreitung über die gesamte Oberfläche des Isolationsmaterials angenommen. Der Brand ist folglich mit hoher Wahrscheinlichkeit auf das eingesetzte Isoliermaterial (Polysiloxanschaum) zurückzuführen.

4. Begutachtung des Behälterzustandes

Eine erste Begutachtung des Zustandes des Druckbehälters seitens des TÜV nach dem Brand ergab, dass nach dem Einschweißen eines neuen Stutzens für den Anschluss der Leitung zum Sicherheitsventil der Behälter mit hoher Wahrscheinlichkeit weiter betrieben werden kann [8].

Das Ergebnis nachfolgender detaillierter Untersuchungen durch den TÜV waren folgende Auflagen zur Wiederherstellung der Integrität des Druckbehälters [9]:

- Auswechseln des Stutzens für die Leitung zum Sicherheitsventil,
- Neuinstallation der Abblaseleitung und eines größeren Sicherheitsventils für den Druckbehälter,

- zerstörungsfreie Prüfung der neuen Schweißnähte und thermisch stark beeinflusster Bereiche der Behälterwand,
- zerstörende Werkstoffprüfung des heraus getrennten Flansches sowie
- Durchführung einer hydrostatischen Festigkeitsprüfung mit Wasser bei einem Prüfdruck von 8,07 MPa.

Parallel zu den Arbeiten des TÜV schätzten Mitarbeiter des FZR die Temperatur und die mechanischen Belastungen ab, denen der Behälter während des Brandes ausgesetzt war [10, 11]. Außerdem wurden Tests zur thermischen Belastung des Farb-anstrichs der Behälteraußenwand durchgeführt [12]. Die Untersuchungen ermittelten lokale Temperaturerhöhungen auf der Behälteraußenseite im Bereich der Druckluft-zuleitung von maximal 330 °C. Eine Ausnahme bildet der Bereich um den Stutzen der Leitung zum Sicherheitsventil, der Temperaturen auf der Außenseite von über 450 °C ausgesetzt war. In der Summe erbrachten beide Untersuchungen keine Befunde, die einer weiteren Nutzung des Druckbehälters entgegenstehen.

Die im Rahmen der Schadensbegutachtung vom TÜV durchgeführten Gefügeaufnahmen des Mantels und des Stutzens ermittelten typische ferritisch-perlitische Gefüge ohne erkennbare innere Defekte wie Ausscheidungen an den Korngrenzen, Mikroanrisse o. ä. Alle bestimmten Härte- und mechanischen Kennwerte liegen ebenfalls in den Grenzen der entsprechenden Halbzeugliefornormen. In Auswertung aller Untersuchungsergebnisse kann geschlussfolgert werden, dass durch die Temperaturbelastungen keine Werkstoffschädigungen eingetreten sind und aus werkstofftechnischer Sicht ein Weiterbetrieb des Druckbehälters möglich ist [15].

5. Behebung der Schäden am Druckbehälter und Gebäude

In der Zwischenzeit erfolgte die Reinigung des Behälters, der Umluftkühlleitung und der versuchstechnischen Einbauten. Der Stutzen für die Leitung zum Sicherheitsventil wurde ausgetauscht und die Schweißnähte sowie das Behältermaterial den geforderten Werkstoffprüfungen unterzogen. Auch diese Tests ergaben keine Beanstandungen.

Am 16.08.06 wurde der Behälter im Beisein des TÜV der geforderten Festigkeitsdruckprobe unterzogen. Als Ergebnis dieser Prüfung konnte die uneingeschränkte Nutzung des Druckbehälters für zukünftige Experimente bestätigt werden. Auf Grund von Leckagen an den Schaugläsern wurde festgelegt, die 6 Schaugläser mit den zugehörigen Dichtungen zu erneuern [13]. Außerdem sind die 6 Bullaugen einzeln im abmontierten Zustand separat einer Wasserdruckprüfung bis max. 55 bar zu unterziehen. Letztgenannte Aktivität wurde am 09.11.06 erfolgreich ausgeführt. Damit ist nunmehr nach Erfüllung aller TÜV-Auflagen die Weiternutzung des Behälters für Heißstrangexperimente mit Innendrüken bis zu 50 bar wieder möglich.

Ende August erfolgte die Erneuerung des Farbanstrichs auf der Innenseite und partiell die Ausbesserung auf der Außenseite des Behälters. Auch die Schäden am Gebäudedach, am Hallenkran und an der Medienversorgung sind vollständig behoben.

Die zwischenzeitlich durchgeführten Funktionsprüfungen der Kompressorenanlage, des Lüfters vom Umluftkühlsystem sowie des Mess-, Steuer- und Regelsystems vom Heißstrangmodell erbrachten keine negativen Ergebnisse.

Die Verlegung der neuen Abblaseleitungen mit größeren Querschnitten und die Montage des neuen Sicherheitsventils mit einer deutlich erhöhten Druckabbaukapazität sind Mitte September erfolgt.

6. Auswahl und Test neuer Werkstoffe zur Wärmeisolierung sowie Inertisierung der Behälteratmosphäre

Bei der Suche nach neuen Isoliermaterialien wurden 6 anorganische oxidische Werkstoffe, bei denen die thermophysikalischen Eigenschaften Aussicht auf Erfolg versprachen, im Labor von der Fresenius GmbH bei Temperaturen bis 600 °C unter Luftatmosphäre bei Umgebungsbedingungen getestet [17]. Ergebnis dieser Tests ist die Auswahl von 2 oxidischen Materialien: Multitherm 550 und Superwool 607, bei denen bis zur Prüftemperatur lediglich austretender Wasserdampf in sehr geringen Mengen nachgewiesen wurde.

Bei Multitherm 550 handelt es sich um weiße Platten mit einer Rohdichte von ca. 130 kg/m³ und einer Wärmeleitfähigkeit von 0.034 W/mK, die auf Glasbasis gefertigt werden und bei der Isolation von planen Flächen zum Einsatz kommen sollen. Zur Isolation von gewölbten Flächen (z.B. Rohren) könnten Superwool-Matten Verwendung finden, die schichtweise mit Edelstahlfolie verkleidet ähnliche thermophysikalische Eigenschaften haben. Superwool besteht hauptsächlich aus SiO₂ mit Anteilen von MgO und CaO.

Um die Verwendbarkeit beider Werkstoffe abschließend zu überprüfen, sind für Anfang Dezember 2006 Versuche unter realen Einsatzbedingungen im Druckbehälter geplant. Bei diesen Experimenten werden lediglich die zum Versuchsbetrieb unbedingt notwendigen Komponenten isoliert und in den Behälter eingebracht, um die Menge an eingesetztem Isoliermaterial und damit ein eventuelles Gefahrenpotenzial auf ein Minimum zu begrenzen. Über die dabei erzielten Befunde wird zur gegebenen Zeit berichtet.

Um bei zukünftigen Wasser-Dampf-Experimenten im Heißstrangmodell einen Brand auszuschließen, ist vorgesehen, die Behälteratmosphäre mit Stickstoff zu inertisieren. Die dazu notwendigen Anlagenerweiterungen, die sich derzeit in der Planung befinden, sollen im I. Halbjahr 2007 realisiert werden.

Im Ergebnis der durchgeführten Instandsetzungsmaßnahmen und Prüfungen bestehen aus der Sicht der TÜV Süd Industrie Service GmbH keine Bedenken zur Wiederaufnahme des bestimmungsgemäßen Betriebes des Druckbehälters. Der zugehörige Abschlussbericht wird nachgereicht [18].

7. Quellenverzeichnis:

- [1] Vorläufiger Bericht zum Ereignis an der Versuchsanlage TOPFLOW-Heißstrang, FZR, 18.05.06
- [2] Inventarliste Luftdruckbehälter für Heißstrangversuch, FZR, 29.05.06
- [3] Pyrolyseuntersuchungen an einem Silicongummi, Environmental Services SGS, Institut Fresenius, GmbH, 28.06.06

- [4] Pyrolyseuntersuchungen an einem frisch hergestellten Isolationsmaterial, Environmental Services SGS, Institut Fresenius, GmbH, 26.07.06
- [5] Untersuchungen zur Zusammensetzung und den chemischen und thermischen Eigenschaften von Polysiloxan-Isolierschaum RTF762, FZR, 28.07.06
- [6] Sachstandsbericht zur Untersuchung des Brandschadens vom 12.05.06 an einem Autoklaven im Forschungszentrum Rossendorf, Ing.-Büro Dirk Ziegenbalg, 17.05.06
- [7] Validierungszertifikat Ölfilter, Biotechnologie-Gesellschaft Mittelhessen mbH, 30.08.00
- [8] Vorläufiger Bescheid über die Werkstoffprüfung am Druckbehälter des Heißstrangversuchs, TÜV Süd Industrie Service GmbH, 19.06.06
- [9] Maßnahmen zur Wiederherstellung der Betriebsfähigkeit des Autoklaven Fa.-Nr.: 43870, TÜV Süd Industrie Service GmbH, 24.07.06
- [10] Berechnung der Wandtemperatur im Drucktank von TOPFLOW während des Brandes des Isolationsmaterials Polysiloxanschaum, FZR, 17.05.06
- [11] TOPFLOW-Heißstrang Druckbehälter: Analyse der Temperaturen und der mechanischen Spannungen beim Brand der Isolierung, FZR, 06.06.06
- [12] Untersuchungen zur Verfärbung des Außenanstrichs am Druckluftbehälter vom Heißstrangmodell, FZR, 02.06.06
- [13] Bescheinigung über die außerordentliche Prüfung einer Druckbehälteranlage, TÜV Süd Industrie Service GmbH, 16.08.06
- [14] Bestimmung des Ölgehaltes von Luft nach einem Verdichter, Fachbericht ILK Dresden, Nr.: ILK-B-33/06-1356, 07.09.06
- [15] Prüfbericht zur Schadensbegutachtung eines Autoklaven, TÜV Süd Industrie Service GmbH, Region Nordost, 12.09.06
- [16] Gutachterliche Stellungnahme zur Untersuchung des Brandschadens vom 12.05.06 an einem Autoklaven im Forschungszentrum Rossendorf, Ing.-Büro Dirk Ziegenbalg, 28.11.06
- [17] Untersuchung des thermischen Verhaltens von Isoliermaterialien, Environmental Services SGS, Institut Fresenius, GmbH, 18.08.06
- [18] Versuchsanlage mit dem Autoklav Herstell-Nr.: 43870, TÜV Süd Industrie Service GmbH, 08.12.06