

Brandgefahren durch Anlagen mit Wärmeträgerölen

Dr. Wilhelm Jach †

Aufbau und Betrieb

Einleitung

Die industrielle Wärmetechnik bevorzugt zunehmend die indirekte Methode zur Übertragung von Wärme. Hierbei übernimmt ein Trägermedium, mit dem sich die gewünschten Temperaturen einfach und genau steuern lassen, den eigentlichen Wärmetransport. Als geeignete Wärmeträgermedien haben sich in den Temperaturbereichen von 0 °C bis zu 340 °C speziell behandelte Mineralöle und synthetische Flüssigkeiten in der Praxis durchgesetzt, z. B. Diphyl: azeotropes Gemisch von Biphenyl und Diphenyläther oder Ditolyläther (250 °C bis 400 °C). Diese Medien haben einen hohen Siedebeginn und einen sehr niedrigen Dampfdruck. Sie bauen also im Umlaufsystem keinen Druck auf, der größer ist als der statische bzw. dynamische Druck im Anlagensystem selbst. Da diese Medien auch in kaltem Zustand pumpbar sind, können die Anlagen auch bei Frosttemperaturen in Betrieb gesetzt werden. Diese Wärmeübertragungsanlagen können aus diesem Grund auch für die Kühlung eingesetzt werden.

Dipl.-Chemiker Dr. rer. nat. Wilhelm Johannes Jach, Kiel, ehemals wissenschaftlicher Leiter des Instituts für Schadenverhütung und Schadenforschung der öffentlich-rechtlichen Versicherer e.V., Kiel.

Anforderungen an Wärmeträgermedien

Auf Grund der bisherigen Entwicklungsarbeiten zahlreicher Ölfirmen läßt sich sagen, daß die Medien folgende Eigenschaften haben müssen:

1. Günstige Werte für den Wärmetransport und Wärmeübergang,
2. Optimale thermische Stabilität,
3. Gute Oxidationsbeständigkeit (alle organischen Wärmeträger oxidieren bei Kontakt mit der Luft, wenn auch unterschiedlich stark). Die in Versuchen festgestellte Oxidationsgeschwindigkeit ist temperaturabhängig; deshalb müssen Wärmeträgermedien im erhitzten Zustand unbedingt vor Luftzutritt geschützt werden,
4. Niedriger Dampfdruck. Die Übertragungsmedien müssen also bei Normaldruck einen sehr hohen Siedebeginn besitzen, da er wesentlich ist für die obere gefahrlose Temperaturgrenze. Der Siedebeginn soll deshalb stets über der höchstmöglichen Betriebstemperatur der Wärmeübertragungsanlage liegen,
5. Niedrige Viskosität; denn Medien mit niedriger Viskosität gehen bei niedrigen Temperaturen in den für den Wärmetransport erwünschten turbulenten Strömungszustand im Überträger- und Rohrsystem über,
6. Keine korrosionsaktive Wirkung auf die in der Übertragungs- und Transportanlage eingesetzten Werkstoffe.

Thermische Einsatzgrenzen der Wärmeträgersysteme

Die praktische Erfahrung und die Entwicklungstechnologie zeigen, daß die obere thermische Anwendungsgrenze organischer Wärmeträgeröle durch zwei Stoffeigenschaften bestimmt wird, nämlich durch

- a) ihren Siedebeginn,
- b) diejenige Grenztemperatur, bei der sich eine chemische Zersetzung nachweisen läßt.

Die untere Temperaturgrenze eines Trägermediums ist festgelegt durch

- a) das Fließvermögen des Wärmeträgermediums bei tiefen Temperaturen, und
- b) die von der Herstellerfirma der Umwälzpumpe zugelassene maximale Viskosität bei der niedrigsten Temperatur.

Technische Auslegung von Wärmeübertragungsanlagen

Bestimmungsgemäß dienen Wärmeübertragungsanlagen dazu, Wärme mittels einer anderen Flüssigkeit als Wasser zu übertragen. Dazu muß der Wärmeträger während des Betriebes der Anlage fließen. Dabei wird unterschieden zwischen

- Naturumlauf und
- Zwangsumlauf.

Der Naturumlauf bleibt auf kleine, vor allem elektrisch beheizte Anlagen

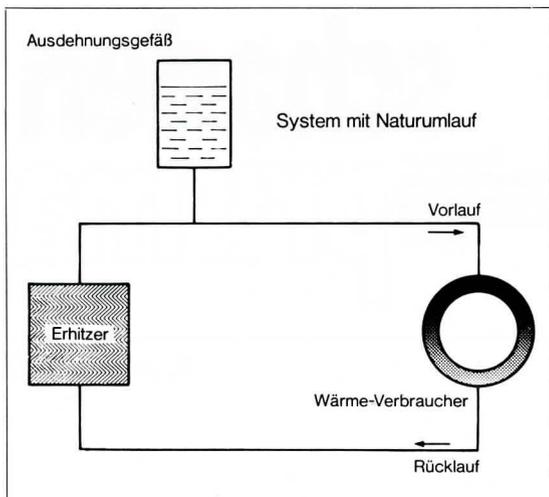


Bild 1.
Wärmeträgerölanlage
„System mit Natur-
umlauf“.

beschränkt. Es handelt sich hierbei meist um Anlagen im Bäckereigewerbe zur Heizung von Konditoröfen und Anlagen, wo Backgut mit sehr gleichmäßiger Wärme gebacken werden muß.

In den Schemazeichnungen sind einfache Umlaufanlagen dargestellt. In der industriellen Praxis weisen die Wärmeübertragungsanlagen zahlreiche Varianten auf; es gibt Heiz- und Kühlsaltungen. Auch gibt es Systeme mit sogenannten Sekundärkreisläufen für verschiedene Wärmeverbraucher mit unterschiedlichen wärmetechnischen Anforderungen.

Die Wärmeträgermedien erreichen in technisch einwandfrei erstellten Anlagen Einsatzzeiten von vielen Jahren. Auch geeignete Wärmeträgermedien können Mängel in den technischen Anlagen nicht ausgleichen und daraus folgende brandgefährliche Zustände nicht verhindern.

Aus praktischen Betriebserfahrungen werden nun Hinweise gegeben, die

einen störungsfreien Betrieb derartiger Anlagen sichern, ohne dabei den Wert der Wärmeübertragung zu mindern.

Erhitzeraggregate

In der Praxis sind allgemein Röhren-erhitzer üblich. Sie werden mit Heizöl EL, Gas oder Elektrizität, in selteneren Fällen auch mit Dampfabwärme erhitzt. Um wirksam zu unterbinden, daß sich die Wärmeträgermedien durch lokale Überhitzung thermisch zersetzen, sind folgende Maßnahmen durchzuführen:

1. In der Heizzone müssen Heizflächenbelastung und Strömungsgeschwindigkeit des Wärmeträgermediums so ausgelegt werden, daß die Heizflächentemperatur an keiner Stelle die für die Wärmeträgermedien zulässige Höchsttemperatur übersteigt,
2. Es müssen Störungswächter eingebaut werden, und zwar bei mehrflutigen Erhitzeraggregaten in jedem Rohrstrang. Es ist für eine elektrische Ver-

riegelung der Heizung mit der Umwälzpumpe zu sorgen. Dadurch soll verhindert werden, daß weitergeheizt wird, wenn die Strömungsgeschwindigkeit des Mediums unter das zulässige Minimum absinkt bzw. der Umlauf des Trägermediums stillsteht,

3. Es sind unbedingt Temperaturwächter notwendig, die das Heizaggregat abschalten, wenn die zulässige Temperatur erreicht bzw. überschritten wird,

4. Nach dem automatischen Abschalten des Heizungsaggregates müssen die Umwälzpumpe bzw. -pumpen noch einige Zeit weiterlaufen, damit das Wärmeträgermedium nicht durch die an der Heizfläche gespeicherte Wärmeenergie zu stark aufgeheizt wird bzw. die Gefahr der thermischen Zersetzung besteht.

Umwälzpumpen

In der Praxis werden Kreiselpumpen wie auch Verdrängerpumpen eingesetzt. Dabei ist zu beachten, daß Verdrängerpumpen u. U. einen unzulässig hohen Druck im Umlaufsystem aufbauen können. Sie sind deshalb in jedem Falle mit Überströmventilen auszurüsten. Für Umwälzpumpen gilt folgendes:

1. Sie können im Vorlauf oder Rücklauf eingebaut werden. Bei der Anordnung im Rücklauf muß auf die in der einschlägigen DIN 4754 – „Wärmeübertragungsanlagen mit anderen flüssigen Wärmeträgern als Wasser. Sicherheitstechnische Anforderungen“. Ausgabe Oktober 1974 – enthaltene Einschränkung hingewiesen werden,
2. Die Umwälzpumpen müssen mit der Heizung elektrisch verriegelt werden,
3. Die Leistung der Umwälzpumpen muß auf die Viskositätseigenschaften des Wärmeträgermediums bei niedrigster Temperatur abgestimmt werden,
4. Falls die Umwälzpumpen mit gekühlten Lagern ausgerüstet sind, ist eine Warnvorrichtung erforderlich, die einen Ausfall der Kühlungseinrichtung optisch und akustisch anzeigt.

Ausdehnungsgefäß

Alle Wärmeübertragungsanlagen sind mit einem Ausdehnungsgefäß auszurüsten. Die Aufgabe dieses Gefäßes ist es, das Volumen aufzunehmen, um das sich das Medium bei dem Aufheizevorgang ausdehnt. Je nach Ausführung der Ausdehnungsgefäße wird zwischen einer offenen und geschlossenen Wärmeübertragungsanlage unterschieden.

Bei der offenen Anlage hat der im Ausdehnungsgefäß befindliche Wärmeträger Kontakt zur Außenatmosphäre.

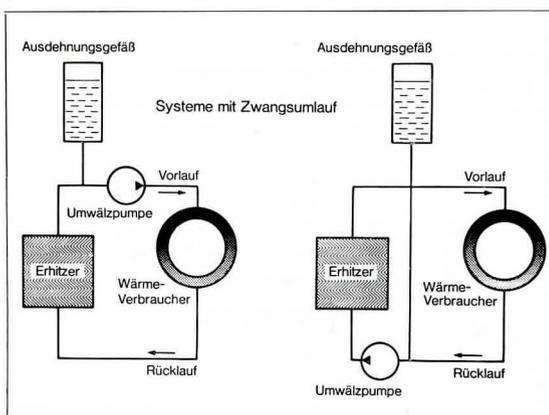


Bild 2.
Wärmeträgerölanlage
„Systeme mit
Zwangsumlauf“.

Bei der geschlossenen Anlage wird die Oberfläche des Wärmeübertragungsmediums durch ein Inertgas, z. B. Stickstoff, abgedeckt. Es kann aber auch so verfahren werden, daß das Ausdehnungsgefäß mit einer Flüssigkeitsvorlage versehen wird, die gegen die Außenluft abschirmt.

Das Ausdehnungsgefäß ist an einer kühlen Stelle und höher als alle anderen Anlageteile des Umlaufsystems anzuordnen. Die Leitung zum Ausdehnungsgefäß ist auf der Saugseite der Umwälzpumpe anzuschließen, und zwar an einer Rohrleitungserweiterungsstelle.

Bei offenen Umlaufanlagen sind das Ausdehnungsgefäß und die Zuleitungen zu ihm nicht wärmeisoliert auszuführen.

Temperatur und Luftsauerstoff beschleunigen die Alterung des Wärmeträgermediums. Bei offenen Anlagen ist seine freie Oberfläche im Ausdehnungsgefäß die einzige Stelle in der Anlage, an der der Wärmeüberträger mit Luft bzw. Sauerstoff in Kontakt kommt. Deshalb sollte die Temperatur im Überlaufgefäß niedrig gehalten werden und 50 °C nach Möglichkeit nicht überschreiten.

In offenen Umlaufanlagen kann durch Luftfeuchtigkeit Wasser ins Überlaufgefäß eindringen. Dies gilt insbesondere für Umlaufanlagen, die häufiger ein- und ausgeschaltet werden müssen, so daß es zu einem beträchtlichen „Atmen“ im Ausdehnungsgefäß kommt.

Gegen auf diese Weise eintretende Feuchtigkeit kann man sich schützen durch eine Wasserabsorptionsanlage in der Gefäßentlüftung oder einen Wasserfangraum, den man so ausführt, daß man die Ausdehnungsleitung am Gefäßboden nicht satt enden läßt, sondern etwas im Bogen hochführt.

Sammelbehälter

Die Anlagen werden zweckmäßig mit einem Sammelbehälter für das Wärmeträgermedium ausgestattet. Er ist so auszulegen, daß bei Reparaturen die gesamte Umlaufflüssigkeit in ihn abgelassen werden kann. Es muß also sein Volumen so bemessen sein, daß er bei Betriebstemperatur die Gesamtmenge bzw. bei Sektorenfüllung die Füllung des größten Sektors ohne Schwierigkeiten aufnehmen kann. Weiter ist es wichtig, daß dieser Sammelbehälter über eine spezielle Entlüftungsleitung, die direkt ins Freie führen muß, mit der Außenluft in Verbindung steht. Um Betriebsstörungen zu vermeiden, muß der Sammelbehälter in regelmäßigen Abständen entwässert werden. Vorhandenes Wasser im Umlaufmedium würde bei Ablassen des

heißen Wärmeträgers verdampfen und dadurch außerordentlich gefährliche Druckerhöhungen innerhalb der Anlage auslösen, die u. U. schwerwiegende Folgen haben können.

Angeschlossene Wärmeverbraucher

Wärmeverbraucher müssen an ihrer höchsten Stelle eine Entlüftungsmöglichkeit haben, die so ausgestattet ist, daß ein betriebssicheres Entlüften ohne Brandgefährdung durchgeführt werden kann. Die nachfolgenden Schadenbeispiele zeigen, daß unvollkommen ausgebildete Entlüftungsmöglichkeiten schwere Unfall- und Sachschäden zur Folge haben können.

Die Wärmeverbraucheranlagen müssen restlos entleert werden können. Sie müssen also an der tiefsten Stelle Entleerungsmöglichkeiten aufweisen, die an die Leerlaufleitung zum Sammelbehälter angeschlossen sind.

Leitungen innerhalb der Umlaufanlage

Alle Leitungen der Umlaufanlage müssen mit Gefälle zur Umwälzpumpe verlegt werden. Ist dies nicht durchführbar, so sind abschnittsweise tiefere Stellen im Leitungssystem einzubauen, damit bei Instandsetzungsarbeiten gefahrlos entleert werden kann.

Erforderlich ist eine Kurzschlußleitung zur Umgehung der Wärmeverbraucher. Sie erleichtert das gefahrlose Anfahren einer Anlage im kalten Zustand wesentlich.

Selbstverständlich ist für eine gute Wärmeisolierung der Leitung des Umlaufsystems zu sorgen. Hierdurch können Wärmeverluste vermieden werden. Der betriebssichere Zustand der Anlage wird dadurch gefördert.

Befüllung und erste Inbetriebnahme der Anlage

Folgendes ist zu beachten:

1. Vor dem Befüllen der Anlage mit dem Wärmeträgermedium muß geprüft werden, ob die gesamte Anlage dicht ist. Die Dichtheit kann man mit Wasser oder mit Druckluft prüfen. Bei der

Verwendung von Druckluft müssen Schweißnähte, Flanschverbindungen und Stopfbuchsen vorher mit Seifenlösung oder ähnlichem eingesprüht werden, um an Blasenbildungen Undichtigkeiten festzustellen.

2. Angeflanschte Meßinstrumente, Ventile und Pumpen der Anlagen sollen vor der ersten Inbetriebnahme nicht isoliert sein. Die Praxis zeigt, daß nach der ersten Erwärmung immer wieder an diesen Anlageteilen noch Schrauben und Stopfbuchsen nachgezogen werden müssen.

3. Bei der Befüllung mit dem Wärmeträgeröl müssen selbstverständlich alle wärmeträgerführenden Anlageteile völlig wasserfrei sein. Das macht, wenn die Dichtigkeitsprüfung mit Wasser durchgeführt wurde, eine spezielle Trocknung der gesamten Anlage mit einem entsprechenden feuchtigkeitsbindenden Medium notwendig.

4. Um eine vollkommene Entlüftung der Anlage zu erreichen, ist sie von unten zu befüllen.

5. Während der Befüllung der Anlage müssen alle Entlüftungseinrichtungen geöffnet sein. Die Befüllung ist erst dann beendet, wenn der Mindestfüllstand im Ausdehnungsgefäß erreicht ist. Die Funktionstüchtigkeit des vorgeschriebenen unteren Füllstandsbegrenzers ist zu überprüfen.

6. Nach der Befüllung sollte jede Anlage mit Zwangsumlauf zunächst ohne Beheizung in Betrieb gesetzt werden. Dabei sind die Drehrichtung der Pumpe oder Pumpen sowie die Funktionstüchtigkeit der eingebauten Strömungswächter zu überprüfen. Die Entlüftungsvorgänge sind so oft zu wiederholen, bis die Fördermenge in der Anlage konstant bleibt.

7. Der Aufheizprozeß muß sehr langsam erfolgen. Ist eine Temperatur von 120 °C erreicht, muß sie aus Sicherheitsgründen ausreichend lange konstant gehalten werden. Dabei müssen alle Entlüftungseinrichtungen wiederholt geöffnet werden, damit vorhandene Restfeuchtigkeit vollständig ausdampfen kann. Auch sind die Flansch-

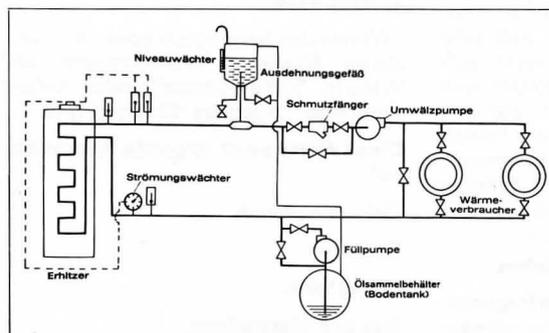


Bild 3. Wärmeträgerölanlage mit Strömungswächter und sonstigen Sicherheitsorganen.



Bild 4. Gesamtansicht des Gebäudes, in dem die Explosion stattfand. Im Vordergrund die zerstörte Klempnerei, linke Bildseite.

verbindungen und Stopfbuchsen nochmals auf Dichtigkeit zu überprüfen und ggf. nachzuziehen.

8. Temperaturregler und alle der Sicherheit dienenden Abschaltvorrichtungen der Anlage sind während des Hochfahrens auf Funktionstüchtigkeit zu überprüfen.

9. Bei Erreichen der maximal zulässigen Betriebstemperatur muß erneut überprüft werden, ob die gesamte Anlage dicht ist. Evtl. sind Schraubverbindungen und Stopfbuchsen noch einmal nachzuziehen.

10. Nach der erfolgreichen Erstinbetriebnahme sind die restlichen Isolierungen noch vorzunehmen.

11. Während der Erstinbetriebnahme ist es möglich, daß das Wärmeträgermedium in der Anlage befindliche Verunreinigungen in den Schmutzfänger spült. Deshalb muß der Schmutzfänger oder -filter des öfteren gesäubert werden, bis keine Verunreinigungen mehr festgestellt werden.

12. Mit der Anlage mitgelieferte Schmutzfänger sind relativ weitmaschig. Dadurch ergibt sich, daß sehr feine Schmutzpartikelchen nicht aufgefangen werden. Es empfiehlt sich deshalb, in den Kreislauf während einer längeren Spülwärmung ein Feinstfiltergerät noch zusätzlich einzusetzen, das von den Lieferfirmen für Wärmeträgeröle bereit gehalten wird.

Kontrolle während des Betriebes

Hinsichtlich des Wärmeübertragungsmediums beschränkt sich die notwen-

dige Betriebsüberwachung in der Regel auf eine Kontrolle des Füllstandes. Die Temperatur im Ausdehnungsgefäß ist auch zu überwachen. Bei Anlagen mit höheren Übertragungstemperaturen sollte ggf. auch der Luftabschluß im Übertragungsgefäß kontrolliert werden.

Man sollte stets ungebrauchte Wärmeübertragungsmedien nachfüllen. Aufgefangene Leckmengen enthalten stets Verunreinigungen und vor allen Dingen Wasser. Es ist in den Bedienungsvorschriften festzulegen, daß derartig verschmutztes Öl zum Nachfüllen nicht verwendet werden darf.

Gemäß DIN 4754 ist jeder Betreiber verpflichtet, seine Anlage einschließlich des Wärmeträgermediums einmal jährlich durch einen Sachkundigen überprüfen zu lassen.

Regeln und Richtlinien

Bei dem Bau und dem Betrieb von Wärmeübertragungsanlagen sind zu beachten:

1. DIN 4754

„Wärmeübertragungsanlagen mit anderen flüssigen Wärmeträgern als Wasser. Sicherheitstechnische Anforderungen.“ Ausgabe Oktober 1974.

Diese Norm weist folgende Abschnitte auf:

- Geltungsbereich,
- Begriffe,
- Werkstoffe,
- Bau und Herstellung,

- Beheizung,
- Wärmeträger,
- Erhitzer,
- Ausdehnungsraum,
- Absicherung gegen Überdruck,
- Sammelbehälter,
- Ausrüstung,
- elektrische Einrichtung,
- Aufstellung der Erhitzer und Behälter,
- persönlicher Schutz und Brandschutz,
- Prüfungen,
- Bedienungsanweisung,
- Bedienung,
- Wartung und Instandsetzung,
- Erstauffüllung oder Umstellung auf andere Wärmeträger,
- Anzeigepflicht und wiederkehrende Prüfungen,
- einschlägige Vorschriften und Normen und Richtlinien.

Eine Neuausgabe dieser Norm (vgl. Gelbdruck vom Sept. 1977) soll 1979 herausgegeben werden.

2. VDI 3033

„Wärmeübertragungsanlagen mit anderen Wärmeträgern als Wasser, Aufbau, Betrieb und Instandhaltung.“ Ausgabe Oktober 1974.

In dieser VDI-Richtlinie sind folgende Punkte behandelt:

- Wärmeträgereigenschaften und Stoffwerte,
- Prinzip und Aufbau der Anlage,
- Betrieb der Anlage,
- Wartung der Anlage,
- Instandsetzung der Anlage.

Diese Regeln und Richtlinien sind zu beziehen vom Beuth-Verlag GmbH, Berlin oder Köln bzw. vom VDI-Verlag, Düsseldorf.

Werden sie sorgfältig beachtet, ist ein brand- und explosions-sicherer Betrieb über lange Zeiträume möglich.

Schadenfälle

Fall I

In einem metallverarbeitenden Großbetrieb wurden Blechformteile im Pulverspritzverfahren (elektrostatisches Spritzverfahren) beschichtet und in einem Heißluftofen mit kontinuierlichem Materialdurchlauf auf 280/300°C erhitzt. Bei dieser Temperatur bildet sich aus der Pulverschicht ein dünner, glatter Einbrennlack. Der Kammerofen wurde mit Hilfe eines Trägerölaufes gleichmäßig beheizt.

Die Aufheizung des Trägeröles erfolgte in einem Konuskessel mit einer Heizleistung von ca. 2 Mio. kJ/h. Der TÜV-geprüfte Kessel war ordnungsge-

maß an eine Schornsteinanlage angeschlossen. Das Rauchrohr wurde vor Eintritt in den Schornstein durch einen Wärmeaustauscher geführt, um die Rauchgaswärme auszunutzen.

Die Anlage hatte einen Primärkreislauf am Konuskessel und einen Sekundärkreislauf mit zwei Pumpen zu den angeschlossenen Verbrauchern.

Das um ca. 30–40 °C abgekühlte Rücklauföl wurde durch die Primärpumpe in den Rücklaufstutzen am Boden des Konuskessels gedrückt. Beim Durchlaufen des Spiralrohrsystems im Kessel wurde es auf 300 °C aufgeheizt und in den Vorlaufteil eines Mischgefäßes eingeführt. Vorlauf- und Rücklaufteil waren nicht vollständig voneinander getrennt, so daß laufend eine Vermischung zwischen heißem „Vorlauf“ und kaltem „Rücklauf“ eintrat, die einen Temperaturunterschied von 30 bis 40 °C aufwiesen.

Der Transport zu den einzelnen Verbrauchern erfolgte durch zwei Sekundärpumpen. Es handelte sich um einen typischen, fast geschlossenen Kreislauf. Aus Sicherheitsgründen war mit einem Höhenunterschied von 4,00 m ein Ausdehnungsgefäß angeschlossen. Ferner war die Anlage mit einem Fußgefäß ausgestattet, aus dem durch Zupumpen etwaige Ölverluste ausgeglichen werden konnten. Bei Betriebschluß wurde der Arbeitsthermostat der Anlage auf 100–150 °C eingestellt, so daß das Öl in einem pumpbaren Viskositätszustand verblieb. Bei Betriebsaufnahme wurde der Vorlaufthermostat wieder auf 280–300 °C geschaltet. Der Primärumlauf war mit einem Überdruck von 4–5 mbar ausgelegt, während der Sekundärkreislauf nur ca. 1 mbar benötigte.

Die Anlage war mit allen geforderten Sicherheitseinrichtungen für eine automatische Vollabschaltung bei Brennerversagen, Druckstörungen und Überhitzungserscheinungen ausgestattet. Alle Sicherheits- und Regeleinrichtungen an der Anlage befanden sich in einem ordnungsgemäßen, funktionsfähigen Zustand.

Die Anlage wurde am Schadentage gegen 4.30 Uhr durch Höherschalten auf 280–300 °C wieder voll in Betrieb genommen. Der Bediener der Anlage ist letztmalig gegen 5.45 Uhr gesehen worden. Dabei fiel auf, daß seine Arme stark mit Öl verschmutzt waren. Zu diesem Zeitpunkt muß vermutlich eine Störung in der Anlage aufgetreten sein, Minuten später (zwischen 5.47 bis 5.48 Uhr) ereignete sich eine heftige Explosion, die zwei Todesopfer und schwere Gebäudeschäden zur Folge hatte.

Die Untersuchungen am Schadenobjekt konzentrierten sich auf folgende Fragen:

1. Kann eine Störung bei der Zündung des Brenners des Konuskessels durch schlagartiges Verdampfen von Heizöl EL die Explosion und den schweren Folgebrand ausgelöst haben?

2. Kann eine Verzunderung mit nachfolgendem Korrosionsspannungsriß an der Trägerölschlange im Kessel einen unkontrollierten Trägerölaustritt in dem Brennerraum ausgelöst haben, der eine primäre Explosion zur Folge hatte?

3. Kann eine Überhitzung des Trägeröls durch Betriebsstörungen im Kesselbereich eingetreten sein, die zur Bildung von erheblichen Ölkoksabscheidungen an den Innenwandungen der Schlangenhöhle im Kessel geführt hat?

4. Sind durch Überhitzungserscheinungen dampfförmige, benzinähnliche Krackprodukte im Primärkreislauf aufgetreten, die beim Austreten in den Raum die Explosion ermöglichten?

5. Sind sonstige vom normalen Betrieb abweichende Austritte größerer Mengen von heißem Trägeröl mit nachfolgender schlagartiger Verdampfung und Raumexplosionsauslösung aus entsprechenden Spurenbefunden der Anlage erkennbar und ableitbar?

Zu 1.

Die Untersuchung des am Schadentage verwendeten Heizöls EL ergab keine Hinweise, daß es an der Auslösung des Schadens beteiligt war. Im Brennerraum des Konuskessels und

am Zerstäuberbrenner waren keine Spuren erkennbar, die auf den Ablauf einer Verpuffung bzw. Explosion im Brennerbereich hindeuteten. Deshalb konnte die Brenneranlage mit ihren technischen Hilfsorganen als Schadensursache ausgeschlossen werden.

Zu 2.

Die trägeröldurchflossenen Spiralen sind dauernd einer starken Temperaturbelastung durch die Brennerflamme ausgesetzt. Obwohl das Rohrmaterial aus besonders korrosions- und verzunderungsfestem Stahl bestand, muß man bei langfristiger Benutzung mit der Gefahr einer Wandschwächung und der Bildung von Korrosionsspannungsrissen rechnen. Bei solchen Ribildungen kann das unter Druck stehende, sehr dünnflüssige, heiße Öl in feinstverteilter Form unbemerkt in den Brennerraum austreten und dort eine heftige Explosion auslösen.

Die Untersuchung des Konuskessels ergab, daß

a) Aufbauchungen im Brennerraum nicht vorhanden waren,

b) auffällig starke Rußablagerungen im Brennerraum nicht vorlagen, die aber hätten vorhanden sein müssen, wenn infolge von Ribildungen größere Mengen Wärmeträgeröl im Verbrennungsraum unter Sauerstoffmangel verbrannt wären,

c) Ribildungen und Materialabtragungen in erheblichem Maße durch starke Verzunderung an den Rohraußenwandungen nicht feststellbar waren.

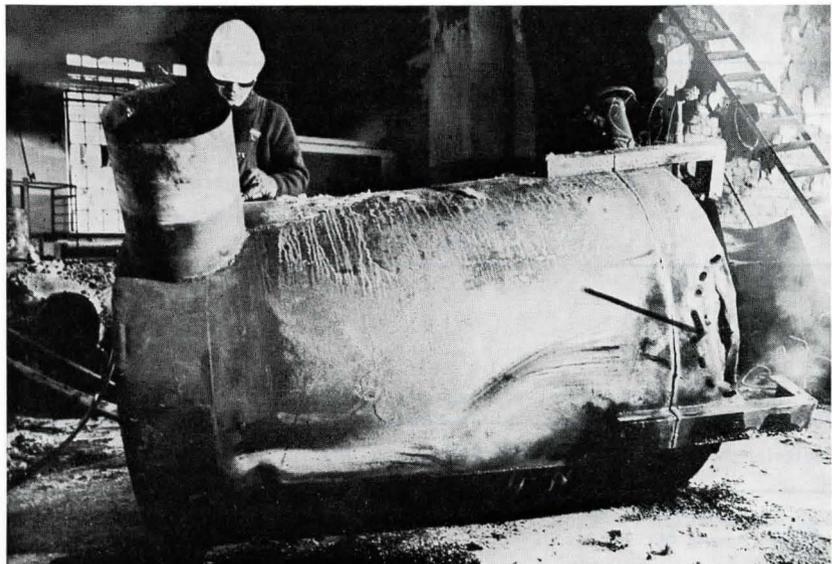


Bild 5. Blick auf den Konuskessel. Der Kessel wurde nach Bergung auf die Seite gelegt.

Zu 3.

Verwendet wurde ein Wärmeträgeröl mit einer Dichte von 0,968 (bei 15 °C), einer kinematischen Zähigkeit bei 20 °C von 230 m²/s und bei 100 °C von 5,5 m²/s und einer thermischen Ausdehnung von 0,063 Vol.-%/°C.

Folgende Meßwerte sind zu nennen:

Siedebeginn: 320 °C,

Flammpunkt: 177 °C,

Brennpunkt: rd. 210 °C.

Explosionsbereich: 1,5–8,0 Vol.-%.

Zündtemperatur: rd. 360–380 °C.

Es handelt sich um ein normgerechtes Wärmeträgeröl, das zwischen –5 °C und +320 °C im Kreislaufsystem verwendet werden darf. In diesem Temperaturbereich ist es voll pumpbar.

Das Wärmeträgeröl ist offensichtlich bei einer Umlauftemperatur von 280 bis 300 °C und einer Primärumlauf-

temperatur von 310 bis 320 °C fast bis an die Grenze seiner thermischen Belastbarkeit betrieben worden. Treten bei dieser Dauertemperatur Stauungen und Abriß des Ölstromes im System auf, können einzelne Zweige des Rohrsystems und das darin befindliche Öl überhitzt werden, so daß es zu kritischen Krackprozessen kommen kann.

Die Temperaturmessung im Sammelvorlauf sowie die Druckdifferenzmessung zwischen Sammelvor- und Sammelrücklauf können Störungen in den einzelnen Zweigen des Rohrsystems nicht mit hinreichender Sicherheit erfassen.

Im Einlaufbereich der Bodenspirale des Kessels wurde ein Schraubbolzen von 75 mm Länge aufgefunden. Der Kopf der Stahlschraube hatte einen Durchmesser von 25 mm, während die lichte Weite des Rohrsystems nur 28 mm betrug. Daraus folgt, daß der Öldurchfluß in diesem Bereich um ca. 90 % verringert war. Im Bodenspiralen-

bereich kann somit zum Zeitpunkt des Schadeneintrittes eine Überhitzung mit Ölkoksablagern vorgelegen haben.

Die Besichtigung der inneren Rohrwandungen im gesamten Bodenspiralenbereich ergab keine querschnittsbehindernden Ölkoksablagerungen. Längerfristige Temperaturbelastungen haben somit in diesem Teilkreislaufbereich offensichtlich nicht vorgelegen.

Lediglich in den beiden Rohrschlangen im Kesselkopfbereich, in die das aufgeheizte Wärmeträgeröl wieder in den Primärkreislauf austrat, wurden Ölkoksablagerungen in 4–5 mm Stärke gefunden. Da sich diese geringfügigen Koksablagerungen mit der Zone einer sichtbaren Brandbelastung an der Kesselaußenwandung deckten, handelte es sich hier offensichtlich um Brandfolgeerscheinungen. Sie standen mit der Explosionsauslösung in keinem Zusammenhang.

Zu 4.

Wenn ein Wärmeträgeröl langfristig in einem offenen Kreislauf bei Temperaturen zwischen 280–300 °C in einer Anlage betrieben wird, erleidet es temperaturbedingt Veränderungen, die seine Eigenschaften wesentlich beeinflussen:

a) Es tritt eine mehr oder weniger starke Erniedrigung des Flamm- und Brennpunktes ein;

b) durch die thermischen Abbauprozesse bilden sich kürzerkettige Kohlenwasserstoffverbindungen, die eine erhöhte Entflammbarkeit des Wärmeträgeröls bewirken können.

Die Untersuchungen an Ölproben, die an Stellen entnommen wurden, wo keine zusätzlichen Brandfolgebelastungen aufgetreten waren, führten zu den Ergebnissen der Tabelle I.

Mit einer Flammpunkterniedrigung bis zu 50 °C und einer Brennpunkterniedrigung bis zu 45 °C lag in der schadensbetroffenen Anlage ein Öl vor, das bereits merkliche thermochemische Abbauprozesse erlitten hatte. Jedoch waren durch den thermischen Abbauprozess noch keine echten selbstzündungsgefährlichen Zustände erreicht, sondern lediglich der Zustand einer erleichterten Zündbarkeit durch die vorbeschriebene Temperaturdauerbelastung.

Die gaschromatographische Trennung von Originalölproben aus der Anlage bestätigen im wesentlichen den vorstehenden Befund: Wird Wärmeträgeröl durch Temperaturüberlastungsprozesse gekrackt, so lassen sich Fraktionen von kürzerkettigen Kohlenwasserstoffen nachweisen. Die Untersuchung führte aber zu folgenden Be-

Tabelle I

Bemerkungen	Flammpunkt		Brennpunkt		Depression	
	Sollwert	Istwert	Sollwert	Istwert	Flamm-punkt	Brenn-punkt
1. eigene Versuche	177° C	132° C	—	—	45° C	—
2. eigene Versuche	—	—	210° C	176° C	—	34° C
Versuche:						
1. Firmen-Labor, Hamburg	177° C	127° C	—	—	50° C	—
2. Firmen-Labor, Hamburg	—	—	210° C	165° C	—	45° C

Tabelle II

Fraktions-Nr.	getrennte Anteile	Mengenangabe
1	Propan-Butan	merkliche Anteile
2	C ₁ -C ₈ -Komponente	geringere Anteile
3	C ₈ -C ₁₅ -Komponente (benzinähnliche Anteile)	geringe Anteile

Tabelle III

Es handelt sich um Mittelwerte aus fünf Einzelbestimmungen.

Material	Flammpunkt in °C	Brennpunkt in °C	Flammpunkterniedrigung Brennpunkterniedrigung
Fabrikfrisches Öl (Shell Therma 45)	185	227	△ F = 20,0° C
Altöl (7 Jahre) (Shell Therma 45)	165	206	△ B = 21,8° C (22,0)

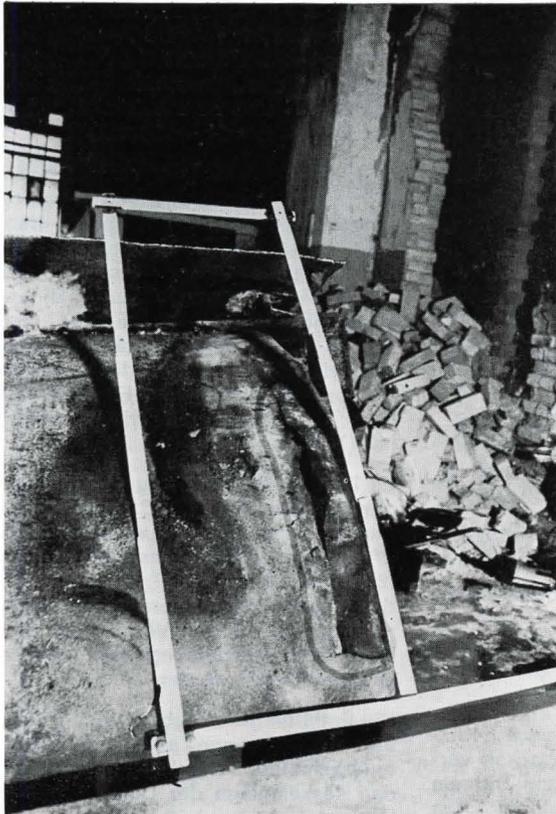


Bild 6.
Ansicht der Rißstelle nach
Entfernen der Isolierung
und des äußeren Stahl-
blechmantels.

ten. Weitere Zündmöglichkeiten bestanden im Schaltkastenbereich der Anlage, wo laufend Schaltfunken auftraten, die ebenfalls in der Lage waren, Ölnebel-Luftgemische zu zünden.

Aufgrund der Brandfolgen ist davon auszugehen, daß die Raumexplosion nur durch einen erheblichen Austritt feinstverteilter heißen Trägeröls mit Temperaturen von 280–300 °C ausgelöst werden konnte.

Nun stellte sich die Frage, ob es im Primär- oder Sekundärkreislauf eine Austrittsöffnung für das heiße Wärmeträgeröl gab. Bei der Untersuchung der Pumpen fehlte die Entlüftungsschraube an einer Pumpe. Sie war offensichtlich bei geöffnetem „Schieber“ entfernt worden, was bei einer Pumpenleistung von 50 m³/h zu einem gefährlichen Austritt von heißem Öl führen mußte. Durch den hohen Ausströmdruck trat sicherlich eine Verdüsung des Öles in feinste Tröpfchen ein.

Nach Vermischung mit Luft konnten sie an heißen Anlageteilen gezündet werden und somit die Explosion auslösen.

Fall II

Im Backhaus eines größeren Bäckerei- und Konditoreibetriebes erfolgte in den frühen Morgenstunden eine Verpuffung mit nachfolgendem schweren Brand. Der mit der Bedienung des Ofens beauftragte Bäckergerelle erlitt an beiden Armen und Händen schwerste Brandverletzungen.

Die Untersuchung der Schadenursache führte zu folgenden Ergebnissen:

funden in der Gasphase, wie sie in der Tabelle II zusammengefaßt sind.

Das Chromatogramm bestätigte zwar, daß in nachweisbarer Menge kürzerkettige Kohlenwasserstoffe als echte thermische Spaltprodukte vorlagen, der Spaltvorgang jedoch keineswegs soweit fortgeschritten war, daß eine wesentliche Herabsetzung der Zündtemperatur des Wärmeträgeröls daraus abgeleitet werden könnte. Wohl aber bestand eine deutlich erleichterte Zündbarkeit.

Zu 5.

Wird das in der Anlage umlaufende Wärmeträgeröl auf 300–320 °C (max.) erhitzt, so weist es einen Dampfdruck von 35 mbar auf. Ein Wärmeträgeröl hat bei diesen Temperaturen eine sehr niedrige Viskosität mit extremer Dünflüssigkeit. Die Fließfähigkeit von Wasser wird weit übertroffen. Tritt ein derartig hochoerhitztes Öl in feinst versprühter Form unter dem Pumpendruck aus dem geschlossenen Kreislauf aus, erfolgt spontan eine Ölnebelbildung mit sehr großer spezifischer Oberfläche. Das sind günstigste Bedingungen für eine schnelle Vermischung mit Luft und damit Bildung eines zündbaren und explosionsgefährlichen Gemisches.

Die Zündtemperaturen eines solchen Gemisches liegen bei 300–320 °C.

Diese kritischen Zündtemperaturen lagen im Heizraum an zahlreichen Stellen vor, z. B. lagen die Abgastemperaturen bei 420–430 °C, so daß am Rauchfuchs bzw. dessen Oberfläche Zündungen ausgelöst werden konn-

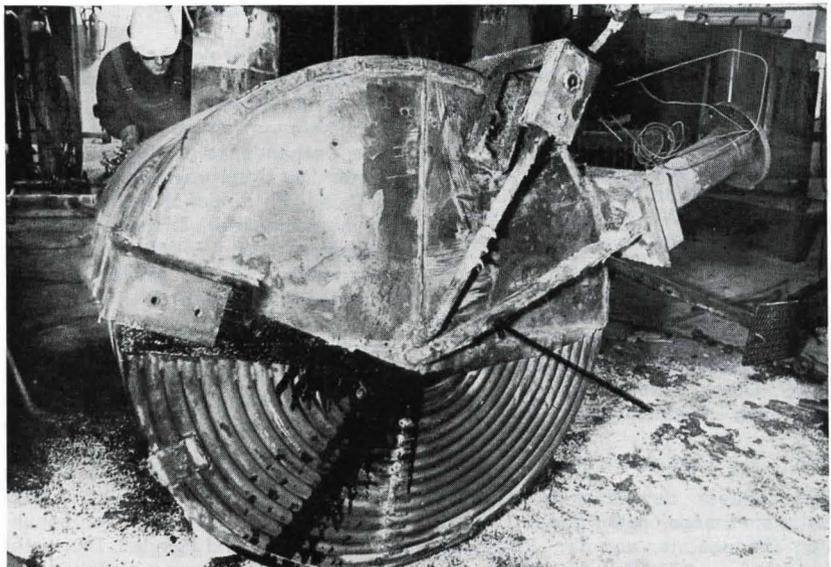


Bild 7. Blick auf das Rohrleitungssystem nach Teilentfernung des Innenmantels. Der Pfeil zeigt auf das Rohr, in dem der Schraubenbolzen (75 mm Länge) gefunden wurde.

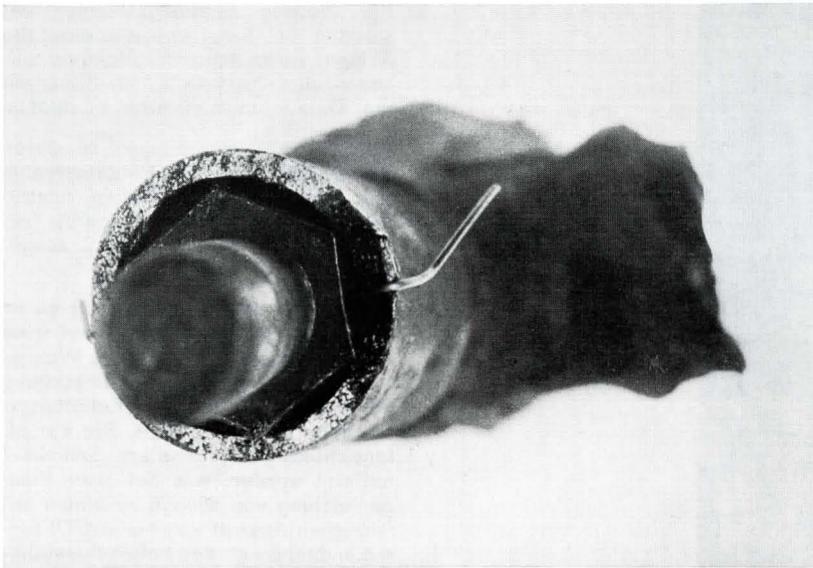


Bild 8. Der im Ölleitungsrohr zur Bodenschlange festsitzende Schraubenbolzen hemmte den Ölfluß.

Es handelte sich um einen ca. 7 Jahre alten Mehretagenbackofen, der zum Backen sämtlicher Backwaren, einschließlich Feinstbackwaren, geeignet war. Er wurde mit einer Trägerölaufanlage beheizt. Die jeweils erforderliche Trägeröltemperatur konnte an einem Thermostaten eingestellt und geregelt werden. Die umlaufende Trägerölmenge betrug 220 l. Sie wurde in einem Schlangenrohrkessel auf die erforderliche Vorlauftemperatur gebracht. Die von heißem Trägeröl durchflossenen Rohre am Boden des Etagenbackofens strahlten gleichmäßige Wärme in die einzelnen Etagen des Backofens ab. Durch dieses Heizprinzip wird eine sehr gleichmäßige Temperaturverteilung im Etagenofen gewährleistet.

Die Wärmeträgerölfüllung war bei Aufstellung des Ofens eingebracht worden. Durch den langfristigen Erhitzungsvorgang bei täglicher Benutzung des Etagenofens verdampfte laufend ein Teil des Öles. Diese Verluste wurden stets durch Auffüllen mit fabrikrischem Trägeröl ersetzt. Ein generelles Auswechseln der 7 Jahre alten Ölfüllung erfolgte jedoch nicht. Alljährlich wurde eine Ölprobe entnommen und zur chemischen Analyse dem Wärmeträgerölhersteller in Hamburg zugeleitet. Diese Untersuchungen führten zu keinen Beanstandungen.

Zum Schadenablauf

Der Inhaber des Bäckereibetriebes hatte am Explosionstag gegen 1.30 Uhr den Thermostaten von der „Ruheposition“ bei ca. 130 °C auf die Backtemperatureinstellung von 220/230 °C eingestellt. Diese Backtemperatur war in

der ersten Betriebsphase auch gehalten worden. Das Brötchenbacken verlief ohne Zwischenfall. Dann trat ein spontaner Temperaturabfall im Ofen ein, der einen gleichmäßigen Backvorgang in Frage stellte.

Für die nachfolgenden Backvorgänge mußte eine der jeweiligen Backware angepaßte Regelung der richtigen Backtemperatur erfolgen. Nach der langjährigen Erfahrung des Betriebsleiters mußte sich – erkennbar an der ungleichmäßigen Ofentemperatur – im Röhrensystem ein größeres Luftpolster gebildet haben, was zum Abreißen des Ölumlaufts führte und eine starke Ungleichmäßigkeit der Wärmeverteilung im Ofen zur Folge hatte.

Zur Behebung solcher Störungen ist am höchsten Punkt der Umlaufanlage eine Entlüftungsschraube angebracht. Durch sehr vorsichtiges Lösen wird ein etwa vorhandenes Luftpolster abgelassen. Die Unterbrechung im Ölstrom wird dadurch aufgehoben und ein zusammenhängender Ölumlauft wiederhergestellt. Diese Entlüftung muß sehr sachkundig und mit großer Umsicht durchgeführt werden.

Der Bäckergehilfe hielt eine größere Blechdose unter die Entlüftungsschraube. Durch vorsichtiges Drehen lockerte er die Schraube. Nach wenigen Umdrehungen wurde sie durch einen starken Strahl des umlaufenden heißen Öles herausgedrückt. Der Bäckergehilfe erlitt schwere Verbrennungen an Armen und Händen. Das unter hohem Druck herausschießende Öl verdampfte sofort und verteilte sich nebelartig im Backraum. An der offe-

nen Flamme des Heizkessels der Wärmeträgerölanlage trat eine spontane Zündung ein, die eine druckschwache Explosion des feinverteilten Ölnebels zur Folge hatte. Es entwickelte sich in der Folge ein sehr heftiger Brand.

Nach unseren Erfahrungen können an Wärmeträgerölen thermische Alterungsprozesse eintreten, die zu starken Änderungen der brandtechnischen Eigenschaften führen. Aus diesem Grunde wurden vergleichende Untersuchungen am Alt- und Frischöl der Anlage durchgeführt. Zunächst wurde überprüft, ob die langfristige Temperaturbelastung zu einer Flamm- bzw. Brennpunktveränderung geführt hat (Tabelle III).

Es liegt eine Absenkung des Flammpunktes um etwa 20 °C, des Brennpunktes um ca. 22 °C vor. Derartige Werte sind aber keineswegs typisch für einen brand- und selbstentzündungsgefährlichen thermischen Alterungsprozeß eines Wärmeträgeröls. Eine Selbstentzündung kann daher ausgeschlossen werden.

Die Entlüftungsschraube wies nur 3 bis 3½ Gewindegänge auf. Die Entlüftungsschraube befand sich genau über der Kesselanlage der Umlaufheizung. Das austretende Wärmeträgeröl hat mit Sicherheit den Folgebrand verursacht.

Fall III

Im Meßgerätewerk einer Firma war die Erwärmung der Bäder in der Galvanisierstraßenanlage der Beschichtungsabteilung kurz vor dem Schaden auf eine Wärmeträgerölanlage umgestellt worden. Es handelte sich um eine geschlossene Anlage mit einer Leistung von ca. 2 Mio kJ/h. Die Anlage war mit der vorgeschriebenen Sicherheitskette (Eintrittsthermostat, Arbeitsthermostat, Temperaturbegrenzer, Druckdifferenzkontrolle und Flammenwächter an der Brenneranlage) ausgerüstet und von der Aufsichtsbehörde für den Produktionsbetrieb freigegeben worden. Doch mußten noch laufend zahlreiche Nachregelungen an der Anlage durchgeführt werden, um sie den betrieblichen Anforderungen der Galvanisierstraße anzupassen.

In dem Raum, in dem das Ausdehnungsgefäß aufgestellt war, kam es zu einer druckstarken Explosion mit nachfolgendem heftigen Brand.

Die Untersuchung der Schadenstelle führte zu einer eindeutigen Schadenursache.

Nach dem allgemeinen Spurenbild lag eine sehr starke Überhitzung des gesamten Überlaufgefäßes vor. Sie war so stark, daß der Leichtmetallverschluß bis zum Schmelzfluß erhitzt und zerstört wurde. Die unmittelbare Folge

war ein intensiver Ölnebelaustritt in dem Aufstellungsraum des Gefäßes.

Die Öltemperatur im Überlaufgefäß hatte nach den Schmelzspuren und Kontrolluntersuchungen zu urteilen 340 °C weit überschritten. Es ergab sich somit für den Wärmeträgerölinhalt eine äußerst akut brandgefährliche Situation.

Die Zündung des sich schnell bildenden und homogen mit Luft mischenden Ölnebels erfolgte nach der Analyse des Brandspurenbildes an den stark überhitzten Wandungsbereichen des Ausdehnungsgefäßes. In der günstigen Gesamtsituation des Aufstellungsraumes konnte sich in kürzester Zeit ein hoch explosives Ölnebel-Luftgemisch aufbauen.

Die Untersuchung der Kesselanlage und des Wärmeträgeröles auf thermisch bedingte Abbauvorgänge mit erhöhter Zündneigung führte zu dem Ergebnis, daß keine akut brandgefährlichen Veränderungen am Öl vorlagen.

Die Überprüfung der Funktionstüchtigkeit der elektrischen Regel- und Sicherheitsorgane, d. h. die Regelkette der einzelnen Sicherheitsorgane, erwies sich nach dem Schaden noch als voll funktionstüchtig, so daß Einzelteile der Regel- und Sicherheitselementenkette den Schaden nicht ausgelöst haben konnten.

Nach Rekonstruktion der Gesamtsituation des Schadenablaufes ergab sich, daß vermutlich ein Schaltfehler in der Verkabelung der Sicherheitsorgane vorgelegen hat, der offensichtlich zum ständigen Weiterheizen des Wärmeträgeröles weit über den Siedepunkt hinaus geführt hat. Der Schaltfehler muß in einem Bereich gelegen haben, wo er das Ansprechen aller Sicherheits- und Überwachungsorgane blockieren konnte.

Eine Umfrage nach weiteren Brandschäden an Wärmeträgerölanlagen ergab, daß in der Fischbratindustrie und in der metallverarbeitenden Industrie eine Reihe von Bränden aufgetreten sind. Die Brandauslösungen, die meist ohne echte Explosionsvorgänge abliefen, in der Regel aber von schwachen Verpuffungserscheinungen begleitet wurden, konnten überwiegend auf das Vorliegen von Korrosionsspannungsrissen im öldurchflossenen Rohrsystem der Kesselanlage zurückgeführt werden. Bei der Untersuchung dieser Brände tauchte wiederholt das Dichtungsproblem an derartigen Anlagen auf.

Welche Schutzmaßnahmen sind nun aus den ermittelten Ursachen abzuleiten?

1. Es ist eingehend zu prüfen, ob die Kette der in den Vorschriften und Richtlinien geforderten Sicherheitsorgane uneingeschränkt in der Lage

ist, alle brand- und explosionsgefährlichen Betriebsstörungen zu beherrschen.

2. Der Maschinenraum, in dem derartige Anlagen installiert und betrieben werden, muß als explosionsgefährdeter Raum angesehen werden. Als solcher ist er mit ausreichend dimensionierten Druckentlastungsflächen in den Wänden bzw. dem Dach auszustatten (siehe Brandfall I und II).

3. Die Wärmeträgerörfüllung sollte laufend – mindestens einmal jährlich – auf thermische Zersetzungs- und Abbauvorgänge hin untersucht werden. Flamm- und Brennpunktüberprüfungen und wenn möglich gaschromatographische Untersuchungen sind erforderlich. Bei langer Betriebsdauer und hohen Betriebstemperaturen verändern die Wärmeträgeröle ihre Zündigenschaften. Das kann zu einer bedenklichen Senkung des Flamm- und Brennpunktes führen. Diese Veränderungen können zu selbstentzündungsgefährlichen Vorgängen führen.

4. Alle Dichtungen im Rohr- und Pumpensystem einer Wärmeträgerölanlage bedürfen einer ständigen sorgfältigen Kontrolle. Besonders eingehende Überwachungen sind bei Kühlömläufen mit hohen Drücken erforderlich. Derartige Anlagen befinden sich in allen Kraftwerken.

5. Alle Zu- und Abläufe sind mit einem dichtschießenden Blechrohr zu umhüllen, durch das die Verbrennung nicht unterhaltendes Inertgas (z. B. N₂) geblasen werden kann. Durch solche Maßnahmen ist es möglich, die sonst nur sehr schwer abzulöschenden Ölbrände im Entstehungsstadium zu ersticken. Auch lassen sich dadurch im-

mer wieder auftretende Rückzündungen vermeiden.

6. Zur brandtechnischen Sicherung derartiger Ömläufe sollte eine zweidimensionale wirkende Schutzanlage vorgesehen werden:

Eine erste Sprinklerdüsenreihe (Nebeldüsen) in der Nähe der öldurchflossenen Rohre, als zweite Schutzreihe sollten hinter den Nebeldüsen in Reihe „Vollkegeldüsen“ installiert werden. Durch die Kombination dieser beiden Düsen lassen sich Wärmeträgerölblände schlagartig löschen.

Von dem Einsatz einer stationär eingebauten Verschäumungsanlage für Leichtschaum wird abgeraten.

Zusammenfassung

Wärmeträgerölanlagen können aufgrund der Brennbarkeit der verwendeten Wärmeträgeröle Brand- und Explosionsschäden erheblichen Ausmaßes auslösen.

Aus Alterungsversuchen an verschiedenen Wärmeträgerölen ist abzuleiten, daß unter extremen Temperaturbelastungen in Verbindung mit Luft echte Selbstentzündungsprozesse mit höchster Brandgefahr möglich sind.

Wärmeträgerölanlagen bedürfen einer besonders sorgfältigen Wartung, Pflege und Kontrolle. Alle Sicherheits- und Brandschutzmaßnahmen sind laufend zu überprüfen.

Bei hoher Temperaturbelastung der Wärmeträgeröle sollte zweckmäßigerweise auf synthetische Wärmeübertragungsmittel zurückgegriffen werden, z. B. auf Diphyl. Das würde eine erhebliche Herabsetzung des Brandrisikos bedeuten.



Bild 9. Blick auf die zerstörten Ölpumpen.