

How Seemingly Normal Operating Conditions can Lead to Accidents

The control of process systems is usually based on the measurement of process variables such as temperature, pressure, quantity or level or certain material properties. The processing of the information determined by sensors in the process control system, the display of the data in the control room or at the control stand,

and the automatic or manual actuation of valves or pumps based on this information are the basis of all production processes. As a rule, these factors work together smoothly, but situations in which things go awry can arise. The following accident reports show how important the correct determination of measured variables is.

Wie scheinbar normale Anlagenzustände zu Unfällen führen können

Die Steuerung verfahrenstechnischer Anlagen basiert in der Regel auf der Messung von Prozessgrößen wie Temperatur, Druck, Menge bzw. Füllstand oder bestimmten Stoffeigenschaften. Die Verarbeitung der durch Sensoren ermittelten Informationen im Prozessleitsystem, die Anzeige der Daten in der Messwarte bzw. am Steuerstand sowie die daraus abgelei-

tete automatische oder manuelle Betätigung von Ventilen oder Pumpen sind die Grundlage jeglicher Produktionsprozesse. In der Regel funktioniert das hervorragend, aber in einigen Situationen kann das auch mal schief gehen. Wie wichtig die korrekte Bestimmung von Messgrößen ist, zeigen die nachfolgenden Unfallberichte.

Even seemingly normal operating conditions can lead to accidents. The control of process systems is usually based on the measurement of process variables such as temperature, pressure, quantity or level or certain material properties. The following accident reports show how important the correct determination of the measured variables is. Two important points should be noted before we begin. First of all, due to space constraints, the case studies highlight the causes and disregard some aspects that were definitely considered when the safety concept was drawn up or that contributed to an incorrect assessment of the situation. Second, hindsight is always clearer, and anyone might well have made the same mistakes in these situations. The use of "hindsight bias" – the distortion of an assessment that results from looking back at a past event – to assign blame quickly is unfair.

Case 1: Incorrect temperature measurement I

According to the display, the internal temperature in a reaction tank was only 100 °C despite full heating performance. Nevertheless, the operating personnel on site observed that the added solvent toluene was boiling violently, which meant that the temperature had to be 110.6 °C. The reaction batch was cooled down and the search for the cause of the false indication began.

Auch scheinbar normale Anlagenzustände können zu Unfällen führen. Die Steuerung verfahrenstechnischer Anlagen basiert in der Regel auf der Messung von Prozessgrößen wie Temperatur, Druck, Menge bzw. Füllstand oder bestimmten Stoffeigenschaften. Wie wichtig die korrekte Bestimmung der Messgrößen ist, zeigen die nachfolgenden Unfallberichte. Zwei wichtige Punkte sind dafür vorab anzumerken. Zum ersten: Die Fallbeispiele pointieren aus Platzgründen die Ursachen und lassen manche Aspekte außer Acht, die bei der Erstellung des Sicherheitskonzepts sehr wohl bedacht wurden bzw. die zu einer falschen Einschätzung der Situation beigetragen haben. Zum zweiten: Hinterher ist man immer schlauer und die Fehler anderer hätte man in der gleichen Situation möglicherweise selbst auch gemacht. Der „hindsight bias“, die Verzerrung der Einschätzung aus der Blickrichtung des Ereignisses zurück, wird einfachen Schuldzuweisungen nicht gerecht.

Fall 1: Fehlerhafte Temperaturmessung I

In einem Reaktionsbehälter betrug trotz voller Heizleistung die Innentemperatur laut Anzeige nur 100 °C. Dennoch beobachtete das Bedienpersonal vor Ort, dass das vorgelegte Lösemittel Toluol heftig siedete, weshalb die Temperatur 110,6 °C betragen musste. Der Reaktionsansatz wurde abgekühlt und nach der Ursache für die Falschanzeige gesucht.

It turned out that the temperature measurement probe had been serviced immediately before. The sensor was located in a corrosion-protection tube that should have been filled with a heat transfer medium. For unknown reasons, however, water had been used instead of the mandated thermal oil (with a high boiling point). Because the protection tube was not hermetically sealed, the water began to boil at 100 °C during the heating process, which led to the constant (false) display.

Case 2: Incorrect temperature measurement II

Leakage was detected during the leak test of a system. The leak was suspected to be in a long pipeline that was heated by two separate trace heaters. One of the two trace heaters was switched off and the insulation of the pipe section was removed so that workers could find the spot with the hole.

However, the electricity to the trace heater was not completely turned off and during the search for the leak, the insulation on some of the thermocouples on the trace heater still in operation was inadvertently stripped. Since a lower temperature was measured because of the removal of the thermal insulation, the control system increased the heating power to 100 percent. As a result, the pipeline and the insulation were heated to over 300 °C and the insulation caught fire due to the spontaneous ignition of impurities. The fire was extinguished immediately, and no further damage was caused.

Case 3: Incorrect pressure measurement

A tank that had been filled with a faulty batch required cleaning. When maintenance personnel opened the tank, the heavy hatch was suddenly blown off by the residual pressure in the tank, killing three employees. Filling with an off-spec product had led to a blockage of the vent line, which increased the pressure in the tank. The attached manometer did not register the pressure increase because the lead line was also blocked (Figure 1).



Fig. 1. Manometer for pressure monitoring.
Bild 1. Manometer zur Drucküberwachung.
Photo/Foto: ©Sergey Ryzhow – stock.adobe.com

Es stellte sich heraus, dass die Temperaturmesssonde unmittelbar zuvor gewartet worden war. Der Messfühler befand sich aus Korrosionsschutzgründen in einem Schutzrohr, das mit einem Wärmeübertragungsmedium gefüllt werden musste. Aus unbekanntem Gründen war hierfür jedoch nicht wie vorgeschrieben Thermalöl – mit einem hohen Siedepunkt – verwendet worden, sondern Wasser. Weil das Schutzrohr nicht hermetisch dicht verschlossen war, begann das Wasser während des Aufheizvorgangs bei 100 °C zu sieden, was zu der konstanten (Fehl-)Anzeige führte.

Fall 2: Fehlerhafte Temperaturmessung II

Bei der Dichtheitsprüfung einer Anlage wurde eine Leckage festgestellt. Die Undichtigkeit wurde in einer langen Rohrleitung vermutet, die mittels zweier getrennter Begleitheizungen beheizt wurde. Um die Stelle mit dem Loch zu finden, wurde eine der beiden Begleitheizungen ausgeschaltet und die Isolierung des Rohrleitungsstücks entfernt.

Die Begleitheizung war jedoch nicht komplett stromlos geschaltet worden und bei der Lecksuche wurden versehentlich auch einige Thermolemente an der noch in Betrieb befindlichen Begleitheizung abisoliert. Da durch die Entfernung der Wärmeisolierung eine niedrigere Temperatur gemessen wurde, erhöhte die Regelung die Heizleistung auf 100 %. Hierdurch wurden die Rohrleitung und die Isolierung auf über 300 °C erhitzt und die Isolierung geriet durch die Selbstentzündung von Verunreinigungen in Brand. Das Feuer konnte sofort gelöscht werden, es entstand kein weiterer Schaden.

Fall 3: Fehlerhafte Druckmessung

Nach der Befüllung eines Tanks mit einer Fehlcharge musste dieser gereinigt werden. Als Wartungspersonal den Tank öffnete, flog durch den Restdruck im Tank plötzlich die schwere Klappe weg, drei Mitarbeiter kamen dabei ums Leben. Durch die Befüllung mit einem Off-Spec-Produkt war es zu einer Verstopfung der Entlüftungsleitung gekommen, dadurch erhöhte sich der Druck im Tank. Das vorhandene Manometer registrierte den Druckanstieg nicht, weil die Zuleitung ebenfalls verstopft war (Bild 1).

Fall 4: Fehlerhafte Standmessung

Am Hybridverdampfer einer Ammoniak-Kälteanlage wurden Wartungsarbeiten ausgeführt. Dabei wurde eine Füllstandsmessung ausgewechselt, die als Überfüllsicherung diente.

Bei Wiederinbetriebnahme der Anlage blieb aus Unachtsamkeit die Absperrarmatur in der Leitung zwischen Hybridverdampfer und Füllstandsmessung geschlossen, wodurch die Abschaltfunktion außer Kraft gesetzt wurde. So kam es bei der Befüllung der Anlage zu einer Überfüllung des Hybridwärmeaustauschers mit flüssigem Kältemittel und in der Folge zu einem Gewaltbruch am Verdichter. Dadurch trat Ammoniak aus, wodurch 15 Personen verletzt wurden.

Fall 5: Fehlerhafte Mengemessung

Zur Synthese eines Zwischenprodukts sollten in einem Reaktionsbehälter bei Raumtemperatur mehrere Komponenten vorgelegt und bei laufendem Rührer zunächst über einen begrenzten Zeitraum gasförmiges CO₂ mit einem Durchfluss von rd. 100 l/min durch das Gemisch gepert werden. Die gewünschte Reaktion, die

Case 4: Incorrect level measurement

Maintenance work was performed on the hybrid evaporator of an ammonia refrigeration system. At that time, a level measurement device that served as overfill protection was replaced.

When the system was restarted, the shut-off valve in the line between the hybrid evaporator and the level measurement system was left closed due to carelessness, preventing the shut-off function from working. When the system was being filled, the hybrid heat exchanger was overfilled with liquid refrigerant, resulting in a violent rupture of the compressor. Ammonia was released and 15 people were injured.

Case 5: Incorrect quantity measurement

The synthesis of an intermediate product required the placement of several components in a reaction vessel at room temperature and, with the agitator running, the bubbling of gaseous CO₂ at a flow rate of approx. 100 l/min through the mixture for a limited period of time. The desired reaction, which was initiated by adding hydrogen peroxide, required a sufficient concentration of dissolved CO₂, which acts as a so-called phase transfer catalyst.

On the day of the incident, the CO₂ flow meter had to be replaced, at which time the maintenance personnel made a mistake. The new flow meter displayed different units of measurement than the previous one. The actual flow rate was only 8 l/min and the desired reaction did not occur because the CO₂ concentration was too low. This in turn led to an accumulation of hydrogen peroxide in the reaction mixture.

When the operating personnel noticed at the end of the dosing of hydrogen peroxide that the temperature did not rise as expected, they used the heating coils to heat the reactor. This initiated the decomposition of the hydrogen peroxide and a runaway reaction took place. Temperature and pressure rose sharply and 3 t of the reaction mixture escaped via the aeration line. Personnel were able to capture the mixture in the waste water collection basin and dispose of it properly. No one was exposed to this mixture and there was no pollution outside the plant.

Case 6: Incorrect pH measurement

Caustic soda was properly used to neutralise an acidic suspension and cause metallic impurities in the basic milieu to precipitate as hydroxides. The caustic soda was added via a plant pipeline network and was automatically stopped when the preset pH value was reached (Figure 2). The probes were automatically moved to the service position, where they were kept moist with rinsing liquid, when the tank level fell below 25% so that the sensitive pH probes were protected and the correct measurement of the pH value was assured.

On the day of the incident, workers forgot to activate the pH probes, and they remained in the service position. The process control system (PCS) could not distinguish whether the measured value of the pH probes corresponded to the real process value or that of the rinsing liquid. The inactive status of the pH probes had not been defined as a malfunction, so this position was not displayed as an alarm on the PCS, and no one noticed the line operation of the measurement probes. The consequences were a significant overdosage of caustic soda and a resulting chemical reaction with the formation of hydrogen.

anschließend durch Zugabe von Wasserstoffperoxid gestartet wurde, erforderte eine ausreichende Konzentration an gelöstem CO₂, das als sogenannter Phasen-Transfer-Katalysator wirkt.

Am Ereignistag musste der CO₂-Durchflussmesser ausgetauscht werden. Dabei unterlief dem Wartungspersonal ein Fehler. Der neue Durchflussmesser wies andere Messeinheiten auf als der vorherige. Daher betrug der reale Durchfluss nur 8 l/min und es kam nicht zur gewünschten Reaktion, da die CO₂-Konzentration zu gering war. Dies führte wiederum dazu, dass sich das Wasserstoffperoxid im Reaktionsgemisch anreicherte.

Als das Bedienpersonal am Ende der Dosierung des Wasserstoffperoxids bemerkte, dass die Temperatur nicht wie erwartet anstieg, erhitze es den Reaktor über die Heizschlangen. Dadurch wurde die Zersetzung des Wasserstoffperoxids initiiert und es kam zu einer durchgehenden Reaktion. Temperatur und Druck stiegen stark an und 3 t des Reaktionsgemischs traten über die Belüftungsleitung aus. Das Gemisch konnte im Abwassersammelbecken aufgefangen und ordnungsgemäß entsorgt werden. Es wurde niemand diesem Gemisch ausgesetzt und es erfolgte auch keine werksexterne Verschmutzung.

Fall 6: Fehlerhafte pH-Messung

In einem Rührbehälter wurde eine saure Suspension bestimmungsgemäß mit Natronlauge neutralisiert, um metallische Verunreinigungen im basischen Milieu als Hydroxide auszufällen. Die Zugabe der Natronlauge erfolgte über ein betriebliches Leitungsnetz und wurde bei Erreichen des voreingestellten pH-Werts automatisch beendet (Bild 2). Zum Schutz der empfindlichen pH-Sonden und zur Gewährleistung einer korrekten pH-Wert-Erfassung, wurden die Sonden bei einem Behälterfüllstand unter 25% automatisch in Service-Stellung gefahren, wo sie mit Spülflüssigkeit feucht gehalten wurden.

Am Ereignistag wurde das Aktivieren der pH-Sonden vergessen und sie verblieben in der Service-Stellung. Das Prozessleitsystem (PLS) konnte nicht unterscheiden, ob der Messwert der pH-Sonden dem realen Prozesswert oder dem der Spülflüssigkeit entsprach. Der inaktive Zustand der pH-Sonden war nicht als Störung definiert, sodass diese Stellung nicht im Alarmbereich



Fig. 2. Analyzer for pH value monitoring. // Bild 2. Messeinrichtung für die pH-Wert-Analyse. Photo/Foto: ©chinnawat – stock.adobe.com

The subsequent increase in pressure burst the container at a pressure of about 25 bar and the contents sprayed out as if through a nozzle. The thrust that developed tore the entire container from its anchors; it broke through a solid concrete wall and pieces were violently and widely scattered over the factory premises. At the same time, the released hydrogen ignited and a violent explosion occurred. Since the employees who were in the danger zone realised what was happening in time, they were able to get to safety and nobody was seriously injured.

Conclusion

The correct determination of measured variables has an enormous influence on the safety of process equipment. Possible causes for incorrect measurements should be carefully considered in the safety concept. Special care must be taken during maintenance work to ensure that the function of the readings recorders is not impaired. Operating personnel should be trained to report implausible indications immediately.

Author / Autor

Dr. Joachim Sommer, Berufsgenossenschaft Rohstoffe und chemische Industrie (BG RCI), Heidelberg

des PLS angezeigt wurde. Die Strichfahrweise der Messsonden wurde so nicht bemerkt. Dies führte zu einer deutlichen Überdosierung an Natronlauge, was zu einer chemischen Reaktion mit Bildung von Wasserstoff führte.

Durch den resultierenden Druckanstieg platzte bei etwa 25 bar Druck der Behälter auf und der Inhalt strömte wie durch eine Düse aus. Der dadurch hervorgerufene Impuls riss den ganzen Behälter aus seiner Verankerung, er durchschlug eine massive Betonwand und Teile flogen weit verstreut über das Werksgelände. Zugleich entzündete sich der austretende Wasserstoff und es kam zu einer heftigen Explosion. Da die Beschäftigten, die sich im Gefahrenbereich aufgehalten hatten, die Gefahr rechtzeitig bemerkten, konnten sie sich in Sicherheit bringen, sodass niemand ernsthaft verletzt wurde.

Fazit

Die korrekte Bestimmung von Messgrößen hat einen enormen Einfluss auf die Sicherheit verfahrenstechnischer Anlagen. Mögliche Ursachen für Fehlmessungen sollten im Sicherheitskonzept hinterfragt werden. Insbesondere bei Wartungsarbeiten ist darauf zu achten, dass die Funktion der Messwertaufnehmer nicht beeinträchtigt wird. Das Anlagenpersonal sollte sensibilisiert werden, unplausible Anzeigen unverzüglich zu melden.