

STABSTRAHLER- / PUNKTDETEKTOR- ANORDNUNG

Langanhaltende Prozessqualität durch
vorteilhafte Messanordnung



Einleitung

Bei der Planung einer radiometrischen Messung ist die technische Auslegung unerlässlich. Sie wird auf der Grundlage der Prozessbedingungen, der Prozessgeometrie, der Angaben des Kunden, der lokalen Hintergrundstrahlung, der Standortbedingungen und des verfügbaren Montageplatzes erstellt und entwickelt.

Für die Auslegung von radiometrischen Füllstands- oder Bandwaagen-Messungen wird in der Regel zwischen zwei Varianten unterschieden: die Kombination aus Punktstrahler und Stabdetektor (Abb. 1 oben), oder die Variante, bei der ein Stabstrahler und ein Punktdetektor verwendet werden (Abb. 1 unten).

Aufgrund des etwas günstigeren Anschaffungspreises fällt die Wahl häufig auf die Punktstrahler-Stabdetektoranordnung. Im Vergleich zu dieser Lösung bietet allerdings die Anordnung aus Stabstrahler (speziell mit Cobalt-60 (Co-60)) und Punktdetektor entscheidende Vorteile im Messbetrieb, worauf dieses Whitepaper im Folgenden eingeht.

Kalibrierung und Genauigkeit

Die Vorteile bei der Kalibrierung und der Messgenauigkeit werden hier am Beispiel von Füllstandmessungen erläutert. Da das zu messende Produkt die, von dem Strahler kommende, Gammastrahlung abschwächt, nimmt die gemessene Zählrate am Detektor mit steigendem Füllstand im Behälter entsprechend ab. Im Idealfall ist die Beziehung zwischen der gemessenen Zählrate und dem Füllstand im Behälter umgekehrt linear (siehe blau gestrichelte Linie in Abb. 2). Während der Kalibrierung bei Inbetriebnahme der Messung wird in der Regel nur eine Zweipunktkalibrierung durchgeführt, bei der die vom Detektor empfangene Gammastrahlung gemessen wird, während der Behälter leer bzw. voll ist. Um den Füllstand zwischen den Kalibrierpunkten zu berechnen, nimmt die Software eine lineare Beziehung zwischen der Zählrate am Detektor und dem Prozessfüllstand an. Somit entsteht eine lineare Kalibriergerade.

Im Falle der Punktstrahler-Stabdetektoranordnung, ist diese Annahme unzutreffend, da die tatsächliche Beziehung nicht linear und die Kennlinie gekrümmt ist (siehe rote Kennlinie in Abb. 2). Dies ist auf die Geometrie dieser Messanordnung zurückzuführen. Punktstrahler werden im Regelfall auf Höhe des 100% Füllstands montiert und die Gammastrahlung wird durch die Abschirmung so gebündelt, dass sie in einem Winkel von 45° nach unten austritt (siehe Abb. 1 oben). Folglich ist die Wegstrecke der Gammastrahlung zum unteren Teil des Behälters bzw. des Stabdetektors länger, als die zum oberen Teil. Zudem vergrößert sich durch die Schrägdurchstrahlung im unteren Behälterteil effektiv die Behälterwandstärke. Wie in Abb. 2 zu sehen, ergibt sich dadurch eine geringe Empfindlichkeit bei 0%, welche gegen 100% anwächst. Infolgedessen ist die tatsächliche Kennlinie für diese Anordnung gekrümmt, und die Genauigkeit im mittleren Füllstandbereich leidet bei einer Standard-Zweipunktkalibrierung und angenommener Linearität. In diesem Bereich befindet sich jedoch häufig der gewünschte Regelbereich des Prozesses. Demnach ist bei dieser Anordnung eine Mehrpunktkalibrierung anzuraten, um die aufgezeigten Messabweichungen im mittleren Füllstandbereich auszugleichen. Häufig wird jedoch diese Messwertabweichung als gegeben in Kauf genommen, da die Wiederholbarkeit der Ergebnisse davon nicht betroffen ist.

Im Gegensatz dazu kann mit einer Anordnung aus einem Co-60 Stabstrahler und einem Punktdetektor eine lineare Beziehung zwischen der Zählrate und dem Füllstand und damit auch eine konstante Messempfindlichkeit über den gesamten Messbereich erreicht werden. Dadurch ist eine Zweipunktkalibrierung über den gesamten Messbereich hinweg zuverlässig. Um diese lineare Beziehung zu erzielen, produziert der Hersteller Berthold Co-60 Stabstrahler

mit Aktivitätsverteilungen, die speziell für die vom Kunden spezifizierte Messaufgabe und Behältergeometrie ausgelegt sind. Dazu wird während der Strahlerfertigung die Wicklung eines aktivierten Co-60 Drahtes entweder weiter oder enger auf eine innenliegende Führungsstange (siehe Abb. 4) aufgebracht. Somit wird der kürzere bzw. längere Weg der Gammastrahlung durch den Behälter und die Behälterwände zum Detektor kompensiert. Die resultierende Kennlinie zeigt dann einen strenglinearen Verlauf und entspricht somit der optimalen Kennlinie (siehe Abb. 3). Aus diesem strenglinearen Kennlinienverlauf lassen sich deutliche Vorteile bei der Kalibrierung und der Messgenauigkeit ableiten. Zum einen ist bei Inbetriebnahme eine Zweipunktkalibrierung (Leer- und Vollzustand) ausreichend, wodurch sich der Aufwand für die Inbetriebnahme beträchtlich verringert. Zum anderen sind bei einer linearen Kennlinie Messwertabweichungen im mittleren Füllstandbereich ausgeschlossen, wodurch eine genauere und verlässlichere Messung erreicht wird.

Abb. 4 Stabstrahlerhülle mit innenliegender Führungsstange, umwickelt mit aktiviertem Co-60 Draht. Zu Darstellungszwecken wurde im Detailbild die Hülle aufgeschnitten.

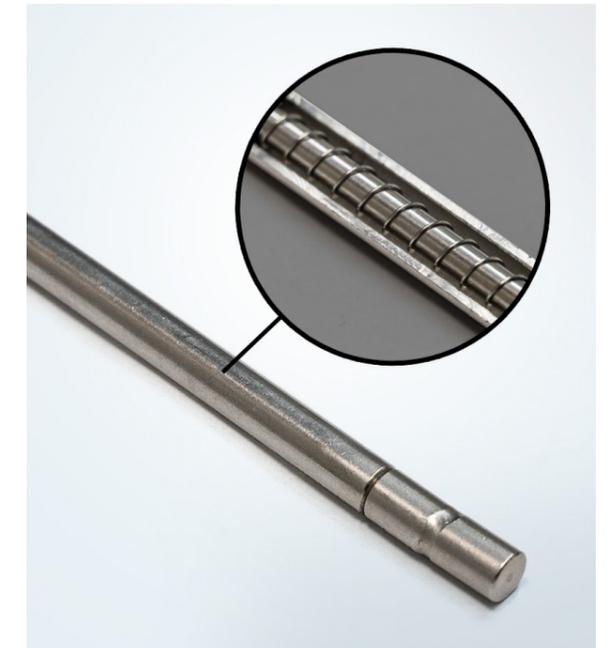


Abb. 1 Anordnungsbeispiele für radiometrische Füllstandmessungen

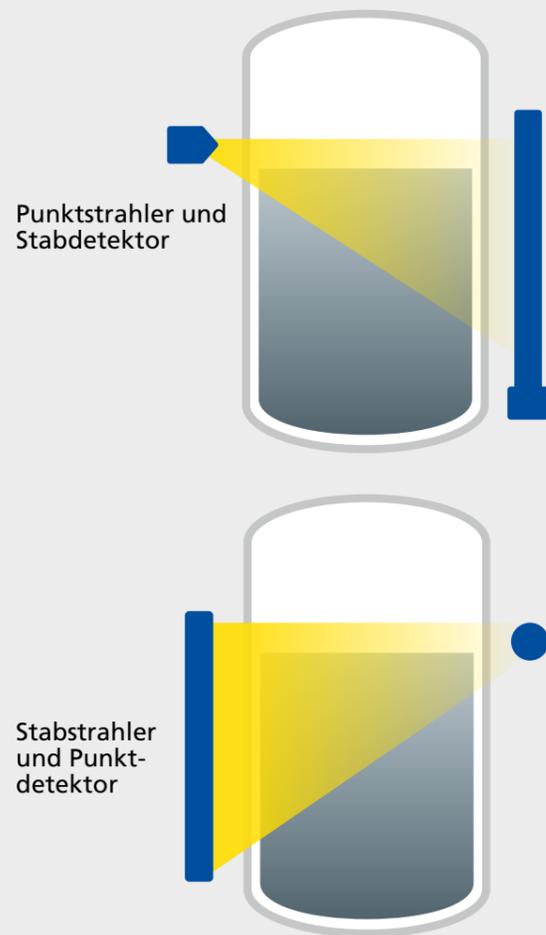


Abb. 2 Optimale Kennlinie (blau gestrichelt) im Vergleich mit der Kennlinie unter Verwendung eines Punktstrahlers und eines Stabdetektors (rot)

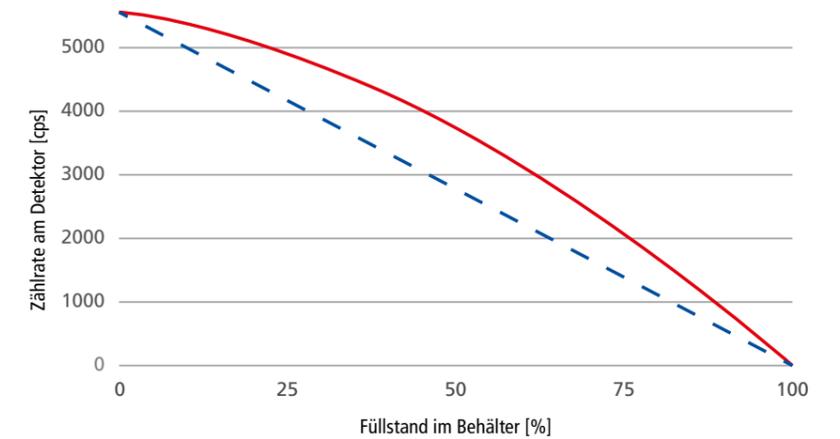
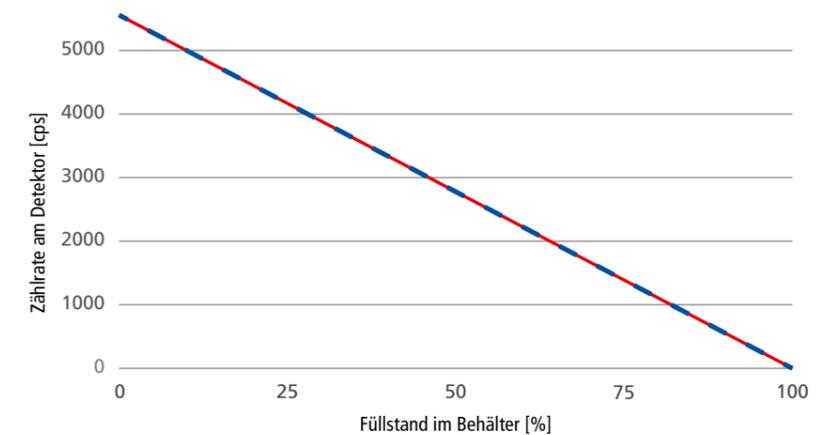


Abb. 3 Optimale Kennlinie (blau gestrichelt) deckungsgleich mit Kennlinie unter Verwendung eines Stabstrahlers und eines Punktdetektors (rot)



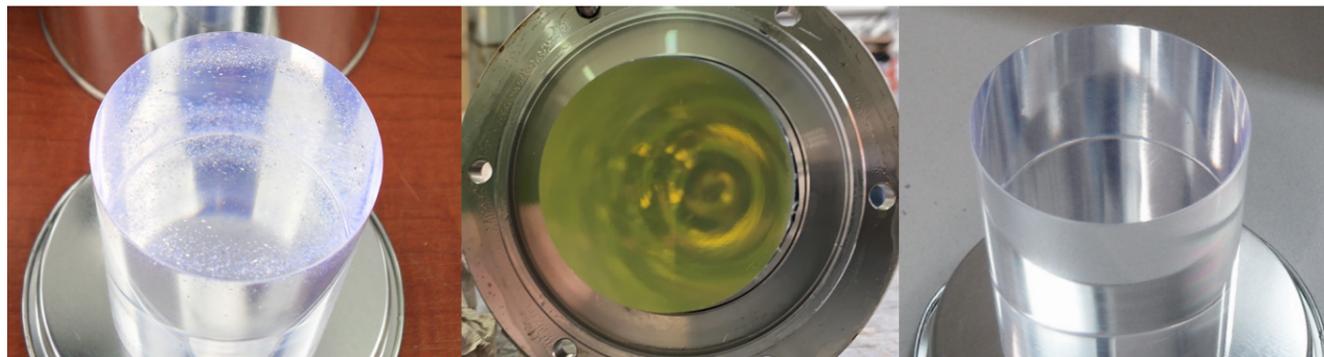
Langzeitstabilität

Punkt-detektoren, üblicherweise verwendet in Anordnungen mit Stabstrahlern, bieten im direkten Vergleich zu Stabdetektoren deutlich bessere Langzeit- und Temperaturstabilität, worauf im Folgenden eingegangen wird.

Sowohl in Punkt-detektoren als auch in Stabdetektoren ist ein Szintillator verbaut, der den für Gammastrahlung sensitiven Bereich beschreibt. Im Szintillator werden durch die einfallende ionisierende Strahlung der radioaktiven Quelle indirekt mehrere Lichtblitze (Photonen) erzeugt. Am angrenzenden Photomultiplier werden durch die ankommenden Photonen Elektronen aus der Photokathode geschlagen, welche daraufhin im Photomultiplier vervielfältigt werden. Anschließend kann an der Anode ein messbarer Stromimpuls abgenommen werden.

Als Szintillationsmaterial ist in Punkt-detektoren bis auf wenige Ausnahmen ein mit Thallium dotierter Natriumjodid-Kristall von max. 125 mm Länge verbaut. Stabdetektoren benötigen hingegen deutlich längere Szintillatoren (500 mm bis 3000 mm), weshalb hier ein Polymermaterial Verwendung findet. Mit zunehmendem Alter des Detektors oder durch extreme Umgebungseinflüsse (hohe Temperaturen, Stöße, Wassereintritt etc.) altert das Szintillationsmaterial. Im Falle von Polymerszintillatoren wird die Materialalterung in Form von Trübungen, Verfärbungen und veränderten Reflexionseigenschaften an der Oberfläche sichtbar (Abb. 5). Diese Alterungseffekte stehen bei Stabdetektoren in direktem Zusammenhang mit einer abnehmenden Lichtleitung zum Photomultiplier. Weiterhin liegt aufgrund des großen Szintillators über die Gesamtlänge des Detektors ein Empfindlichkeitsgradient vor. Dabei ist die Empfindlichkeit auf der Seite, auf der die Elektronik des Detektors installiert ist, höher als an der entgegengesetzten Detektorseite. Durch die beschriebene Szintillatoralterung wird dieser Empfindlichkeitsgradient im Laufe der Zeit zudem verstärkt. Dadurch verändert sich folglich die resultierende Kennlinie und eine Nachkalibrierung kann erforderlich werden.

Abb. 5 Trübung (links) und Verfärbung (Mitte) von Polymerszintillatoren im Vergleich zu einem unveränderten Polymerszintillator (rechts)



Um der nachlassenden Lichtleitung durch Materialalterung entgegenzuwirken haben die Hersteller von Stabdetektoren spezielle Lösungen entwickelt, z. B. eine spezielle Reflektorfolie. Diese wird bei Stabdetektoren um den Szintillator herum angebracht, die die Reflexion zwar steigert, aber den Alterungseffekt letztlich nicht völlig ausgleichen kann. Zusätzlich zu dieser Reflektorfolie arbeitet bei Stabdetektoren des Herstellers Berthold im Hintergrund der Messung durchgängig eine eigens entwickelte und patentierte Höhenstrahlreglung. Die Höhenstrahlreglung überwacht die Messung und durch Nachsteuern der Hochspannung im Photomultiplier werden Alterungs- und Temperatureffekte deutlich reduziert.

Im Falle von Natriumjodid-Kristallen dauert die Alterung aufgrund der kristallinen Struktur, der geringeren Größe und der vollständigen Umhüllung des Materials wesentlich länger und erfordert extremere Bedingungen. Aufgrund der kleinen Szintillatortgröße existiert, im Vergleich zu Stabdetektoren, kein solcher Empfindlichkeitsgradient bei Punkt-detektoren. Hier deckt nicht der Detektor, sondern der Strahler die Länge des Messbereichs ab. Ebenfalls wird durch die anorganische Kristallstruktur der Natriumjodid-Szintillatoren ein höheres Stabilitätsniveau erzielt, welches mit Polymer-Szintillatoren nicht erreicht werden kann. Somit erhält der Anwender bei der Stabstrahler-Punkt-detektoranordnung ein, über lange Zeit, zuverlässiges und wiederholbares Messergebnis, ohne dass eine Nachkalibrierung erforderlich ist.

Prozesseinflüsse unterdrücken

Im laufenden Prozess gibt es häufig Einflüsse, die zu einer Messwertverfälschung beitragen können, z. B. Wandabkühlungen und Gasdruckschwankungen bei Füllstandsmessungen oder Prozessablagerungen und Verschmutzungen bei Bandwaagenmessungen. Diese Variablen beeinflussen die Absorption der vom Strahler ausgesendeten Gammastrahlung. Speziell bei Gammastrahlung von Cäsium-137 (Cs-137), deren Energie halb so groß ist, wie die der Gammastrahlung von

Co-60, wirkt sich dieser Effekt schnell im angezeigten Messwert aus. Eine radiometrische Messung mit Co-60 reagiert durch die höhere Gammaenergie deutlich weniger empfindlich auf die genannten Einflüsse. Bei Punktstrahlern wird häufig das Isotop Cs-137 eingesetzt, weshalb in diesen Fällen von stärkeren Beeinflussungen auszugehen ist. Im Vergleich dazu wird bei Stabstrahlern im Regelfall das Isotop Co-60 eingesetzt, wodurch die Messung deutlich weniger beeinflussbar ist, und der Messwert den tatsächlichen Füllstand oder die tatsächliche Beladung abbildet.

Störanfälligkeit verursacht durch Schweißnahtprüfungen

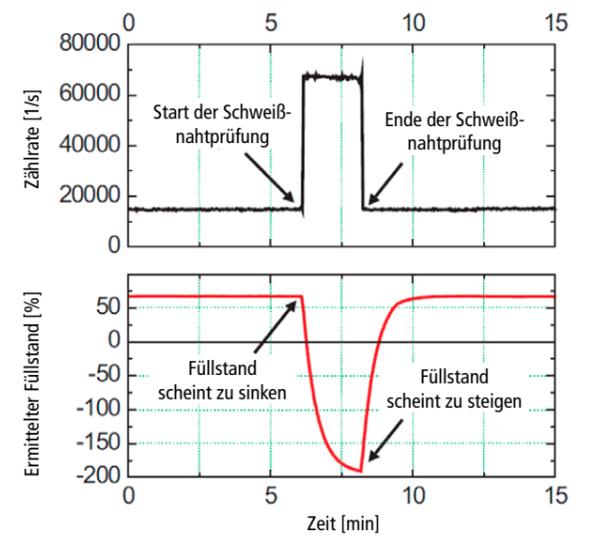
Schweißnahtprüfungen werden in vielen Fällen mit starker Gammastrahlung (vorwiegend Iridium-192 oder Selen-75) durchgeführt, die auch radiometrische Messungen über hunderte Meter beeinflussen kann, indem sich die Zählrate am Detektor stark erhöht und dadurch der Messwert verfälscht wird. Diese Beeinflussung führt dazu, dass z. B. bei Füllstandmessungen der Messwert gegen 0% oder sogar unter 0% läuft (siehe Abb. 6) und bei Bandwaagenmessungen die Beladung zu niedrig ausgegeben wird. Wie stark die Beeinflussung ausfällt, hängt von der Messanordnung, dem eingesetzten Detektor und der Entfernung zur Schweißnahtprüfung ab.

In Kombination mit Stabstrahlern werden üblicherweise Punkt-detektoren verwendet. Diese haben, wie bereits beschrieben, ein sehr kleines Szintillatorvolumen. Die Gammastrahlung von Schweißnahtprüfungen muss demnach dieses kleine Volumen treffen, um einen Einfluss auf die Messung zu erzielen. Stabdetektoren haben hingegen ein sehr großes Volumen, wodurch sie zu allen Seiten weitaus empfindlicher werden, falls keine schweren Stabdetektorabschirmungen verwendet werden. Dadurch sind sie sehr empfindlich für die Gammastrahlung von Schweißnahtprüfungen. Darüber hinaus können Punkt-detektoren durch kleine Detektorabschirmungen (sog. Kollimatoren), die nur Strahlung von der Produktseite kommend zulassen, sehr einfach und wirkungsvoll abgeschirmt werden. Dies führt zu einer zusätzlichen Immunisierung der Punkt-detektoren gegen Schweißnahtprüfungen.

Zudem bietet z. B. der Hersteller Berthold, bei Verwendung von Co-60 Strahlern in Kombination mit RID¹-fähigen Auswertegeräten (z. B. LB 470RID), die Funktion der Störstrahlungsunterdrückung RID an. RID ermöglicht es, selbst bei Schweißnahtprüfungen ungestört den Füllstand weiter zu überwachen, sofern die für die Schweißnahtprüfung verwendete Gammastrahlung energetisch ungleich zu der von Co-60 ist. Falls die verwendete Gammastrahlung energetisch

gleich ist oder falls Cs-137 Strahler zur Füllstandsmessung verwendet werden, bietet Berthold die Störstrahlungserkennungsfunktion XIP² an. Mit XIP wird bei Erkennung von Störstrahlung ein Alarm ausgegeben und der Messwert eingefroren, um somit verfälschte Messwerte zu vermeiden. Nachdem das Störstrahlungseignis beendet ist, wird der Messwert wieder freigegeben und die Messung misst automatisch weiter. Während des Ereignisses kann jedoch der laufende Prozess nicht radiometrisch überwacht werden.

Abb. 6 Der Einfluss von Schweißnahtprüfungen mit starker Gammastrahlung auf Füllstandmessungen mit Stabdetektoren



Einfluss von Hintergrundstrahlung

Abhängig von der geografischen Lage und den örtlichen Gegebenheiten, liegt neben der beschriebenen kurzzeitigen Störstrahlung z. B. durch Schweißnahtprüfungen, auch dauerhaft eine Hintergrundstrahlung vor. Zu unterscheiden ist hierbei zwischen natürlicher und künstlicher Hintergrundstrahlung.

Natürliche Hintergrundstrahlung wird hauptsächlich durch kosmische oder terrestrische Strahlung verursacht. Während die Wirkung der kosmischen Strahlung konstant ist, kann die terrestrische Hintergrundstrahlung in Abhängigkeit von der geografischen Lage und Wetter-situation stark variieren. Radionuklide der Thorium- und Uranzerfallsreihe sowie Kalium-40 sind natürliche Bestandteile der Erdkruste, weshalb sich weltweit die Strahlendosis, je nach der im Untergrund vorhandenen Gesteinszusammensetzung, stark unterscheidet. Speziell das Edelgas Radon trägt mit seinen Radioisotopen maßgeblich zur terrestrischen Hintergrundstrahlung bei. Das stabilste Isotop ist dabei Radon-222, mit einer Halbwert-

zeit von 3,82 Tagen, welches als Tochternuklid und einziges gasförmiges Element in der Uranzerfallsreihe auftritt. Radon ist ein sehr mobiles Gas, welches frei durch Böden diffundieren kann und somit in die Atmosphäre freigesetzt wird. Zudem wird Radon durch Niederschläge zusätzlich aus der Atmosphäre ausgewaschen, wodurch es sich in Bodennähe anreichert. Rn-222 ist ein reiner Alphastrahler. Es zerfällt nach und nach in seine verschiedenen Tochternuklide, die mitunter durch Aussendung von Gammastrahlung weiterzerfallen. Bei Regen kann sich folglich kurzzeitig die Hintergrundstrahlung nahezu verdoppeln.

Künstliche Hintergrundstrahlung kann z. B. von weiteren radiometrischen Messungen in direkter Umgebung stammen, aber auch von radioaktivem Messgut, welches in benachbarten Prozessen verarbeitet wird. Dadurch erhöht sich die gemessene Hintergrundstrahlung zusätzlich.

Je nach Messanordnung und Aktivität beeinflusst diese zusätzliche, prozessunabhängige Strahlung mehr oder weniger stark die radiometrische Messung, speziell bei nachlassender Aktivität des verwendeten Strahlers.

Aufgrund der erwähnten großen Szintillatorlänge von Stabdeteektoren, werden sie durch erhöhte oder schwankende Hintergrundstrahlung stärker beeinflusst, insbesondere bei schwächer werdendem Strahler. Punktdeteektoren hingegen sind aufgrund des kleineren empfindlichen Bereiches und einfacher Abschirmung durch einen Kollimator deutlich weniger stark beeinflussbar.

Ersatzteilkhaltung

Im Fehlerfall zahlt es sich aus einen Ersatzdetektor vorrätig zu haben, um sofort handeln und den Prozess schnellstmöglich wieder überwachen zu können. Werden eine Vielzahl von Prozessen mit Stabdeteektoren überwacht, kann sich die Ersatzteilkhaltung erschweren, denn die Detektorlänge wird individuell dem Messbereich angepasst. Dadurch kann es dazu kommen, dass in einem Betrieb mehrere Stabdeteektoren unterschiedlicher Länge verwendet und gelagert werden. Für diesen Fall würde eine Vielzahl verschiedener Ersatzdetektoren benötigt werden. Dieser Umstand kann durch den Einsatz von Stabstrahlern in Kombination mit Punktdeteektoren vermieden werden, denn dabei wird der Stabstrahler, der am Messort verbleibt und keine Ersatzteilkhaltung benötigt, dem Messbereich angepasst. Der Punktdetektor hingegen ist immer von gleicher Größe. Somit ist es ausreichend nur einen Detektortyp zu bevorraten, der für alle Messungen mit Stabstrahlern eingesetzt werden kann. Die kleine Bauform von Punktdeteektoren hat zudem den Vorteil, dass sie wenig Lagerplatz in Anspruch nehmen und im Fehlerfall mit geringem Aufwand ausgetauscht werden können.

Sicherheit und Nachhaltigkeit

Die für Stabstrahler verwendete Co-60 Legierung ist sicher in einem dicht verschweißten Gehäuse aus rostfreiem Stahl gekapselt. Die Norm ISO 2919 qualifiziert die Strahlenquellen nach ihren Sicherheitsmerkmalen. Co-60 Stabstrahler erreichen die höchste erreichbare Sicherheitsklassifizierung C-66646.

Im Hinblick auf die Entsorgung radiometrischer Quellen nach ihrer Einsatzdauer, ist Co-60 aufgrund der kürzeren Halbwertszeit von 5 Jahren von Vorteil. Innerhalb von 50 Jahren wird Co-60 auf etwa 1/1000 seiner ursprünglichen Aktivität abgeklungen sein. Bei Cs-137, auf der anderen Seite, dauert es 300 Jahre, bis dieser Zustand erreicht ist.

Argumente gegen Co-60 Strahler

Aus Wettbewerbsgründen werden gerne Argumente gegen Co-60 Stabstrahler angeführt, um die weit verbreiteteren Cs-137 Punktstrahler hervorzuheben. Diese Argumente werden im Folgenden vorgestellt und deren Schwachstellen aufgezeigt.

Stabstrahler sind im Vergleich sehr teuer

Messungen mit Stabstrahlern sind etwas teurer. In der Regel liegt die Preisdifferenz zwischen einer Stabstrahler-Punktdetektor- und Punktstrahler-Stabdeteektoranordnung zwischen 15–30% abhängig vom Messbereich. Bei kurzen Messbereichen ist die Preisdifferenz höher, wohingegen bei längeren Messbereichen die Differenz abnimmt, da dann bei einer vergleichbaren Anordnung mit Stabdeteektoren auch mehrere Punktstrahler eingesetzt werden müssten.

Zudem amortisieren sich die etwas höheren Anschaffungskosten unter Umständen recht schnell, wenn beispielsweise durch die oben genannten Vorteile eine Verbesserung des Produktionsprozesses oder eine Verringerung von Ausfallzeiten erreicht werden können.

Sehr kurze Lebensdauer aufgrund kurzer Halbwertszeit

Bei der Angabe der Lebensdauer werden zwei Gesichtspunkte berücksichtigt: die Lebensdauer aus der Sicht des Strahlenschutzes und die Lebensdauer aus messtechnischer Sicht. Aus Strahlenschutzgründen besteht die Forderung, dass eine Strahlerkapselung über ihre Lebensdauer gesehen dicht sein muss. Unter Beachtung der einschlägigen Norm ISO 2919 haben z. B. die Strahler von Berthold eine empfohlene Einsatzdauer von 15 Jahren. Aus technischer Sicht kann ein Strahler so lange betrieben werden, bis aufgrund des radioaktiven Zerfalls die statistische Schwankung zu hoch ist und

eine weitere Erhöhung der Zeitkonstante nicht mehr möglich ist, da die Reaktion der Messung auf Prozessänderungen ansonsten zu träge werden würde.

Oft wird aber fälschlicherweise die Halbwertszeit des Co-60 Nuklids mit der Lebensdauer einer radiometrischen Co-60 Quelle gleichgesetzt. Die Halbwertszeit von etwa 5 Jahren bedeutet nicht, dass der Strahler nach Ablauf einer Halbwertszeit nicht mehr eingesetzt werden kann, sondern sie bedeutet, dass der Strahler lediglich die Hälfte seiner ursprünglichen Aktivität verloren hat. Dieses Missverständnis wird oft als gängiges Argument verwendet, welches besagt, dass die Lebensdauer von Co-60 Stabstrahlern zu kurz sei. Ebenfalls ist hier zu bedenken, dass Co-60, im Vergleich zu Cs-137, eine um etwa Faktor 2 höhere spezifische Gammaenergie aufweist und zudem pro Zerfall zwei Gammaquanten aussendet werden (Gammaenergie Co-60: 1173/1332 keV; Cs-137: 660 keV). Mit Co-60 wird somit deutlich weniger Strahlung vom Messgut abgeschwächt. Um die gleiche gemessene Zählrate am Detektor zu erzielen, wird bei Co-60 eine geringere Aktivität und demnach weniger der tatsächlichen Menge des radioaktiven Materials, als bei Cs-137 benötigt.

Alle bekannten Hersteller von radiometrischen Gammastrahlern empfehlen eine Betriebszeit von 15 Jahren, die sowohl für Co-60 als auch für Cs-137 Strahler gilt. Bei optimaler Auslegung der radiometrischen Messung, können bei Verwendung von Co-60 Strahlern demnach drei Halbwertszeiten vergehen, bis die Quelle getauscht werden sollte.

Folglich ist festzuhalten, dass unabhängig vom eingesetzten Nuklid, jede Messung in ihrer Anfangsaktivität so ausgelegt werden kann, sodass sie die geforderte Lebensdauer von üblicherweise 10–15 Jahren erreicht.

Stabstrahlerabschirmungen sind sehr schwer zu montieren

Weiterhin wird das Argument angebracht, dass Abschirmungen für Stabstrahler aufgrund des hohen Gewichts sehr schwer zu montieren seien. In der Tat ist die Montage von Stabstrahlerabschirmungen anspruchsvoller als die für Punktstrahler, allerdings ist es nur eine einmalige Aufwendung, welche in keinem Verhältnis zu den Vorteilen steht, die ein Betreiber anschließend über viele Jahre hat.

Wie bereits weiter oben beschrieben, reagieren Stabdeteektoren im Vergleich zu Punktdeteektoren aufgrund des großen Szintillatorvolumens sehr empfindlich auf Störstrahlung z. B. durch Schweißnahtprüfungen. Neben der beschriebenen Störstrahlungserkennung und -unterdrückung besteht für den Betreiber auch die Möglichkeit Stabdeteektoren durch Stabdeteektorabschirmungen vor Störstrahlung zu schützen. Somit könnte auch bei Verwendung von Cs-137 Punktstrahlern während Störstrahlungsereignissen der Prozess weiter überwacht werden. Diese Abschirmungen sind vergleichbar schwer zu montieren, wie die Abschirmungen von Stabstrahlern. Somit schwächt sich das Argument, dass Stabstrahlerabschirmungen sehr schwer zu montieren seien, ab.

Fazit

Auf Basis der dargestellten Punkte ist festzuhalten, dass eine Stabstrahler-Punktdeteektoranordnung viele Vorteile mit sich bringt, die mit einer Punktstrahler-Stabdeteektoranordnung nicht erzielt werden können. Durch seltenere Produktionsausfälle, einfachere und dadurch günstigere Ersatzteilkhaltung, erhöhte Langzeit- und Temperaturstabilität und anhaltende Prozessqualität, amortisieren sich für den Betreiber die höheren Anschaffungskosten bereits in kurzer Zeit.

Demnach ist es anzuraten, dass der Betreiber vor der Anschaffung einer radiometrischen Messung die Vor- und Nachteile der Messanordnungen gegeneinander abwägt, Vergleichsangebote für beide Messanordnungen einholt und auch mögliche Folgekosten berücksichtigt, um für den Prozess die beste Messanordnung zu finden.

Referenzen

- Knoll, Glenn F., „Radiation Detection and Measurement“, 4th Edition, Wiley, Sep. 2010. ISBN 978-0-470-13148-0
- R. J. Cameron, B. G. Fritz, C. Hurlbut, R. T. Kouzes, A. Ramey and R. Smola, „Fogging in Polyvinyl Toluene Scintillators“ in IEEE Transactions on Nuclear Science, vol. 62, no. 1, pp. 368-371, Feb. 2015. Doi: 10.1109/TNS.2015.2390076



DIE EXPERTEN FÜR PROZESSMESSTECHNIK

Berthold Technologies steht für exzellentes Know-how, hohe Qualität und Zuverlässigkeit. Der Kunde steht bei unserer Lösung immer im Mittelpunkt. Wir kennen unser Geschäft! Mit unserem vielfältigen Produktportfolio, unserem enormen Fachwissen und unserer langjährigen Erfahrung entwickeln wir gemeinsam mit unseren Kunden passende Lösungen für neue, individuelle Messaufgaben in den unterschiedlichsten Branchen und Anwendungen. Berthold Technologies ist seit 70 Jahren auf radiometrische Prozessmessungen spezialisiert. Dies ist unsere Kernkompetenz mit hochmodernen und innovativen Produkten und Lösungen für eine Vielzahl von Branchen und Anwendungen.

Wir sind für Sie da – weltweit!

Die Ingenieure und Servicetechniker von Berthold Technologies sind immer vor Ort, wenn sie gebraucht werden. Unser globales Netzwerk sichert Ihnen im Bedarfsfall eine schnelle und vor allem sehr kompetente Unterstützung. Wo auch immer Sie sich befinden, unsere hoch qualifizierten Experten und Spezialisten stehen bereit und sind in kürzester Zeit bei Ihnen, um mit der idealen Lösung selbst die schwierigsten Messaufgaben zu meistern.

Berthold Technologies GmbH & Co. KG

Calmbacher Straße 22 · 75323 Bad Wildbad · Germany
+49 7081 1770 · industry@berthold.com · www.berthold.com

