

FREMDSTRAHLUNGS- UNTERDRÜCKUNG (RID)

Umgang mit Störstrahlung bei
radiometrischen Füllstandsmessungen



Einführung

Radiometrische Messungen für industrielle Prozesse haben sich seit vielen Jahren bewährt und stellen ein Standardverfahren dar, wenn es um die Durchführung schwierigster Füllstands-, Dichte- und Durchsatzmessungen geht. Sie funktionieren dort, wo alle anderen Technologien an ihre Grenzen stoßen und liefern hervorragende Ergebnisse selbst unter unwirtlichen und rauen Bedingungen. Hohe Temperaturen, Drücke und andere kritische industrielle Prozessbedingungen stellen in der Regel kein Problem für eine nukleare Messung dar. Typische Messaufgaben sind z.B. Füllstandsmessungen in Reaktoren oder jeglicher Art von Behältern oder Tanks, Dichtemessungen, Trennschichtmessungen in Ölabscheidern oder die Messung des Feuchtigkeitsgehaltes. Auch als berührungsloser Endschalter können diese verwendet werden.

Was ist eine radiometrische Messung?

Radiometrische Messungen arbeiten nach einem einfachen, aber ausgeklügelten Konzept – dem Prinzip der Absorption.

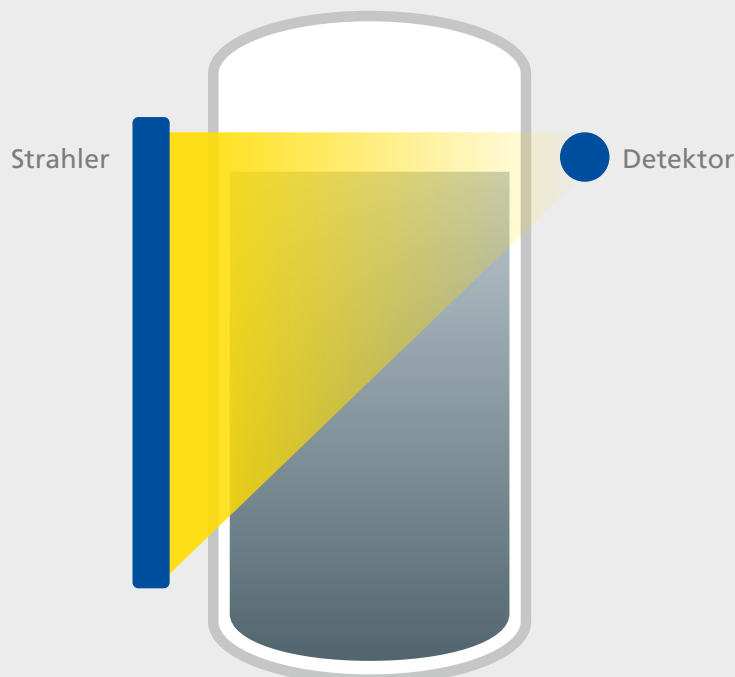
Eine typische radiometrische Messung besteht aus

- einer Strahlenquelle, die ein dicht umschlossenes Radioisotop enthält und lediglich γ -Strahlung aussendet und
- einem Detektor, der in der Lage ist, γ -Strahlung zu erkennen und die Intensität zu bestimmen.

Nachdem der Behälter mit dem zu untersuchenden Prozessmaterial durchdrungen wurde, wird die Strahlung anschließend mit einem Detektor gemessen. Wenn sich kein oder nur wenig Material im Strahlengang befindet, bleibt die Strahlungsintensität am Detektor hoch. Befindet sich Material im Strahlengang, wird die Strahlungsintensität abgeschwächt. Die vom Detektor erfasste Strahlungsmenge wird dann zur Berechnung des gewünschten Prozesswertes verwendet. Dieses Prinzip gilt für praktisch jede radiometrische Messung.

Die radiometrische Messtechnik ist in hohem Maße reproduzierbar und aufgrund der Anwendbarkeit der Gesetze der Physik und Statistik sowie ausgeklügelter Software sind diese Messungen äußerst zuverlässig. Angesichts der Vorteile dieser berührungslosen und nicht-invasiven Technologie ist die nukleare Messtechnik die führende Methode für schwierigste und anspruchsvollste Prozessmessenwendungen.

Abb.1 Schema einer radiometrischen Messung



Radiometrische Messung

Strahlungsquellen

Es gibt viele natürliche und künstliche Isotope, nicht alle werden jedoch für radiometrische Messungen verwendet. Für industrielle Anwendungen werden tatsächlich nur wenige Nuklide zu Messzwecken eingesetzt. Das radioaktive Isotop befindet sich in einer dichten Kapsel – die Quelle – und emittiert nur γ -Strahlung. Diese Quelle wiederum ist in einer robusten, stahlmantelten Bleiabschirmung eingebaut, um maximale Sicherheit zu gewährleisten. Die Abschirmung schirmt die vom radioaktiven Isotop emittierte Strahlung ab und gibt die Strahlung nur in Richtung des vorgesehenen Messweges frei. Mithilfe einer kleinen Öffnung in der Abschirmung kann der kollimierte Strahl in verschiedenen Winkeln in das Rohr oder den Behälter projiziert werden. Dies garantiert eine hohe Messqualität bei minimaler möglicher Strahlenbelastung des Personals. Grundsätzlich gilt das ALARA-Prinzip (As Low As Reasonably Achievable) für maximale Arbeitssicherheit für alles, was mit Radioisotopen zu tun hat.

Detektoren

Der Strahlungsdetektor enthält einen Kristall aus einem speziellen Polymer-Material oder einen anorganischen Kristall, wie dotiertes Natriumjodid. Dieser Kristall wird Szintillator genannt. Der Szintillator wandelt die einfallenden Gammaquanten in Lichtblitze um. Durch die optische Ankopplung des Kristalls an eine Photomultiplier-Röhre wird das Licht dort in elektrische Impulse umwandelt. Während der Vakuum-Photomultiplier seit Jahrzehnten erfolgreich eingesetzt wird, stehen heute auch Silizium-Photomultiplier (SiPM) zur Verfügung, die sich in industriellen Detektoren immer mehr durchsetzen.

Abbildung 2 zeigt schematisch den Aufbau und die Funktionsweise eines Detektors. Treffen die emittierten Gammaquanten, nach Durchdringen der Wände des Behälters und des zu messenden Produktes selbst, auf den Kristall, erzeugt jedes Gamma-Photon einen Lichtblitz, der zu Tausenden weiteren Licht-Photonen führt, die letztendlich vom Photomultiplier registriert werden. Jeder Lichtimpuls wird dabei vom Photomultiplier in elektrische Impulse umgewandelt. Nach der Digitalisierung des Signals werden diese Impulse gezählt, um eine sogenannte Zählrate zu bestimmen, die typischerweise als Impulse pro Sekunde (ips) oder Frequenz (Hz) angegeben wird. Der Detektor misst jede γ -Strahlung,

die den Szintillator erreicht, ohne dabei zwischen der „Nutzstrahlung“, die von der Quelle herrührt, und der natürlichen Hintergrundstrahlung aus der Umgebung zu unterscheiden. Dieser Artikel zeigt auf, wie z.B. mit Störstrahlung aus Schweißnahtprüfungen oder mit Änderungen der natürlichen Hintergrundstrahlung umgegangen werden kann.

Es gibt zwei verschiedene Arten von Detektoren: Punkt- und Stabdeteektoren. Detektoren mit einem kleinen Szintillator werden als Punktdetektoren bezeichnet. Sie verwenden oft einen kleinen zylinderförmigen Szintillator mit z. B. 50 mm Durchmesser und 50 mm Höhe. Punktdetektoren werden typischerweise für Dichteanwendungen, aber auch für Füllstands-Grenzschalter oder kontinuierliche Füllstandsmessungen verwendet. Abhängig von der Messaufgabe können verschiedene Szintillatorgrößen verwendet werden. Aufgrund des kleinen empfindlichen Volumens eines Punktdetektors ist der Einfluss der Hintergrundstrahlung gering. Zusätzlich können die Punktdetektoren problemlos mit einem Bleikollimator ausgestattet werden, um die Empfindlichkeit gegenüber der Hintergrundstrahlung weiter zu reduzieren.

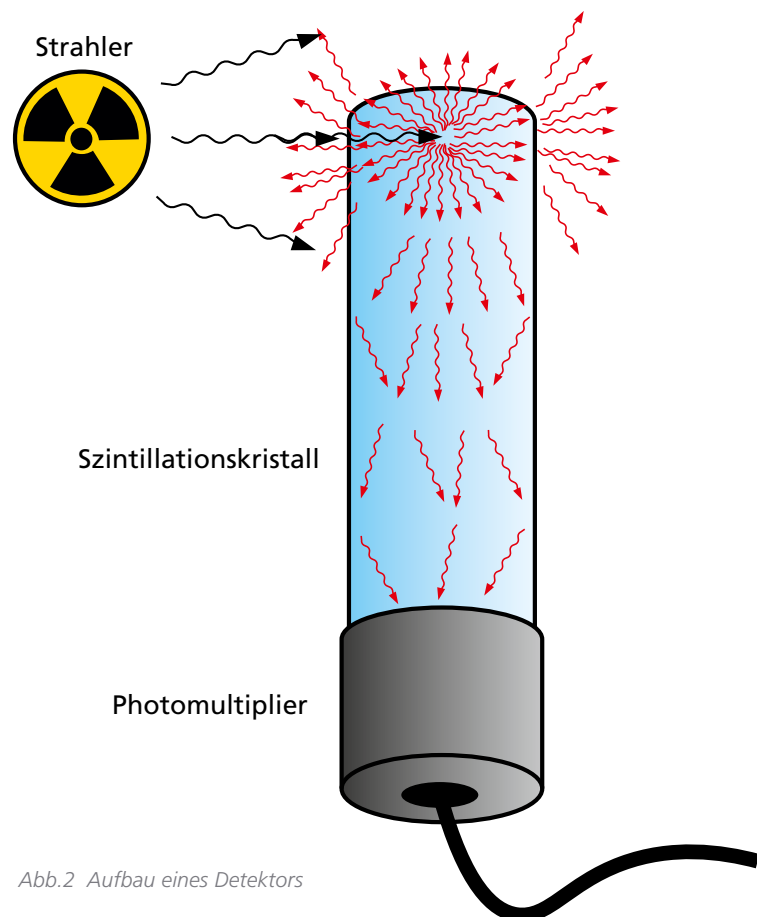


Abb.2 Aufbau eines Detektors

In einigen Fällen ist es von Vorteil, wenn der Szintillator einen größeren Bereich abdeckt, in diesem Fall spricht man von einem Stabdetektor. Typischerweise erstreckt sich bei Füllstandsmessungen entweder die Quelle oder der Detektor über den gesamten Messbereich, wobei deren Länge dabei bis zu 8 m betragen kann. Der Hauptvorteil eines Stabdetektors liegt in den geringeren Kosten im Vergleich zu einem Stabstrahler, der jedoch das technologisch überlegene System wäre. Da Stabdetektoren allerdings in der Regel nicht abgeschirmt sind (eine Abschirmung würde auch den Kostenvorteil schmälern), reagieren diese deutlich empfindlicher auf Veränderungen der natürlichen Hintergrundstrahlung. Dieser Effekt ist gegenüber den meisten anderen Fehlerquellen dominant. Insbesondere wenn man bedenkt, dass Schwankungen von $\pm 15\%$ durch die Anhäufung von Radon-222 und seinen Zerfallsprodukten, z.B. nach Regen, möglich sind.

Kalibrierung

Radiometrische Messgeräte arbeiten nach dem Prinzip der Absorption. Grundsätzlich interagiert jede Materie mit γ -Strahlung und hat eine abschwächende Wirkung. Dabei sind nicht nur die zu messenden Medien, sondern auch die Stahlwände des Behälters, jegliche Innenkonstruktion, Isolierung, Gerüst u.a. zu berücksichtigen. Aus diesem Grund ist es zwingend erforderlich, das Messsystem vor Ort zu kalibrieren. Bei jeder Messung ist es notwendig, die statistischen und systematischen Fehler durch Anwendung stochastischer Methoden zu minimieren. Darüber hinaus gibt es weitere Fehlerquellen, die nicht ohne zusätzliche Maßnahmen vermieden werden können.

Temperatur- und Alterungseffekte

Durch den Einsatz erstklassiger Kompensationsverfahren können Temperatur- und Alterungseffekte reduziert werden. Dank ausgefeilter Algorithmen und Verfahren, die die Empfindlichkeit eines Detektors mittels Vergleichs des Signals mit einer bekannten Referenz unabhängig messen, können diese Effekte kompensiert werden. Eine solche automatische Verstärkungs- oder Hochspannungsregelung sollte im Messsystem integriert sein. Die von Berthold eingesetzten Algorithmen basieren beispielsweise auf einer Analyse des gemessenen Spektrums vom verwendeten primären Radioisotop oder – noch ausgefeilter – der kosmischen Strahlung.

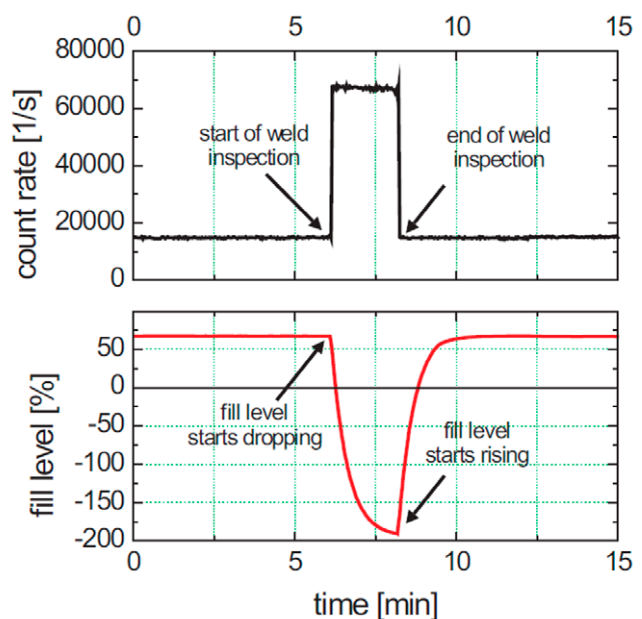
Natürliche Hintergrundstrahlung

Hintergrundstrahlung wird hauptsächlich durch kosmische oder terrestrische Strahlung verursacht. Während die Wirkung der kosmischen Strahlung sehr konstant ist, kann die terrestrische Hintergrundstrahlung in Abhängigkeit von der geografischen Lage stark variieren. Eine große Rolle spielt dabei das Edelgas Radon-222 und dessen Zerfallsprodukte. Regen kann beispielsweise zu einer vorübergehenden Erhöhung der Konzentration der Radonzerfallsprodukte am Boden und damit zu einer höheren Hintergrundstrahlung führen.

Störstrahlung

Eine weitere unberechenbare Ursache für Störungen sind laufende Schweißnahtprüfungen in der Anlage oder im Komplex. Typischerweise werden Strahlenquellen wie z. B. Iridium-192 verwendet, die teilweise eine 10 000-fach höhere Aktivität aufweisen als die Quelle des Messsystems selbst. Diese hohe Aktivität führt zu einem signifikanten Anstieg der Hintergrundstrahlung und zu einer schnellen und drastischen Änderung des Messsignals, was zu Fehlinterpretationen des Prozesswertes und einem scheinbar sinkenden Füllstand führt. Bei technologisch nicht ausgereiften Detektoren kann das eigentliche Signal länger als die tatsächliche Störung ausbleiben oder der Detektor sogar dauerhaft beschädigt werden.

Abb.3 Verhalten der Zählrate bzw. des Füllstandsignals während einer Schweißnahtprüfung



Umgang mit Störstrahlung

Eine Möglichkeit, den Einfluss der Hintergrundstrahlung zu reduzieren, besteht darin, den Detektor durch massive Bleiabschirmungen vor Störungen zu schützen. Allerdings ist dies seitens des Kunden weder aus wirtschaftlicher noch aus montagetechnischer Sicht attraktiv. Eine unabhängige Messung der Hintergrundstrahlung mit einem separaten Detektor, der nicht der Strahlung des radiometrischen Messgerätes ausgesetzt ist, kann ebenfalls helfen, die Störung zu erkennen und zu unterdrücken. Allerdings erhöht dies die Kosten und die Komplexität des Systems sowie die Wahrscheinlichkeit von Fehlern.

XIP

Geräte von Berthold, die das Feature X-Ray Interference Protection (XIP) verwenden, erkennen die Störstrahlung selbstständig und frieren das Messsignal während dieser Störung ein. Daher wird der Prozess nicht durch eine unrealistische Signalanzeige beeinträchtigt, allerdings stellt der Messwert, solange die Messung eingefroren ist, nicht zwangsläufig den echten Prozesswert der Messung dar. Der Bediener wird durch ein Warnsignal über das XIP-Ereignis informiert, wodurch das Bedienpersonal stets über einen ungeplanten Prozess-

zustand informiert ist und auf das eingefrorene Signal entsprechend reagieren kann. Nachdem die Störung vorüber ist, wird die Messung automatisch fortgesetzt. Typische Bestrahlungszeiten von Schweißnahtinspektionen betragen nicht mehr als 2–5 Minuten; dementsprechend wird der Messvorgang nur für eine begrenzte Zeit eingefroren, was für die meisten Anwendungen keine Probleme aufwirft.

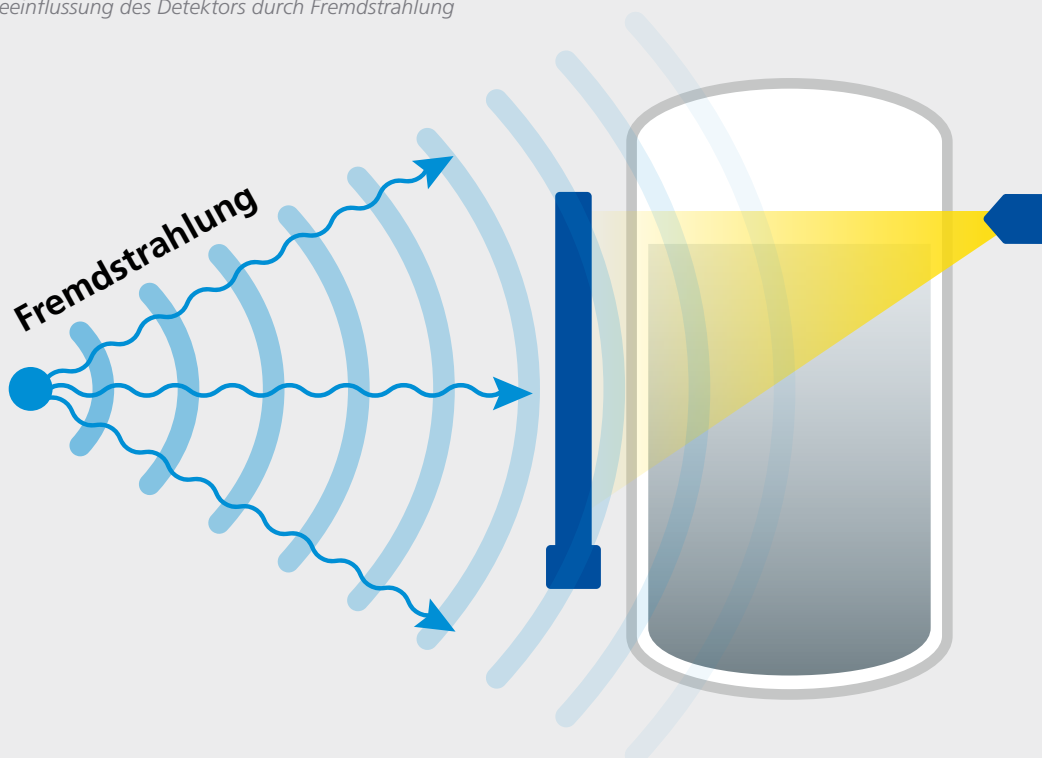
Das XIP-Feature ist in jedem Detektor von Berthold implementiert.

RID

Bei Anwendungen, in denen Prozessänderungen schnell erfolgen oder ein eingefrorenes Prozesssignal nicht akzeptabel ist, kommt die ausgefeilte RID-Funktion (Radiation Interference Discrimination) zum Einsatz.

Die RID-Funktion basiert auf einem komplexen Algorithmus, der zwischen Interferenzen und der tatsächlichen Zählrate, die von einer Co-60-Quelle der radiometrischen Messung abgestrahlt wird, unterscheidet. Mit dieser Funktion wird die Messung auch bei vorhandener Störstrahlung fortgesetzt.

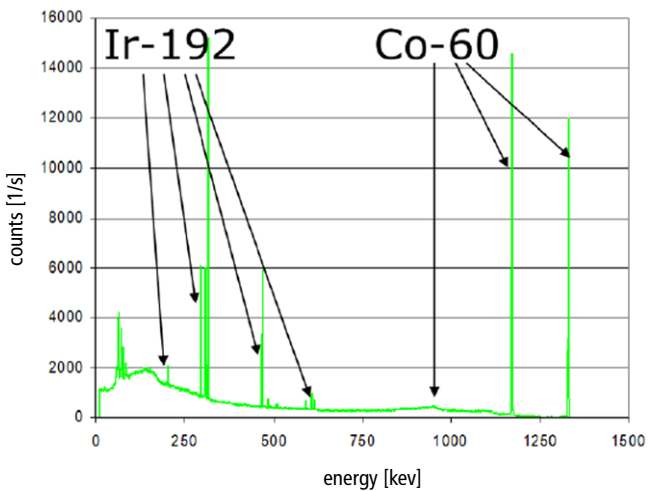
Abb.4 Beeinflussung des Detektors durch Fremdstrahlung



Das Nuklid macht den Unterschied

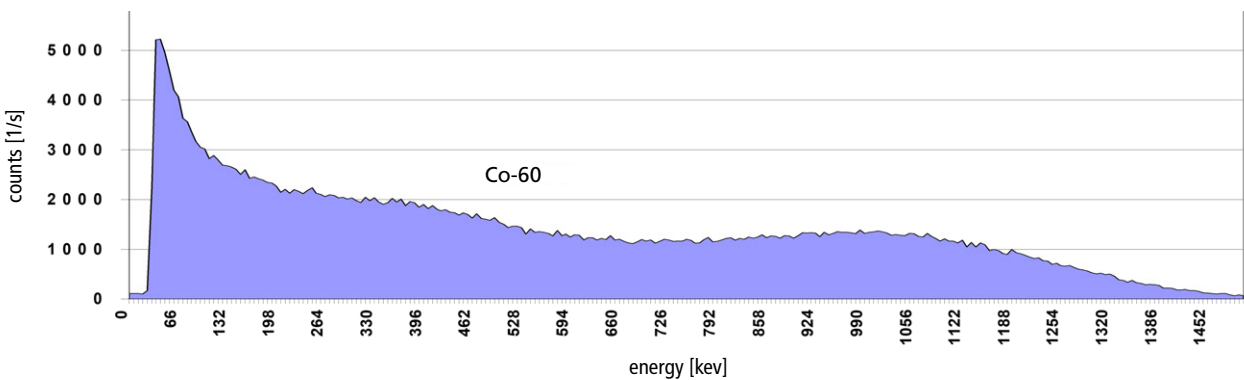
Die für Schweißnahtprüfungen verwendeten Nuklide haben andere Eigenschaften als die, die üblicherweise in radiometrischen Füllstandsmessungen eingesetzt werden. Das RID-Feature von Berthold nutzt diese Unterschiede, um Einflüsse der Störstrahlung auf die Messung zu verhindern. Nahezu alle Schweiß- oder Materialprüfungen werden mit Iridium-192- oder Selen-75-Quellen durchgeführt. Die Energie deren Strahlung (<600 keV) ist im Vergleich zu Co-60 (>1000 keV), was üblicherweise bei Füllstandsmessungen verwendet wird, gering. Die Detektoren messen die Energie jedes eingehenden Gammasignals und verwenden daher nur Signale, die durch die Quelle des Messsystems selbst erzeugt werden.

Abb.5 Energiespektrum typ. Nuklide für die industrielle Verwendung



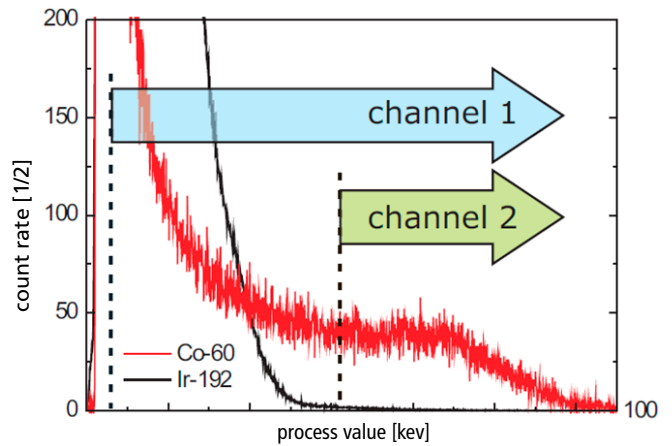
Theoretisch haben Ir-192 und Co-60 ihr eigenes, charakteristisches Energiespektrum, wie in Abbildung 5 zu sehen. In Realität deponiert jedoch nicht jedes Gammaquant seine komplette Energie im Szintillator.

Abb.6 Energiespektrum, gemessen mit einem Szintillationsdetektor



Je nachdem, wie das Gammaquant auf den Szintillator trifft, verlässt dieses den Szintillator, ohne die volle Energiemenge umgewandelt zu haben. Daher ist es nicht einfach das Energiespektrum pro Nuklid zu unterscheiden, das Ergebnis ist eher ein kontinuierliches Energiespektrum. Ein reales Spektrum ist in Abbildung 6 zu sehen.

Abb.7 Unterteilung des Energiespektrums in zwei Messkanäle



Immer unter Kontrolle

Die RID-Funktion analysiert im Wesentlichen das Energiespektrum der detektierten Strahlung durch die Einführung von zwei Messkanälen (siehe Abbildung 7). Ein Kanal (Kanal 1) deckt das gesamte Spektrum ab, d.h. jedes detektierte Gammaquant wird gezählt. Ein zweiter Kanal (Kanal 2) deckt nur die höherenergetischen Impulse ab. So werden niederenergetische Pulse, z. B. von Schweißnahtprüfquellen, die eine bestimmte Energieschwelle nicht überschreiten, im Kanal 2 nicht erfasst. Alle Impulse oberhalb der Energieschwelle für Kanal 2 stammen ausschließlich von der Co-60-Quelle des Messsystems.

Das System ist selbstlernend, d. h. das Gerät passt die Berechnung des Prozesswerts für beide Kanäle im Laufe der Zeit an. Die Messwerte beider Kanäle werden getrennt aufgezeichnet und verglichen. Sind die Prozesswerte für Kanal 1 und Kanal 2 identisch oder liegen diese innerhalb des Toleranzbandes (Messpunkt 1 und 2 oder 1 und 3 in Abbildung 8), wird dies vom System als normale Prozessbedingung bewertet. Ist die Differenz der Prozesswerte größer als der eingestellte Schwellenwert, erkennt das System dies automatisch als Störstrahlungsereignis und schaltet die Messung auf Kanal 2 (d.h. Messpunkte 1 und 4 der Abbildung 8). Die Empfindlichkeitsschwelle dieser Umschaltung kann dabei in den Systemeinstellungen manuell angepasst werden.

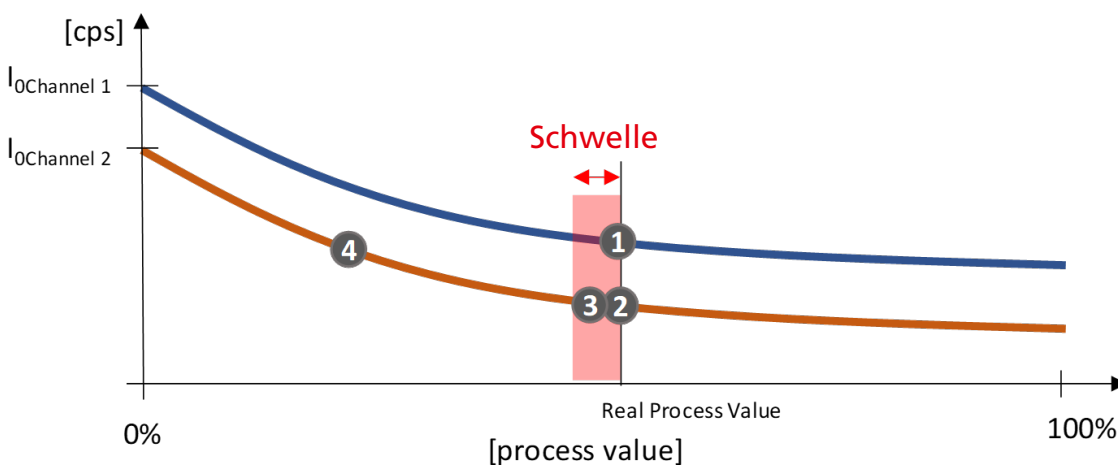
Prinzipiell verringert das Umschalten auf Kanal 2 die statistische Genauigkeit des Systems, gleichzeitig wird jedoch ein korrekter und reproduzierbarer Wert für den Füllstand geliefert und somit sichergestellt, dass

es keine Unterbrechung in der Prozesssteuerung gibt. Sobald das System keine Störstrahlung mehr erkennt, wird automatisch auf Normalbetrieb (Kanal 1) zurückgeschaltet. Der große Vorteil der RID-Funktion ist eine kontinuierliche und zuverlässige Messung trotz eines Störstrahlungsereignisses. Voraussetzung ist jedoch, dass die Energie des zur Messung verwendeten Nuklids von der Interferenz unterschieden werden kann. Daher verwendet Berthold Co-60-Strahler zusammen mit der RID-Funktion.

Einfachste Bedienung und Anwendung

Mit dem neuen Produkt LB 470 RID von Berthold ist die Konfiguration des RID-Features sehr einfach und kundenfreundlich geworden. Der Anwender muss lediglich einen Menüpunkt anwählen, um die Funktion zu aktivieren. Der Schwellenwert zur Aktivierung von Kanal 2 ist mit einem Standardwert voreingestellt, kann aber bei Bedarf geändert werden.

Abb.8 Funktionsprinzip der RID-Funktion



Zusammenfassung

Wie in diesem Artikel ausgeführt, bietet Berthold hochentwickelte Produkte an, die die Störstrahlung unterdrücken und dem Kunden eine stabile und zuverlässige Messung bieten. Somit kann ein kontinuierlicher Prozess gewährleistet, ungeplante Abschaltungen ver-

mieden und somit ein echter Nutzen für den Kunden generiert werden. Den Anlagenbetreibern wird bei der Vermeidung von Problemen, die durch Störstrahlungen verursacht werden, und den daraus entstehenden Kosten geholfen.



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

