

Inline-Messungen von Temperaturprofilen in räumlich beengten Applikationen stellen besondere Anforderungen an die Messtechnik. Dies gilt insbesondere für die Ermittlung der Temperaturverläufe in Rohr- und Rohrbündelreaktoren. Hierzu wurde ein innovatives Messsystem zur faseroptischen Temperaturmessung entwickelt, das eine größere Anzahl von Messpunkten bei gleichzeitiger Verkleinerung des Schutzrohres im Reaktor erlaubt. Dieses System wurde in einer Anwendung bei Evonik in Marl erfolgreich eingesetzt.

optimierte Reaktionsführung

Bei der katalytischen Umsetzung von Gasen und Flüssigkeiten in Rohr-/Rohrbündelreaktoren kommt der zuverlässigen Ermittlung des Temperaturprofiles innerhalb der Katalysatorschüttung weitreichende Bedeutung zu. Sie beeinflusst maßgeblich den Reaktionsverlauf, die Qualität der Stoffumsetzung sowie auch den Alterungsprozess des Katalysators. Dabei spielt das Erkennen von Hotspots – Bereiche mit überhöhten Temperaturen, die in der Schüttung auftreten können – eine wichtige Rolle.

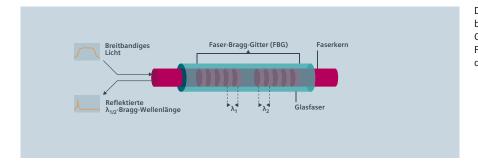
Matthias Hüning, Mitarbeiter in der elektrischen Mess- und Regelungstechnik im Geschäftsgebiet High Performance Polymers bei Evonik Industries in Marl beschreibt die Problemstellung in seiner Anlage wie folgt: "In unserer Produktionsanlage für Laurinlactam, einem Ausgangsprodukt für Vestamid® L, setzen wir Rohrbündelreaktoren ein. Die Herausforderung besteht darin, ausreichend viele Temperaturmesspunkte innerhalb eines einzelnen Rohrreaktors auf kleinstem Raum zu installieren, um hohe Temperaturen schnell zu erkennen und Gegenmaßnahmen einzuleiten. So können wir die Zerstörung, beziehungsweise die beschleunigte Alterung des Katalysators durch Überhitzung verhindern. Das vermeidet einen Anlagenstillstand, der sonst aufgrund der aufwändigen Prozedur zum Katalysatorwechsel notwendig wäre".

Aufgrund des geringen Durchmessers der Reaktorröhren, der geforderten Anzahl der Messstellen und den Anforderungen an die Geschwindigkeit der Messwerterfassung war der Einsatz konventioneller Messtechnik (Widerstandsthermometer oder Thermoelemente) nicht möglich. Gemeinsam mit Siemens setzte Evonik daher auf den Einsatz einer faseroptischen Temperaturerfassung, basierend auf der Faser-Bragg-Gitter-Technologie.





Das Mehrpunkt-Messsystem SITRANS TO500 ermittelt Temperaturen und Temperaturprofile zuverlässig und schnell. Durch die Kenntnis der räumlichen Temperaturverteilung lassen sich Prozessabläufe besser verstehen um Qualität, Ausbeute und Standzeit zu optimieren.



Die neue Form der Temperaturmessung basiert auf der Technologie von Faser-Bragg-Gittern, in Lichtwellenleiter eingeschriebene Filter zur Reflexion bestimmter Wellenlängen des Lichts.

# Grundlagen der optischen Temperaturerfassung

Faser-Bragg-Gitter (FBG) sind in Lichtwellenleiter eingeschriebene optische, periodische Strukturen. Da eine bestimmte Wellenlänge des einfallenden Lichts reflektiert wird, während alle anderen durchgelassen werden, wirkt jedes Gitter wie ein Schmalbandfilter.

Wird ein Lichtstrahl mit einem breiten Spektrum durch ein FBG geschickt, wirken sich die Reflexionen jedes Abschnitts des sich ändernden Brechungsindexes nur auf eine spezielle Wellenlänge des Lichts entscheidend aus. Diese wird Bragg-Wellenlänge genannt und mittels Formel 1 berechnet:

$$\lambda_b = 2n\Lambda$$

Mit λb = Bragg-Wellenlänge,

n = effektiver Brechungsindex des Faserkerns

 $\Lambda$  = der Abstand zwischen den Gittern, auch als Gitterperiode bezeichnet

Die Bragg-Wellenlänge hängt vom Abstand der Reflektoren innerhalb der Gitter ab  $(\Lambda)$ , daher können mehrere Gitter auf einer Faser eingebracht werden. Längenänderungen der Faser durch Kraft- oder Temperatureinwirkung verformen das Gitter und führen zu einer Verschiebung der reflektierten Wellenlänge. Hierfür ist hauptsächlich die Änderung des Brechungsindex des Quarzglases durch den thermooptischen Effekt [2], [3], [4] maßgeblich.

$$\frac{\Delta \lambda}{\lambda_o} = (1 - p_e) * \varepsilon + (\alpha_\Lambda + \alpha_n) * \Delta T$$

Hier stellen Δλ die Änderung der Wellenlänge und λο die ursprünglich eingefallene Wellenlänge dar.

Der erste Teil des Ausdrucks beschreibt die Auswirkung der Dehnung auf die Änderung der Wellenlänge, bei der pe den photoelastischen Koeffizienten und ε die Dehnung des Gitters veranschaulichen. Der zweite Teil berücksichtigt die Auswirkung der Temperatur auf die Änderung der Wellenlänge, bei der αΛ für den Wärmeausdehnungskoeffizienten und αn für den thermooptischen Koeffizienten, d. h. die Temperaturabhängigkeit des Brechungsindexes) stehen [3].

#### Einfluss von Dehnung und Temperatur

Wie Formel 2 zeigt, beeinflussen sowohl Temperatur als auch eine Dehnung die Veränderung der Wellenlänge. Um den Einfluss der Dehnung auszuschließen, darf das FBG bei der Anwendung als Temperaturmessfühler keiner mechanischen Belastung ausgesetzt werden.

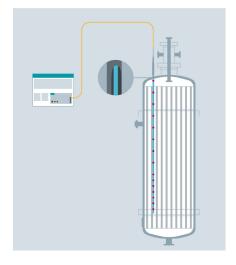
Die Eigenschaft der Wellenlängenänderung in Abhängigkeit von der Temperatur nutzt Siemens in seinem Messsystem SITRANS TO500. Das System besteht aus einem Messumformer, an den bis zu vier faseroptische Messlanzen mit je bis zu 48 FBG angeschlossen werden können. Somit ist die synchrone Temperaturerfassung an bis zu 192 Stellen pro Messsystem möglich. In der vorliegenden Anwendung sind FBG im Abstand von 20 cm eingeschrieben. Siemens bietet seinen Kunden an, die Messlanzen hinsichtlich der Länge, der Anzahl der Sensoren und auch der Sensorpositionen genau zugeschnitten auf die Anwendung zu konfektionieren.



Matthias Hüning, Mitarbeiter in der elektrischen Mess- und Regelungstechnik im Geschäftsgebiet High Performance Polymers bei Evonik Industries in Marl.

## **Detailliertes Profil vermittelt Wissen**

Jede Messlanze mit einem Durchmesser von ca. 1 mm erfasst in dieser Applikation Temperaturen in einem Messbereich von 0 °C bis 400 °C mit einer Messabweichung von <0,5 K. Sie zeichnet sich außerdem durch eine sehr schnelle Ansprechzeit aus; die T90-Zeit liegt unter vier Sekunden [6]. Durch die Messwertübertragung (Reflexion des Lichtes), die in der gleichen Faser stattfindet, sind keine zusätzlichen Leitungen notwendig, so dass der erforderliche Durchmesser der Schutzrohre für die Messanordnung wesentlich verkleinert wird. So steht zum einen ein größerer Querschnitt und damit Volumen für die Reaktion im Reaktor zur Verfügung, was den Durchsatz positiv beeinflusst. Zum anderen verringern sich die Ansprechzeiten der Sensoren, da der dämpfend wirkende Luftspalt zwischen der Faser mit den darin eingeprägten Gittern und den Rohrwänden klein gehalten wird. "Mit der detaillierten Erfassung und Darstellung des gesamten Temperaturprofiles im Reaktor kann unser Anlagenpersonal die Entwicklung von Hotspots oder auch die Wirksamkeit des Katalysators rechtzeitig erkennen", führt Matthias Hüning weiter aus. "Diese Information nutzen wir, um beispielsweise im ersten Fall Maßnahmen zur Temperaturreduktion einzuleiten. Im zweiten Fall können wir Wartungsprozeduren wie z. B. Katalysatorwechsel genau dann durchführen, wenn dies aufgrund der Alterung notwendig ist". Beide Anwendungen verlängern die Standzeit des Katalysators im Reaktor, d. h. kosteneffiziente, vorrauschauende Wartungsprozeduren werden bedarfsorientiert durchgeführt.



Schematische Darstellung eines Rohrbündelreaktors mit dem eingebauten SITRANS TO500 zur Mehrpunkt-Temperaturmessung.

### Vorteile für Installation / Wartung

Die Anwendungsfälle berührungsloser Messverfahren mit Glasfasersensoren verbreiten sich zunehmend in der chemischen Industrie. Die Sensoren sind gegen elektromagnetische Einflüsse unempfindlich und außerdem chemisch resistent. Ein weiterer Vorteil entsteht aus der Kopplungsmöglichkeit der optischen Signale. Hierzu erklärt Joachim Kölsch, Produktmanager bei Siemens Process Industries and Drives: "In der Installation bei Evonik verwenden wir einen Glasfaserkoppler für die Verbindung der Messfaser im Reaktor und der Übertragungsleitung zum Transmitter. Dieser Koppler kann im Wartungsfall einfach aufgetrennt werden, wenn beispielsweise der Reaktordeckel geöffnet werden muss. Die Messlanze kann vor Revision des Reaktors oder vor einem Katalysatorwechsel einfach gezogen und auf eine Spindel aufgerollt werden; letzteres ermöglicht auch einen problemlosen und sicheren Transport."

Der Messumformer SITRANS TO500 stellt die ermittelten Werte über eine Profibus-DP-Schnittstelle für die Auswertung in Leitsystemen bereit, so dass diese für das Management der Assets und für die Optimierung des Prozesses bereitstehen.

Die genaue und schnelle Erfassung von Temperaturprofilen zum Beispiel für Gasphasenreaktionen in Festbettreaktoren hilft wirkungsvoll, die thermische Belastung der Katalysatorschüttung zu erfassen und durch Gegenmaßnahmen die Wirksamkeit derselben zu erhalten. Mit der innovativen Implementierung der optischen Messwerterfassung mit Hilfe von Bragg-Gittern entlang faseroptischer Medien stellt Siemens seinen Kunden eine elegante Möglichkeit bereit, eine Vielzahl von Temperaturen für Überwachungs- und Optimierungsmaßnahmen parallel zu erfassen und zu verarbeiten. So können sie Störungen effizient erkennen und die Reaktionsabläufe optimieren, was einen höheren Produktdurchsatz der Anlage erreichen lässt.



Matthias Hüning im Gespräch mit dem Siemens Produktmanager Joachim Kölsch, der in der Temperaturmesstechnik arbeitet.

#### Referenzen:

[1] Pressemeldung Evonik: VESTAMID® L – Polyamid 12 http://corporate.evonik.de/de/presse/suche/pages/news-details.aspx?newsid=4980

[2] HBM:

https://www.hbm.com/de/4596/was-ist-ein-faser-bragg-gitter/

- [3] elektronik messen+ testen 2.2010 Grundlagen der optischen Sensormessung mit Faser-Bragg-Gittern
- [4] Faseroptische Temperaturmessung German Patent DE102014018825
- [5] Fundamentals of Fiber Bragg Grating (FBG) Optical Sensing http://www.ni.com/white-paper/11821/en/
- [6] Optical Fiber Temperature Measurement for Process Industry

S. von Dosky, W. Ens, H. Grieb, M. Hilsendegen, H. Schorb - Siemens AG, Karlsruhe AMA Conferences 2013

Der Rohrbündelreaktor ist ein Reaktortyp, in dem Reaktionen in der Gasphase durchgeführt werden. Dabei wird das Gasgemisch in Röhren, die von einem Kühlmittel umflossen werden, mithilfe eines Katalysators umgesetzt. Der typische Aufbau besteht aus einem Kühlmitteltank, durch den je nach Bauart 1.000 bis 30.000 katalytgefüllte Röhren mit einem Durchmesser von 2 cm bis 5 cm und einer Länge von 1 m bis 5 m gelegt sind. Das Kühlmittel wird, um eine gleichmäßige Wärmeverteilung zu gewährleisten, ständig umgewälzt und kann aus Wärmeträgerölen, Salzschmelzen oder Wasser bestehen.

Source: Wikipedia

Unter der Bezeichnung Vestamid® fasst Evonik eine Gruppe hochwertiger Polyamide zusammen, einschließlich Polyamid 12, 612, 610, 1010, Polyamid-12-Elastomere, Polyphthalamid und biobasierte Polyamide.

Polyamid-12-Pulver sind aufgrund der mechanischen Eigenschaften, der chemischen Resistenz und des hohen Schmelzpunkts der Enderzeugnisse besonders gut für den Einsatz in pulverbasierten 3D-Druck-Verfahren geeignet, z. B. dem selektiven Lasersintern (SLS) und dem High-Speed-Sintern (HSS). Ein weiteres Wachstumsfeld sind Faserverbundwerkstoffe, da sich Polyamid-12-Feinpulver als Matrix thermoplastischer Verbundwerkstoffe aus Glas-, Kohle-, Aramid- oder Stahlfasern eignen. Anwendungen finden sich beispielsweise in der Automobil- und Ölförderindustrie, dem Sportsektor oder in der Orthopädie.

Source: Evonik - www.vestamid.com/product/vestamid/de/produkte-dienstleistungen/und https://www.kunststoffe.de/news/unternehmen/artikel/evonik-baut-produktionsstrasse-fuer-polyamid-12-pulver-1315358.html

