EKF Mess16 III.pdf

Neue Möglichkeiten für die chemische Verfahrenstechnik

Verteilte faseroptische Temperaturmessung und ihre Anwendungen

Bild 1: Versuchsstand mit Glattrohrkondensator an der TU Braunschweig (Bild: TU Braunschweig)

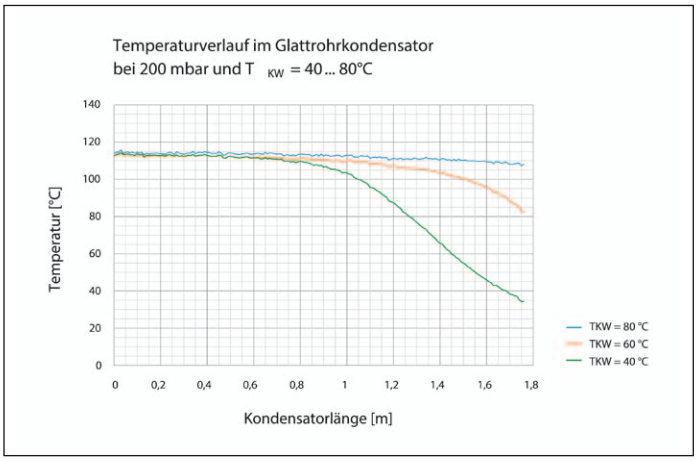

Bild 2: Temperaturverlauf des Hexanols im Glattrohrkondensator bei verschiedenen Kühlmitteltemperaturen (Bild: TU Braunschweig)

Temperaturmessungen sind in der chemischen Verfahrenstechnik unentbehrlich. Reaktionsverläufe lassen sich damit räumlich und zeitlich genau überwachen und steuern. Herkömmliche elektrische Messverfahren kommen allerdings schnell an ihre Grenzen, da sie als Punktsensoren einzeln verdrahtet werden müssen und sich daher aufgrund baulicher Beschränkungen nur an wenigen ausgesuchten Messstellen positionieren lassen. Somit werden steile Temperaturgradienten oder unvorhersehbare „Hot Spots" aufgrund der zu geringen Sensordichte einfach nicht erfasst. Verteilt messende, glasfaserbasierte Lösungen erschließen hier völlig neue Möglichkeiten. Entlang einer einzigen Sensorfaser befindet sich eine Vielzahl von Temperaturmesspunkten, wenn nötig mit Millimeterabstand. Alle Sensoren werden gleichzeitig ausgelesen und liefern ein lückenloses Temperaturprofil. Sie lassen sich selbst bei sehr beengten Platzverhältnissen gut implementieren, sind einfach zu handhaben, robust und widerstandsfähig. Mittlerweile belegen zahlreiche Anwendungen, dass die Technik auch hält, was sie verspricht. Typische Einsatzbereiche gibt es z.B. bei Temperaturmessungen zur Optimierung von Kondensationsprozessen, in Verdampfern oder Rohrreaktoren.

Vielfältige Anwedungegebiete

Faseroptische Sensorsysteme werden seit vielen Jahren in verschiedensten Disziplinen für die Messung von Temperaturen und mechanischen Größen wie Dehnung eingesetzt. Da lediglich Licht als Übertragungsmedium in der Glasfaser dient, erschließen sich viele Anwendungen, die der klassischen elektrischen Sensorik verschlossen bleiben, wie beispielsweise in HF- und Mikrowellenfeldern, Hochspannungsumgebungen, Ex-Schutzbereichen, Kernspinresonanzanlagen (MRT), chemisch aggressiven Umgebungen und Plasmaanlagen. Ihre ganze Stärke spielen die Systeme insbesondere dort aus, wo man eine sehr große Anzahl von Messstellen benötigt, bei gleichzeitig kompakter Bauform und geringer thermischer Masse. So kann eine einzige, wenige Gramm schwere Faser mit einem Durchmesser von 150 µm Hunderte Sensoren enthalten und gleichzeitig als Signalweg dienen.

Punktförmig oder verteilt arbeitende Systeme mit „unendlich" vielen Messstellen

Im Prinzip bestehen die Systeme aus zwei Komponenten: einer Ausleseeinheit und der daran angeschlossenen, passiven Sensorfaser.

AutorInnen:

V.l.n.r.: Dr. Dirk Samiec, Vertrieb Optische Technologien bei der Polytec GmbH, Dipl.-Ing. (FH) Jochen Grimm, Strategisches Produktmarketing bei der Polytec GmbH, und Ellen-Christine Reiff, M.A. , Redaktionsbüro Stutensee

Bild 3: Der Naturumlaufverdampfer der Bundeswehrhochschule in Hamburg (Bild: Bundeswehrhochschule Hamburg)

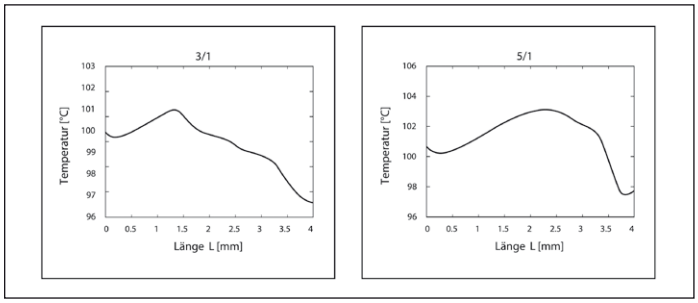

Bild 4: Verschiebung des Temperaturmaximums bei Veränderung des Drucks „(links 3 bar, rechts 5 bar. (Bild: Bundeswehrhochschule Hamburg)

Die Ausleseeinheit sendet Licht in die Faser und analysiert die reflektierten oder zurück gestreuten Anteile. Dabei wird zwischen punktförmig und verteilt messenden Systemen unterschieden. Punktförmige Sensorlösungen haben die eben genannten Besonderheiten, messen aber wie ihre elektrischen Pendants jeweils an einer definierten Messstelle. Für die chemische Verfahrenstechnik und artverwandte Disziplinen bedeuten dagegen die verteilt messenden Systeme eine echte Innovation, da hiermit komplette Temperaturprofile mit dichter Messpunktfolge erfasst werden können. Dazu müssen keine speziellen Sensoren in die Faser eingebracht werden. Vielmehr wird das vom Fasermaterial selbst zurück gestreute Licht ausgewertet, um die gewünschte Information über die Temperatur zu erhalten. Die gesamte Faser wird damit zum Sensor. Dabei lassen sich zwei Arten unterscheiden, die je nach Anwendungsfall zu bevorzugen sind: Systeme, die auf dem Raman- bzw. Brillouin-Effekt basieren, eignen sich für Messstrecken bis zu einigen 10 Kilometern bei Messpunktabständen auf der Faser von bis zu 12,5 Zentimetern. Die zweite Gruppe bilden Systeme, die auf der Auswertung der Rayleigh-Streuung basieren (vgl. Faseroptische Sensorik nutzt die Rayleigh-Strahlung) und mit Auflösungen im Millimeterbereich bis zu 50 Meter lange Messstrecken erlauben. Damit ist praktisch jeder Punkt der Glasfaser ein Sensor. Herkömmliche Verfahren würden dafür Hunderte oder Tausende konventioneller Punktsensoren mit zugehörigen Leitungen benötigen, ein kaum akzeptabler Installations- und Kostenaufwand. Im Bereich der chemischen Verfahrenstechnik finden faseroptische Systeme, die auf der Rayleigh-Streuung basieren, deshalb regen Anklang. Oft sind sie die einzige Möglichkeit, wie die folgenden Anwendungsbeispiele belegen.

Optimierung von Kondensationsprozessen

Die TU Braunschweig hat in Zusammenarbeit mit der britischen Firma CalGavin Ltd., Alcester, Untersuchungen zum Wärmeübergang und Druckverlust an einem 2 m hohen Kondensationsreaktor (Glattrohrapparat) am Beispiel der Kondensation von Hexanol durchgeführt. Der Kondensationsverlauf in den Rohren des Reaktors wird maßgeblich durch die Auslegung der Kühlung beeinflusst. Um Temperaturmesswerte als Basis für die Optimierung zu erhalten, wurde in mehreren Rohren über die gesamte Kondensatorlänge jeweils eine kapillargeführte Glasfaser verlegt (Bild 1). Dieser Eingriff ist minimal-invasiv, der Einfluss auf die Strömungsbedingungen in dieser Anwendung vernachlässigbar gering. Die gemessenen Temperaturprofile und deren zeitlicher Verlauf beschreiben das Kondensationsverhalten sehr gut, sowohl wenn die Reaktorgeometrie variiert wird als auch bei Veränderung der Betriebsparameter Druck oder Durchfluss am Einlass des Kondensators.

Die Temperaturprofile wurden mit einem verteilt messenden faseroptischen System (ODiSI-A von Polytec) mit einer Ortsauflösung von einem Millimeter bestimmt. Die Grafik in Bild 2 verdeutlicht den Einfluss der Kühlwassertemperatur (TKW) auf den Kondensationspunkt im Reaktor. Bei 40 °C Kühlwassereintrittstemperatur ist ab einer Länge von ca. 0,8 m die Kondensation fast abgeschlossen. Anschließend wird nur noch die Gasströmung in der Mitte des Rohrs abgekühlt, was im Temperaturabfall zu erkennen ist. Bei einer Kühlwassereintrittstemperatur von 60 °C ist dieses Abknicken merklich später und bei 80 °C gar nicht mehr zu sehen. Das bedeutet, dass bei 80 °C der Kondensator nicht mehr in der Lage ist, den eintretenden Hexanol-Dampf vollständig zu kondensieren. Diese Erkenntnis hilft maßgeblich bei der Optimierung der Anlagen- und Betriebsparameter und trägt letztlich zur Erhöhung des Stoffumsatzes bei.

Untersuchung in einem Naturumlaufverdampfer

Die Hochschule der Bundeswehr in Hamburg setzte ebenfalls ein solches faseroptisches System für Messungen in einem Naturumlaufverdampfer ein (Bild 3). Solche Verdampfer werden in der chemischen Industrie oft als Sumpfheizung von Destillationskolonnen und in Dampfkraftwerken eingesetzt. Sie kommen ohne Pumpen aus, da die Umlaufströmung durch anteiliges Verdampfen des Massenstroms entsteht. Im Projekt wurden Untersuchungen zu lokalen Wärmeübergängen und Strömungen unter Variation der Betriebsparameter mit anschließender Modellbildung durchgeführt. Dazu wurde u.a. die Methode der hoch ortsaufgelösten, faseroptischen Temperaturmessung verwendet. Ein besseres Verständnis der Wechselwirkungen sollte den Gesamtprozess stabilisieren, den Stoffumsatz erhöhen und somit

Bild 5: PANDA ist modular aufgebaut. Dadurch kann für wechselnde Applikationen das Verhalten von Druckkesseln, Wasserbecken oder Kondensatoren nachgestellt und systematisch untersucht werden. (Bild: Paul-Scherrer-Institut)

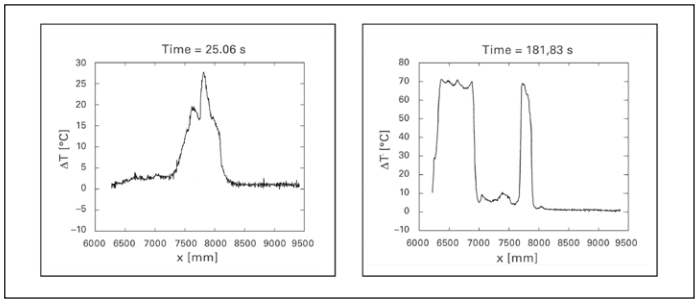

Bild 6: Bei der zweiten Messung (rechts) ist eine deutliche Änderung der Strömung und Temperaturverteilung aufgrund des entfernten Düsenaufsatzes erkennbar (Bild: Paul-Scherrer-Institut)

eine Kostenreduktion im laufenden Betrieb schaffen.

Das Herzstück des Verdampfers besteht aus einem senkrecht angeordneten Rohrbündel mit definiert beheizbaren Wänden. In eines der Rohre wurde eine 4 m lange, kapillargeführte Sensorfaser bis zum Sumpf des Verdampfers verlegt. Die Edelstahl-Kapillare ist mit 0,8 mm Außendurchmesser nur minimal strömungsinvasiv. Sie ist zudem chemisch inert und bis weit oberhalb von 100 bar druckbeständig. Da Temperaturen bis 700 °C verlässlich bestimmt werden können, ist die Messanordnung auch für andere Typen von Rohrreaktoren geeignet. Bild 4 zeigt den Temperaturverlauf vom oberen Austritt des Dampfes bis zum 4 m tiefer gelegenen Eintritt des Kondensats. Bei konstantem Betriebsdruck des Prozessfluids von 1 bar variierte der Druck des Heizdampfes zwischen 2 und 5 bar. Dabei wurde eine räumliche Verschiebung des Maximums im Temperaturprofil festgestellt. Die Ortsauflösung der Messung betrug 5 mm. Der Druck am Austritt von 1 bar stimmte sehr gut mit den gemessenen 100 °C (Siedepunkt von Wasser) überein. In Richtung Eintritt stieg der Druck auf ca. 1,4 bar an, was einer Absenkung der Temperatur um 3 bis 4 °C entspricht. Die verteilte Temperaturmessung bestätigte dies.

Kühlsystem-Untersuchungen bei Atomreaktoren

Die PANDA-Einrichtung (Bild 5) am schweizerischen Paul-Scherrer-Institut untersucht Kühlsysteme für passive radioaktive Zerfallswärme und das Verhalten von Sicherheitsbehältern einfacher Siedewasserreaktoren bei Störfällen. PANDA ist modular aufgebaut. Dadurch kann für wechselnde Applikationen das Verhalten von Druckkesseln, Wasserbecken oder Kondensatoren nachgestellt und systematisch untersucht werden. Das Gesamtvolumen der Kessel beträgt ca. 460 m^3, ihre Höhe erreicht 25 m. Die maximalen Arbeitsbedingungen liegen bei 10 bar und 200 °C. In die Kessel können Luft, Helium und Wasser eingespritzt werden sowie Dampf, der mit max. 1,5 Megawatt beheizt wird. Damit wird die Testumgebung auf die spezifizierten Umgebungsbedingungen gebracht.

Zur ortsaufgelösten Temperaturmessung wurde wieder eine Sensorfaser von Polytec in einer Edelstahl-Kapillare waagrecht durch den unteren Teil eines Druckkessels über einem Kernsprühring verlegt. In verschiedenen Untersuchungen blies man dann Heißluft und Dampf zwischen 15 und 50 g/s ein. In Bild 6 ist exemplarisch die radiale Temperaturverteilung im Kessel mit zwei Temperaturmaxima aufgetragen. Nach der Entfernung des Kernsprührings sah die Temperaturverteilung im Kesselquerschnitt durch die veränderten Strömungen deutlich anders aus.

Frühere Messungen wurden mit ca. 300 Thermoelementen durchgeführt und waren wegen der geringeren Messpunktdichte deutlich weniger aussagekräftig. Mittels der faseroptischen Messungen konnten bei deutlich geringerem Installationsaufwand sehr viel aussagekräftigere Ergebnisse in kürzerer Zeit geliefert werden. Faseroptische Sensorsysteme eröffnen damit für die Verfahrenstechnik – speziell im Bereich der Temperaturmessung – Möglichkeiten, die weit über die herkömmlicher Verfahren hinausgehen.

Faseroptische Sensorik nutzt die Rayleigh-Strahlung

Bei der Rayleigh-Sensorik wird Laserlicht in die Glasfaser eingekoppelt und das vom Fasermaterial rückgestreute Rayleigh-Licht mit hoher Auflösung über ein optisches Messverfahren räumlich abgetastet. Im Ergebnis erhält man ein charakteristisches Muster entlang der Faser, den sogenannten Fingerprint, der für jeden Abschnitt unterschiedlich, aber äußerst stabil und reproduzierbar ist. Ursache hierfür sind lokale Brechzahlschwankungen und Defekte, die sich statistisch über die Faser verteilen. Bei äußeren Dehnungs- oder Temperaturänderungen wird dieser Fingerprint in eindeutiger Weise auseinander- oder zusammengeschoben, sodass die Änderung des lokalen Rayleigh-Musters in Temperatur oder Dehnung umgerechnet werden kann. Da jeder Punkt der Faser für diesen Effekt empfindlich ist, stellt die gesamte Faser in voller Länge einen verteilt messenden Sensor dar. Die erreichbare räumliche Auflösung beträgt einen Millimeter. Bei einer Messlänge von 70 Metern entspricht dies einer Anzahl von 70.000 Sensoren. Bei Verwendung spezieller Fasern ergibt sich ein Temperaturmessbereich bis zu +700 °C. Der Dehnungsmessbereich liegt bei über 15.000 Microstrain bei einer Auflösung von ca. 1 Microstrain.

■ *Polytec GmbH*
info@polytec.de
www.polytec.com