

Echtzeiteinblicke in die Methanol-Synthese

Faseroptische Temperaturmessung für die chemische Verfahrenstechnik



Keywords

- **Faseroptischer Temperatursensor**
- **Methanol-Synthese, Mini-Plant**
- **Katalysator, Verfahrensoptimierung**

Im Prinzip bestehen faseroptische Messsysteme aus zwei Komponenten: einer Auslese-einheit und der daran angeschlossenen, passiven Sensorfaser. Die Auslese-einheit sendet Licht in die Faser und analysiert die reflektierten oder zurückgestreuten Anteile. Dabei wird zwischen punktförmig und verteilt messenden Systemen unterschieden. Punktförmige Sensorlösungen messen wie ihre elektrischen Pendanten jeweils an einer definierten Messstelle. Für die chemische Verfahrenstechnik und artverwandte Disziplinen dagegen sind verteilt messende Systeme interessanter, mit denen komplette Temperaturprofile mit dichter Messpunktfolge erfasst werden können. Dazu müssen keine speziellen Sensoren in die Faser eingebracht werden. Vielmehr wird das vom Fasermaterial selbst zurückgestreute Licht ausgewertet, um die gewünschte Information über

Faseroptische Systeme spielen ihre Stärke vor allem dort aus, wo eine große Anzahl von Messstellen benötigt wird, und gleichzeitig kompakte Bauform und geringe thermische Masse wichtig sind. Für viele verfahrenstechnische Anwendungen rund um die aktuellen Power-to-X-Technologien sind sie deshalb eine gute Lösung, da sie ein lückenloses Temperaturprofil liefern. Oft sind sie die einzige Möglichkeit, die hohe Messdatendichte zu realisieren, die erforderlich ist, um Prozesse zu bewerten und zu optimieren.

die Temperatur zu erhalten. Die gesamte Faser wird damit zum Sensor. Dabei lassen sich zwei Arten unterscheiden: Systeme, die auf dem Raman-Effekt basieren, eignen sich für Messstrecken bis zu einigen 10 km bei Messpunkt-abständen auf der Faser von bis zu 25 cm.

Temperaturprofile mit „unendlich“ vielen Messstellen

Die zweite Art bilden Systeme, die auf der Auswertung der Rayleigh-Streuung basieren und Auflösungen im Millimeterbereich erlauben. Damit ist praktisch jeder Punkt der Glasfaser ein Sensor. Herkömmliche Verfahren würden dafür Hunderte oder Tausende konventioneller Punktsensoren mit zugehörigen Leitungen benötigen, ein oft nicht akzeptabler Installations- und Kostenaufwand. Im Bereich der chemischen Verfahrenstechnik finden faserop-

tische Systeme, die auf der Rayleigh-Streuung basieren, deshalb regen Anklang. Das Fraunhofer-Institut für Solare Energiesysteme ISE in Freiburg setzt sie bspw. in einer Miniplant-Anlage zur Methanol-Synthese ein.

Mini-Plant für die Weiterentwicklung der Methanol-Synthese

Bei der Methanol-Synthese wird als Teil eines Power-to-Liquid-Prozesses Methanol aus Wasserstoff und CO₂ hergestellt. Die Fraunhofer-Anlage dient dabei zur Erforschung der Synthese im industrienahen Maßstab. Schwerpunkte der Untersuchungen sind der dynamische Reaktorbetrieb sowie unkonventionelle Gaszusammensetzungen aus der Kopplung von elektrolytischem Wasserstoff mit CO₂-haltigen Gasströmen. Die Miniplant-Anlage setzt Wasserstoff und CO₂ in einem kontinuierlichen



Bei verteilt messenden faseroptischen Systemen müssen keine Sensoren in die Faser eingebracht werden. Vielmehr wird vom Fasermaterial selbst zurückgestreutes Licht ausgewertet, um die gewünschte Temperaturinformation zu erhalten.

Prozess zu Methanol um. Dabei wird Wärme frei und es entsteht Wasser als Nebenprodukt. Zur fundierten großtechnischen Umsetzung dieses Verfahrens in Kombination mit einer Bioraffinerie sind auf dem aktuellen Stand der Wissenschaft jedoch noch einige Fragestellungen offen. So führen beispielsweise hohe CO_2 -Anteile im Synthesegas zu einer beschleunigten Alterung des eingesetzten Katalysators und damit verringerten chemischen Umsätzen. Zudem können eventuelle Schwankungen in der Produktion des Wasserstoffs aus volatilen erneuerbaren Energien ebenso wie Schwankungen im gekoppelten Prozess zur Bereitstellung von CO_2 einen dynamischen Synthesebetrieb erfordern. Eine solche Dynamik ist bei heutigen Prozessen, die überwiegend auf herkömmlich gewonnenen Grundstoffen basieren, jedoch noch nicht vorgesehen.

Messdaten für einen dynamischem Reaktorbetrieb

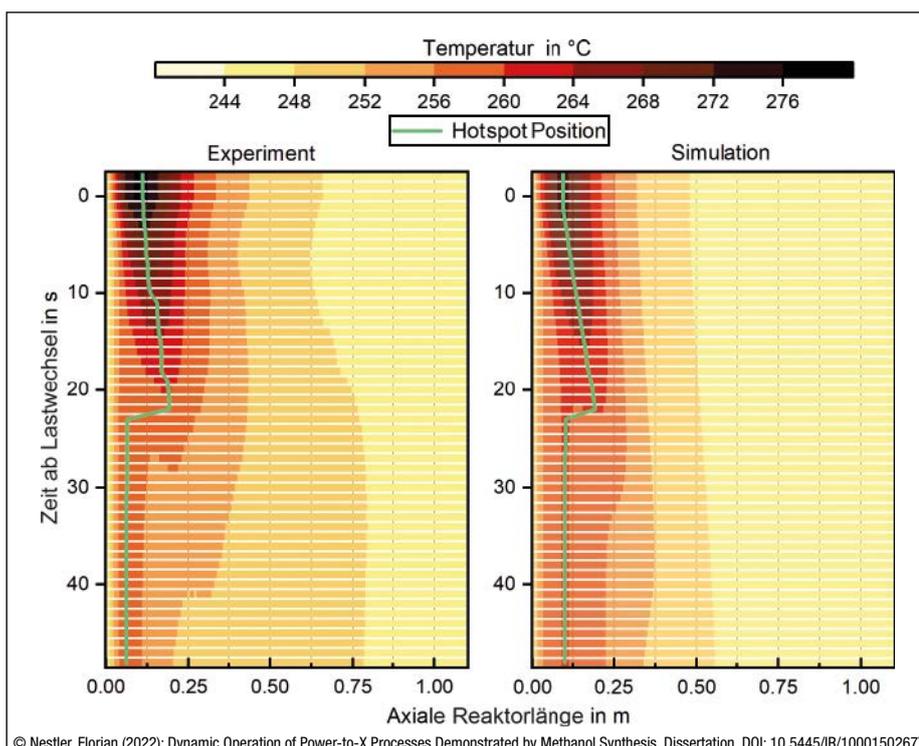
Das Fraunhofer ISE untersucht deshalb diese Randbedingungen für die Methanol-Synthese experimentell und mittels Simulationen. Der Fokus liegt dabei auf den katalytischen Vorgängen im Synthesereaktor. Dazu wurde eine dynamische Simulationsplattform entwickelt, die stationäre und dynamische Wärmeübergänge, das Reaktionsverhalten und zeitliche sowie räumliche Temperaturkurven berechnen kann. Um die Ergebnisse mit möglichst geringem Aufwand und in kurzer Zeit auf eine Industrieanlage zu übertragen, ist der Synthesereaktor als Kernstück der Miniplant ein Scale-Down, also eine Maßstabsverkleinerung, einer industriellen Ausführung. Durch ein speziell angepasstes Kühlsystem kann im Betrieb der Anlage ein ähnliches thermisches

und reaktionskinetisches Verhalten wie in einer großskaligen Anlage erreicht werden. Dadurch lassen sich Modellierungs- und Simulationsansätze aus der Literatur mithilfe dieser Anlage validieren und erweitern. Die Daten dafür liefert ein zeitlich und räumlich hochauflösendes Analytiksystem, das in der Miniplant integriert ist: Mithilfe der Fourier-Transformations-Infrarotspektroskopie (FT-IR) lässt sich die Konzentration der Synthesegase dynamisch messen. Für die orts aufgelöste Temperaturmessung im Inneren des Reaktors sorgt ein faseroptisches Messsystem (ODiSI 6000 Serie) von Polytec (vgl. Firmenkasten). Es arbeitet mit einer Auflösung von $0,1\text{ }^\circ\text{C}$ und wurde bereits in vielen verfahrenstechnischen Prozessen zur Temperaturerfassung außerhalb des Fraunhofer ISE eingesetzt.

Echtzeitaussagen über die Vorgänge im Reaktor

Werden die Daten von Temperaturmessung und FT-IR kombiniert, sind Echtzeit-Aussagen im Sekundentakt über die Vorgänge im Reaktor möglich. Die Messdaten des Analytiksystems lassen sich dann zur Anpassung der Modellparameter sowohl für die stationäre als auch für die dynamische Simulation nutzen. Zukünftig sind so neben Aussagen zur Reaktionskinetik auch Erkenntnisse über die Desaktivierung des Katalysators in Langzeitmessungen möglich. Unterschiedliche Betriebspunkte können sehr schnell charakterisiert werden, wodurch sich selbst umfangreiche Parameterräume zügig abarbeiten lassen. Die gewonnenen Erkenntnisse werden mit der bestehenden dynamischen Simulationsplattform des Fraunhofer ISE verknüpft. Dies erlaubt die Untersuchung von Lastwechseln, wie sie zukünftig in realen Industrieanlagen auftreten würden. Daraus lassen sich wiederum wertvolle Auslegungsdaten generieren, die dazu beitragen, dass Methanol aus nachhaltigen Rohstoffen und erneuerbarem Strom gewonnen und somit zukünftig in verschiedenen Anwendungen als Energiespeicher, Chemikalie, sowie Kraftstoff (additiv) genutzt werden kann.

Wärmeverteilung über die Reaktorlänge im zeitlichen Verlauf nach einem Lastwechsel. Das Ergebnis der faseroptischen Messung (links) im Vergleich zur Simulation (rechts).



© Nestler, Florian (2022): Dynamic Operation of Power-to-X Processes Demonstrated by Methanol Synthesis. Dissertation. DOI: 10.5445/IR/1000150267

Die Autoren

Jörg Schwarz, Vertrieb faseroptische Sensorik, Polytec
Ellen-Christine Reiff, Redaktionsbüro Stutensee

Wiley Online Library



Polytec GmbH, Waldbronn
 Tel.: +49 7243 604 - 0
 j.schwarz@polytec.de · www.polytec.de