



Industrierobotik

Mobile Industrieroboter wett-eifern in der AIRA Challenge auf der Achema

Seite 20



Pharmaproduktion

Die Rolle der Maschinen- und Anlagentechnik in der sich wandelnden Pharmaindustrie

Seite 22



Prozessindustrie

Digitale Automatisierungslösungen für die Chemie- und Life-Sciences-Industrie

Seite 24

Innovationen sind gefragt

Chemische Reaktionstechnik und ihre Bedeutung für die Transformation

Die chemische Reaktionstechnik liegt an der Schnittstelle zwischen Chemie und Verfahrenstechnik. Wer vom Scale-up von Prozessen, von der Elektrifizierung oder vom Einsatz von Wasserstoff spricht, muss die Reaktionstechnik automatisch mitdenken: Denn die Transformation der chemischen und pharmazeutischen Industrie passiert in den Reaktoren, Fermentern und Anlagen der Branche. Und die Reaktionstechnik bestimmt die Verfahrensbedingungen, regelt, was wann wo stattfindet, sorgt für Energieeffizienz und beeinflusst die Produkteigenschaften.

Drei Trends machen sich nach Ansicht von Experten derzeit in der Reaktionstechnik besonders bemerkbar:

- auf einem grundlegenden Verständnis von Reaktoren und Reaktionen basierende integrierte Produkt- und Prozessauslegung
- Prozessdiagnostik auf der Grundlage von Modellen, Operando-Untersuchungen und Prozessdaten
- Elektrifizierung chemischer Prozesse und die elektrochemische und chemische Energiespeicherung im großen Maßstab

Parametern lassen sich Reaktionszeiten und Strom- oder Wärmebedarf bzw. -erzeugung berechnen. Bezieht man die Transportprozesse mit ein, lässt sich der Reaktor so gestalten, dass die Reaktion sicher und mit hohen Ausbeuten durchgeführt werden kann. Dafür sind Mini-plant-Studien unerlässlich, denn für die Prozessgestaltung und -analyse müssen auch Recyclingströme sowie der Betrieb unter Teillast und während des An- und Abfahrens der Reaktion berücksichtigt werden. Mit Hilfe eines guten Modells kann der



Die Entwicklung neuer Prozesse und die Entwicklung der Apparatechnik gehen Hand in Hand.

Neue diagnostische Methoden, ein besseres Prozessverständnis und die maßgeschneiderte Herstellung von Reaktoren und Komponenten, z.B. mit Hilfe von 3D-Druck, machen es möglich, neues Equipment bereitzustellen, das die aus den innovativen Prozessen entstehenden Anforderungen erfüllt.

Vom Labor zum industriellen Prozess

Immer häufiger wird dabei ein möglichst lückenloser Weg von der ersten Idee über den Laborreaktor bis zum großskaligen Prozess gesucht, um Engpässe beim Scale-up zu vermeiden und neue Verfahren schnell in die Anwendung zu bringen. Dabei helfen diverse diagnostische und Modellierungsmethoden. Schon im Labormaßstab sind die Reaktoren umfangreich instrumentiert, so dass eine genaue Kontrolle über die Reaktionsbedingungen wie Temperatur, Partialdrücke, Durchlaufzeiten etc. gegeben ist. Hinzu kommen leicht konfigurierbare Systeme zur Prozessautomatisierung, um die häufig parallelisiert installierten Reaktoren auch über längere Zeiträume automatisiert betreiben zu können. Die automatische Datenerfassung und -verarbeitung erleichtert die Interpretation der experimentellen Ergebnisse und bildet die Basis für die durchgängige Skalierung der Prozesse.

Je genauer die Stöchiometrie, Thermodynamik, Kinetik, Transportphänomene und relevante Sicherheitsdaten bekannt sind, desto besser lässt sich die Leistungsfähigkeit des Prozesses im industriellen Maßstab vorhersagen. Aus diesen

Prozess dann direkt in die Produktionsanlage gebracht werden. In der Praxis wird allerdings häufig eine Pilotanlage zwischengeschaltet, um die Risiken beim Scale-up zu reduzieren.

Großer Prozess in kleinen Strukturen?

Doch nicht immer ist das Ziel ein möglichst großer Reaktor. Das zeigt ein weiterer wichtiger Forschungstrend, die Flow Chemistry. Sie eröffnet neue Wege für katalytische Reaktoren und Produktionstechniken. Nanopartikel und andere funktionale Materialien lassen sich in mikro-

fluidischen Reaktoren mit genau definierten Eigenschaften herstellen. Solche Reaktoren ermöglichen außerdem einen besseren Wärme- und Stofftransport. Mikrostrukturierte Reaktoren zeichnen sich durch innenliegende Strukturen von zehn bis zu mehreren tausend Mikrometern aus. In solchen Strukturen lassen sich Flüssigkeiten innerhalb von Millisekunden erhitzen oder abkühlen.

Derzeit werden auch mikrostrukturierte Produktionsanlagen entwickelt, z.B., um mit erneuerbarer Energie synthetische Kohlenwasserstoffe oder hochwertige

Power-to-X-Chemikalien herzustellen. Dank ihrer exzellenten Wärmeübertragung ermöglichen sie hohe Raum-Zeit-Ausbeuten bei hoher Selektivität, genau definierten Produkteigenschaften und langer Katalysatorlebensdauer. Sind sie zudem modular aufgebaut und können schnell hoch- und heruntergefahren werden, dann sind sie für den dezentralen Einsatz am Ort der Energieerzeugung besonders interessant. Mehrere Unternehmen, darunter Inerotec, denken deshalb schon weiter: Sie wollen mikrostrukturierte Reaktoren nicht nur in der

Entwicklung einsetzen, sondern zu kommerziellen Produktionsanlagen ausbauen.

Die Entwicklungen bei den mikrostrukturierten Reaktoren in den letzten Jahren haben gezeigt, dass sich die Intensivierung des Wärmeaustauschs in Produktionsprozessen vor allem auf Einphasensysteme beschränkt, aber auch durch diese getrieben war. Im Prinzip können mikrostrukturierte Reaktoren auch für Mehrphasensysteme genutzt werden. Effekte wie die Oberflächenspannung, Benetzung oder ein uneinheitliches Fließverhalten in

parallelen Kanälen erschweren die industrielle Anwendung von Mikroreaktoren.

Für die großskalige Produktion bedarf es eines integrierten Scale-up-Konzepts, um den notwendigen Durchfluss zu gewährleisten, während der Durchmesser der Kanäle nur minimal erweitert wird. So bleiben die Vorteile der Mikroreaktionstechnik wie die hohe Durchmischungsrate, der exzellente Wärmetransfer und die gezielte Prozesskontrolle erhalten. Der angestrebte Durchsatz kann bspw. durch die parallele Anbindung der Kanäle an ein Kanalbündel im Reaktor realisiert werden.

Shaoxing Eastlake Hi-Tech Co. hat 2016 in China den ersten großvolumigen auf Mikroreaktionstechnik basierenden Produktionsreaktor für die Produktion eines agrochemischen Inhaltsstoffs für landwirtschaftliche Anwendungen in Betrieb genommen. Inzwischen laufen drei dieser von der deutschen Tochtergesellschaft Ehrfeld Mikrotechnik entwickelten und hergestellten Reaktoren kontinuierlich mit einem Gesamtproduktionsvolumen von 30.000 t/a.

Zwischen Rührkessel und hybriden Verfahren

Die Entwicklung neuer Prozesse und die Entwicklung der Apparatechnik für den Bau chemischer Reaktoren gehen Hand in Hand. Heute ist die Bandbreite an Apparaten und Reaktordesigns so groß wie das Produktportfolio chemischer Anlagen. Aufgrund seiner Flexibilität ist der Rührkessel immer noch der am weitesten verbreitete Reaktortyp.

WE MAKE AUTOMATION work.

Lösungen, die funktionieren – seit 1962.

Rösberg entwickelt Innovationen, die die Prozessindustrie revolutionieren. In enger, partnerschaftlicher Zusammenarbeit liefern wir lösungsorientierte, zukunftssichere Ansätze für Ihre Projekte. Setzen Sie auf langjährige Erfahrung und profitieren Sie von unserem integrierten Portfolio aus Engineering-Dienstleistungen und ergänzenden Softwarelösungen.

Mehr Informationen auf: roesberg.com



Innovationen sind gefragt

◀ Fortsetzung von Seite 17

Doch das Spektrum an Technologien erstreckt sich vom klassischen Festbettreaktor mit Salzsäure- oder Verdampfungskühlung über Wärmetauscherreaktoren, Blasensäulen, Jetreaktoren, Düsen- und Fließbettreaktoren bis zu Hochtemperaturreaktoren und komplexeren Apparaten wie mikrostrukturierten, elektrochemischen und Knetreaktoren sowie hybriden Systemen wie der reaktiven Destillation, Extraktion oder Gaswäschern.

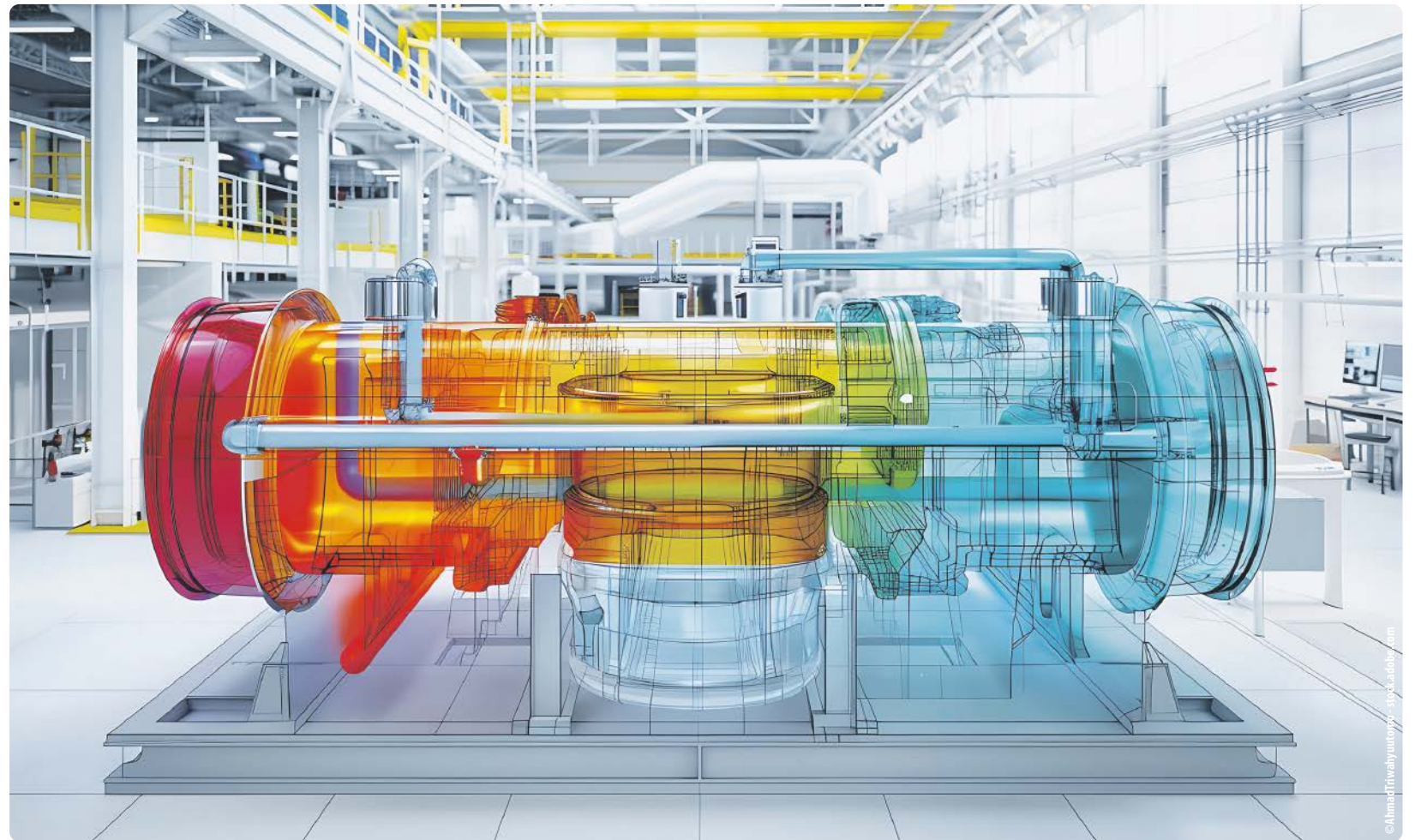
Obwohl der Rührkessel eines der ältesten chemischen Reaktordesigns ist, wird es immer noch stetig verbessert. So wurden für das ‚Innenleben‘ emaillierter Rührkessel neue Lösun-

Temperaturen. Sie werden bspw. bei partiellen Oxidationen eingesetzt, etwa in der Synthese von Acrylsäure.

Wenn die Ansprüche an den Wärmeaustausch oder die Temperaturkontrolle höher sind, können sog. Wärmetauscherreaktoren eingesetzt werden. Auf Basis von Platten- oder Rohrbündelwärmetauschern ermöglichen sie sehr hohe Wärmeaustauschraten für Einphasensysteme.

Herausforderungen aus der Anwendung

Die neuen industriellen Prozesse, der Wechsel in der Energie- und Rohstoffbasis und das Streben nach Wirtschaftlichkeit werden die Reaktionstechnik auch in den kom-



Aufgrund seiner Flexibilität ist der Rührkessel noch der am weitesten verbreitete Reaktortyp.

gen wie flexible Strombrecher und andere Modifikationen entwickelt, die die Flexibilität und Energieeffizienz von Gas-Flüssig-Systemen trotz der sonstigen Einschränkungen emaillierter Systeme deutlich verbessert haben.

Um den Wärmeaustausch zu steigern, können Wärmetauscherplatten in den Rührkessel eingebracht werden, die größere Austauschflächen bieten als innenliegende Wärmetauscherschlangen. So lassen sich exotherme Reaktionen, etwa Suspensionshydrierungen, besser kontrollieren. Salzbadreaktoren sind konventionelle Festbettreaktoren für exotherme, heterogen katalysierte Gasphasenreaktionen bei hohen

menden Jahren vor Herausforderungen stellen. Gerade angesichts der Trends hin zu biobasierten und recycelten Rohstoffen, deren Zusammensetzung und physikalische Eigenschaften deutlich stärker variieren als die konventioneller petrochemischer Rohstoffe, und die typischerweise weit mehr Verunreinigungen enthalten, müssen die Reaktoren einerseits möglichst weitgehend optimiert sein, andererseits aber auch robust genug, um mit wechselnden Anforderungen zurechtzukommen.

So erfordern einige biotechnologische Prozesse große Reaktorvolumina von mehr als 1.000 m³ und gleichzeitig hohe spezifische Masse-

transferraten. Für ein konventionelles Lüftungssystem werden dann schnell Motorleistungen von mehr

als 10 MW gebraucht, was mechanisch schwer umzusetzen ist. Die Entwicklung hybrider Begasungs-

technologien und neue Wege für die Wärmeabführung könnten dazu beitragen, solche Verfahren schneller in die industrielle Anwendung zu bringen.

Bei der Produktion neuer Gen- und Zelltherapeutika dagegen, die stark individualisiert sind, sollten möglichst alle Reaktionsschritte auf kleinem Raum nahe am Point-of-Care stattfinden – die Pharmafabrik in einer kompakten, mobilen ‚Truhe‘ wäre hier ein mögliches Ziel.

So vielfältig die Anwendungen, so innovativ die Lösungen, die Reak-

tionstechniker entwickeln und für die die Apparate- und Anlagenbauer die Ausrüstung bereitstellen. Für die kommenden Jahre ist angesichts der zahlreichen Neuentwicklungen noch viel zu erwarten.

■ www.dechema.de

Dieser Beitrag basiert auf einem von der Dechema verfassten Achema-Trendbericht, dessen Grundlage die Roadmap Chemical Reaction Engineering, 3. Auflage 2023, war.

Achema 2024

Die Achema ist das Weltforum für chemische Technik, Verfahrenstechnik und Biotechnologie. Alle drei Jahre findet die globale Leitmesse der Prozessindustrie in Frankfurt am Main statt. Das Spektrum der diesjährigen Achema vom 10. bis 14. Juni 2024 umfasst von Laborausstattung, Pumpen und Analysegeräten über Verpackungsmaschinen, Kessel und Rührer bis zu Sicherheitstechnik, Werkstoffen und Software alles, was in der chemischen Industrie, der Pharma- und Lebensmittelherstellung benötigt wird. Der begleitende Kongress ergänzt die Themenvielfalt der Ausstellung mit wissenschaftlichen Vorträgen und zahlreichen Gast- und Partnerveranstaltungen.

■ www.achema.de

Wir laden Sie herzlich zur ACHEMA 2024 ein.

#ACHEMA24

10. – 14. Juni 2024

Frankfurt am Main

www.achema.de

Lösen Sie den Gutscheincode ein unter www.achema.de/de/tickets

Sie erhalten dann Ihr Ticket auf elektronischem Weg.

Der Gutscheincode allein berechtigt nicht zum Eintritt. Inhaber eines Gutscheincodes müssen sich im Internet registrieren und ihr persönliches Ticket ausdrucken.

Ihr Gutschein-Code:

A_FnZuWuvD

Wir freuen uns auf Ihren Besuch.

Wiley-VCH GmbH

Foyer 4.1 Stand A31



Gutscheincode

WILEY

www.chemanager.com

chemanager-online.com/reinraumtechnik
chemanager-online.com/citplus
lvt-web.de

Top-Titel
für die Chemie-,
Pharma- und Lebens-
mittelindustrie

CHEManager

Die führende Branchenzeitung für die Märkte der Chemie und Life Sciences

LVT LEBENSMITTEL Industrie
Die Zeitschrift für Fach- und Führungskräfte der Lebensmittel- und Getränkeindustrie

CITplus

Das Praxismagazin für Verfahrens- und Chemieingenieure

ReinRaumTechnik

Die führende Fachpublikation für Betreiber und Nutzer von Reinräumen



Ihre Ansprechpartner:

Redaktion

Michael Reubold
Leitung/Chefredakteur CHEManager
Tel.: +49 (0) 6201 606 745
michael.reubold@wiley.com

Ralf Kempf
stellv. Chefredakteur CHEManager
Tel.: +49 (0) 6201 606 755
ralf.kempf@wiley.com

Etwin Gandert
Chefredakteur CITplus
Tel.: +49 (0) 6201 606 768
etwin.gandert@wiley.com

Jürgen Kreuzig
Chefredakteur LVT
Tel.: +49 (0) 6201 606 729
juergen.kreuzig@wiley.com

Roy Fox
Chefredakteur ReinRaumTechnik
Tel.: +49 (0) 6201 606 714
roy.fox@wiley.com

Mediaberatung

Thorsten Kritzer
Tel.: +49 (0) 6201 606 730
tkritzer@wiley.com

Hagen Reichhoff
Tel.: +49 (0) 6201 606 001
hreichhoff@wiley.com

Stefan Schwartz
Tel.: +49 (0) 6201 606 491
sschwartz@wiley.com

Jan Käppler
Tel.: +49 (0) 6201 606 522
jkaeppler@wiley.com