



Picture: Forschungszentrum Karlsruhe

Micro system: Size minimization is accompanied by a very significant intensification of heat and material transfer.

Mikroreaktionssystem: Mit der Minimierung der Abmessungen wird die Wärme- und Stoffübertragung sehr stark intensiviert.

Today, the absolute size of a system or piece of equipment is not the only issue. The real goal of process intensification is to increase the space/time yield, improve selectivity and reduce overall production costs. AICHEMA 2006 will put forward new strategies and practical solutions.

Heute steht die absolute Größe einer Anlage oder eines Apparates nicht allein im Mittelpunkt des Interesses. Ziel der Prozessintensivierung ist es, die Raum-Zeit-Ausbeuten zu erhöhen, die Selektivitäten zu verbessern und insgesamt die Produktionskosten zu senken. Auf der AICHEMA 2006 werden dazu neue Ansätze und praxismgerechte Lösungen zu sehen sein.

Probing and minimizing the limitations

Limitierungen ausloten und minimieren

A reduction in size undoubtedly remains an important strategy in the process intensification toolkit (micro process technology). However, the hardware, apparatus or any other component is not the primary consideration. The real attention is focused on the functions, e.g. heat exchange as a unit of operation rather than on the heat exchanger per se. Essentially, the goal is to identify the limitations of conventional material and heat transport systems and then circumvent these limitations. A number of different strategies are combined under the head-

Unter der Headline „Prozessintensivierung“ werden sehr unterschiedliche Konzepte verstanden. Einerseits ist ein Trend von Multipurpose-Anlagen hin zu kleinen Dedicated-Anlagen zu beobachten, von denen man dann bei Bedarf nach höheren Kapazitäten einfach mehrere nebeneinander stellt (Numbering-up). Andererseits wird der Begriff der Prozessintensivierung auch für völlig neue Reaktortypen oder Verfahren angewandt, bei denen wesentlich höhere Raum-Zeit-Ausbeuten möglich sind und ein erheblich reduzierter Aufwand für Reaktoren und Rohrleitungen erforderlich ist. Typische Beispiele sind Mikroreaktoren, Rotating-Disc-Reaktoren oder in der Polymerisationstechnik Knetter-Reaktoren und ähnliche Schneckenmaschinen sowie die Sprühpolymerisation. Hinzu kommt der Einsatz von Verfahren mit inhärent höherer Polymerisationsgeschwindigkeit, die auf ionischen oder katalysierten Polymerisationsmechanismen beruhen. Weitere interessante Anwendungen bieten integrierte Verfahren wie die Reaktivdestillation oder die Reaktivchromatographie. Was aber unterscheidet die Prozessintensivierung von Prozessoptimierung oder Prozessintegration? Wie grenzt man das Gebiet gegenüber Mikroreakorteknik, Mikroverfahrenstechnik und ähnlichem ab? Es gibt eine

Trends at a glance

- Intensifying energy and material transport
- Increasing the space/time yield
- Making more efficient of resources
- Numbering-up better than scaling-up

Trends auf einen Blick

- Intensierte Energie- und Stofftransporte
- Höhere Raum-Zeit-Ausbeute
- Effizientere Nutzung von Ressourcen
- Numbering-up vorteilhafter als Scaling-up

ing "process intensification", making a precise definition elusive. The term can be used to describe a preference for multi-purpose systems or small dedicated-lines which can be duplicated so that capacity can be ramped up as needed (numbering up). Process intensification can also refer to completely new types of reactors and techniques which can substantially improve space/time yield and reduce the costs associated with reactors and pipes. Typical examples from the field of polymerization engineering include micro reactors, rotating-disc reactors, kneader reactors and similar screw-based machines as well as spray polymerization. There are also methods which are based on ionic or catalytic polymerization mechanisms, where polymerization speed is inherently higher. Process integration based on reactive distillation or reactive chromatography also appear to offer significant potential.

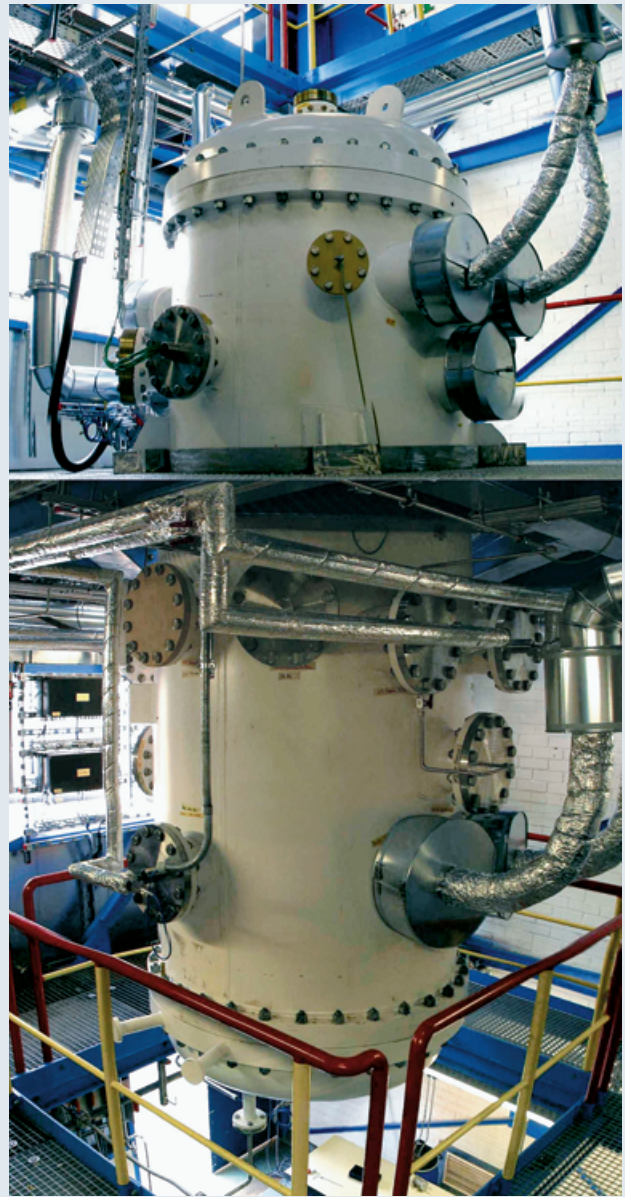
It is, however, difficult to distinguish between "process intensification", "process optimization" and "process integration." How do you differentiate between "micro reactor technology", "micro process technology", etc.? Actually, there is a clear distinction. Process intensification is a strategy, and the other two terms belong more in the tool category (hardware). The important thing is to get educts and products to the right place at the right time and to efficiently control the heat and material transport.

According to IMM (Institute for Microtechnology in Mainz), process intensification refers to a process which is

- better (higher yield/selectivity) and faster (enhanced space/time yield)
- safer and better for the environment (green chemistry with no high-risk process systems)

klare Unterscheidung: Bei der Prozessintensivierung handelt es sich um eine Strategie, während es bei den anderen Begrifflichkeiten eher um Werkzeuge (Hardware) geht. Entscheidend ist, wie gut es gelingt, Edukte und Produkte zur richtigen Zeit an den richtigen Ort zu bringen und den Wärme- und Stofftransport zu kontrollieren. Das IMM (Institut für Mikrotechnik Mainz) beispielsweise versteht unter Prozessintensivierung, einen Prozess besser (höhere Ausbeute, Selektivität), schneller (größere Raum-Zeit-Ausbeute), sicherer und umweltverträglicher (Grüne Chemie, ohne riskante Prozesssysteme) sowie preiswerter zu gestalten (niedrigere Investitionskosten, und/oder operativ betriebliche Gesamtaufwendungen).

Weil das Potential der Prozessintensivierung so überaus vielversprechend erscheint, hat sich unter dem Dach der DECHEMA die Fachsektion „Prozessintensivierung“ etabliert – nicht weniger als 135 Gründungsmitglieder bezeugen das hohe Interesse am Thema. Zielsetzung ist es, in chemischen und biotechnologischen Prozessen „deutliche ökonomische und ökologische Effizienzsteigerungen“ zu erzielen. Dazu seien „neue Anstrengungen erforderlich, die weit über die bisherige Optimierung von Verfahren hinausgehen“, heißt es. Durch Prozessintensivierung, d.h. durch ganzheitliche Prozessentwicklung unter Einbindung völlig neuer Verfahrenskonzepte, sollen hier Quantensprünge erreicht werden. Die Fachsektion will die nationalen Aktivitäten hierzu bündeln und gleichzeitig als deutscher Ansprechpartner für internationale Gremien dienen. Hierfür ist eine enge Zusammenarbeit mit den Prozessintensivierungs-Netzwerken in den Niederlanden und in Großbritannien sowie mit der EFCE-Working Party „Process Intensification“ geplant. Dazu sind neue technologische Ansätze erforderlich,



Picture: Degussa

The process intensification "Project House" of Degussa will benefit from the results of the "Demonstration Project to Evaluate Microreaction Technology in Industrial Systems" (DEMiS) which Degussa has brought to a successful conclusion together with Uhde and participating universities. The picture shows the DEMiS reactor.

Das Degussa-Projekthaus „Prozessintensivierung“ soll bei der Entwicklung eines neuen Mikroreaktors von den Erkenntnissen aus „Demonstrationsprojekt zur Evaluierung der Mikroreaktionstechnik in industriellen Systemen“, kurz DEMiS, profitieren, das Degussa gemeinsam mit Uhde und Hochschulen erfolgreich abgeschlossen hat. Im Bild der DEMiS-Reaktor.

■ more cost effective (lower investment costs and/or total operational costs). Because process intensification appears to offer so much potential, a "Process Intensification" group has been established at DECHEMA.

die vom Apparat bis zum Prozessverständnis und zur Prozessautomatisierung alles einschließen. Wichtige Ansatzpunkte für die Prozessintensivierung sind z.B. die Verringerung der Zahl der Prozessschritte durch Integration

The fact that there were 135 founding members from industry and sciences reflects the high level of interest in this technology. The goal is to significantly increase the economic and ecological efficiency of chemical and biotechnology processes. The organization believes that this will require a "new level of effort which goes far beyond the process optimization that we have seen in the past". Process intensification means holistic process development using totally new process strategies which will lead to quantum improvements.

The Process Intensification group will focus on activities at a national level and act as the German point of contact for international bodies. The organization plans to work closely with process intensification networks in Holland and the UK and with the EFCE "Process Intensification" working party.

A new technological approach will be required which encompasses everything from equipment and a deeper understanding of the process to process automation. Possible strategies include micro process technology, intensification of heat and material transfer, non-traditional methods of energy input, new approaches to process control and a reduction in the number of process steps by integrating reaction and product preparation. "We need new, unconventional strategies for process intensification – revolution instead of evolution," declared Martin Strohrmann from BASF. "The engineers cannot solve these problems on their own. We have to delve deeper into the basics and strengthen our networks with universities, professional bodies and partners in the EU."

Numbering-up better than scaling-up

What actually happens? Dimensions shrink down to the millimeter or micrometer range. Size minimization is accompanied by a very significant intensification of heat and material transfer. The surface to volume ratio, the specific phase boundary, rises in micro-structured equipment to several thousand m^2/m^3 . For example, micro heat exchangers which are no larger than a cube of sugar can handle the energy of an entire one-family home. The new numbering up approach eliminates the risks which are associated with scaling up, and this gives process intensification a significant advantage. Micro systems are often run in parallel using the optimal parameters which were identified in the lab.

von Reaktion und Produktaufarbeitung, die Mikroverfahrenstechnik, die Intensivierung des Wärme- und Stoffaustauschs, die nichtklassischen Formen des Energieeintrags sowie neue Konzepte in der Prozesssteuerung.

Numbering-up vorteilhafter als Scaling-up

Was geschieht konkret? Die Abmessungen schrumpfen in den Bereich von wenigen Millimetern oder gar Mikrometern. Mit der Minimierung der Abmessungen wird die Wärme- und Stoffübertragung sehr stark intensiviert. Das Verhältnis von Oberfläche zu Volumen, die spezifische Phasengrenzfläche, steigt bei mikrostrukturierten Apparaten auf mehrere Tausend m^2/m^3 . Mikro-Wärmetauscher z.B. von der Größe eines Würfel-

In the field of reactor technology, the traditional approach was to adapt the chemical process to the equipment. For example, the walls were used for temperature control, but this becomes increasingly difficult as equipment dimensions continue to increase. Now the equipment can be adapted to the chemical process, so that the full potential of a chemical reaction can be exploited. Process intensification will be the solution of choice for reactions which involve intensive mixing or which are very endothermic or exothermic. The chemical reactions can take place without any limitations on heat and material transport.

Last, but not least, safety aspects are not insignificant, because smaller volumes of reactants are easier to handle and control.

An interdisciplinary approach

The "Multi-Phase Flow, Material Transport Process and Reactor Development" working group at the University of Bremen's Environmental Engineering Institute shows very clearly that "process intensification" is an interdisciplinary effort which encompasses a whole range of technology and research fields. The working group is currently working on the development of complete, fully functional micro reactor systems which are designed to replace entire processes. The working group's partners use micro metallic powder injection molding (Fraunhofer IFAM, Bremen) to produce components. They also supply silicon etch processes (IMTEK Microsystems Technology Institute, University of Freiburg; IMSAS, University of Bremen), develop μ -MSR technology (BIAS Bremen Institute for Applied Radiation Technology) and perform system integration (Schulz-Systemtechnik, Visbek).

Process Intensification "Project House"

Degussa will invest €15 million over the course of three years in its process intensification project to conduct research into new process strategies and reactor designs. The team will be looking to develop

zuckers können die Energie eines kompletten Einfamilienhauses umsetzen. Ein besonderer Vorteil der Mikroverfahrenstechnik: Die Risiken der Maßstabsvergrößerung (Scaling-up) bestehen beim Numbering-up nicht: Die Mikro-Strukturapparaturen werden entsprechend oft parallel geschaltet, mit den im Labor gefundenen optimalen Betriebsparametern.

Projekthaus „Process Intensification“

Im Rahmen des Projekthauses „Process Intensification“ will die Degussa innerhalb von drei Jahren rund 15 Millionen Euro in die Erforschung neuer Prozessstrategien und Reaktorkonzepte stecken. Dabei sollen die Mitarbeiter Prozessstrategien für die drei Produktfelder „Hochaktive Katalysatoren“, „Funktionale Materialien“ und „Disperse Systeme“ erarbeiten. Als Klammer für diese Produktfelder dient das vierte Arbeitsfeld „Chemical ExplorENG“ im Sinne von Exploring Chemical Engineering, in dem modulare Anlagenkonzepte zur Herstellung von Spezialchemikalien entwickelt werden. Es geht hier um eine Art von Baukasten, bei dem verschiedene Anlagenteile zeitgleich gebaut und vor Ort zusammengesteckt werden. Der Vorteil: Die Zeit zum Aufbau einer Anlage verkürzt sich deutlich, neue Produkte stehen dem Markt somit schneller zur Verfügung. Daneben könnte eine modulare Bauweise Geld sparen, wenn es darum geht, die Anlagenkapazität zu erweitern – ein Pluspunkt vor allem dann, wenn zur Markteinführung eines neuen Produkts zunächst nur kleine Mengen benötigt werden.

Auf dem Gebiet hochaktiver Katalysatoren will das Projekthaus die Mikroverfahrenstechnik in Form eines neuartigen Reaktorkonzeptes nutzen, um heterogen katalysierte Gasphasensynthesen signifikant zu verbessern. Das Projekthaus wird bei der Entwicklung des neuen Mikroreaktors von den Erkenntnissen aus dem BMBF-geförderten „Demonstrationsprojekt zur Evaluierung der Mikroreaktionstechnik in industriellen Systemen“, kurz DEMiS, profitieren, das Degussa ge-

process strategies in three areas: "highly active catalysts", "functional materials" and "disperse systems".

The fourth area, "Chemical ExplorENG" (Exploring Chemical Engineering), acts at the glue which holds the project together. The focus here is on development of modular systems which are used to produce special chemicals. Various modules can be built simultaneously and "plugged together" on site. This reduces the time it takes to get a line up and running, and it reduces time to market. Modular design can also save money when capacity needs to be ramped up. This is a big advantage when demand is low at the time of product introduction.

The "highly active catalysts" group plans to use micro process technology and a new reactor design to significantly improve gas synthesis processes which make use of heterogeneous catalysts. The project team will benefit from the results of the "Demonstration Project to Evaluate Microreaction Technology in Industrial Systems" (DEMiS) which was subsidized by the German government and which Degussa has now brought to a successful conclusion together with Uhde and participating universities. More active catalysts and new catalyst preparation techniques will be needed to exploit the full potential of microprocess technology. The goal of "functional materials" research is to find new ways of encapsulating solids, polymerizing water-insoluble monomers and producing ultra-fine organic particles. The team is looking at products like adhesives that can be activated and impact modifiers. The team intends to use mini emulsions, which have super fine droplets with a narrow size distribution and diameters in the 110–100 nm range, as the vehicle. This type of nano droplet reactor can only be produced by using high specific energy input during the emulsification process. A number of current scientific articles contain an impressive description of how mini emulsions can be produced in a laboratory, but no one has succeeded in implementing the process in a production-scale system.

Last, but not least, the "disperse systems" team is exploring ways to reduce process times and thereby increase process efficiency. Research is focused on alternative process paths for the production of color paste and on new reactor designs for intensive fermentation. This could expand the operating range of the traditional continuous stirred tank reactor. ■

meinsam mit Uhde und Hochschulen mittlerweile erfolgreich abgeschlossen hat. Im Bereich „funktionaler Materialien“ geht es um neue Wege, Feststoffe einzukapseln, wasserunlösliche Monomere zu polymerisieren und ultrafeine organische Partikel herzustellen. Im Blick hat das Projekthaus Produkte wie aktivierbare Klebstoffe oder Schlagzähmacher für Duroplaste. Ziel beim Schwerpunktthema „disperse Systeme“ schließlich ist die Verkürzung von Prozesszeiten und damit eine höhere Prozesseffizienz. Das Projekthaus erforscht hier alternative Prozessrouten zur Herstellung von Farbpasten sowie neue Reaktorkonzepte für Intensivfermentationen, die den Arbeitsbereich des klassischen Rührkessel-Fermenters erweitern könnten. ■