



Teil eines miniaturisierten Drucksensors von Siemens im Größenvergleich zu einer Ameise: Über die runde Fläche werden Kräfte an eine Membran übertragen. An den T-förmigen Vertiefungen sind die Kontaktstellen für einen Thermofühler.

Klein, aber fein

– die Mikrorevolution in der Chemie-Industrie

Auch in der chemischen Industrie ist Flexibilität gefragt. Immer neue Produkte müssen immer schneller auf den Markt kommen. Mit riesigen Anlagen ist das unmöglich. Eine Lösung bietet die Mikroreaktionstechnik. Siemens beteiligt sich an einem Forschungsprojekt, das die winzigen Reaktionsgefäße auf ihre industrielle Tauglichkeit überprüfen soll.

Auf Dr. Arno Steckenborns Fingerkuppe glitzert ein quadratisches Etwas, das an einen Computerchip erinnert. Die Strukturen auf der Siliziumoberfläche sind kaum zu erkennen. „Das ist ein Druck- und Temperatursensor“, erklärt der Physiker von Siemens Corporate Technology in Berlin. Das äußerlich

wenig spektakuläre Teil ist eine Schlüsselkomponente eines Forschungsprojekts, das eine radikale Veränderung der Chemie- und Pharmaproduktion bedeuten könnte.

Die Rechnung war bisher einfach: Wenn ein Chemieunternehmen große Margen erzielen wollte, erzeugte es seine Produkte in möglichst großen Anlagen. Dann fielen die hohen Investitionen für die Technik im Verhältnis zu den Gesamtkosten weniger ins Gewicht. Aber diese Überlegung geht nicht immer auf. Ist das Produkt nicht mehr gefragt, steht eine teure Großanlage da, deren Umbau beträchtliche Summen verschlingt. Als Lösung bietet sich eine Minifabrik an, die einfach zu realisieren ist, und die bei Bedarf

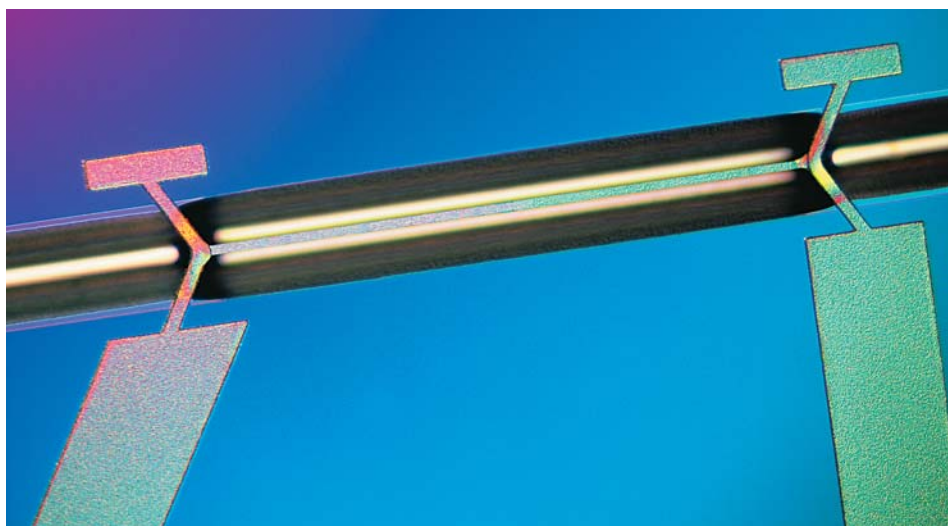
durch eine beliebige Zahl weiterer Minifabriken ergänzt werden kann. Die Investitionskosten sinken und auch der Zeitaufwand für das so genannte scale-up fällt weg, das Verlagern des Prozesses vom Labor auf den industriellen Maßstab.

„Die Miniaturisierung hätte für die chemische Industrie noch weitere Vorteile“, sagt Inga Leipprand vom Anlagenbau- und Verfahrenstechnikunternehmen Siemens Axiva. Reaktionen im Mikromaßstab können in modularen Einheiten – also sehr flexibel – realisiert werden, laufen kontinuierlich und ohne zeitraubende Aufarbeitung oder Kesselreinigung ab, was einen weiteren Kostenvorteil gegenüber heutigen Anlagen bedeutet. Auch bergen viele chemische Reaktionen große Gefahren. Dabei hängt es allerdings von der verwendeten Menge an Chemikalien ab, wie viel Wärme freigesetzt wird oder ob sogar ein explosiver Verlauf möglich ist. In einem Reaktor, dessen Kanäle haarfein sind, kann aber die entstehende Prozesswärme leicht abgeleitet werden, da einem kleinen Volumen eine relativ große Oberfläche zur Verfügung steht. Zudem ist die Ausbeute oft größer und es fallen weniger Nebenprodukte an, da die Bedingungen im Mikromaßstab wesentlich exakter eingestellt werden können. Auch können giftige Stoffe in kleinsten Mengen gefahrlos verarbeitet werden.

Winzling produziert Tonnen. In der Chemie-Industrie scheint sich ein Wandel anzubahnen. Nach einer Studie des Instituts für Mikrotechnik in Mainz (IMM) sind alle 30 Top-Unternehmen an der Erforschung der Technik interessiert. Es wird erwartet, dass ab 2005 Mikroreaktoren verstärkt für die Produktion eingesetzt werden. Einige Unternehmen beschäftigen sich seit geraumer Zeit intensiv mit der neuen Technik, erste Ergebnisse für den industriellen Maßstab liegen bereits vor. So laufen bei der Firma Merck seit 1998 mehrere Mikroreaktoren für die Produktion einer Feinchemikalie. Für das Darmstädter Unternehmen ist flexible Produktion besonders wichtig: Es bietet mehr als 10.000 verschiedene Chemikalien an. Von mehr als zwei Drittel davon werden pro Jahr weniger als zehn Kilogramm hergestellt.

Auch bei der BASF in Ludwigshafen wurden Synthesen untersucht und mit den Ergebnissen einige Prozesse optimiert. Zwar lassen die Strukturen der winzigen Reaktoren, deren Kanäle und Zuführungen im Bereich von Mikrometern (millionstel Meter) liegen, keine Reaktionen mit Feststoffen zu, die sofort die Leitungen verstopfen würden. Dennoch gehen die Experten davon aus, dass sich viele Grund- und zahlreiche Feinchemikalien, darunter auch Arzneistoffe, in Mikroreaktoren herstellen lassen, beispielsweise in flüssiger Form. Die Menge dürfte kein Problem sein: Im kontinuierlichen Betrieb kön-

vollautomatisch betrieben werden können. Eine wichtige Voraussetzung für den industriellen Betrieb von Mikroreaktoren ist daher die Automatisierung des Prozesses. Hier kommt Siemens Automation and Drives (A&D) ins Spiel. Der Siemens-Bereich ist zusammen mit Axiva, Merck und dem Fraunhofer-Institut für Chemische Technologie (ICT) in Pfinztal bei Karlsruhe an einem Förderprojekt des Bundesforschungsministeriums (BMBF) beteiligt, das ein Mikroreaktionssystem für die industrielle Praxis zum Ziel hat. Das System soll eine modulare Mikrofluidik zur Versorgung mit Ausgangsstoffen und



Der wohl kleinste Wärmeleitfähigkeitsdetektor der Welt: 200-mal dünner als ein Haar ist der Golddraht in der Mitte der Messzelle. Diese Sensoren eignen sich etwa für die Analyse von Gasen.

nen etwa durch einen würfelförmigen Reaktor des Forschungszentrums Karlsruhe mit drei Zentimeter Kantenlänge 7.000 Liter pro Stunde gepumpt werden – im Jahr sind das 60.000 Tonnen.

Es gibt inzwischen eine Vielzahl Mischer und Wärmetauscher mit Kanälen von drei bis 300 Mikrometern aus Materialien wie Silizium, Stahl, Glas oder Keramik – die aber meist individuelle Entwicklungen darstellen, daher nicht kompatibel sind und auch nicht

zur Produktaufbereitung sowie Sensorik, Analytik und Prozessleittechnik enthalten. Die Abmessungen werden passend für die Verfahrensentwicklung und die kontinuierliche Produktion im Kilogramm-Maßstab gewählt. Die Partner wollen eine Nitrierung untersuchen, eine der bedeutendsten Umsetzungen in der Chemie: Die an Moleküle angehefteten Nitro-Gruppen ($-NO_2$) können leicht in andere funktionelle Gruppen umgewandelt werden. Nitrierungen verlaufen meist unter großer Wärmeentwicklung und ergeben oft viele Nebenprodukte. Sie sind daher besonders für die Erprobung der Mikrotechnik geeignet.

„Der Clou ist die Integration eines fluidischen Bussystems für Chemikalien und eines elektrischen Bussystems für die Kommuni- →

kation“, sagt Inga Leipprand von Axiva. Im Zuge des BMBF-Projektes ist A&D für das System inklusive der Steuerung zuständig, Arno Steckenborn und seine Mitarbeiter vom Fachzentrum Micromechanics & Coating sollen dafür Sensoren liefern. Denn um einen chemischen Prozess exakt regeln zu können, müssen Druck, Temperatur, Massenfluss und auch die Dichte des Gemisches in jeder Phase bekannt sein. „Bisherige Drucksensoren für Mikroreaktionsanlagen haben vor allem den Nachteil, dass in ihren Ritzen Chemikalien zurückbleiben“, erklärt Steckenborn.

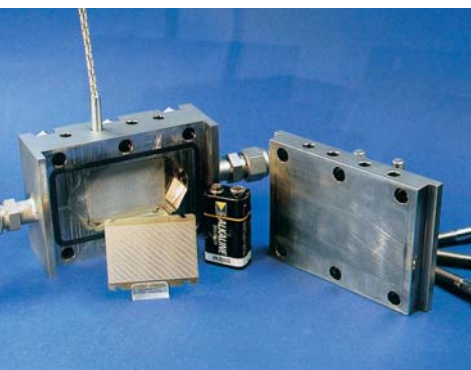
Perfekte Mikro-Baukunst. Im neuen Drucksensor aus Silizium gibt eine Membran den Druck des Gemisches über einen Stempel an eine leitfähige Struktur weiter. Deren Widerstand verändert sich und liefert ein proportionales Signal für die Druckdifferenz. Hinter der Membran befindet sich noch ein Thermofühler. Der Drucksensor selbst besteht aus zwei Siliziumteilen, die gebondet sind. Das so genannte Direktbonden ist eine Art Kleben, wobei das Silizium mit Chemikalien vorbehandelt wird. Dadurch lagern sich auf der Oberfläche Hydroxid-Moleküle ab. Beim Zusammenpressen haften die Teile über Wasserstoffbrücken fest aneinander, beim Erhitzen auf etwa 1000 Grad Celsius entsteht dann eine nahtlose und untrennbare Verbindung. Sind zusätzlich Metalle im Spiel, darf die Temperatur nicht zu hoch gewählt wer-

den, da sonst Metallatome in die Siliziumschicht wandern. Das verschlechtert die Empfindlichkeit des Sensors. Steckenborn und sein Team haben die Technik indes zur Perfektion entwickelt: So kommen die Forscher heute mit nur 250 Grad Celsius aus, was noch komplexere Bauteile ermöglicht.

Steckenborn ist es auch gelungen, den wohl kleinsten Wärmeleitfähigkeitsdetektor der Welt zu bauen. Die Messkammer ist einen Millimeter lang und enthält einen 0,3 Mikrometer dicken Golddraht – etwa zweihundertmal dünner als ein Haar. Der Sensor kann zur Analyse von Gasen verwendet werden. Dazu wird der Sensor erhitzt, wobei der Draht etwa 100 Grad heißer ist als die ihn umströmenden Gase. Wenn sich deren Zusammensetzung ändert, ändert sich wegen der unterschiedlichen Wärmeleitfähigkeit der Gase die Temperatur am Draht und damit auch sein Widerstand, was in ein Signal umgewandelt wird. Das Messprinzip ist seit langem bekannt, revolutionär ist indes die extreme Miniaturisierung.

Gewaltige Umstellung. Ähnlich verhält es sich mit einem weiteren von Steckenborns Bauteilen aus dem Lande Liliput, dem Durchfluss-Sensor, der wie eine winzige Zimmerantenne aussieht. Das Prinzip beruht auf der so genannten Coriolis-Kraft, eine bei rotierenden Körpern auftretende Kraft, die beispielsweise Wolken auf der nördlichen Erdhalbkugel nach Osten abdriften lässt. Im Sensor durchfließen die Chemikalien einen Ring, der in Schwingungen versetzt wird. Die Coriolis-Kraft bewirkt kleinste Abweichungen aus der Schwingungsebene, woraus der Massendurchfluss und damit auch die Dichte berechnet werden können. In der chemischen Industrie werden solche Sensoren seit Jahren eingesetzt, allerdings in der Regel mit einem bis zu hundertmal größeren Durchmesser. Steckenborn schaut auf die winzige Antenne in seiner Hand und sagt: „Für die Kollegen bei Axiva oder Siemens A&D, die es gewohnt sind, in den Dimensionen des konventionellen Anlagenbaus zu denken, bedeutet der Trend zur Miniaturisierung schon eine gewaltige Umstellung.“

Norbert Aschenbrenner



Mikro-Reformer für Brennstoffzellen: Das Institut für Mikrotechnik in Mainz wandelt damit Methanol in Wasserstoff um, der wiederum in Brennstoffzellen eingesetzt werden könnte.