

Rechnen mit Blasen

Mikrofluidik-Chips mit eingebauter Logik rücken das Chemielabor für die Westentasche in greifbare Nähe

Autor: Ralf Krauter
Erscheinungsdatum: 13. 3. 2007

MANUSKRIFT

Cambridge, Massachusetts – Rush Hour in der City: Die Videoaufnahmen der Experimente des MIT-Forschers Manu Prakash erinnern an zeitgeraffte Luftbilder vom Großstadtverkehr. Doch es sind keine Autos, die sich da bewegen, sondern winzige Gasblasen in Wasser, die ein komplexes Netzwerk haarfeiner Kanäle durchströmen. Die visuelle Analogie zum Straßenverkehr ist frappierend. Die Blasen flutschen in Kolonnen durch die Kanäle, biegen an Verzweigungen ab, fädeln sich nach Passieren einer Beschleunigungsspur in den fließenden Verkehr ein und lassen an Kreuzungen zuerst den Querverkehr passieren. Alles in atemberaubendem Tempo und völlig automatisch, ohne Steuerung von außen. Allein die intelligente Geometrie der Kanäle schickt die Blasen auf die gewünschte Route.

Die neue Technik macht es möglich, chemische Minilabors im Chipformat weiter zu verkleinern. Das Herzstück dieser gefragten Werkzeuge für die Analytik und Synthese auf kleinstem Raum sind handtellergroße Chips mit hunderten feiner Kanäle und Reaktionskammern, in denen sich verschiedene Flüssigkeiten kontrolliert und in genau definierten Dosen miteinander vermischen lassen. Das Problem dabei: Bislang passt keines dieser „Labors für die Westentasche“ tatsächlich in eine solche. Um den Fluss der Reagenzien zu regeln, sind sperrige Ensembles computergesteuerter Ventile nötig, die im rechten Moment den Hahn auf oder zu drehen. Um die Miniaturisierung voran zu treiben, wollen die Forscher des MIT-Labors für Bits und Atome die logische Steuerung direkt in die haarfeinen Kanäle integrieren. Bubble Logic haben sie das junge Forschungsgebiet getauft - klingt sexy und meint das Rechnen mit in einer Trägerflüssigkeit gefangenen Blasen.

„Jede Blase in einem der Kanäle repräsentiert ein Bit“, erklärt der junge Inder Manu Prakash vom MIT, der die Ergebnisse seiner Arbeit jetzt auf einer Physikertagung in Denver präsentierte. Blase vorhanden, bedeutet eine Eins. Keine Blase steht für eine Null. „Durch eine Abfolge von Blasen generieren wir so einen digitalen Datenstrom, denn wir dann gezielt verändern können – genau so, wie die Bits in einem Computerchip“, so Manu Prakash. Bei ihren Demonstrationsversuchen pressen die MIT-Forscher mit Stickstoffblasen durchsetztes Wasser mit geringem Druck durch die winzigen Adern. Aber im Prinzip könnten die Blasen auch Tropfen einer beliebigen Flüssigkeit sein, die sich im Transportmedium nicht löst. Im Unterschied zur Elektronik kann also in jedem Bit etwas drin stecken. Und egal, ob das nun eine bestimmte Chemikalie ist, ein Protein oder eine lebende Zelle: Jede logische Operation wirkt auch auf den Inhalt

der Blase. „Sofern wir die Blasen-Bits fehlerfrei manipulieren, bekommen wir deshalb immer das korrekte chemische Endprodukt“, sagt Manu Prakash.

Zur Kontrolle des Blasen-Ballets auf dem Chip setzen die Experten allein auf die Macht der Geometrie. Die Breite der Kanäle variiert zwischen einem Zehntel und einem hundertstel Millimeter. Weil die darin eingeschlossenen Blasen versuchen, ihre Oberflächenspannung zu minimieren, nehmen sie - vereinfacht gesagt - immer den Weg des geringsten Widerstandes. Eine speziell geformte Ausbuchtung genügt deshalb schon, um eine Blase trotz kontinuierlicher Strömung solange inne halten zu lassen, bis die nächste des Weges kommt. Und ein bereits mit Blasen besetzter Kanal nach einer Verzweigung führt dazu, dass alle Nachfolger automatisch den anderen Abzweig nehmen.

Was sich allein durch Ausnutzung dieser simplen physikalischen Gesetze erreichen lässt, ist beeindruckend. Egal ob Schalter oder Transistoren, ob Speicher, Feedbackschleife oder Taktgeber – sämtliche Grundbausteine der Elektronik haben die Blasen-Dompteure mittlerweile mit Bubble Logic realisiert. Und zwar mit bis zu 1000 Schaltvorgängen pro Sekunde und damit hundert mal schneller als die computergesteuerten Ventile konventioneller Laborchips. Erste simple Anwendungen sind damit nur noch eine Fingerübung. Zum Beispiel das Vermischen von 23 Tropfen einer Substanz A mit einem Tropfen einer Substanz B samt nachfolgender Speicherung zwecks Analyse des Endprodukts. „Diese Technologie zur schnellen digitalen Verarbeitung chemischer Substanzen hat enormes Potenzial“, attestiert der britische Mikrofluidik-Experte James Wilkinson von der Universität Southampton.

Die MIT-Forscher arbeiten derweil an komplexeren Schaltungen, darunter ein Display, bei dem farbige Flüssigkeitstropfen als Pixel fungieren, sowie eine miniaturisierte Vorratskammer für Chemikalien: „Wir wollen zehntausende Substanzen auf einem kleinen Chip speichern“, erklärt Manu Prakash. Der praktische Nutzen etwa für Doping-Fahnder oder Ökotoxikologen liegt auf der Hand: Wer irgendwo unterwegs eine chemische Analyse machen will, hätte immer alles dabei. Die benötigten Reagenzien würden einfach aus dem Speicher extrahiert, die Analyse durchgeführt, das Ergebnis im Chip gespeichert – und das Labor für die Westentasche endlich seinem Namen gerecht.

Aber noch bleibt allerhand zu tun. Mechanismen, die Fehler durch misslungene Schaltvorgänge automatisch korrigieren, haben die Blasen-Dompteure schon implementiert. Minimale Druckschwankungen allerdings, verursacht von der Pumpe, die die blasenhaltige Flüssigkeit durch die Kanäle presst, machen teils immer noch Probleme. Auch die weitere Schrumpfung des Kanalnetzes ist nicht ganz einfach. Doch die Forscher sind optimistisch, diese Schwierigkeiten zügig in den Griff zu bekommen. Um schneller neue Mitarbeiter anheuern zu können, wollen sie eine Firma ausgründen, die die Mikrofluidikchips mit eingebauter Logik zur Marktreife entwickelt. Risikokapitalgeber haben bereits Interesse bekundet. Das Fernziel, die Grenze zwischen Chemie und Computertechnologie im wahrsten Sinne des Wortes verschwimmen zu lassen, lockt.