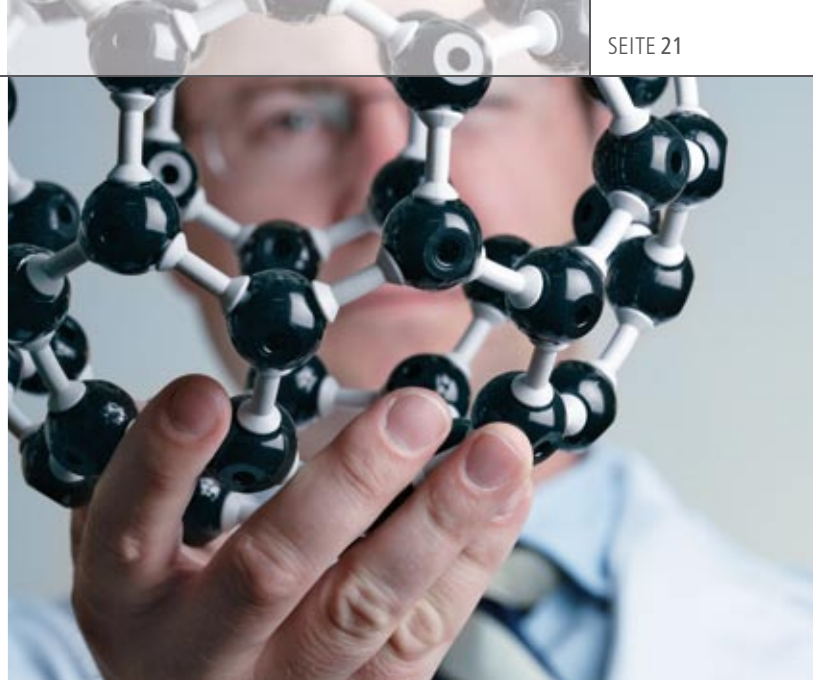
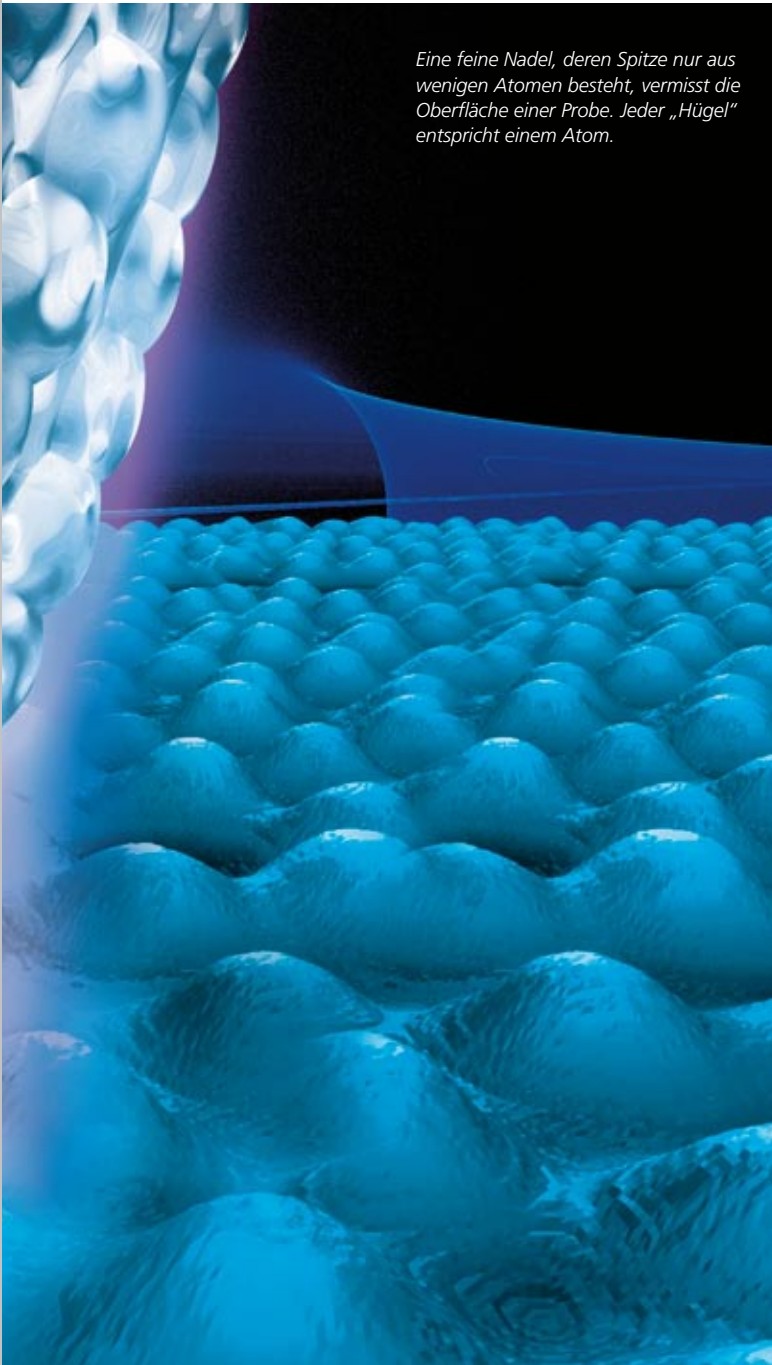


# Werkbank für die Nanowelt

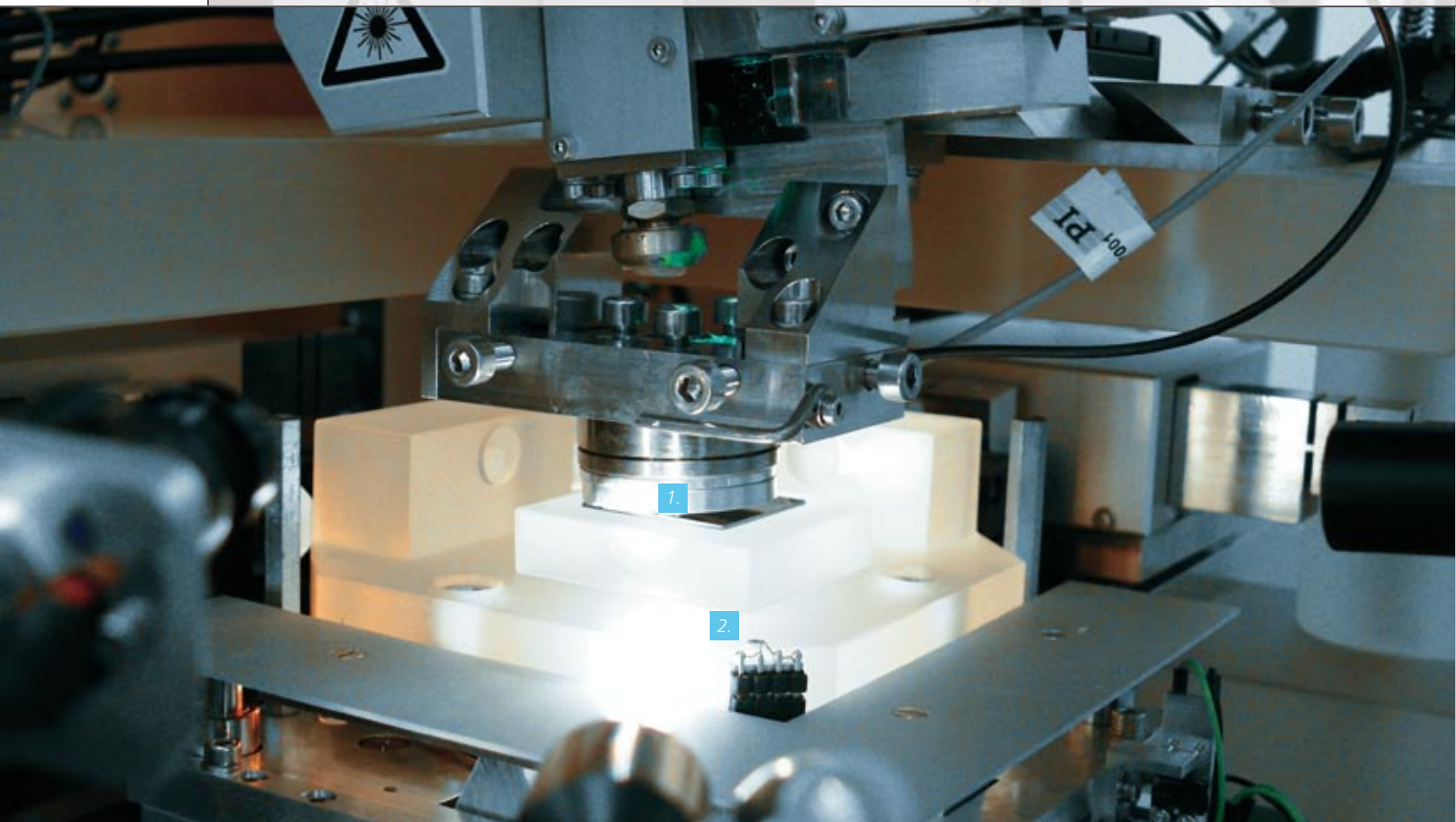
Entwicklung von Nano-Positioniermaschinen  
mit dSPACE-Werkzeugen



*Eine feine Nadel, deren Spitze nur aus wenigen Atomen besteht, vermisst die Oberfläche einer Probe. Jeder „Hügel“ entspricht einem Atom.*



Getreu dem Mooreschen Gesetz schafft es die Halbleiterindustrie fast alle zwei Jahre, die Zahl der Transistoren pro Flächeneinheit zu verdoppeln. Für die Bearbeitung derart winziger Strukturen sind präzise Positioniermaschinen nötig, mit denen sich die Bearbeitungswerkzeuge reproduzierbar und schnell an definierte Stellen bewegen lassen. Ein Team an der TU Ilmenau hat eine Positioniermaschine für Arbeiten im Nanometerbereich konstruiert, die mit Hilfe von dSPACE-Hard- und Software gesteuert wird und auf vielfältige Weise einsetzbar ist.



Das Herz der Positioniermaschine besteht aus einem beweglichen Positioniertisch, über dem der Tastkopf schwebt. Hiermit lassen sich vielfältige Aufgaben beispielsweise aus der Halbleiter-, Bio-, Gentechnik oder Mikromechanik bearbeiten.

1. Tastkopf  
2. Positioniertisch

### Von der Halbleiter- bis zur Gentechnik

Typische Aufgaben für Positioniermaschinen sind beispielsweise in der Halbleiterindustrie die Inspektion von Wafern und Belichtungsmasken oder auch der Test von ICs. Aber auch auf anderen Gebieten sind sie unverzichtbar, beispielsweise in der Bio- und Gentechnik, in der Mikromechanik oder auch bei der Vermessung und Bearbeitung von Präzisionsoptiken. „Schon in wenigen Jahren müssen Positionierbereiche von 450x450 mm mit einer Positionierreproduzierbarkeit im Subnanometerbereich und Positioniergeschwindigkeiten von 20-50 mm pro Sekunde zur Verfügung stehen“, so Prof. Eberhard Manske von der TU Ilmenau. „Übertragen auf menschliche Dimensionen wäre dies vergleichbar mit der Auffindung und präzisen Neupositionierung eines winzigen Sandkorns auf einer Fläche so groß wie Russland und einer Höhe bis zur Obergrenze der Stratosphäre in 50 km über dem Erdboden“.

„Mit Hilfe der dSPACE-Hard- und Software konnten wir die für schnelles und nanometergenaues Positionieren notwendige hohe Abtastfrequenz realisieren.“

Aavid Amthor, TU Ilmenau

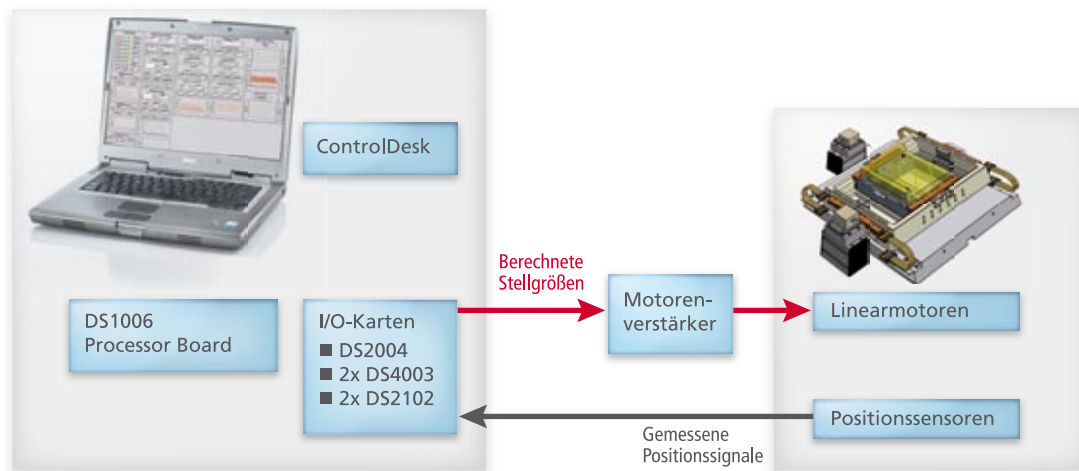
### Atome werden sichtbar

Die vom Team um Prof. Manske konstruierte Positioniermaschine besteht im Wesentlichen aus einem beweglichen Positioniertisch, der sich mittels mehrerer Linearmotoren in alle drei Raumrichtungen fahren lässt. Seine Position und Lage werden dabei mit Hilfe mehrerer optischer Abstandsmesser (Laserinterferometer) überwacht. Ein über dem Tisch starr angebrachter Tastkopf untersucht das auf dem Positioniertisch eingespannte Objekt. Der Tastkopf kann dazu unterschiedliche Werkzeuge und Sensoren tragen, unter anderem auch ein sogenanntes Rasterkraftmikroskop. Bei dieser Art von Mikroskop wird eine feine Nadel, deren

Spitze nur aus wenigen Atomen besteht, zeilenweise in Rastern dicht über die Probenoberfläche geführt. Weil die auf die Nadel wirkenden Kräfte von der Oberflächenstruktur der Probe abhängen, lässt sich auf diese Weise ein Höhenprofil der Probenoberfläche messen, bei dem sogar einzelne Atome sichtbar werden.

### Die Bewältigung der Datenflut

Für die Steuerung der Positionierungsvorgänge ist ein dSPACE-System im Einsatz, das aus einem DS1006 Processor Board und diversen I/O-Boards besteht. Dieses System liest unter anderem die von den Laserinterferometern gemessenen



*Schematische Darstellung der Steuerung. Für ein schnelles, nanometergenaues Positionieren muss das dSPACE-System mit einer hohen Abtastfrequenz von 10 kHz arbeiten.*

Positionssignale ein und berechnet die passenden Ströme zur Ansteuerung der Linearmotoren. „Für ein nanometergenaues Positionieren ist eine entsprechend feine Dosierung des Motorstroms nötig. Wir erreichen das über eine 16 Bit D/A-Wandlung mit Hilfe der D/A-Boards von dSPACE“, erklärt Arvid Amthor, Mitarbeiter bei Prof. Manske. „Die besondere Herausforderung besteht auch in der hohen Abtastfrequenz von 10 kHz. Denn wir bewegen den Positioniertisch immerhin mit bis zu 30 mm pro Sekunde, und 1 mm entspricht 1.000.000 nm. So entstehen in kurzer Zeit große Datenmengen, die es schnell zu verarbeiten gilt.“ Die Überwachung sämtlicher Abläufe übernimmt dabei die Test- und Experiment-Software ControlDesk.

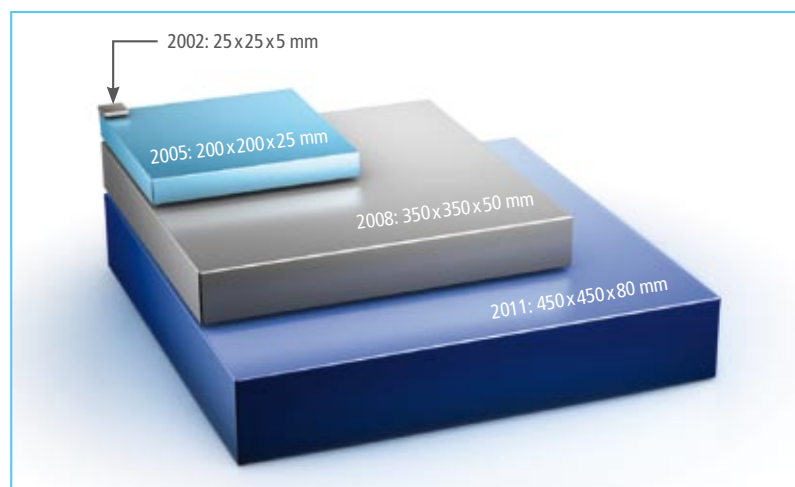
Für die hohe Genauigkeit und Schnelligkeit beim Positionieren ist ein komplexer, modellbasierter und rechenintensiver Algorithmus nötig, der auf einer dynamischen Folgeregelung basiert. Zu berücksichtigen sind dabei verschiedene Störeinflüsse, allen voran der im Nanometerbereich dominierende, nichtlineare Einfluss der Reibung, der einen hohen Aufwand bei der Modellbildung erfordert.

### Die Zukunft erfordert einen noch größeren Positionierbereich

Mit der bisher erreichten Positioniergenauigkeit von 1 nm in einem 200x200x25 mm großen Positionierbereich liegt die TU Ilmenau weltweit unangefochten an der Spitze. In den kommenden Jahren wird es vor allem darum gehen, den Positionierbereich weiter zu vergrößern, und das bei mindestens gleichbleibender Positioniergenauigkeit und -geschwindigkeit. „Denn nur, wenn das Positionieren auch schnell genug abläuft, sind die Maschinen für den praktischen Einsatz sinn-

voll“, so Prof. Manske weiter. Als erster konkreter Schritt ist die Vergrößerung des Positionierbereichs auf ein Volumen von 350x350x50 mm vorgesehen. Um dieses Ziel zu erreichen, sind weitere Optimierungsmaßnahmen der Messtechnik und Datenverarbeitung sowie eine noch effektivere Modellbildung für die Korrektur von System- und Umgebungstörungen notwendig. ■

*Der Artikel entstand in Zusammenarbeit mit Prof. Eberhard Manske und Arvid Amthor, Technische Universität Ilmenau, Deutschland.*



*Seit 2002 hat sich der Positionierbereich von Nano-Positioniermaschinen bereits vervielfacht. Trotzdem ist für zukünftige Aufgaben eine weitere Vergrößerung notwendig, die nur mit Hilfe komplexer, modellbasierter Steuerungsalgorithmen erreichbar ist.*