

### Mikrooptische Systeme: Stand der Technik und Perspektiven 214. WE-Heraeus-Seminar

Optische Methoden gewinnen in der Meßtechnik und Sensorik zunehmend an Bedeutung. In vielen Fällen sind jedoch die Kosten für Anwendungen noch zu hoch und die Geräte wegen ihrer Baugröße und notwendigen Stabilität bisher nicht überall einsetzbar. Um den Markt in der optischen Meßgerätekunde und Sensorik nicht zu verlieren, sind deshalb Wege einzuschlagen, die eine bessere Akzeptanz bezüglich optischer Geräte gewährleisten. Größe, Gewicht und Kosten können in der Regel nur durch eine Miniaturisierung in Kombination mit neuen Aufbau- und Montage-Techniken optimiert werden. Dazu sind einerseits die bestehenden physikalischen Grundlagen auszubauen und besser zu nutzen, andererseits sind die für die Massenerstellung notwendigen Technologien zu erarbeiten und bestehende zu verbessern. Der Begriff „Mikrooptik“ ist dabei durchaus auf Dimensionen von cm auszudehnen. Falls monolithische Lösungen nicht in Frage kommen, sind hybride Systeme vorzuziehen, wobei bei deren Aufbau aufwendige Zentrier- und Justierarbeiten zu vermeiden sind.

Zur Zeit ist man von einer selbstverständlichen breiten Anwendung mikrooptischer Systeme noch weit entfernt. Zu den Hauptzielen dieses Seminars gehörte es, nach Gründen hierfür zu suchen und Wege zur Abhilfe vorzuschlagen. Dazu wurde in 15 Vorträgen der Stand der Technik aufgezeigt und von den 35 Seminarteilnehmern analysiert.

Ein erster erfolgversprechender Ansatz zur Verbesserung der Situation war die Entwicklung und Industrialisierung von LEDs und Halbleiterlasern. Damit hält die Optik und die Lasertechnik Einzug in die Mikrosystemtechnik. Es gilt dabei nicht nur, kleinste optische und elektronische Komponenten zu bauen. Der Einsatz neuer Aufbau- und Verbindungstechniken beim Bau mikrooptischer Systeme und die Entwicklung neuer Mikro-Komponenten stehen als wichtigste Aufgabe im Vordergrund zukünftiger Projekte.

Die Themenfelder waren folgende: Lichtquellen (Ebeling, Späth), Aufbau und Verbindungstechnik (Krabe), Strahl-Formung, -Führung, -Ablenkung, -Schaltung (Karthé, Kley, Mohr, Frank), Entwurf und Simulation (Paatzsch, Herzig), Sensorik (Franke, Tiziani, Schönfelder), Sub- und Komplettsysteme (Klaiber, Wang, Schönfelder, Tschudi), Handling und Packaging (Späth).

Die Ergebnisse: Die vom Anwender gestellten Forderungen zeigen deutlich, daß insbesondere seitens der Aufbautechnik, Replikatetechnik, Schnittstellen zur Elektronik usw. noch viel Forschungs- und Entwicklungsarbeit aufgewendet werden muß. Der Weg über hybride, hin zu vollständig integrierten Systemen scheint erfolgversprechend zu sein. Es existieren nahezu für jeden Anwendungsbereich ausgezeichnete Konzepte, die jedoch zur Realisierung durchgehende Fertigungs-

straßen bedürften; solche müßten flexibel in der Anwendung und rasch auf neue Komponenten umstellbar sein.

WERNER FRANK, THEO TSCHUDI

### Granular Gases 215. WE-Heraeus-Seminar

Granulare Gase sind ebenso wie gewöhnliche Gase dynamische klassische Vielteilchensysteme. Im Unterschied zu gewöhnlichen Gasen zeichnen sich granulare Gase durch *dissipative* Teilchen-Teilchen-Wechselwirkung aus. Granulare Gase stellen somit einen speziellen Zustand granularer Materie dar, der im Rahmen des Workshops theoretisch, experimentell und numerisch untersucht werden sollte.

Der Workshop fand vom 8. bis 12. März 1999 im Physikzentrum Bad Honnef unter starker nationaler und internationaler Beteiligung statt. Die 15 eingeladenen Vorträge, 26 Kurzvorträge und 12 Poster repräsentierten eindrucksvoll einen großen Teil des aktuellen Stands der Forschung auf diesem Gebiet. Die interdisziplinäre Zusammensetzung hat zu vielen angeregten Diskussionen geführt und einen äußerst effektiven Meinungs- und Erfahrungsaustausch ermöglicht.

Beispiele granularer Gase sind die Ringe um die äußeren Planeten unseres Sonnensystems, die aus Teilchen bestehen, deren Größen von Metern bis hinab zu Mikrometern reichen. Typische Stoßgeschwindigkeiten in Planetenringen liegen im Bereich weniger Zentimeter oder Millimeter pro Sekunde. Granulare Gase im Labor sind z. B. Stahlkugeln, denen durch Vibration stetig Energie zugeführt wird, um sie in einem stationären Quasi-Gleichgewicht zu halten, wobei Stoßgeschwindigkeiten bis zu einigen Metern pro Sekunde auftreten können. Solche granularen Systeme können als nicht-triviale Gase angesehen werden und weisen wegen des Zusammenspiels von Volumenausschluß und Energiedissipation interessante kollektive Phänomene wie Clusterinstabilitäten, Selbstorganisation und Resonanz auf.

Das Seminar war besonders durch die interdisziplinäre Zusammensetzung der Teilnehmer charakterisiert. Astrophysiker, die an Stößen in den Planetenringen und kosmischen Staubwolken interessiert sind, benutzen viskoelastische Modelle zur Beschreibung der Kollisionen, wohingegen Ingenieure, die Systeme mit großen Relativgeschwindigkeiten untersuchen, vorwiegend plastische Verformungen der Teilchen betrachten. Beide Ansätze sind berechtigt – jedoch nur im jeweiligen Anwendungsbereich. Die Seminarteilnehmer waren sich schnell einig, daß man für ein allgemeingültiges Stoßmodell die verschiedenen Ansätze zusammenfügen muß.

In den letzten Jahren wurden neue Experimente unter Anwendung von Hochgeschwindigkeitskameras und Positronemissionsmethoden durchgeführt, in denen Eigenschaften spezieller granularer Gase direkt gemessen werden konnten. Wesentliche experimentelle Erkenntnisse betrafen die Nicht-Gaußsche Geschwindigkeitsverteilungsfunk-

tion, interessante Selbstdiffusionseigenschaften bei verschiedenen Dichten, sowie das erstaunlich vielfältige kollektive Verhalten granularer Systeme.

Viele der experimentellen Resultate wurden schon vor langem – meist qualitativ – durch Theorie oder numerische Simulationen vorhergesagt bzw. reproduziert, fast alle Effekte bedürfen jedoch noch immer einer quantitativen theoretischen Untersuchung. Die vorgestellten theoretischen Methoden sind angelehnt an die kinetische Theorie für hohe Dichten von Chapman und Enskog und wurden bereits bis zur Burnett-Ordnung entwickelt. Im Gegensatz zu klassisch-elastischen Systemen muß dabei jedoch auch der dissipative Charakter der Teilchenwechselwirkung berücksichtigt werden, was zu Singularitäten sowie extrem großen Fluktuationen und Gradienten führen kann. Granulare Gase niedriger Dichte werden durch verschiedene Ansätze zufriedenstellend beschrieben – bei höherer Dichte muß jedoch noch viel Arbeit investiert werden, um ein besseres theoretisches Verständnis zu erlangen.

Die Veranstalter bedanken sich an dieser Stelle nochmals bei der WE-Heraeus-Stiftung für die finanzielle und organisatorische Unterstützung sowie bei den Mitarbeitern des Physikzentrums für einen reibungslosen und angenehmen Aufenthalt. Allen Teilnehmern sei nochmals für die aktive Beteiligung an Präsentationen und Diskussionen herzlich gedankt.

HANS J. HERRMANN, STEFAN LUDING,  
THORSTEN PÖSCHEL

Prof. Dr. Werner Frank, Technologiezentrum der Deutschen Telekom, Darmstadt

Prof. Dr. Theo Tschudi, Institut für Angewandte Physik, Technische Universität Darmstadt

Prof. Dr. Hans J. Herrmann, PMMH ESPCI, Paris & ICA1 Stuttgart

Priv.-Doz. Dr. Stefan Luding, ICA1, Universität Stuttgart

Dr. Thorsten Pöschel, Institut für Physik, Humboldt-Universität zu Berlin