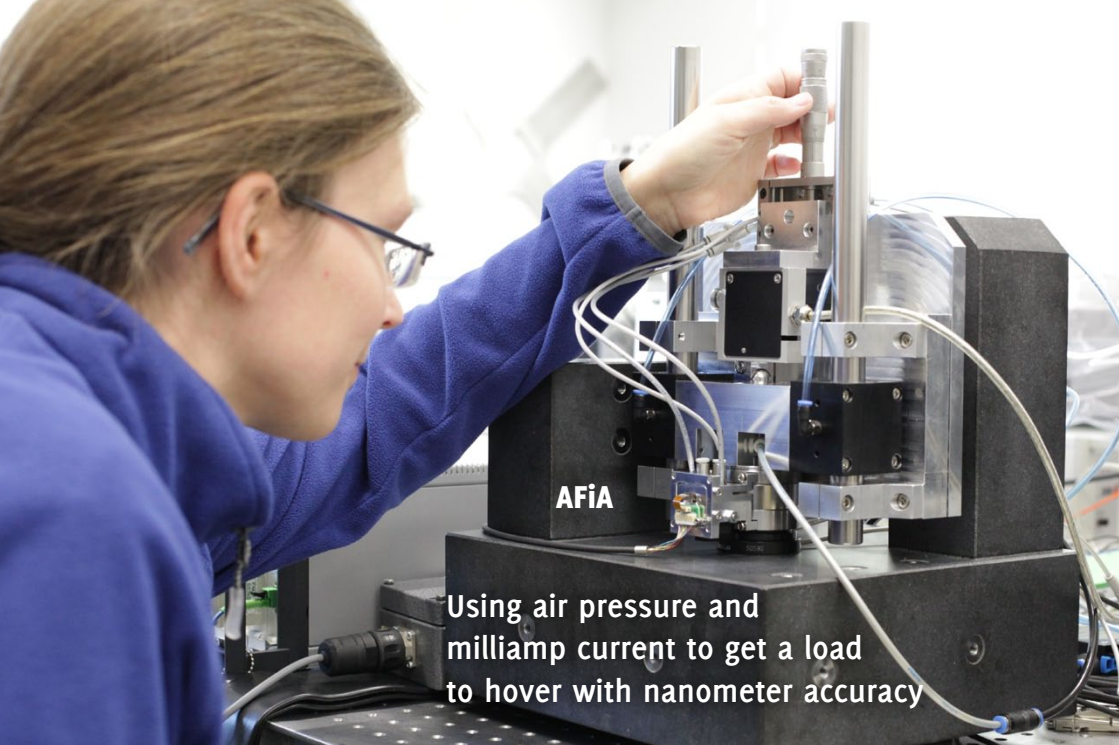




Using air pressure and milliamp current to get a load to hover with nanometer accuracy

IMMS has developed a vertical drive to raise and lower objects through 10 mm under active control with nanometre precision. Photograph: IMMS.

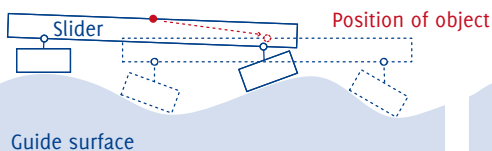
Objectives and Overview

To date, manufacturers have always found it extremely difficult to raise loads in the region of 10 kg for industrial purposes and to hold them in a precise position. Nanometer accuracy was always subject to compromise. The very possibility has come through electromagnetic vertical actuators with pneumatic gravity compensators, which can be integrated into many existing precision drive systems.

Systems of this kind are used for purposes which include semi-conductor technology, for instance in order to position reticles. The jigs needed for measuring and structuring such things as substrates, wafers and reticles usually have an (x,y) stage in order to move the object with extreme precision within a plane. These objects are not uniform in height: there is variation in the thickness of wafers and masks or the height of the reticle supports.

Besides, the procedures themselves are carried out in different levels. Here one example is the measuring of stacked images behind an exposure mask and another

Slider movement without vertical drive



Slider movement with vertical drive

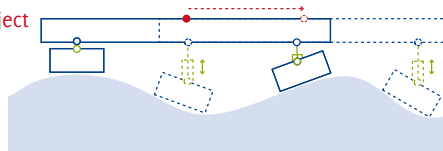


Figure 1: As the flatness of a guide surface, such as this one for an aerostatic guide, is impossible to manufacture with perfect accuracy, there will be variations in height and a slight tilting of the slider as the measured object glides above the surface. The difference in height can be compensated for using vertical actuators. Diagram: IMMS.

example the structuring of wafer layers. Such layers are often only a few nanometres thick; an entire wafer may have a thickness between 0.7 and 0.9 mm.

IMMS has now developed a vertical drive to raise or lower objects with nanometre precision and active control through a range of 10 mm. The raising and lowering is achieved by pneumatic gravity compensation. This controls the amount of force to be applied by the vertical electromagnetic drive by constantly approximating it to zero. As a result there is in effect no current flowing in the actuator coil, which means there is no unwanted source of heat in the measuring space (which would interfere with the necessary precision of measurement by causing expansion of the materials).

A rise in temperature of only 0.01 K, for instance, will cause such a measurement error when a reticle is being measured that the integrated circuits to be produced with it would fail. The new drive will enable objects to be brought into position with no Abbe error, at much greater accuracy than previously for sampling or processing.

Details

Basic principle

These precision drives rely on obtaining position data from three laser interferometers placed around the slider (see Fig. 2). When the reflecting corner of the slider moves, laser beams are reflected from the plane mirror surfaces, so that distance can be measured. Following the Abbe comparator principle, the length to be measured on the test piece and the scale on the measurement instrument should be flush so as to avoid the errors known as first-order tilt error. This means that the best point for sampling or processing a test piece which requires the most precise of measurement is the Abbe point (see Fig. 2). In practice, the implication is that the

> Smart Jacket

> ENTOMATIC

> KOSERNA

> HoTSens

> INSPECT

> AFiA

> Contents

* Funding

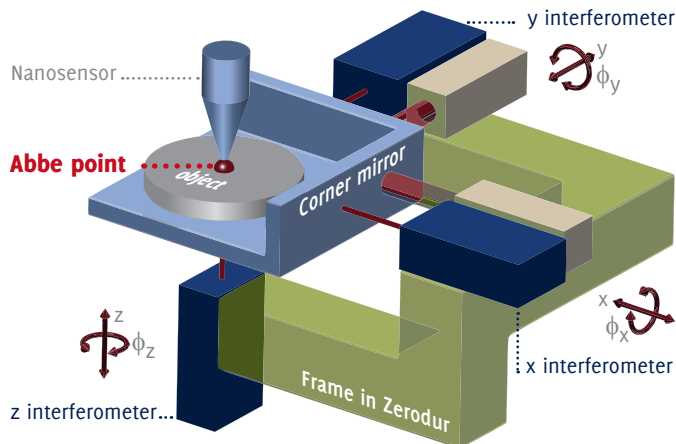


Figure 2:

Measuring or processing an object at the "Abbe point".

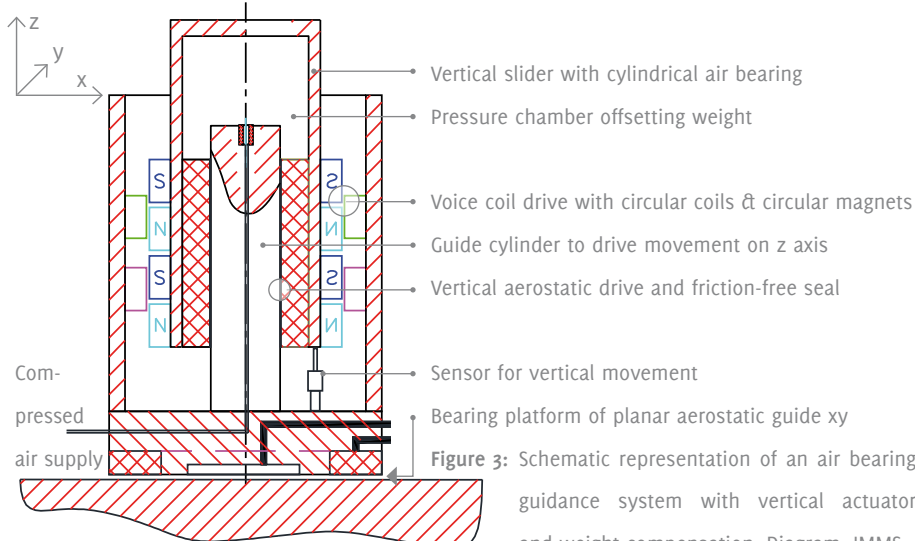
Diagram: TU Ilmenau, edited by: IMMS.

object should be inside a corner mirror and that the imaginary extensions of all laser beams along the x , y and z axes of the interferometer should meet at the sampling (or processing) point, as required in the spatial Abbe comparator principle. Applying this basic measurement principle, the corner mirror and test pieces should be raised or lowered as their thickness or surface profile requires, so that the sampling point on the surface of the measured object is always brought to the Abbe point.

State of the art and current challenges

In numerous applications, on the vertical (z) axis the typical range of movement to be set and measured will lie between 1 and 10 mm. Methods of raising or positioning the object and the corner mirror will have to be found which will work to nanometer precision, i.e., if possible, managing without any observable thermal loss. Expansion of the materials cannot otherwise be avoided.

The present state of the art is either to combine spindle drives with piezoelectric drives or to combine intricate spring mechanisms with voice coil actuators. As the basis of all these systems is mechanical contact, they are not proof against friction or wear. No methods known to date have been capable of achieving a vertical movement on the nanometer scale, or at least only capable with considerable compromise in respect of fine adjustment and life expectancy. It is a major challenge to keep the load-bearing capability absolutely constant during movement along the z axis for several millimeters and to achieve effectively friction-free guidance for this vertical motion.



Execution, development

This is where IMMS comes in. The design shown in Figure 3 combines a voice coil drive with air-bearing, i. e. an electro-magnetic vertical drive for raising the object on the z axis, with a pressure chamber that compensates for gravity. The chamber is filled from a pressure reservoir; the highly accurate pressure control constantly matches the pressure to the load being borne. This principle enables the power required from the voice coil drive to be continuously brought down to approximately zero, so that virtually no heat is generated. The settings for the pressure control are regulated at all times by the current flowing in the electro-magnetic actuator. If the parameters for the settings are suitably planned and structured, even loads of several kilograms can be raised and lowered with heat losses of only a very few milliWatts from the actuator (cf. Fig. 5). The design includes a cooling circuit in the immediate vicinity of the actuated coil to conduct this tiny amount of residual heat away.

The system is expected to find application in respect of a load that remains constant over time. The only changes to the load will, on the whole, derive from possible "bounce" in the guide elements due to the movements of the guided stage in the in the x and y axes.

The friction-free functioning achieved is thanks to a special seal in the form of a radial gap only a few micrometers wide between the pressure chamber and the cylindrical bearing.

More on actuator systems at: www.imms.de.

More on open- and closed-loop controls at www.imms.de.

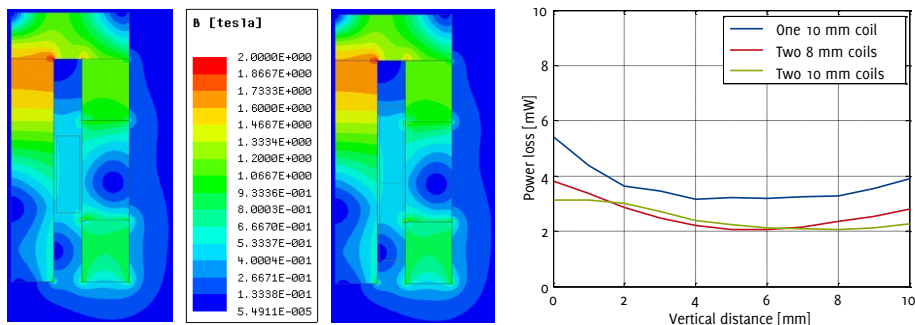


Figure 4: FE analysis of one version of the electromagnetic actuator with single-phase (l.) and two-phase (centre) coils; also shown is the heat loss calculated for a set distance of 10 mm carrying a load of 50 g (r.). Diagrams: IMMS.

With the aim of maximising compactness and an efficiency and ease of cooling the actuator system, IMMS has designed different versions of the vertical actuator, so far with roughly calculated dimensions, and has evaluated the different types. Finite element calculation (FEM) has been applied to a selection of these configurations to assist in the precise dimensioning, design and fabrication of all parts – the structural mechanics, the magnetic features and the thermal phenomena. There are also sealing and extraction channels for the air guiding components included on the finished prototype which will enable the system to be used in a vacuum.

After fabrication, the vertical actuators were installed into a measuring stage developed specifically for the purpose by IMMS which relies on a high-resolution laser interferometric measuring system. They were then subjected to measurement for reference purposes and tested experimentally. Heat loss graphs were recorded with this combined instrument for a range of loads and positioning movements; also, the reactions to the control system were investigated. Figure 5 shows the actuator in cross-section and a

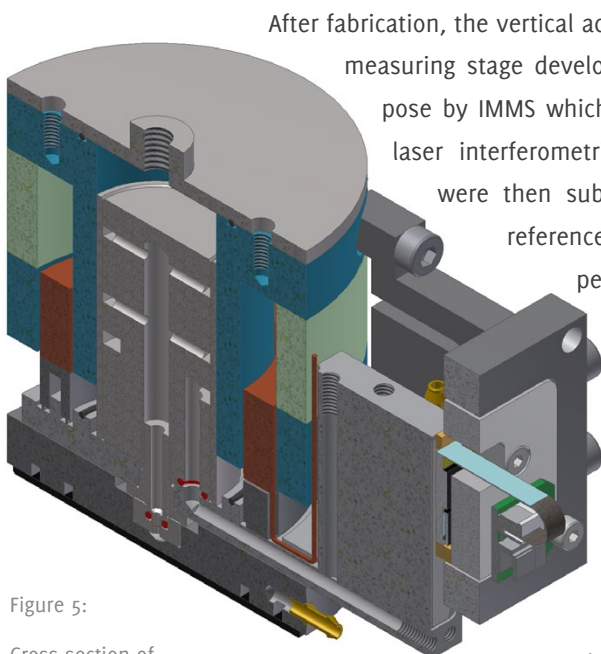


Figure 5:

Cross-section of the vertical actuator.
Diagram: IMMS.

schematic view of the measuring apparatus.

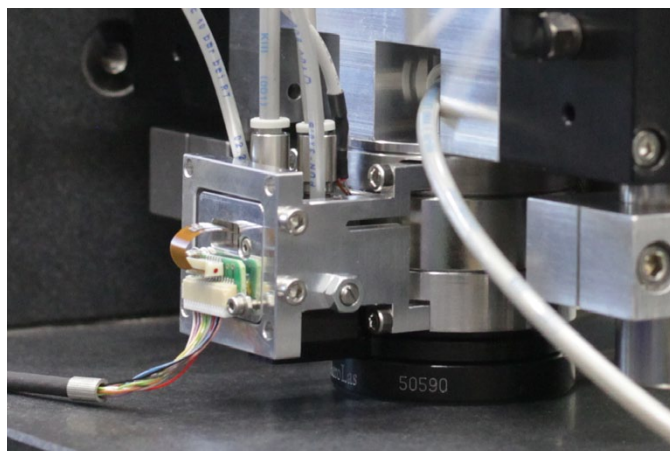


Figure 6:

Actuator prototype
installed in testing
station.

Photograph: IMMS.

Future prospects

The development of this electrodynamic vertical actuator means that researchers or manufacturers can now raise a measuring platform on which there is a relatively heavy load, almost entirely without the mechanical inefficiency which would cause heat to be generated. The drives previously on the market, even those working in a vacuum, can now be fitted with this new system and will thus be vastly improved. All that will be necessary is to install three of the new actuators on one platform of a positioning system. The effect will be not only exact manipulation of the height of the load but also extremely sensitive control of the tilt of the platform.

The vertical actuator was developed at IMMS as a close collaboration between IMMS, the AeroLas company and the Production and Precision Metrology department of Ilmenau University of Technology.

Contact person:

Dr. Christoph Schäffel, christoph.schaeffel@imms.de

Supported by:



Federal Ministry
for Economic Affairs
and Energy



on the basis of a decision
by the German Bundestag

The AFiA project has been funded by the German Federal Ministry for Economic Affairs and Energy (BMWi) in accordance with parliamentary decree under the reference KF2534513P04.



Das IMMS hat einen Vertikaltrieb entwickelt, der Objekte in einem Hebe- bzw. Senkbereich von 10 mm aktiv geregelt mit Nanometer-Präzision bewegt. Foto: IMMS.

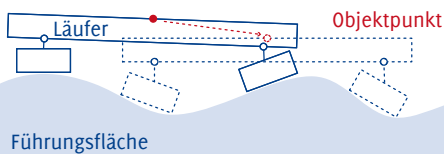
Motivation und Überblick

In der Fertigung eine Nutzlast von zehn Kilogramm anzuheben und mit Nanometer-Präzision sicher zu positionieren war bisher nur sehr schwer und mit Kompromissen zu lösen. Möglich wird dies durch elektromagnetische Vertikalaktoren mit pneumatischer Gewichtskraftkompensation, die sich in viele existierende Präzisionsantriebssysteme integrieren lassen.

Solche Systeme werden u.a. in der Halbleitertechnik verwendet, um beispielsweise Belichtungsmasken zu positionieren. Mess- und Strukturierungsanlagen für Substrate, Wafer, Belichtungsmasken etc. verfügen in der Regel über einen x-y-Tisch, der ein Objekt hochpräzise innerhalb der Ebene bewegt.

Die Höhe der Objekte ist jedoch nicht immer identisch: Wafer- und Maskendicken oder Höhen von Maskenhaltern variieren. Darüber hinaus verteilen sich Vorgänge auf verschiedene Ebenen, z.B. bei der Vermessung von Bildstapeln hinter einer Belichtungsmaske oder bei der Strukturierung von Wafer-Schichten. Diese sind oft nur wenige Nanometer dünn, ein ganzer Wafer zwischen 0,7 und 0,9 mm dick.

Läuferbewegung ohne Vertikalantrieb



Läuferbewegung mit Vertikalantrieb

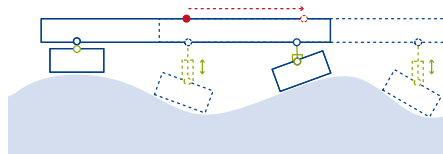


Abbildung 1: Die Ebenheit einer Führungsfläche, wie zum Beispiel für eine Luftführung, kann nicht beliebig genau gefertigt werden. Dies führt zu Höhenschwankungen und Verkippen des Läufers beim Gleiten über die Führungsfläche. Mit Vertikalaktoren kann der Höhenunterschied ausgeglichen werden. Grafik: IMMS.

> Smarte Jacke

> ENTOMATIC

> KOSERNA

> HoTSens

> INSPECT

> AFiA

Das IMMS hat einen Vertikalantrieb entwickelt, der Objekte in einem Hebe- bzw. Senkbereich von 10 mm aktiv geregelt mit Nanometer-Präzision bewegt. Dies wird über eine pneumatische Gewichtskraftkompensation erreicht, mit der die zu leistende Kraft des elektromagnetischen Vertikalantriebs stets nahe Null geregelt wird. Damit fließt praktisch kein Strom in der Aktorspule und somit entsteht keine unerwünschte Wärmequelle im Messraum, die durch Materialausdehnung die notwendigen hochpräzisen Messungen verhindern würde.

> Inhalt

* Förderung

Beispielsweise verursacht eine Temperaturerhöhung im Messraum von nur 0,01 Kelvin bei der Vermessung einer Maske zur Waferbelichtung bereits einen Messfehler, der zum Ausfall der damit produzierten integrierten Schaltkreise führen würde. Mit dem neuen Antrieb wird es möglich, Objekte wesentlich genauer als bisher im Antast- bzw. Bearbeitungspunkt, im sog. Abbe-Punkt, zu positionieren.

Die Lösung im Detail

Grundprinzip

Die genannten Präzisionsantriebssysteme gewinnen Positionsdaten in der Regel aus drei um den Läufer verteilten Laserinterferometern (Vgl. Abbildung 2). An den Spiegelflächen der mit dem Läufer bewegten Spiegelecke werden die Laserstrahlen reflektiert und zur Abstandsmessung genutzt. Dem Abbeschen Komparatorprinzip folgend, liegen die am Prüfling zu messende Strecke und der Maßstab des Messgerätes vorzugsweise fluchtend auf einer Linie, um sogenannte Kippfehler erster Ordnung zu vermeiden. Für die hochgenaue Vermessung oder Strukturierung von oben genannten Objekten befindet sich somit der Antast- bzw. Bearbeitungspunkt vorzugsweise im Abbe-Punkt (Vgl. Abbildung 2).

Jahresbericht

IMMS 2016

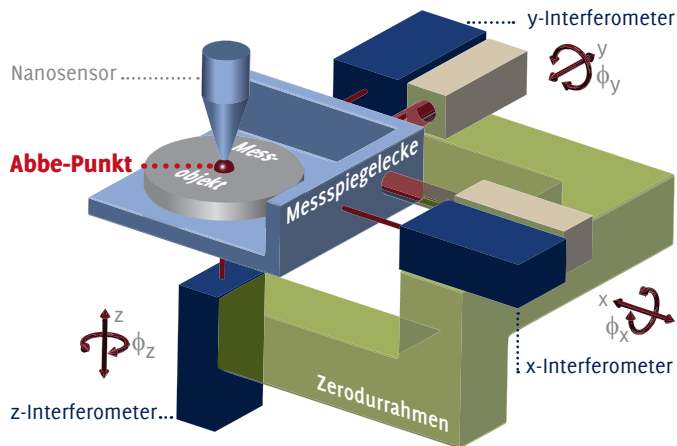


Abbildung 2:

Objektvermessung
bzw. -bearbeitung im
sog. Abbe-Punkt.

Grafik: TU Ilmenau,
Bearbeitung: IMMS.

Praktisch heißt dies, das Objekt befindet sich innerhalb einer Spiegelecke und alle virtuell verlängerten Messstrahlen der Koordinaten x , y und z der Interferometer treffen sich im Antast- bzw. Bearbeitungspunkt (räumliches Abbesches Komparatorprinzip). Gemäß dieses Grundprinzips der Messtechnik sind Spiegelecke sowie Objekt je nach Dicke und Oberflächenprofil anzuheben oder abzusenken, um den Antastpunkt auf der Objektoberfläche jeweils in den Abbe-Punkt zu bringen.

Anforderungen und Stand der Technik

Die benötigten Stellwege in vertikaler Richtung (z) liegen für eine Reihe von Applikationen typischerweise im Bereich von 1 – 10 mm. Dabei sind zum Anheben und Positionieren von Spiegelecke und Messobjekt Lösungen gefragt, die nanometerpräzise agieren und hierfür möglichst ohne nennenswerte thermische Verlustleistung auskommen, um Materialausdehnungen auszuschließen.

Bekannte Lösungen im Hochpräzisionsbereich kombinieren derzeit entweder Spindelantriebe mit Piezoantrieben oder komplizierte Federmechanismen mit Tauchspulaktoren. Alle diese Systeme arbeiten mit mechanischem Kontakt, sind somit nicht reibungsfrei und unterliegen einem Verschleiß. Mit den bekannten Ansätzen ist eine nm-präzise Vertikalbewegung nicht oder nur mit erheblichen Kompromissen hinsichtlich der Feinfühligkeit und der Lebensdauer zu erreichen. Die besondere Herausforderung besteht darin, für die geforderte nanometergenaue Positionierung eine sehr hohe Konstanz der Tragkraft über einen z -Hub von einigen Millimetern zu erzielen und eine quasi reibungsfreie Führung für diese Bewegung zu realisieren.

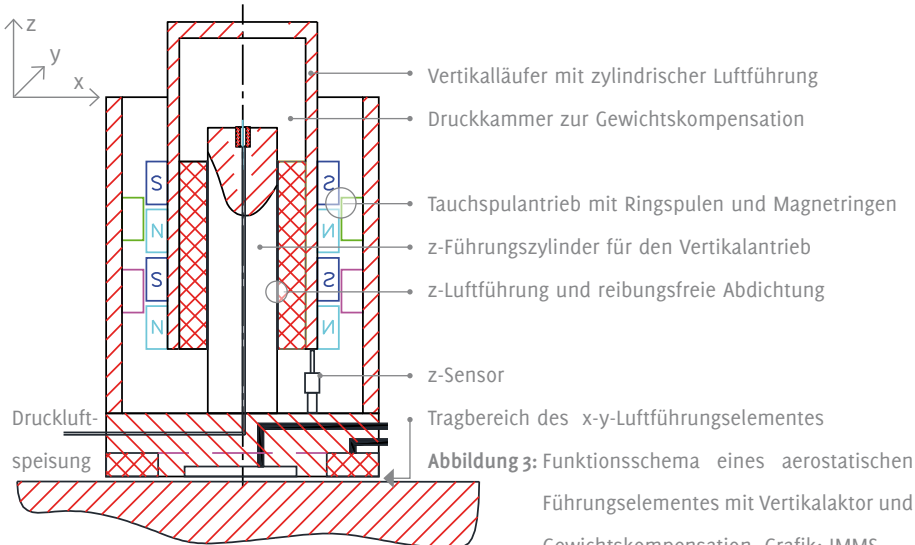


Abbildung 3: Funktionsschema eines aerostatischen Führungselementes mit Vertikalaktor und Gewichtskompensation. Grafik: IMMS.

Entwicklung

Genau hier setzen die Arbeiten des IMMS an. Das vorgeschlagene Konzept nach Abbildung 3 kombiniert einen luftgeführten Tauchspulantrieb, d.h. den elektromagnetischen Antrieb für den z-Hub, mit einer Druckkammer zur Gewichtskraftkompensation. Diese Kammer wird über ein Druckreservoir mittels Feindruckregler gespeist. Dieser stimmt den Druck permanent auf das Tragen der Nutzlast ab. Damit wird erreicht, dass die zu leistende Kraft des Tauchspulantriebs stets auf Null abgesenkt und damit dessen Wärmeentwicklung nahezu eliminiert wird. Die Sollwertvorgabe für den Feindruckregler wird aus den im Magnetaktor fließenden Strömen abgeleitet. Mit einer geeigneten Regelungsstruktur und Parametrisierung sind auch bei Lasten von einigen Kilogramm nur Verlustleistungen von wenigen Milliwatt im Aktor erzielbar (vgl. Abbildung 4). Diese sehr geringe Restwärmemenge wurde durch Integration eines Temperierkreises in unmittelbarer Nähe der Aktorspule abgeleitet.

Mehr zu Aktorsystemen auf www.imms.de.

Mehr zu Steuerungen und Regelungen auf www.imms.de.

Für die anvisierten Applikationen ist mit weitgehend zeitlich konstanter Nutzlast zu rechnen. Änderungen der Belastung ergeben sich im Wesentlichen nur aus der dynamischen x-y-Bewegung der zu führenden Objektische, die ein „Einfedern“ der Führungselemente verursachen.

Ein reibungsfreies Arbeiten wird durch die besondere Abdichtung in Form eines nur wenige Mikrometer schmalen Radialspalts zwischen Druckkammer und zylindrischer Luftführung erreicht.

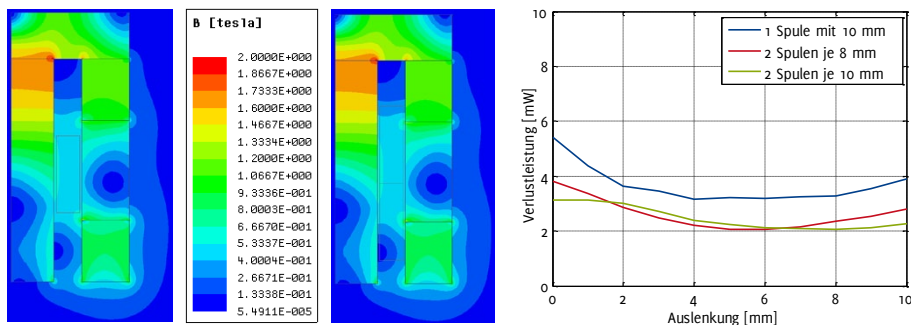


Abbildung 4: FE-Ergebnis einer Ausführungsform des Magnetaktors mit einphasiger (links) bzw. zweiphasiger (mitte) Spulenordnung; Darstellung der berechneten Verlustleistung über einen Stellbereich von 10 mm beim Tragen einer Nutzlast von 50 g (rechts) Grafiken: IMMS.

Mit dem Ziel eines geringen Bauraumes und eines effizienten und gut temperierbaren Aktorsystems hat das IMMS Varianten des Vertikalaktors entworfen, grob dimensioniert und die verschiedenen Ausführungsformen bewertet. Nach einer Vorauswahl wurden Konfigurationen mittels Finite-Elemente-Berechnungen hinsichtlich der Strukturmechanik, der Magnetik und des thermischen Verhaltens feindimensioniert, konstruktiv ausgeführt und anschließend gefertigt. Das umgesetzte Konzept beinhaltet dabei auch Abdicht- und Absaugkanäle für die Luftführungscomponenten, die einen Einsatz unter Vakuum gestatten.

Mehr zum FE-Angebot auf www.imms.de.

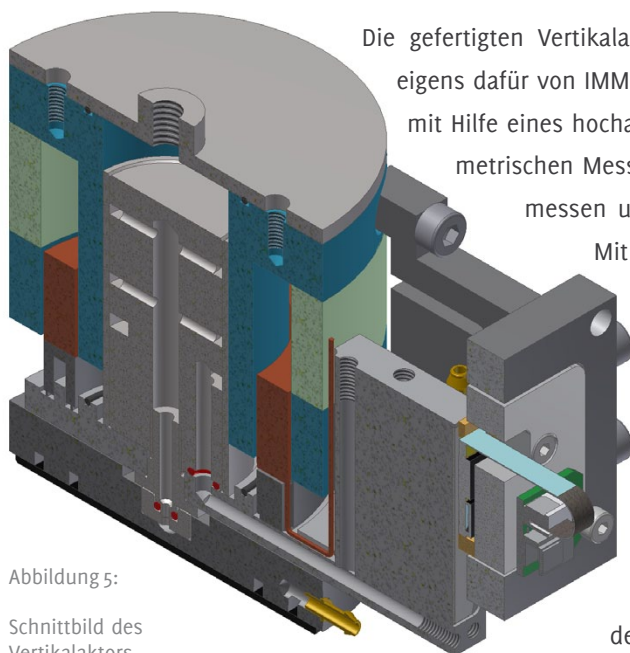


Abbildung 5:

Schnittbild des Vertikalaktors.
Grafik: IMMS.

Die gefertigten Vertikalaktoren wurden in einem eigens dafür von IMMS entworfenen Messstand mit Hilfe eines hochauflösenden laserinterferometrischen Messsystems als Referenz vermessen und experimentell erprobt.

Mit diesem Aufbau wurden sowohl Verlustleistungskennlinien bei verschiedenen Belastungen und Positionierbewegungen ermittelt als auch das Regelungsverhalten untersucht. Abbildung 5 zeigt eine Schnittdarstellung

des Aktors, Abbildung 6 einen Ausschnitt des Messstands.

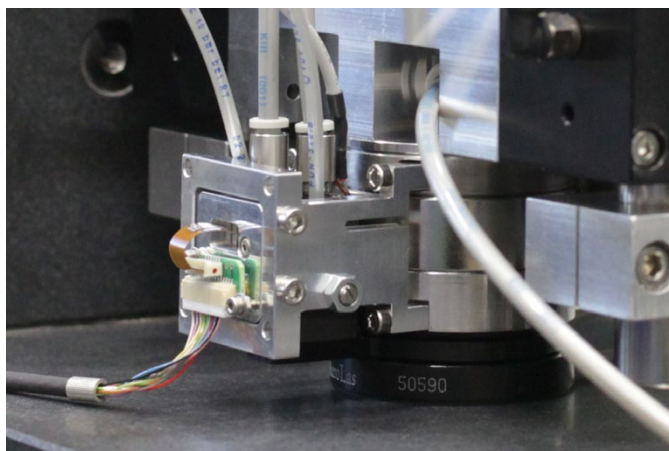


Abbildung 6:

Funktionsmuster
des Vertikalaktors
in einem Versuchs-
stand.

Foto: IMMS.

Ausblick

Mit dem elektrodynamischen Vertikalaktor wird nun eine Komponente verfügbar, mit der eine Messplattform mit hoher Traglast und höchster Präzision quasi ohne Kraftaufwand und damit ohne Wärmeerzeugung angehoben werden kann. Bereits vorhandene Antriebe, auch die im Vakuum arbeiten, können mit dieser Lösung nachgerüstet und damit deutlich verbessert werden. Hierzu müssen lediglich drei der neuartigen Aktoren an einer Plattform eines Positioniersystems montiert werden. So wird neben der Höhenpositionierung auch eine extrem feinfühligte Regelung der Plattformneigung möglich.

Der Vertikalaktor wurde am IMMS in enger Zusammenarbeit mit der Fa. AeroLas sowie dem Fachgebiet Fertigungs- und Präzisionsmesstechnik der TU Ilmenau entwickelt.

Kontakt:

Dr. Christoph Schäffel, christoph.schaeffel@imms.de

Gefördert durch:



Bundesministerium
für Wirtschaft
und Energie

aufgrund eines Beschlusses
des Deutschen Bundestages



Das Projekt AFiA wurde durch das Bundesministerium für Wirtschaft und Energie im Zentralen Innovationsprogramm Mittelstand (ZIM) aufgrund eines Beschlusses des Deutschen Bundestages unter dem Kennzeichen KF2534513P04 gefördert.