


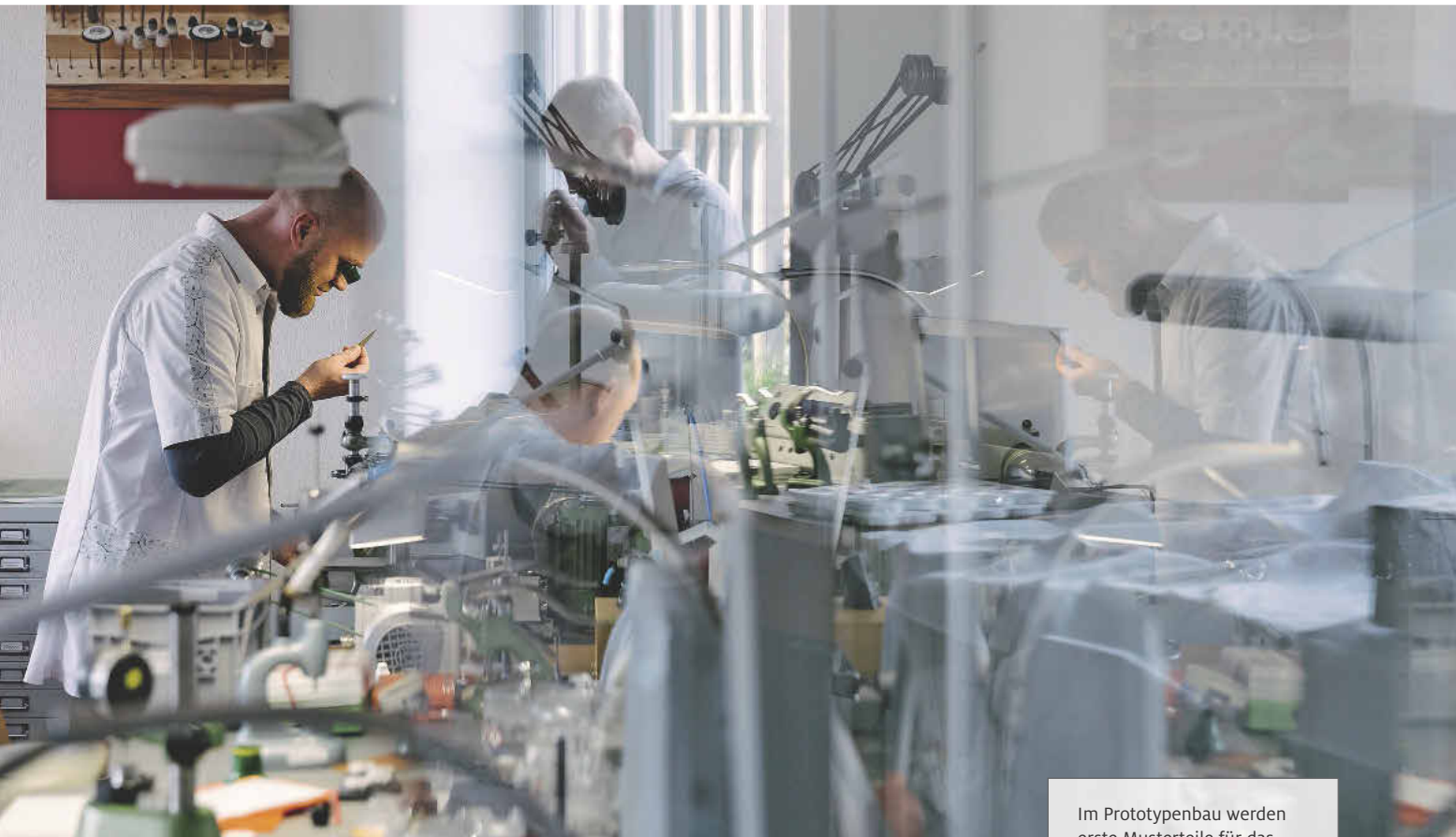
Unruhe im Takt der Wissenschaft

Ein winziges Bauteil gibt die Zeitmessung für mechanische Uhren an – und teilt die Stunde in 21600 Abschnitte. Bislang beruhte die Produktion auf Erfahrung und überliefertem Wissen. Nun haben Forscher und Uhrmacher aus Sachsen die technischen Geheimnisse der Unruhe zum ersten Mal mit wissenschaftlichen Mitteln gelüftet
von HEIKO SCHWÖBEL



Montage im Miniaturformat:
Das Schwingsystem wird per
Zange ins Werk eingesetzt.





Im Prototypenbau werden erste Musterteile für das Schwingssystem hergestellt.

Das Wissen rund um die „Unruhen“, die auch Schwingssysteme genannt werden, steht in keinem Lehrbuch. „Es beruhte bisher fast ausschließlich auf den individuellen Erfahrungen der Hersteller und Uhrmacher“, sagt Lutz Reichel. Der Entwicklungsingenieur, Leiter des Labors und des Prototypenbaus beim Uhrenhersteller Nomos Glashütte in der gleichnamigen sächsischen Kleinstadt, hat das nun geändert.

Viele Kollegen fragten Reichel: Warum macht ihr euch überhaupt die Mühe und entwickelt ein neues System? Argument Nummer eins: Über 95 Prozent des Marktes für Schwingssysteme werden von einer einzigen Firma aus der Schweiz beherrscht. Argument Nummer zwei: Ein Nachbau vorhandener Systeme kam für den Ingenieur aus ethischen und rechtlichen Gründen nicht infrage. Der Ingenieur klopft bekräftigend auf den Tisch: „Eine Kopie wäre auch technisch und wissenschaftlich eine Sackgasse.“ Denn wenn eine Kopie versagt oder Erfolg hat, kann letztlich niemand sagen, warum das so ist.

Missglückt der Nachbau, wäre der Aufwand vergebens gewesen und die Zeit verschenkt. „Daher mussten wir selbst das Schwingssystem von Anfang an neu denken“, begründet der Konstrukteur.

Das war eine Mammutaufgabe, die nur mit wissenschaftlicher Unterstützung und Förderung durch die Politik gelingen konnte. Nomos Glashütte und das Institut für Maschinenelemente und Maschinenkonstruktion der Technischen Universität Dresden starteten dafür bereits 2009 ein Verbundprojekt – finanziell gefördert durch das Land Sachsen und die Europäische Union. Die Uhrenmanufaktur in Glashütte hat allein über elf Millionen Euro und viele Jahre an Entwicklungszeit in dieses Projekt investiert.

KOMPAKT

- Von der Erfahrung zur Entwicklung: Wissenschaftler erforschen die Einflüsse auf winzige Bauteile.
- Forscher und Uhrmacher entwickeln ein Modell, um die Unruhe mathematisch zu simulieren.
- Inzwischen wird die neue Technik in der Uhrenproduktion eingesetzt.

Lutz Reichel arbeitete und studierte beim Start des Projekts an der TU Dresden. „Die Aufgabe, die wir uns gestellt hatten, lässt sich leicht erklären“, sagt er. „Wir wollten ein Schwingssystem wissenschaftlich verstehen lernen, ein neues System konstruieren und gemeinsam mit der Uhrenmanufaktur bis zur Marktreife entwickeln.“

Mehr als 200 Einflussfaktoren

Das allerdings unter verschärften Bedingungen. Das neue Schwingssystem musste sehr flach sein, sehr genau laufen und wirtschaftlich hergestellt werden können. Was sich einfach anhört, ist in der wissenschaftlichen Arbeit und technischen sowie wirtschaftlichen Praxis komplex und aufwendig. Von Anfang an war klar, dass alle Einflussfaktoren erfasst, die Methoden transparent und die Ergebnisse nachvollziehbar sein mussten.

„Weil diese Bedingungen erfüllt wurden, profitieren wir von dieser systematischen Arbeit besonders stark“, betont Lutz Reichel. „Uns steht seither ein vollständiges Simulationsmodell zur Verfü-



Lutz Reichel (mit Bart) und Kollege Martin Koepfel mit einem Schwingssystem (links). Uhrwerk und Unruhe werden vereint (oben). Unten: Detailblick auf Feder und Ankerrad, das sich sechs Mal pro Sekunde bewegt.



gung. Mit über 200 Einflussgrößen ist dieses Modell sehr komplex, aber auch zukunftsweisend. Wir sind nun in der Lage, Veränderungen bei den Materialien, in den Konstruktionen und bei der Herstellung des Schwingensystems von vornherein zu berechnen. Dies ist ein unschätzbare Umstand, den wir der wissenschaftlichen Arbeit verdanken.“

Im ersten Schritt vermaßen die Wissenschaftler akribisch die bereits bestehenden Schwingensysteme. Dabei bereiten ihnen schon die Dimensionen viel Kopfzerbrechen. So wiegt die Welle, um die sich der Anker der Unruhe hin und her bewegt, lediglich 0,33 Milligramm. Die Rubine zur Lagerung der beweglichen Teile werden mit nur 0,00003 Milliliter Schellack in das Ankerrad eingeklebt.

„Auch wenn diese Maße und Mengen winzig erscheinen, haben sie doch einen entscheidenden Einfluss auf das gesamte Schwingensystem“, erklärt Reichel. „Uns war von Anfang an klar, dass sie der Ausgangspunkt für ein neues, optimiertes Schwingensystem sind.“ Nachdem sie das feine mechanische System präzise ver-





messen hatten, konnten die Dresdner Forscher die einzelnen Bestandteile von Schwingensystemen mathematisch und physikalisch genau beschreiben. Mit einer maßgeschneiderten Software ließen sich nun die Auswirkungen gezielter geometrischer Veränderungen daran analysieren und zur Verbesserung der Technik nutzen.

„Die Veränderung der Geometrie einzelner Bauteile ist ein wichtiger Schlüssel, mit dem sich der Wirkungsgrad des Schwingensystems steigern lässt“, erläutert Reichel. „Das heißt im Ergebnis, dass wir entweder die Antriebskraft, also die Feder, verkleinern oder bei gleicher Antriebskraft die Amplitude der Unruhe – und damit die Ganggenauigkeit der Uhr – verbessern können.“

Im nächsten Schritt wurden die Wechselwirkungen zwischen den einzelnen Bauteilen untersucht und beschrieben. Die Forscher beobachteten jede noch so feine Bewegung und das Zusammenspiel der Bewegungen. Dafür mussten sie die kinematischen Eigenschaften berechnen. Das heißt, dass die räumlichen und zeitli-

chen Bewegungen der Bauteile in allen drei Dimensionen in mathematische Gleichungen gefasst werden mussten.

„Dazu wendeten wir im Maschinenbau gängige Methoden an, die sogenannten Mehrkörpersimulationen“, erläutert Lutz Reichel. Mit solchen Simulationen lassen sich Konstruktionen beschreiben, die aus starren oder elastischen Körpern bestehen und über sogenannte Kontakt-

Mathematische Simulation macht die Kräfte in den Bewegungen sichtbar

stellen mechanisch oder kinetisch gekoppelt sind. Sie werden heute in der Luft- und Raumfahrttechnik, in der Fahrzeugentwicklung und zur Berechnung von Schwingungen von Antriebssträngen eingesetzt. Die Ergebnisse der Simulation machen Kräfte und Momente sichtbar, die in den Bewegungsabläufen auf die Körper wirken. Zusätzlich integrierte das

Team Finite-Elemente-Methoden in die Berechnungen. Damit lassen sich Bauteile am Computer virtuell untersuchen und Verformungen und Spannungen unter Kräfteinfluss im Zeitablauf nachbilden. „Am Ende konnten wir verstehen, welche Kräfte wann und wie von welchem Bauteil übertragen und empfangen werden“, berichtet Reichel.

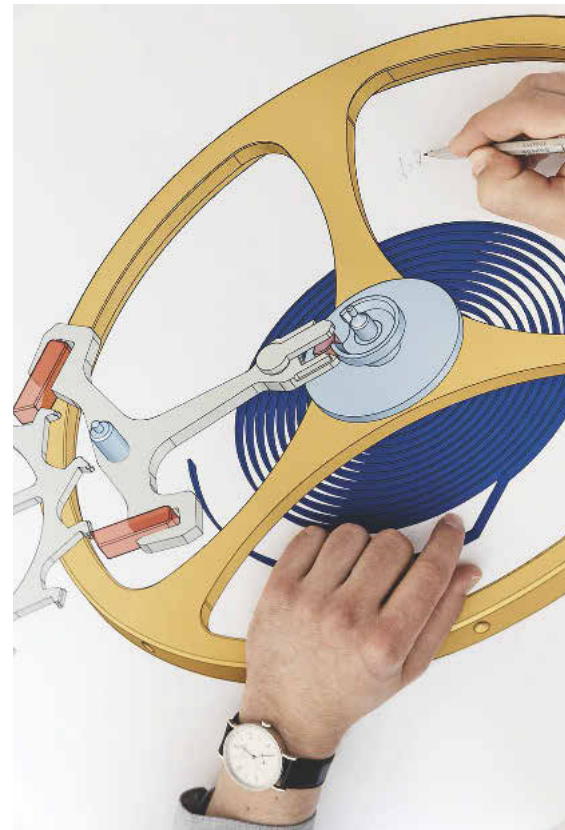
Fragen, mit denen sich der Ingenieur und seine Forscherkollegen auseinandersetzen mussten, waren zum Beispiel:

- Wie groß sind die Reibwerte der Rubine zwischen Anker und Ankerrad?
- Welchen Impuls gibt das Ankerrad über den Anker an die Unruhe weiter, wenn der Anker dort einrastet?
- Wie groß muss die Masse der Unruhe in Relation zur Federkraft sein, damit die Unruhe gleichmäßig schwingen kann?

Auf diesem Weg stießen die Wissenschaftler und die Nomos Glashütte-Experten auf die Einflussgrößen, die die Ganggenauigkeit einer Unruhe bestimmen. „Dabei wurde deutlich, dass die einzelnen Bewegungsphasen der Bauteile nicht ineinander übergehen“, sagt Rei-



Fingerspitzengefühl erforderlich: Insgesamt acht Mitarbeiter bauen bei Nomos Glashütte das selbstentwickelte Nomos-Swing-System zusammen (linke Seite). Uhrmacherin Carolin Striegl zieht aus Schellack feine Fäden (links). So portioniert sie die Menge, die sie braucht, um später Teile im Anker zu verkleben. Die Mengen sind winzig: So werden die Rubine zur Lagerung der beweglichen Teile mit nur 0,00003 Milliliter Schellack in das Ankerad eingeklebt. Unten: Das Modell „Metro Datum Gangreserve“ mit der neuen patentierten Technik. Rechts: Die Einzelteile des Systems werden im Großmaßstab entworfen, der dann für die Fertigung als Vorlage dient.



chel. „Dazwischen gibt es Bereiche, in denen keine Kraft an die Unruhe übertragen wird.“ Die nutzte das Team für eine weitere technische Verbesserung: Lassen sich die kraftfreien Bereiche verringern oder ganz vermeiden, wächst der Wirkungsgrad des Schwingsystems.

Respekt vor den alten Uhrmachern

Im Rahmen der intensiven Forschung und Entwicklung entstanden über 20 Studienarbeiten. Am Ende war es den sächsischen Universitätsforschern und den Experten der Uhrenmanufaktur erstmals gelungen, die Ganggenauigkeit eines Schwingsystems exakt berechenbar zu machen. „Das zeigt auch, wie groß die Leistung der Uhrmacher in der Vergangenheit war“, betont Lutz Reichel. „Denn sie haben es etliche hundert Jahre lang geschafft, nur aus der Erfahrung heraus solche hochpräzisen Wunderwerke der Technik herzustellen.“

Mithilfe der nun möglichen Simulation sind die Wissenschaftler in der Lage, ein Schwingsystem zu konstruieren und den Uhrmachern in Glashütte die dazu nöti-

gen Pläne an die Hand zu geben. Damit lassen sich die Vorgaben für Größe, Ganggenauigkeit und Wirtschaftlichkeit ausbalancieren. Allerdings standen beim Umsetzen des neuen Konzepts in die Produktion noch etliche unerwartete Hürden im Weg. Denn: „Vieles, was wir an der Universität theoretisch durchdacht haben, ließ sich in der Praxis nicht gleich realisieren“, sagt Reichel. Die Uhrmacher mussten teils erst neue Materialien finden und neue Verfahren entwickeln, um die Vorgaben der Wissenschaftler zu erfüllen. Wenn das nicht gelingt, muss die Konstruktion verändert und damit grundsätzlich neu berechnet werden: ein langer Weg der fortwährenden Abstimmung zwischen Universitätslabor und Uhrmacherwerkstatt. Inzwischen sind die sächsischen Uhrenentwickler am Ziel.

Die neuen, wissenschaftlich konzipierten Unruhen werden in die Nomos

Glashütte Uhren eingebaut. Die neue Technik wurde zuvor ein Jahr lang getestet, ohne dass die Techniker ihre Neuerung publik machten. So wollten sie sicherstellen, dass sich die Technik auch in der Praxis bewähren würde. Erst als nach einem Jahr der Erprobung keine Beschwerde bei Nomos eingetroffen war, konnten die Verantwortlichen sicher sein, dass die Technik ohne Einschränkungen funktioniert. Erst dann präsentierten sie das neue Schwingsystem der Öffentlichkeit. Sieben Jahre Entwicklungsarbeit und gemeinsam gestemte Investitionen ermöglichen zum ersten Mal die Unabhängigkeit von dem dominierenden Zulieferer für Schwingsysteme aus der Schweiz. Die neue Unruhe bringt Ruhe für die Uhrmacher. ■



HEIKO SCHWÖBEL

interessiert sich für große wie für kleine Technik. Fasziniert haben ihn die winzigen Dimensionen, in denen Uhrmacher denken müssen.