



Spallationsquellen als Innovationstreiber

Die Vakuumtechnik für neuartige Anlagen ist mit zahlreichen Herausforderungen konfrontiert und muss sich daher kontinuierlich weiterentwickeln.

Eine neue Generation von Neutronenquellen ermöglicht es, die Struktur und Eigenschaften von Materialien – von Biomolekülen bis hin zu Supraleitern – zu erforschen.

Die zuletzt in den USA, Japan und China errichteten Spallationsquellen sind momentan die leistungsstärksten Neutronenquellen weltweit, wobei die Europäische Spallationsquelle (European Spallation Source, ESS), die derzeit im schwedischen Lund gebaut wird, sogar noch höhere Maßstäbe setzen wird, wenn 2023 der Nutzerbetrieb beginnt.

Allerdings bedeuten diese leistungsstarken neuen Instrumentarien auch eine Herausforderung für die ingenieurtechnischen Systeme, die zu ihrer Unterstützung nötig sind. Starke Neutronenflüsse erzeugen große Mengen an Strahlung, die für kritische Infrastrukturen wie die Vakuumsysteme problematisch ist. Letztere dienen dazu,

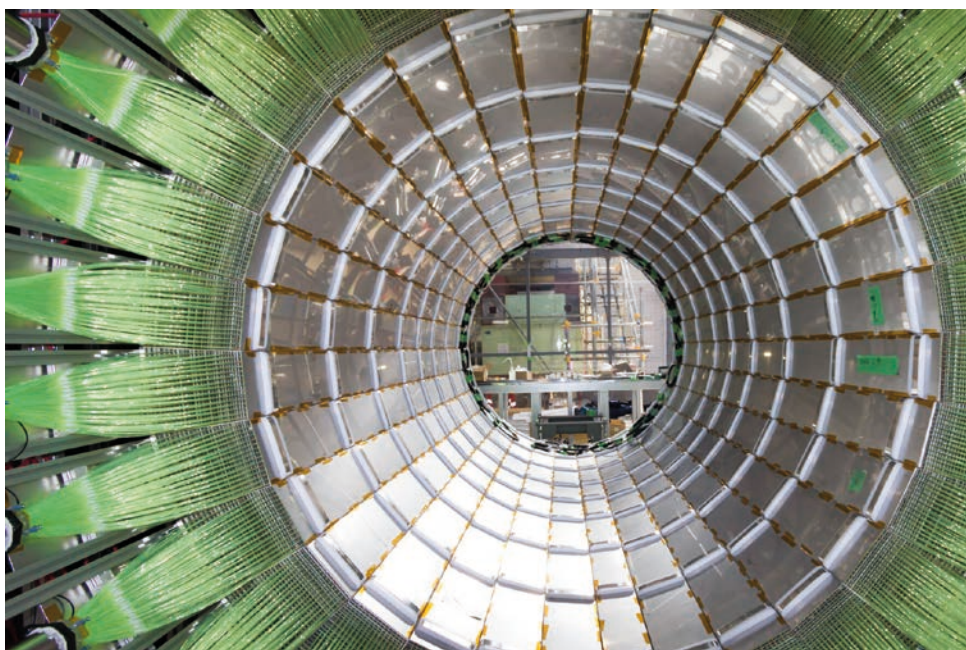
das Ultrahochvakuum in den Experimentieranlagen aufrechtzuerhalten. Pfeiffer Vacuum arbeitet eng mit Nutzern zusammen, um kundenspezifische Vakuumlösungen für die neuartigen Spallationsquellen zu entwickeln. Probleme können aber sowohl bei den elektronischen Systemen auftreten, die zur Steuerung von Vakuumpumpen und Messinstrumenten dienen, als auch bei den Werkstoffen, die

bei deren Herstellung zum Einsatz kommen.

Neutronen enthüllen die Geheimnisse von Materialien

Neutronen sind weit verbreitet zur Untersuchung von Materialeigenschaften, da sie tief in die Probe eindringen. Hierbei lassen sie Atomkerne zersplittern und generieren damit Daten, um die

J-PARC Center



genaue Struktur innerhalb des Materials zu bestimmen. Darüber hinaus besitzen Neutronen die richtige Wellenlänge, um ihren Impuls und ihre Energie auf die Teilchen in der Probe zu übertragen. Dies liefert wertvolle Informationen über Grundschrwingungen, welche die chemische Bindung und magnetische Wechselwirkungen steuern. Überdies zeichnen sich Neutronen durch einen Kernspin aus, der sie äußerst sensibel für die Lage und Ausrichtung von magnetischen Momenten in Materialien macht.

Zwar gibt es Neutronenquellen inzwischen seit vielen Jahren, doch die neue Generation von Spallationsquellen kann Neutronenstrahlen erzeugen, die um Größenordnungen stärker sind als die bisherigen Strahlen, die mithilfe von Kernreaktoren erzeugt werden. Da-



Pfeiffer Vacuum

durch lassen sich Experimente beschleunigen, um die Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler in die Lage zu versetzen, Materialien und ihre Wechselwirkungen detaillierter denn je zu untersuchen.

Die stärkste reaktorbasierte Neutronenquelle, die heute verfügbar ist, befindet sich im Institut Laue-Langevin in Grenoble, Frankreich, und besitzt eine Spannungshöhe von 58 kV. Die European Spallation Source soll hingegen 5000 kV erreichen, indem ein energiereicher Protonenstrahl auf ein festes Target aus Wolfram geschossen wird. Die Kraft des Aufpralls setzt Neutronen frei, die anschließend abgebremst und in einem starken Neutronenstrahl gebündelt werden. Für Experimente zur Neutronenstreuung steht dieser gepulst zur Verfügung. Andere Spallationsquellen arbeiten nach ähnlichem Prinzip, verwenden gegebenenfalls aber andere Methoden zur Beschleunigung und unterschiedliche Target-Typen. Schwermetalle sind hierbei fähig, radioaktive Kernarten zu absorbieren, die während der Spallationsreaktion entstehen.

Die Strahlung stellt bei den genannten Hochleistungsneutronenquellen allerdings ein noch größeres Problem dar. Im Japan Proton Accelerator Research Complex (J-PARC) – der weltweit stärksten Neutronenquelle, die derzeit in Betrieb ist – können die Strahlungswerte in der näheren Umgebung des Neutronenstrahls Millionen von Gray erreichen.

Aus solch hohen Werten ionisierender Strahlung ergeben sich zwei wesentliche Probleme für die Vakuumpumpen und Messinstrumente, die in der Nähe der Neutronenquelle angeordnet sind. Zum einen lassen sich elektronische Systeme nicht direkt an Vakuumpumpen oder Messinstrumente anschließen, da sie aufgrund der Strahlung ausfallen und den Betrieb einstellen würden. Außerdem ist zu

bedenken, wie bei der Pumpenkonstruktion auf bestimmte Werkstoffe wie Teflon zu verzichten ist, weil diese durch eine hohe Strahlung beeinträchtigt werden.

Entwicklung von strahlungsbeständigen Lösungen

Für die Elektronik besteht die Lösung darin, diese in großer Entfernung von den Pumpen zu platzieren. Zum Beispiel sind bei der China Neutron Spallation Source – die gerade ihre erste Einsatzrunde beendet hat – einige der Vakuummessgeräte über bis zu 220 Meter lange Kabel an ihre Steuerungen angeschlossen. Die Vakuumerzeugung ist genauso wichtig, daher müssen Turbopumpen sowie Vorvakuumpumpen strahlungsresistent ausgeführt sein.

Bei manchen Anwendungen ist entscheidend, dass der Pumpe ausreichend Strom zugeführt wird. Daher sind lange Kabel zu verlegen, insbesondere für die Vorvakuumpumpen. Am J-PARC haben die Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter von Pfeiffer Vacuum mit dem Projektteam zusammengearbeitet, um ein elektronisches System zu entwickeln, das speziell auf die dortigen Bedürfnisse abgestimmt ist.

Indessen können die Auswirkungen der ionisierenden Strahlung auf bestimmte Werkstoffe auch eine ganz neue Herangehensweise an die Pumpenkonstruktion erfordern. Die meisten Großversuchsanlagen nutzen Hochgeschwindigkeits-Turbopumpen, um ein Ultrahochvakuum herzustellen. Sie benötigen aber – um effektiv arbeiten zu können – eine Vorvakuumpumpe, die den Atmosphärendruck auf ein „Grobvakuum“ reduziert. Im Fall von J-PARC hatte das Projektteam Bedenken, dass das in den ölgedichteten oder trockenlaufenden Vorvakuumpumpen verwendete Teflon unter dem Einfluss der Strahlung brüchiger werden könnte.

Die Lösung bestand darin, mit der mehrstufigen Wälzkolbenpumpe eine ölfreie Vorpumpenausführung zu wählen. Dabei reduziert eine Reihe von Rotoren, die mit Drehzahlen von bis zu 6000 U/min⁻¹ laufen, den Luftdruck. Mehrstufige Wälzkolbenpumpen erfordern keinerlei Dichtungsmaterial und damit auch kein Teflon. Es handelt sich um eine bis zu sechsstufige Kombination von Rootsgebläsen, die das Gas von mittlerem Vakuum auf Atmosphärendruck verdichten können. Der reibungsfreie Betrieb der Pumpe vermeidet zudem Verschleiß und mindert den Wartungsbedarf, was bei teflonfreien Pumpen besonders praktisch ist.

J-PARC war die erste Neutronenforschungseinrichtung, bei der in der Anfangsphase des Abpumpens eine mehrstufige Wälzkolbenpumpe zum Einsatz kam. In der Folgezeit hat Pfeiffer Vacuum ein neues Modell entwickelt, an dem auch andere Spallationsquellen wie die ESS sowie Kunden, die auf Vakuumsysteme angewiesen sind, die hohen Strahlungswerten standhalten, immer mehr Interesse zeigen.

Neue Herausforderungen der European Spallation Source

Für die ESS bedeutet der höhere Neutronenfluss, dass die Strahlung noch problematischer ist. Nicht nur mit Blick auf die Vorvakuumpumpe, sondern auch hinsichtlich der geringen Mengen an Teflon in den Turbopumpen hatte das Projektteam Bedenken. Beispielsweise enthält eine Turbopumpe einen Elektromotor, der mit Teflon isoliert ist. Eine Beschädigung der Isolation könnte zu einem elektrischen Kurzschluss führen, der den Betrieb der Pumpe und damit auch den Versuchsverlauf unterbrechen würde.

Derzeit werden mit dem ESS-Projektteam die Optionen erörtert. An einer Turbopumpe ist es praktisch unmöglich, auf sämtliches Teflon zu verzichten, könnte an einigen Stellen jedoch machbar sein. Dazu gilt es, den Aufwand abzuschätzen, der mit dem Austausch dieser Materialien verbunden wäre, und zu prüfen, ob es möglicherweise besser wäre, sie unverändert zu lassen.

Allerdings gibt es keine einfache Lösung, das Langzeitverhalten von

Turbopumpen unter den vorgesehenen Strahlungswerten zu testen. Das Vakuumsystem wird bei der ESS erstmals unter solchen Bedingungen betrieben. Erst die Nutzerinnen und Nutzer werden beurteilen können, welche Arten von Materialien sich eignen. Aus diesem Grund ist für Pfeiffer Vacuum die ständige und sehr intensive Kommunikation mit den Nutzern der Anlage unverzichtbar.

Kontakt

Pfeiffer Vacuum GmbH,
Berliner Straße 43, 35614 Asslar,
www.pfeiffer-vacuum.com

Reinraum-Services

PiNK[®]



PiNK Vakuumentchnik hat die Reinraum-Infrastruktur auf über 4.000 m² erweitert.

Feinstreinigung, RGA-Qualifizierung und Reinraum-Montage

Höchste Sauberkeit, die man messen kann

- **Reinraum-Nassreinigungsprozesse:** vollautomatische Ultraschall-Reinigung für Bauteile bis Ø 1.100 mm, Feinstreinigung von Großteilen bis 2,5 t Gewicht
- **Reinraum-Trockenreinigungsprozesse:** Ausheizen im Ultrahochvakuum unter Reinraumbedingungen, integrierte optionale Niederdruckplasma-Reinigung
- Quantitative Restgasanalyse für Massen bis 512 µg
- Montageservice für gereinigte Bauteile im Reinraum