

Herausforderungen der Vakuum- technik: **Strahlungsresistente Pumpen für Spallationsquellen**

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 2027 der Nutzer beginnt.

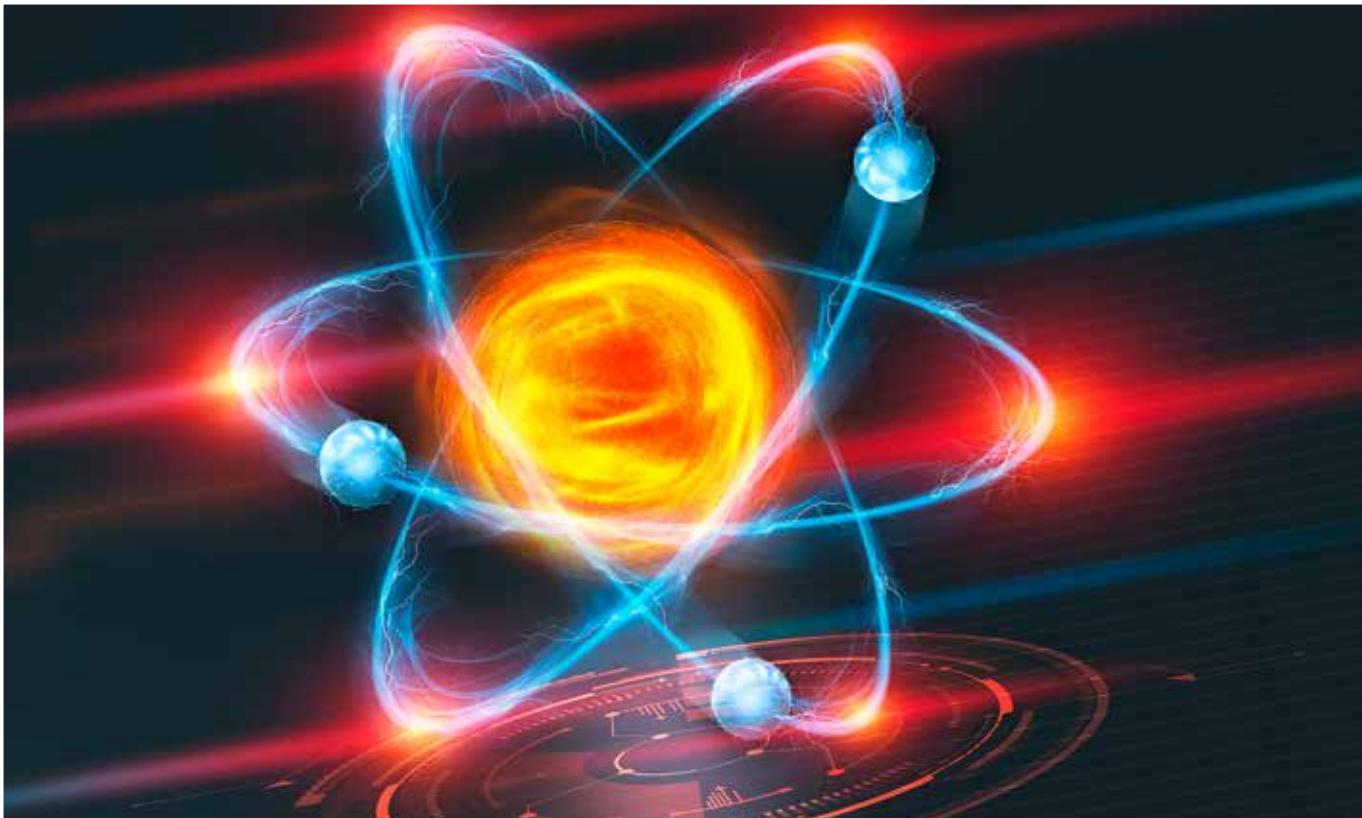




Abbildung 1: Luftbild der European Spallation Source (ESS) im schwedischen Lund. (Bild: Perry Nordeng/ESS)

Diese leistungsstarken neuen Instrumente bedeuten allerdings auch eine Herausforderung für die ingenieurtechnischen Systeme, die zu ihrer Unterstützung nötig sind. Hohe 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.

Pfeiffer Vacuum arbeitet eng mit Nutzern zusammen, um kundenspezifische Vakuumlösungen für die neuartigen Spallationsquellen zu entwickeln.

Materialien mithilfe von Neutronen verstehen

Neutronen sind weit verbreitet zur Untersuchung von Materialeigenschaften, da sie tief in die Probe eindringen können. Hierbei lassen sie Atomkerne zersplittern und generieren damit Daten, um die genaue Struktur innerhalb des Materials zu bestimmen. Darüber hinaus besitzen Neutronen die passende Wellenlänge, um ihren Impuls und ihre Energie auf die Teilchen in der Probe zu übertragen. Dies liefert wertvolle Informationen über Gitterschwingungen im Festkörper. 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. Dadurch lassen sich Experimente beschleunigen, um die Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler in die Lage zu versetzen, Materialien und ihre Wechselwirkungen detaillierter denn je zu untersuchen.

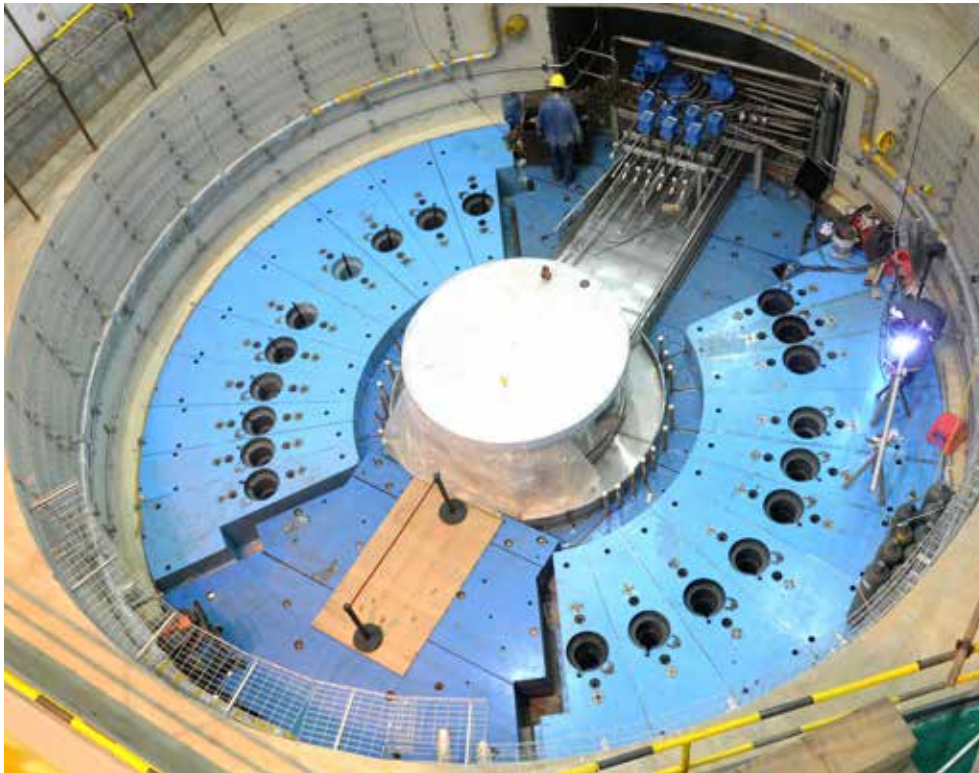
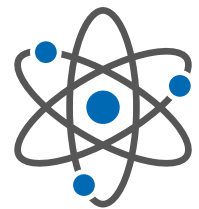


Abbildung 2: Das Wolfram-Target der China Spallation Neutron Source (CSNS) am Institute of High Energy Physics (IHEP) in Peking ist als Monolith verbaut. (Bild: IHEP)

Die stärkste reaktorbasierte Neutronenquelle, die heute verfügbar ist, befindet sich im Institut Laue-Langevin in Grenoble, Frankreich, und erzielt einen Fluss von $1,5 \cdot 10^{15}$ Neutronen Sekunde und Quadratmeter bei einer thermischen Leistung von 58 Megawatt. Zum Vergleich: die stärksten energietechnisch genutzten Reaktorblöcke liefern thermische Leistungen um die 4 Megawatt. Die European Spallation Source wird nach der für 2027 geplanten Fertigstellung 10^{18} Neutronen pro Sekunde und Quadratmeter erzeugen, indem ein energiereicher Protonenstrahl auf ein festes Target aus Wolfram geschossen wird. Durch diesen Protonenbeschuss werden Neutronen frei, die anschließend gebremst und gebündelt in einen Neutronenstrahl umgewandelt 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.

Die Strahlungswerte können 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, ob bei der Pumpenkonstruktion auf bestimmte Werkstoffe wie Teflon verzichtet werden kann, weil diese durch eine hohe Strahlung beeinträchtigt werden.

Die Bedeutung von Strahlungsresistenz



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 im Februar 2020 mit einem 100 W Strahl in Betrieb ging – 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.

Der Betrieb der Pumpen über lange Kabel stellt eine große Herausforderung dar, weil der Leitungswiderstand signifikant ist. Lange Kabellösungen (bis 1000 m) für Turbopumpen gibt es schon seit einiger Zeit, bei trockenen Vorpumpen mussten diese aber neu entwickelt werden. Bedingt durch deren im Vergleich zu Turbopumpen höhere elektrische Leistung sind die Kabellängen und Leitungsdurchmesser zwischen Vorpumpe und Leistungselektronik entsprechend anzupassen.

Indessen können die Auswirkungen der ionisierenden Strahlung auf bestimmte Werkstoffe auch eine ganz neue Herangehensweise an die Pumpenkonstruktion erfordern.

Im Fall von J-PARC hatte das Projektteam Bedenken, dass das in den 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. 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 Feinvakuumdruck 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.

Lösungsansatz der European Spallation Source

Für das Equipment an der ESS bedeutet der höhere Neutronenfluss, dass die Strahlung noch problematischer ist. Nicht nur mit Blick auf die Vorkvakuumpumpe, 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.



Abbildung 3: Die HiPace Turbomolekularpumpen-Reihe wurde für den Einsatz am ESS angepasst.

An einer Turbopumpe ist es praktisch unmöglich, auf sämtliches Teflon zu verzichten, könnte an einigen Stellen jedoch machbar sein. Aus diesem Grund ist für Pfeiffer Vacuum die ständige und sehr intensive Kommunikation mit den Projektverantwortlichen der Anlage unverzichtbar.

Nur im engen Kontakt und in fortwährenden Gesprächen zwischen Pfeiffer Vacuum und dem Projektverantwortlichen ist es möglich die verschiedenen Materialien in der Pumpe zu analysieren und auf die Bedürfnisse des Kunden abzustimmen. In manchen Fällen erschweren fehlende Alternativen das Vorgehen. Dann ist eine ganzheitliche Betrachtung notwendig, und es heißt, mit einer Kombination aus trockener Vorpumpe und Turbopumpe einen für die Kundenanwendung passenden Weg zu finden. Mit Abstimmungen im Gesamtsystem kann so das beste Ergebnis erzielt werden.



Aus Erfahrungen mit ähnlichen Anwendungen begann Pfeiffer Vacuum die Diskussion mit den Projektverantwortlichen der ESS in einem sehr frühen Projektstadium. So lassen sich notwendige Anpassungen am Produkt noch vornehmen, bevor dieses zum Einsatz kommt.

<https://europeanspallationsource.se>

<https://j-parc.jp/c/en/facilities/index.html>

<http://english.ihep.cas.cn/csns>

Your Success. Our Passion.

Wir geben jeden Tag unser Bestes für Sie –
weltweit!

**Sie suchen eine optimale
Vakuumlösung?
Sprechen Sie uns an:**

Pfeiffer Vacuum GmbH
Germany
T +49 6441 802-0



Irrtümer und/oder Änderungen vorbehalten. P10503P/DE (Juli 2023/0)

Folgen Sie uns auf Social Media
#pfeiffervacuum



www.pfeiffer-vacuum.com

PFEIFFER  **VACUUM**