

Durchleuchtung – einmal anders

Mit Neutronenstrahlen analysieren Wissenschaftler an der Forschungsneutronenquelle in Garching das Innere von Metallen

Es war das größte Werkstück, das Dr. Michael Hofmann und sein Team bisher auf ihrem Proben­tisch hatten: ein zylindrischer Aluminiumblock von 30 Zentimetern Höhe und 55 Zentimetern Durchmesser, geliefert von einer großen Maschinenbau­firma.

Aus diesem mehr als drei Zentner schweren Schmiedekörper soll später ein filigranes Bauteil herausgefräst werden, dessen Abmessungen auf Bruchteile von Millimetern genau sein müssen. Damit dies gelingt, darf der Aluminiumblock keine großen inneren Spannungen aufweisen. Und das überprüften Hofmann und seine Leute an der Forschungsneutronenquelle (FRM II) der TUM in Garching mit Hilfe von Neutronen.

Diese Teilchen sind winzig klein und elektrisch neutral. Obwohl unser sichtbares Universum etwa zur Hälfte aus ihnen besteht, wurden sie erst vor rund 75 Jahren entdeckt. Inzwischen aber haben die Physiker nicht nur ihre Eigenschaften ergründet, sondern auch gelernt, sie als wichtiges Werkzeug für viele Zwecke zu benutzen, zum Beispiel zum Durchleuchten von Metallen. An den größten Neutronenquellen der Welt konkurrieren Forscher um die knappe und teure Bestrahlungs- und Messzeit, sei es am Hochflussreaktor des Instituts Laue-Langevin (ILL) in Grenoble, an

Link
www.frm2.tum.de/wissenschaft/diffraktometer/stress-spec

den Spallations-Neutronenquellen im amerikanischen Oak Ridge und im japanischen Tsukuba oder eben am FRM II in Garching. Hier, in der Experimentierhalle des Reaktors, sind strahlenförmig rund um den Reak-

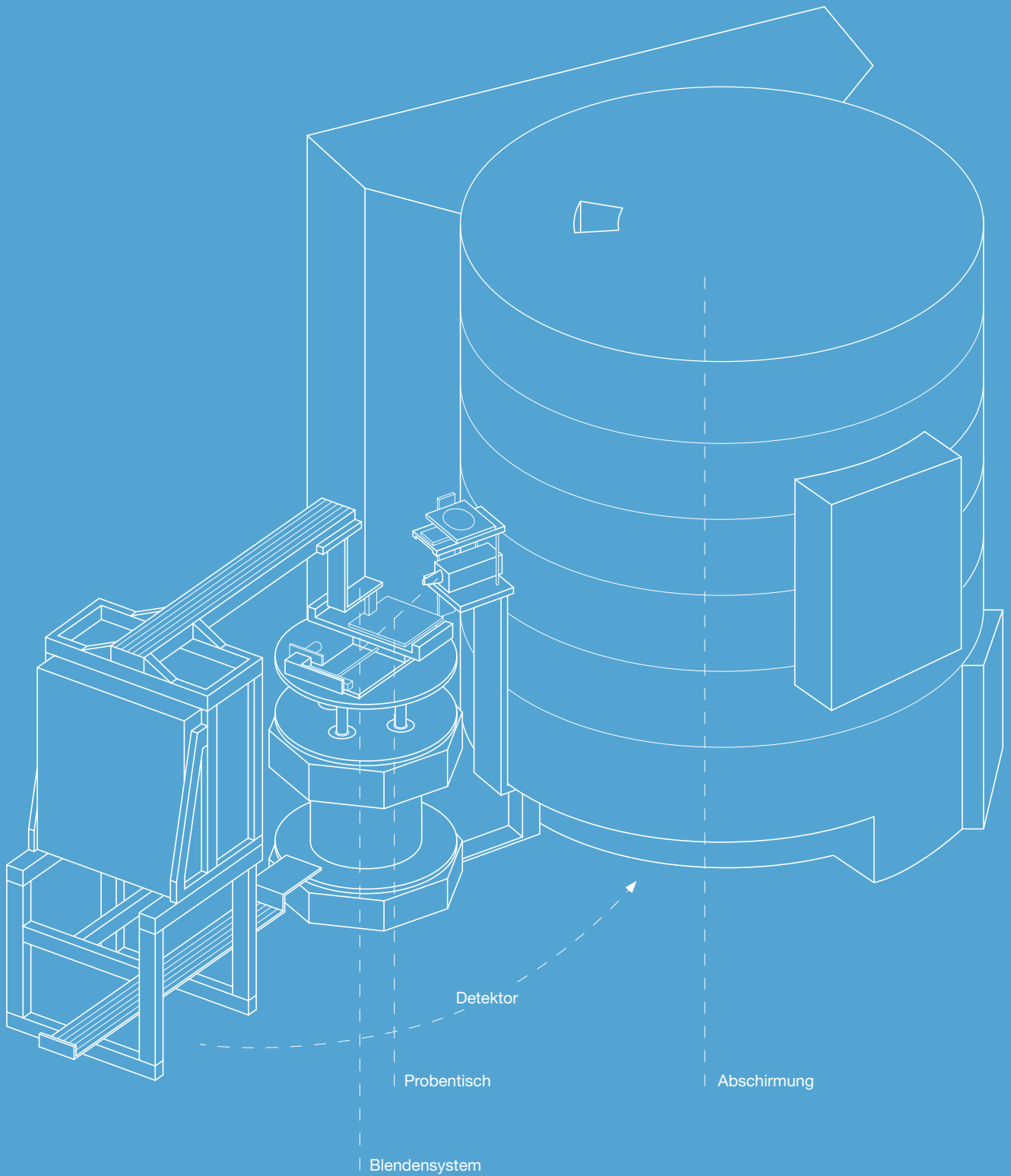
torkern die Messanordnungen aufgebaut. Viele Forschergruppen betreiben hier Grundlagenforschung, einige aber kommen auch aus der Industrie und wollen die Teilchenstrahlen dazu benutzen, Produkte zu verbessern oder neue zu entwickeln.



Die Anlage STRESS-SPEC am Forschungsreaktor Garching kann metallische Objekte mit Hilfe von Neutronen durchleuchten und Spannungen in ihrem Inneren darstellen – hier bei einem Verdichterrad

Mit raffinierten technischen Tricks und viel Aufwand kann man die Neutronen abbremsen oder beschleunigen, man kann sie – obwohl sie auf elektrische und magnetische Felder im Prinzip nicht reagieren – bündeln oder um die Kurve lenken. Und man kann sie je nach ihrer Geschwindigkeit sortieren. Weil sie ein winziges magnetisches Moment besitzen, kann man sie sogar um ihre eigene Achse drehen. Außerdem gibt es inzwischen hochempfindliche Messgeräte, die nicht nur Ort und Geschwindigkeit der Teilchen

feststellen, sondern auch prüfen können, in welche Richtung die magnetischen Momente zeigen. „Neutronen sind heute ein unentbehrliches Hilfsmittel in der Materialforschung, denn sie können tief in das Material eindringen, viel tiefer als beispielsweise Röntgenstrahlen“, erklärt ▶



Grafik: eciundsepp

Der Aufbau der Messanlage: In der Abschirmung wird der Neutronenstrahl vorbereitet. Das Blendensystem leitet ihn zum Objekt auf dem Probentisch. Der Detektor kann sich im Kreis um das Objekt herumbewegen und die gestreuten Neutronen registrieren



Fotos: TUM

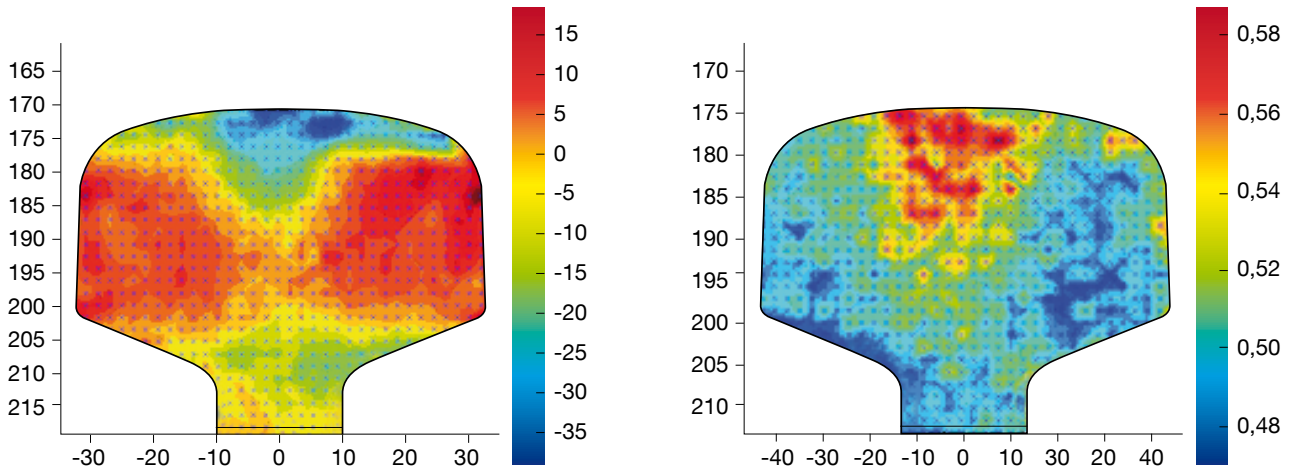
Links der mehr als drei Zentner schwere Aluminium-Rohling bei der Messung in STRESS-SPEC. Rechts richtet der Techniker Günther Seidl ein Verdichterrad millimetergenau für die Messung ein

Michael Hofmann, der am FRM II die Arbeiten am STRESS-SPEC leitet. Bei dieser Messanordnung handelt es sich um ein so genanntes Diffraktometer. Es beruht darauf, dass Neutronen, die ein Kristallgitter durchqueren, an den Gitterebenen abgelenkt werden, ähnlich wie Licht, wenn es zum Beispiel Glas durchdringt. Der Fachmann nennt das „Beugung“ oder „Diffraktion“. Am STRESS-SPEC trifft ein Neutronenstrahl aus dem Reaktor auf das Werkstück, und die Forscher messen die Ablenkung des Strahls. Je nach der Beschaffenheit des Kristallgitters ist sie größer oder kleiner. „Daraus können wir dann Rückschlüsse auf die atomare Struktur des Materials ziehen und damit auch auf innere Spannungen, ohne das Bauteil zu zerstören“, so der Projektleiter.

Besonders wichtig sind dabei die so genannten Eigenstressungen, denn sie beeinflussen die Eigenschaften eines Bauteils, etwa seine Festigkeit, Lebensdauer, Verschleiß- und Korrosionsbeständigkeit. Es handelt sich dabei um mechanische Spannungen, die auch dann vorhanden sind, wenn das Werkstück keinen äußeren Belastungen unterliegt. Sie entstehen bei der Herstel-

lung des Materials, etwa beim Gießen, Umformen, Fügen oder Härten oder später bei der Fertigung. Häufig findet man sie auch in Verbundmaterialien, zum Beispiel in faserverstärkten Werkstoffen oder an Schweißnähten. Meist sind diese Spannungen unerwünscht, denn wenn das Bauteil während des Betriebs zusätzlich unter Stress gerät, verstärken sie die Belastung und können dadurch zu einem vorzeitigen Bruch führen. Umgekehrt können gezielt eingebrachte Druckspannungen – etwa beim Kugelstrahlhärten – an der Oberfläche das Bauteil verbessern, denn sie verhindern, dass sich Mikrorisse ins Innere hinein fortpflanzen.

Die Industrie ist deshalb bestrebt, möglichst genaue Informationen über die Eigenspannungen in einem Material herauszufinden. Sie benutzt dazu vielfach numerische Simulationen, bei denen auf einem Computer die Vorgänge im Inneren eines Werkstücks berechnet werden. Am Ende ergeben sich farbige Bilder, aus denen man die Stärke der Spannungen ablesen kann. Ob aber derartige Simulationen mit der Wirklichkeit übereinstimmen, kann man nur mit Hilfe des Experiments feststel-



Die Messergebnisse am Querschnitt einer gebrauchten Eisenbahnschiene: Links sind die Spannungen, rechts die Verformungen farblich dargestellt. Man sieht, dass die Schiene durch die Belastungen verformt wurde und starke innere Spannungen aufweist

len. Deshalb lassen Firmen ihre Werkstücke gern am STRESS-SPEC prüfen, um danach die gemessenen mit den berechneten Werten abzugleichen.

„Am FRM II ist die Intensität des Neutronenstrahls so hoch, dass wir auch relativ große Bauteile durchstrahlen können und dabei sehr genau und schnell sind“, sagt Michael Hofmann. Der Aluminiumrohling oder Teile von Kurbelwellen sind Beispiele dafür. Punkt für Punkt rastert die Anlage das Material durch, ein Messpunkt wird mit einer räumlichen Auflösung von wenigen Kubikmillimetern berechnet. Damit ergibt sich am Ende ein gutes räumliches Bild der Spannungen im Inneren. Im Extremfall können die Forscher auch bis auf einen Millimeter genau messen. Weil wenige Sekunden genügen, um eine Messung durchzuführen, kann man auch ganze Messreihen fahren mit unterschiedlichen Temperaturen oder von außen ausgeübtem Druck auf das Werkstück. Aber nicht nur Spannungen im Material untersuchen die Wissenschaftler am STRESS-SPEC. Sie können auch Aussagen treffen über die innere Textur von Werkstoffen, also etwa über die Verteilung und Ausrichtung

ihrer Kristallkörner. Das ist beispielsweise wichtig, wenn Aluminium später zu feinen Blechen für Getränkedosen gewalzt werden soll, denn bestimmte Texturen können die Bleche dabei wellig und unbrauchbar machen.

So lassen sich also einzelne Prototypen untersuchen, aber die Experten in Garching klären auch die Frage, wie sich Material während des Bearbeitungsprozesses verhält. Dieses Wissen können Ingenieure dazu verwenden, um die Herstellung zu optimieren. Industrieunternehmen nutzen beide Optionen. Am befreundeten Hahn-Meitner-Institut in Berlin, mit dem die Physiker des FRM II eng zusammenarbeiten, wurde so bereits eine Ariane-Brennkammer untersucht. In Garching ist man bisher auf Bauteile beschränkt, die nicht dicker als 80 Zentimeter und nicht höher als 52 Zentimeter sind. Noch größere und sperrigere Teile werden aber bald auch für Hofmann und sein Team kein Problem mehr darstellen. Sie haben einen Industrieroboter angeschafft, der in Zukunft die Proben millimetergenau in der richtigen Position halten und computergesteuert verschieben kann.

Brigitte Röthlein