



**Verleihung der Röntgenplakette 2018**

**Prof. Dr. Franz Pfeiffer, München**

**21. April 2018, 11-13 Uhr  
Klosterkirche Remscheid-Lennep**



**Am 21. April 2018 wird der deutsche Physiker Franz Pfeiffer mit der Röntgenplakette der Stadt Remscheid ausgezeichnet. Gewürdigt werden damit seine herausragenden Forschungen zur Entwicklung der Phasenkontrast-Bildgebung mit Röntgenstrahlen. Pfeiffer legte mit seinen Arbeiten den Grundstein für die breite Anwendung dieses Verfahrens in Medizin und Industrie. Über die biomedizinische**



**Grundlagenforschung hinaus haben seine Forschungen ein immenses Potenzial für die Verbesserung der gesamten Palette der medizinischen Röntgen-Diagnostik, und werden die Mammographie, Radiographie, und Computertomographie deutlich verbessern, so dass in Zukunft Krankheiten, wie zum Beispiel Brust- oder Lungenkrebs, früher diagnostiziert werden können.**

Franz Pfeiffer wurde am 25. November 1972 in Kösching im oberbayerischen Landkreis Eichstätt geboren. Pfeiffer studierte von 1993-1999 Physik an der Ludwig-Maximilians-Universität München. Nach Forschungs- und Lehraufenthalten am Institut Laue-Langevin und der Europäischen Synchrotronstrahlquelle ESRF (Grenoble, Frankreich), dem Center of Nanoscience (München) und der Universität des Saarlands (Saarbrücken) begann er seine wissenschaftliche Karriere 2003 als Gastwissenschaftler an der University of Illinois, Urbana-Champaign, USA. Von 2003 bis 2005 war er Wissenschaftler an der Synchrotron Lichtquelle Schweiz SLS, Paul Scherrer Institut in Villigen in der Schweiz. Hier wurde er 2005 zum Gruppenleiter ernannt. Die Ecole Polytechnique Fédérale de Lausanne berief ihn 2007 zum Assistenzprofessor. 2009 erhielt Pfeiffer einen Ruf als Physikprofessor auf den Lehrstuhl für Biomedizinische Physik am Institut für Physik der Technischen Universität München. 2012 wurde er zudem als Professor in die Fakultät für Medizin an der Technischen Universität München berufen. 2017 wurde Pfeiffer zum Direktor der zwei Jahre zuvor gegründeten Munich School of BioEngineering (MSB) ernannt.



## Konventionelle Röntgenverfahren

Im Jahr 1895 entdeckte der in Lennep geborenen Physiker und Nobelpreisträger Wilhelm Conrad Röntgen eine neue Sorte von Strahlen, die Dinge durchdringen konnte. Das Verfahren revolutionierte die medizinische Diagnostik und bildet bis heute ein unverzichtbares Hilfsmittel für den Arzt. Knochen ließen sich auch schon damals leicht mit der konventionellen Technik abbilden. Weichteile wurden jedoch erst mit Hilfe von Kontrastmitteln sichtbar. Erst die Revolution der Entwicklung der Computertomographie brachte einen entscheidenden Wandel. Allerdings setzten sich alle Bilder bisher allein nur aus den Messungen der durch den Körper durchgedrungenen Strahlung zusammen.

Vor über 100 Jahren entdeckte Max von Laue, dass Röntgenstrahlen als elektromagnetische Wellen beschrieben werden können. Sie sind Licht mit hoher Energie. Lichtstrahlen oder Lichtwellen werden jedoch nicht nur geschwächt, wenn sie einen Körper durchqueren, sondern gleichzeitig auch gebrochen oder gestreut, d.h. sie werden an einem Hindernis abgelenkt. Danach breiten sie sich wieder aus und überlagern sich gegenseitig. Diese Überlagerung wird als Interferenz bezeichnet. Dabei entsteht ein charakteristisches Muster, das Auskunft über die Geometrie des Hindernisses gibt. Wenn es nun gelingt, diese Brechung oder Streuung der Röntgenstrahlen beim Durchgang durch einen Körper zu messen oder sichtbar zu machen, könnte dies zur Herstellung besserer und genauerer Bilder genutzt werden.



## Eine neue Idee für die Röntgenbildgebung

Diese Idee verfolgte Franz Pfeiffer. Aus der Lichtmikroskopie ist bekannt, dass sich beim Durchgang von Lichtwellen durch ein Medium neben der Amplitude (Schwingungsweite) auch die Phase (momentaner Zustand einer Schwingung) abhängig vom Brechungsindex (optische Dichte eines Materials) verändert.

Das Phasenkontrast-Verfahren nutzt Unterschiede im Brechungsindex und der Dicke des Objekts zur Erzeugung eines Hell-Dunkel-Kontrasts aus. Da sich Licht in Medien mit verschiedenen Brechungsindizes mit unterschiedlichen Geschwindigkeiten ausbreitet, ergibt sich beim Durchlaufen eines Objekts, das optisch dichter als seine Umgebung ist, ein Phasenunterschied gegenüber dem Licht, das dieses Objekt nicht durchläuft. Diese Phasenverschiebung kann in Helligkeitsunterschieden dargestellt werden.

Eine weitere Verbesserung der Abbildungen von Objekten mit geringem Kontrast kann darüber hinaus über die Dunkelfeldmikroskopie ermöglicht werden. Hierbei wird die Beleuchtung so eingestellt ist, dass die direkten Lichtstrahlen am Objektiv des Mikroskops vorbeigehen und der Betrachter nur die an den einzelnen kleinen Strukturen gebeugten Lichtstrahlen sehen kann.

„Röntgenstrahlung lässt sich wie Licht sowohl als Teilchen als auch als Welle interpretieren“, erläutert Prof. Pfeiffer. Ähnlich wie sichtbares Licht an den Wassertropfchen in der Luft gebrochen und gestreut werden kann, und damit das wohlbekanntes Phänomen des Regenbogens erzeugt, so erfahren auch Röntgenstrahlen eine Brechung und Streuung an den vielen kleinen Strukturen im Körper. Die sogenannte Pha-



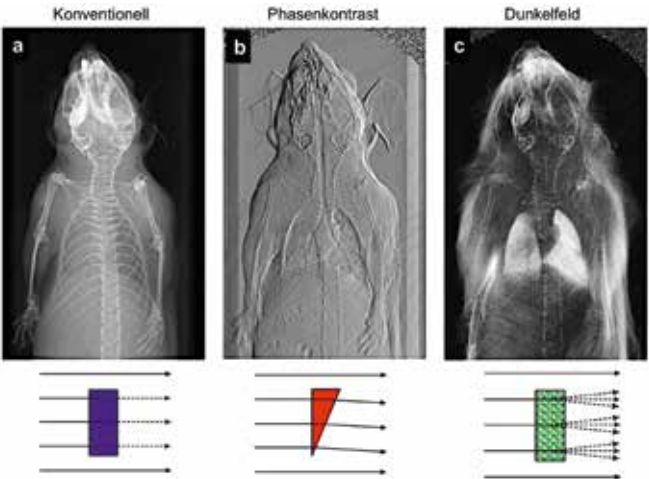
senkontrast- und Dunkelfeld-Bildgebung nutzt explizit diesen Wellencharakter der Röntgenstrahlung, und die damit einhergehende Brechung und Streuung aus, um Röntgenbilder mit neuen Kontrastmechanismen, zu erzeugen. „Die klassische Röntgen-Bildgebung arbeitet mit der Absorption von Teilchen, sie nutzt also die Teilchen-Eigenschaften der Röntgenstrahlung. Bei der Phasenkontrast-Bildgebung arbeiten wir dagegen mit den Wellen-Eigenschaften der Röntgenstrahlung.“ Wellen werden an Grenzflächen optisch gebrochen, ähnlich wie bei einem Prisma. Sie können die Richtung ändern und miteinander interferieren. „All diese Eigenschaften der Röntgenstrahlung wurden in der medizinischen Bildgebung bisher überhaupt nicht genutzt“, so Pfeiffer.

Vor seinen bahnbrechenden Arbeiten war eine derartige Phasenkontrast-Röntgenbildgebung jedoch nur mit Synchrotron-Röntgenquellen von Großforschungsanlagen möglich. 2006 entwickelte Pfeiffer eine Methodik, die die Phasenkontrast-Röntgenbildgebung auch mit normalen Röntgengeräten ermöglicht. Mit Hilfe von Absorptions- und Beugungsgittern konnten zusätzlich zur Röntgenabsorption die Brechung und Streuung der Röntgenstrahlen untersucht und gemessen werden. In Kombination mit der Computertomographie konnten anschließend bisher unerreichbare klare und kontrastreiche dreidimensionale Einblicke in biomedizinische Proben erzielt werden.



## Eine neue Technik liefert medizinisch relevante neue Einsichten

Bei dem neuen Verfahren entstehen drei Röntgenbilder statt eines einzigen: Transmission, Phasenkontrast und Dunkelfeld. Das Beispiel von Röntgenbildern einer Maus zeigt, welche zusätzlichen Bildkontraste mit Röntgen-Phasenkontrast und Dunkelfeldkontrast möglich sind.



Zusätzlich zu dem konventionellen Röntgenbild (a), das im Wesentlichen die stark absorbierenden Materialien im Körper betont, wie zum z. B. die Knochen, erlaubt die Ausnutzung der Wellennatur des Lichts die Erzeugung zweier (eng verwandter) neuer Kontraste: Die Phasenkontrast-Aufnahme (b), die vor allem die Brechung des Röntgenlichts als Ursache hat, zeichnet sich vor allem durch eine gute Darstellung der Weichteilgewebestruktur aus. Im sogenannten Dunkelfeldbild (c) hingegen wird die Streuung an kleinen Dichtefluktuationen im Objekt sichtbar



gemacht. Sie lässt vor allem die stark heterogenen Strukturen im Körper mit starkem Signal erscheinen, wie zum Beispiel die vielen feinen Lungenbläschen in der Lunge oder die Faserstruktur der Haare im Fell der Maus.

### **Exkurs: Funktionsweise der Röntgenbildung mit Phasen- und Dunkelfeld-Kontrast**

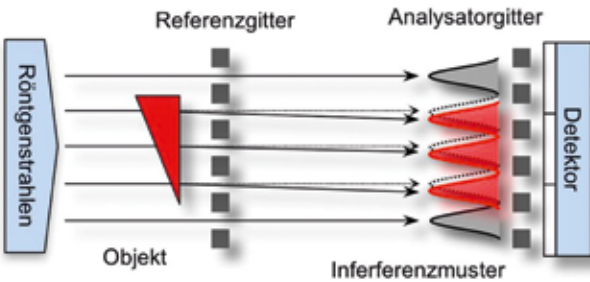
Der Phasen- und Dunkelfeld-Kontrast sind zwei neue Kontrastmechanismen, die - im Gegensatz zur herkömmlichen Röntgenbildung - explizit den Wellencharakter des Röntgenlichts, und dessen Beeinflussung durch den durchleuchteten Körper nutzen. Insbesondere beruht der Phasenkontrast auf dem physikalischen Effekt der Brechung des Röntgenlichts an Gewebeübergängen, und der Dunkelfeldkontrast auf der Streuung, die durch kleinste Porositäten/ Faserstrukturen auf der Mikrometerskala hervorgerufen wird. Um diese Effekte, die nur sehr kleine Winkeländerungen der Röntgenstrahlen hervorrufen (weniger als ein Tausendstel Grad), sichtbar zu machen, werden röntgenoptische Gitterstrukturen in den Strahlengang zwischen Objekt und Detektor eingebaut. Diese Gitterstrukturen sind im Prinzip ähnlich wie Streustrahlenraster aufgebaut, haben jedoch viel feinere Abstände zwischen den Lamellen (typischerweise 5-20 Mikrometer). Diese kleinen Strukturen sind notwendig, um die Brechungseffekte, die nur einige Tausendstel Grad betragen, sichtbar zu machen. Sie werden in den Strahlengang des Röntgengerätes eingesetzt.



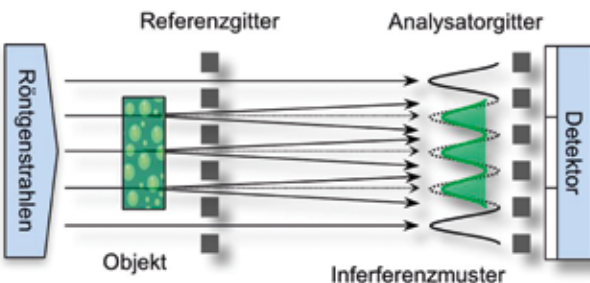


Das erste Gitter („Referenzgitter“) erzeugt ein feines periodisches Muster von Röntgenstrahlen, die dann mit dem zweiten Gitter („Analysatorgitter“) analysiert werden. Beim Phasenkontrast (a) wird insbesondere die durch die Brechung verursachte seitliche Verschiebung dieses Musters ausgewertet, beim Dunkelfeldkontrast (b) hingegen die durch die Streuung verursachte Verbreiterung und Ausschmierung des Musters. Das besondere dieses Verfahrens ist, dass es mit herkömmlichen Röntgenröhren und Detektoren, und somit in der breiten radiologischen Anwendung, verwendbar ist.

### a Phasenkontrast / Brechung



### b Dunkelfeldkontrast / Streuung

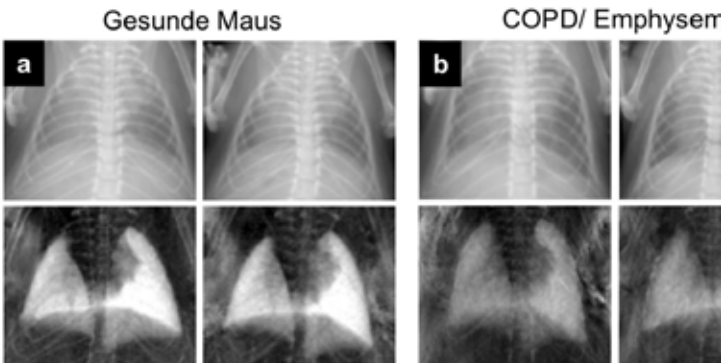




## Neue medizinische Diagnostik

Die ersten vorklinischen Forschungsergebnisse haben gezeigt, dass Röntgenverfahren mit den zusätzlichen Modalitäten Phasenkontrast und Dunkelfeld-Kontrast aussagekräftiger werden können und so ein hohes klinisches zukünftiges Anwendungspotenzial erwarten lassen.

Mit dem neuen bildgebenden Röntgenverfahren können bald frühzeitig kleine Tumore z.B. in der weiblichen Brust oder in der Leber, sowie Gewebeveränderungen bei der Osteoporose erkannt werden. Enormen Nutzen erhoffen sich die Wissenschaftler von der Darstellung der Lunge. Hier kann die traditionelle Röntgen-Bildgebung zwar größere Tumore gut darstellen, Veränderungen der Feinstruktur der Lunge sind für Röntgen- und CT-Untersuchungen bisher aber weitgehend eine Terra Incognita. „Mit der Phasenkontrast-Bildgebung können wir dagegen bis auf die Ebene der Lungenbläschen hinab blicken“, betont Pfeiffer. „Zum Beispiel lassen sich pathologische Veränderungen der Lungenbläschen bei chronisch-obstruktiver Lungenerkrankung (COPD)

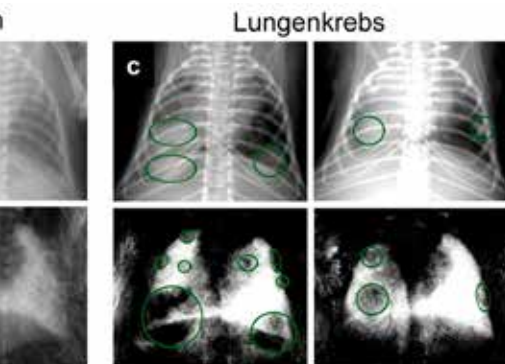




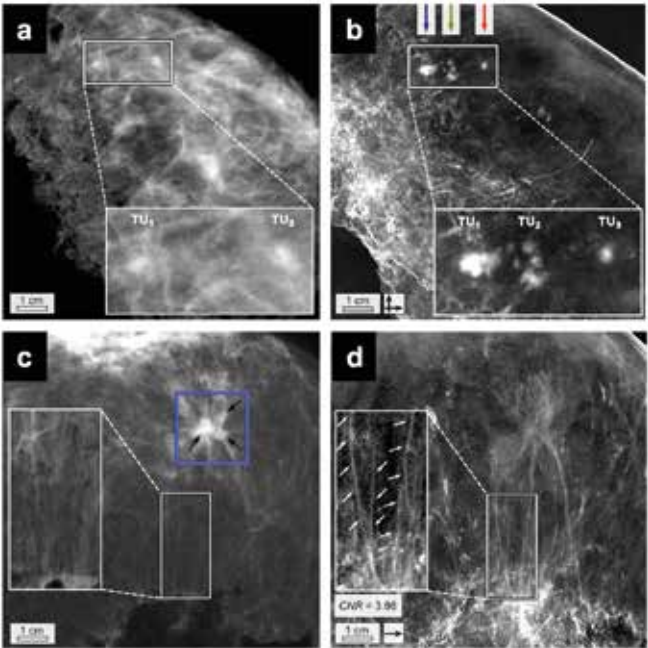
schon in einem sehr frühen Stadium darstellen. Auch Verwachsungen des Lungengewebes, wie sie bei einer Lungenfibrose, gerade auch nach einer Strahlentherapie, auftreten können, sind sehr gut erkennbar.“

Erste tiermedizinische Untersuchungen zeigen das Potential. Im Vergleich der konventionellen Röntgenaufnahmen (obere Reihe) und der Dunkelfeld-Bilder (untere Reihe) von gesunden Mäusen (a) und zwei Tiermodellen mit Lungenkrankheiten COPD/ Emphysem (b) und Lungenkrebs (c) lässt klar das deutliche reduzierte Dunkelfeld-Signal bei COPD/ Lungenemphysem (b) und die bessere Sichtbarkeit von Metastasen in der Lunge im Fall der entsprechenden Tiermodelle (c) erkennen.

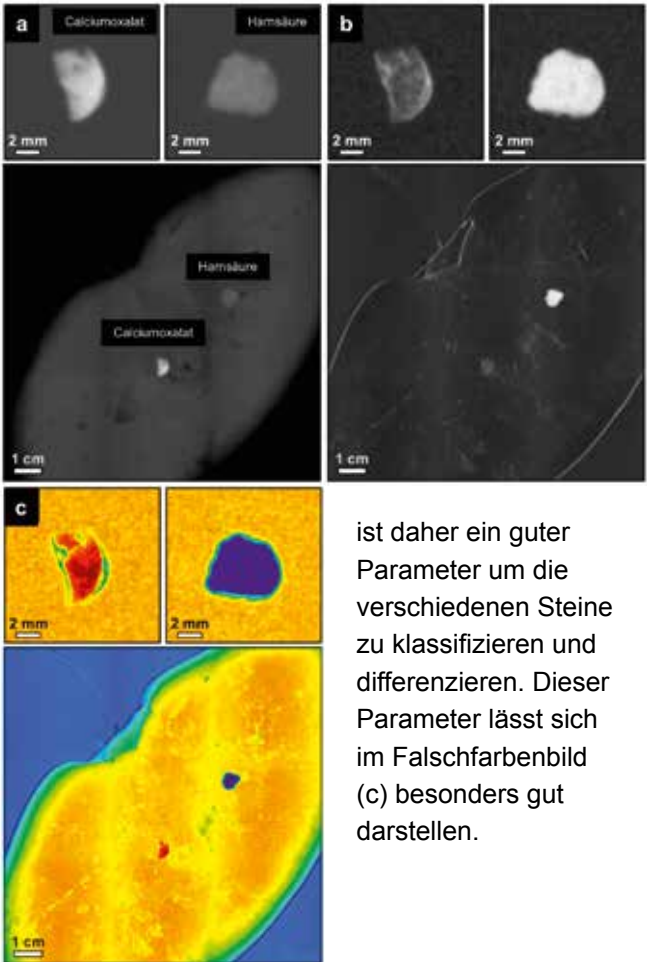
Weitere potentielle klinische Anwendungen sind im Bereich der Mammographie zu erwarten. Das das Dunkelfeld-Bild (b) ermöglicht eine deutlich bessere Differenzierung von Kalzifikations-Cluster im Vergleich zur gleichen Aufnahme mit konventionellem Absorptionskontrast (a). Auch im Beispiel der Darstellung fibröser Ausläufer von Brustkrebs-Läsionen (c, d) ist der Dunkelfeld-Kontrast (d) dem konventionellen



Röntgenbild (c) deutlich überlegen.



Ähnliches gilt bei der Klassifizierung und Differenzierung von Nierensteinen, die dadurch ermöglicht wird, da das Dunkelfeld-Signal sensitiv auf die genaue Mikrostruktur und Mikromorphologie des untersuchten Biomaterials ist. Die Abbildung zeigt beispielsweise, dass Nierensteine aus Harnsäure, die im konventionellen Röntgenbild (a) typischerweise weniger röntgendicht sind, im Dunkelfeld-Kontrast (b) besonders viel Signal liefern und gut erkennbar sind. Dies ist darauf zurückzuführen, dass Harnsäuresteine im Vergleich zu Nierensteinen aus Kalziumoxalat typischerweise eine sehr viel heterogenere und porösere Mikrostruktur im Inneren aufweisen, die ein stärkeres Dunkelfeld-Signal hervorruft. Das Verhältnis aus Dunkelfeld-Signal und Abschwächungs-Signal



ist daher ein guter Parameter um die verschiedenen Steine zu klassifizieren und differenzieren. Dieser Parameter lässt sich im Falschfarbenbild (c) besonders gut darstellen.

## **Vielfältige außerklinische Anwendungsfelder**

Aber nicht nur in der Medizin findet das neue Verfahren Anwendung. In der zerstörungsfreien Werkstoffprüfung kann z.B. gegenüber der bestehenden Schadenanalytik bei CFK Bauteilen - Ultraschall und Thermographie mit der Phasenbildgebung eine um



Größenordnungen höhere Ortsauflösung bei ähnlicher Defekterkennbarkeit erreicht werden. Unterschiedliche Materialien können so mit einem höheren Kontrast dargestellt werden. Zudem liefert das Streusignal Informationen über die Mikrostruktur der Probe, die unterhalb der Auflösungsgrenze des Systems liegen. Damit eröffnen sich neue Anwendungsgebiete für die Röntgenbildgebung in denen die Auflösung herkömmlicher Röntgengeräte bisher der limitierende Faktor war. So kann zum Beispiel mit Hilfe des Streusignals die Faserorientierung in Faserverbundwerkstoffen untersucht werden. Ein weiteres Anwendungsbeispiel ist die zeitlich aufgelöste Beobachtung der Mikrostrukturänderung, die während der Aushärtung von Zement stattfindet und sich auf einer Längenskala von wenigen Mikrometern abspielt. Im Bereich Security können sowohl differenzieller Phasenkontrast als auch Dunkelfeld-Kontrast Strukturen und Eigenschaften von Materialien erkannt werden, die im normalen Durchstrahlungsbild harmlos bzw. gar nicht erscheinen. Gleiches gilt für den Bereich Food-Control. Die Technik ist dabei gegenüber der State-of-the-Art Durchstrahlungsprüfung oder Mikro-CT nicht merklich komplizierter oder teurer. Das neue Verfahren ermöglicht mikroskopische Strukturinformation ( $0.5\mu\text{m}$ - $50\mu\text{m}$ ) in großen Objekten (bis  $15\text{cm}$ ) zwei- und dreidimensional abzubilden. Anwendungsschwerpunkt ist die Struktur-/ Schadensanalyse an Faserverstärkten Kunststoffen sowie die Prüfung von mikroporösen Bioimplantaten.



## **Franz Pfeiffer – Eine vielseitige Forscherpersönlichkeit**

Über das Forschungsgebiet der Phasenkontrastentwicklung hinaus, beschäftigt sich Franz Pfeiffer auch mit der Weiterentwicklung der Ptychographie (eine Erweiterung der Rastertransmissions-Röntgenmikroskopie), der Tensor-Tomographie zur Untersuchung räumlicher Strukturverteilungen und der gitterinterferometrischen Bildgebung mit Neutronen. Zu seinen Forschungsgebieten gehören auch iterative Rekonstruktionsalgorithmen für die Computertomographie, die Dual-Energy Computertomographie, die Entwicklung von Röntgenkontrastmitteln sowie hochauflösende Micro- und Nanotomographie. Franz Pfeiffer ist Autor von über 250 wissenschaftlichen Veröffentlichungen. Er hält zahlreiche Patente, hat eine Spin-off Firma ausgegründet, und zahlreiche Forschungsgroßprojekte eingeworben. Für seine Forschungen wurde er u.a. ausgezeichnet mit dem Dr. Eduard-Martin-Award der Universität Saarbrücken (2003), dem Nationalen Latsis Preis der Schweiz (2008), dem Röntgen-Preis der Universität Giessen (2010), dem Gottfried-Wilhelm-Leibniz Preis der DFG (2011) und dem Alfred Breit Preis der Deutschen Röntgengesellschaft (2017).



## Impressum

### Herausgeber

Deutsches Röntgen-Museum Remscheid  
Schwelmer Straße 41, 42897 Remscheid  
Tel.: 02191 16-3384  
Fax: 02191 16-3145  
E-mail: [info@roentgenmuseum.de](mailto:info@roentgenmuseum.de)

### Museumsleiter

Dr. Uwe Busch

### Träger

Stadt Remscheid, Der Oberbürgermeister,  
Theodor-Heuss-Platz 1, 42853 Remscheid

### Redaktion

Dr. Uwe Busch, Christina Falkenberg

### Gestaltung

Fachdienst Bauen, Vermessung und Kataster,  
Stadt Remscheid

### Quellen

F. Pfeiffer, M. Reiser, E. Rummeny:  
Röntgen Phasenkontrast. Grundlagen, Potential, und Fortschritte in  
der klinischen Translation. Der Radiologe.  
[https://www.tum.de/die-tum/aktuelles/pressemitteilungen/detail/  
article/33676/](https://www.tum.de/die-tum/aktuelles/pressemitteilungen/detail/article/33676/)  
[http://www.dfg.de/geoerderte\\_projekte/wissenschaftliche\\_preise/  
leibniz-preis/2011/pfeiffer/index.jsp](http://www.dfg.de/geoerderte_projekte/wissenschaftliche_preise/<br/>leibniz-preis/2011/pfeiffer/index.jsp)  
[http://www.br.de/fernsehen/ard-alpha/sendungen/alpha-campus/  
portraits/leibniz-pfeiffer-100.html](http://www.br.de/fernsehen/ard-alpha/sendungen/alpha-campus/<br/>portraits/leibniz-pfeiffer-100.html)  
<http://www.medizin-und-elektronik.de/sonstige/artikel/143978/>  
[https://www.iis.fraunhofer.de/de/ff/zfp/tech/phasenkontrast-  
dunkelfeld-computertomographie.html](https://www.iis.fraunhofer.de/de/ff/zfp/tech/phasenkontrast-<br/>dunkelfeld-computertomographie.html)  
[http://www.x-ray-imaging.eu/index.php/methoden/phasenkontrast-  
mikro-ct](http://www.x-ray-imaging.eu/index.php/methoden/phasenkontrast-<br/>mikro-ct)

Porträtbild Pfeiffer Seite 1: Foto: Andreas Heddergott, TUM  
Porträt Pfeiffer Seite 2 : Foto: Markus Fischer, PSI