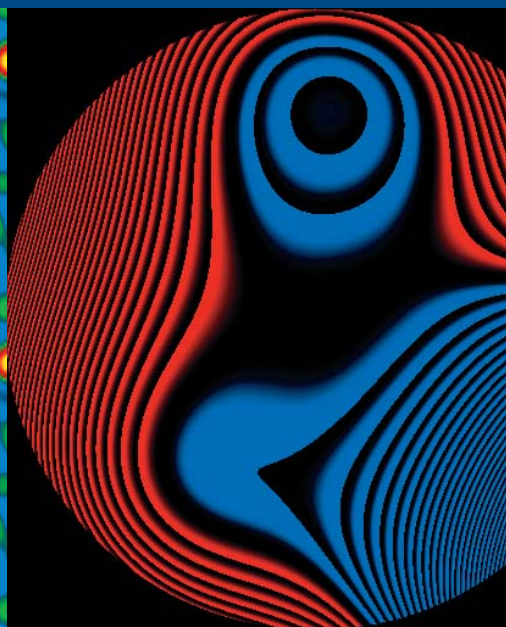
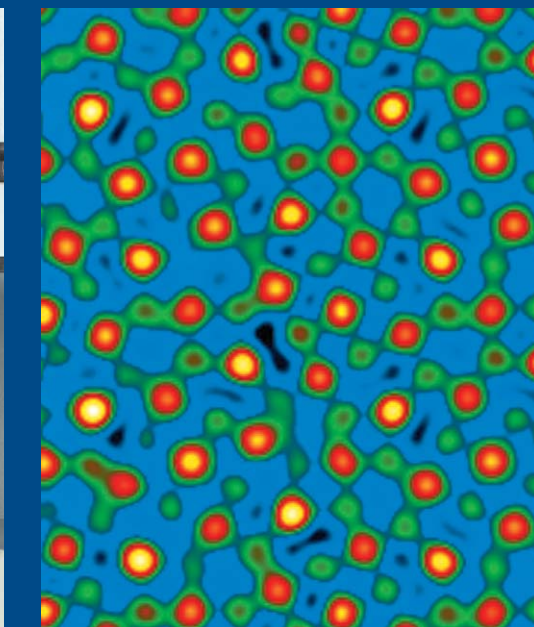


Ernst Ruska-Centrum

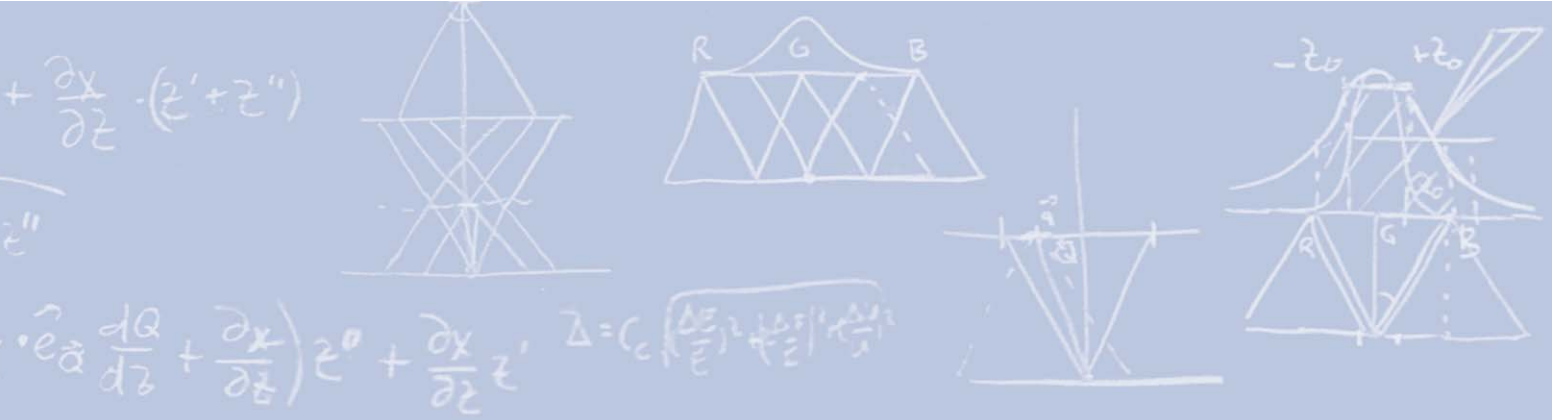
Mikroskopie und Spektroskopie mit Elektronen



Ernst Ruska-Centrum für Mikroskopie und Spektroskopie mit Elektronen

ER-C

Betreiber	Forschungszentrum Jülich und RWTH Aachen
Mission	Mit dem ER-C betreiben das Forschungszentrum Jülich und die RWTH Aachen ein Kompetenzzentrum für atomar auflösende Elektronenmikroskopie und -spektroskopie auf international höchstem Niveau. Das ER-C entwickelt wissenschaftlich-technische Infrastruktur und Methoden für die Materialforschung von heute und morgen. Das ER-C ist zugleich das erste nationale Nutzerzentrum für höchstauflösende Elektronenmikroskopie. Es gewährleistet Forschern aus Wissenschaft und Industrie den Zugang zu den leistungsfähigsten Elektronenmikroskopen unserer Zeit und ist Garant für kompetente Betreuung.
Namensgeber	Ernst Ruska (1906 – 1988), Nobelpreisträger für Physik und Entwickler des ersten Elektronenmikroskops
Gründung	27. Januar 2004
Standort	Forschungszentrum Jülich
Direktoren	Prof. Knut Urban, Forschungszentrum Jülich Prof. Joachim Mayer, RWTH Aachen
Nutzung	50 Prozent Betreiber und 50 Prozent externe Nutzer aus Universitäten, Forschungseinrichtungen und Industrie
Vergabe von Messzeiten	Nach wissenschaftlichen Kriterien durch ein Gutachtergremium. Einzelheiten – auch zur Antragstellung – finden sich in der gesondert erhältlichen Nutzer- und Gebührenordnung.
Ausstattung	Höchstleistungselektronenmikroskope des Typs Titan 80-300, die eine Ortsauflösung von 80 Pikometern und eine Energieauflösung von 0,1 Elektronvolt erlauben; Einrichtungen zur Datenanalyse und Probenvorbereitung, wie moderne „Focussed Ion Beam“- und Niedrigspannungsendünnungs-Anlagen; konventionelle Transmissions- und Rasterelektronenmikroskope zur Voruntersuchung elektronenmikroskopischer Proben
Forschungsschwerpunkte	Das ER-C erarbeitet mit seinen Kooperationspartnern Grundlagen für die Weiterentwicklung der Elektronenmikroskopie und -spektroskopie und schafft damit eine Voraussetzung für die Innovationsfähigkeit anderer Technologiebereiche. Hausinterne Forschungsarbeiten konzentrieren sich auf die Physik der kondensierten Materie sowie auf Materialien für die Informations- und Nanotechnologie.
Kontakt	Dr. Karsten Tillmann (k.tillmann@fz-juelich.de), Ernst Ruska-Centrum für Mikroskopie und Spektroskopie mit Elektronen, Forschungszentrum Jülich GmbH, 52425 Jülich
Netzpräsenz	www.er-c.org



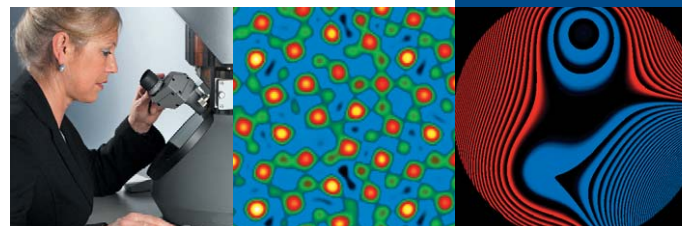
Inhalt

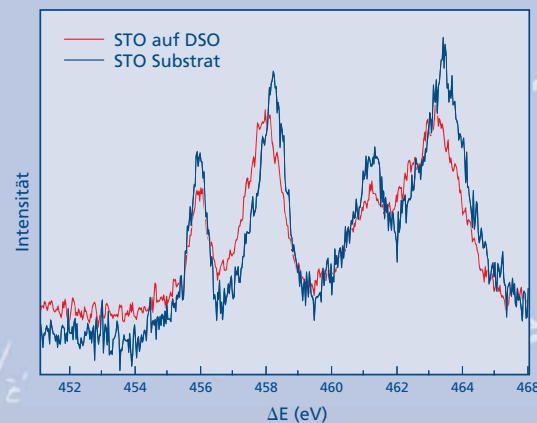
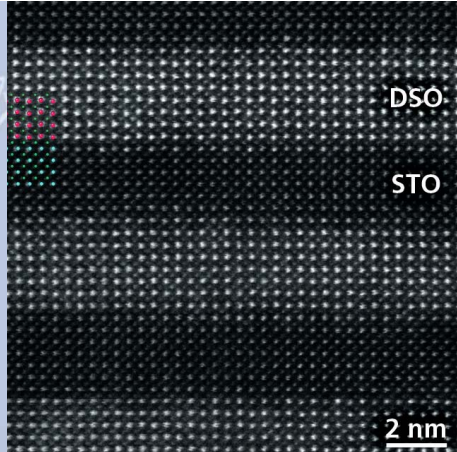
Auf einen Blick	2
Vorworte	4
Das Ernst Ruska-Centrum: Mission und Profil	6
Für eine scharfe Sicht: Aberrationskorrektur in der Elektronenmikroskopie	8
Aberrationskorrigierte Elektronenoptik: Erfolgreich in Wissenschaft und Industrie	10
Forschung im Grenzbereich: Spitzentechnologie braucht Fachkompetenz	12
Über uns	14
Impressum	15

Links: Höchstaufösendes Elektronenmikroskop der neusten Generation vom Typ Titan 80-300

Mitte: Gitterabbildung des komplexen Oxids $\text{Ca}_{0,28}\text{Ba}_{0,72}\text{Nb}_2\text{O}_6$ (CBN-28); die grünen Kreisflächen entsprechen den Sauerstoffatomen

Rechts: Phasenplatte, gemessen mit Hilfe der ATLAS-Software (S. 11) bei der Justierung eines aberrationskorrigierten Elektronenmikroskops





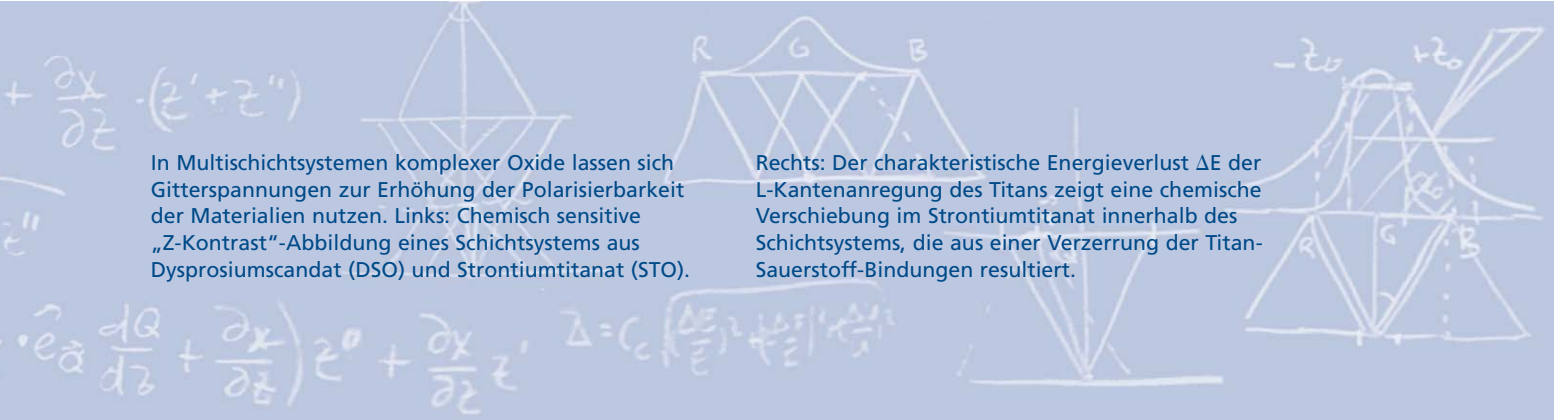
Von der Nanotechnologie bis zu neuen Werkstoffen, von der Elektronik bis zur Automobiltechnik – überall erfordert die Fähigkeit zur Innovation gezielte Einsichten in die atomare Welt, denn das Zusammenspiel einzelner Atome bestimmt die Eigenschaften von Materialien und Bauelementen.

Das Forschungszentrum Jülich, die TU Darmstadt und das Forschungslabor EMBL in Heidelberg entwickelten deshalb in den 1990er Jahren eine neue Elektronenoptik, die mikroskopische Bilder einer bis dahin nicht gekannten Auflösung und Schärfe lieferte. Dieser Qualitätssprung hat sich heute als weltweiter Standard in der Elektronenmikroskopie etabliert und ermöglicht, unser Verständnis des Zusammenspiels der Atome stetig zu verbessern. Die effiziente Nutzung der komplexen elektronenoptischen Techniken setzt eine hohe Qualifikation der beteiligten Wissenschaftler voraus. Um diesem Anspruch gerecht zu werden, haben im Januar 2004 das Forschungszentrum Jülich und die RWTH Aachen die erste nationale Kompetenzplattform für Elektronenmikroskopie gegründet, das Ernst Ruska-Centrum für Mikroskopie und Spektroskopie mit Elektronen (ER-C). Das ER-C bietet Universitäts- und Industrieforschern einen weltweit einmaligen Zugang zur atomaren Welt. In der RWTH Aachen hat das Forschungszentrum Jülich einen exzellenten Partner gefunden, mit dem das ER-C paritätisch und partnerschaftlich betrieben wird. Die gute Zusammenarbeit diente auch als Basis für die Gründung der Jülich Aachen Research Alliance (JARA) im August 2007, deren innovatives Konzept in der Zusammenarbeit zwischen Universität und Großforschung in Deutschland Vorbildcharakter besitzt.

Die herausragenden wissenschaftlichen Ergebnisse, die in der kurzen Zeit seit der Gründung erzielt wurden, unterstreichen eindrucksvoll den Erfolg und die Bedeutung des ER-C für Wissenschaft und Industrie in Deutschland und Europa. Dabei steht das ER-C in Konkurrenz mit anderen großen Nutzerzentren, insbesondere in Japan und den USA, die die in Deutschland entwickelte Technik als Basis ihrer Forschung nutzen. Das Forschungszentrum Jülich wird mit seinen Partnern weiter im Bereich der Elektronenmikroskopie forschen, um auch in Zukunft neue Maßstäbe zu setzen.



Prof. Achim Bachem,
Vorstandsvorsitzender des Forschungszentrums Jülich



Forschungsleistung verändert die Welt von morgen. Die Ergebnisse der Grundlagenforschung finden wir häufig binnen kurzer Zeit in den Produkten des Alltags.

Am Ernst Ruska-Centrum für Mikroskopie und Spektroskopie mit Elektronen (ER-C) haben Wissenschaftler und Wissenschaftlerinnen jetzt die exzellente technische Ausstattung, die sie für ihre Arbeit benötigen. Das Forschungszentrum Jülich und die RWTH Aachen haben mit diesem Zentrum einen weiteren Baustein in ihrer erfolgreichen Zusammenarbeit gelegt.

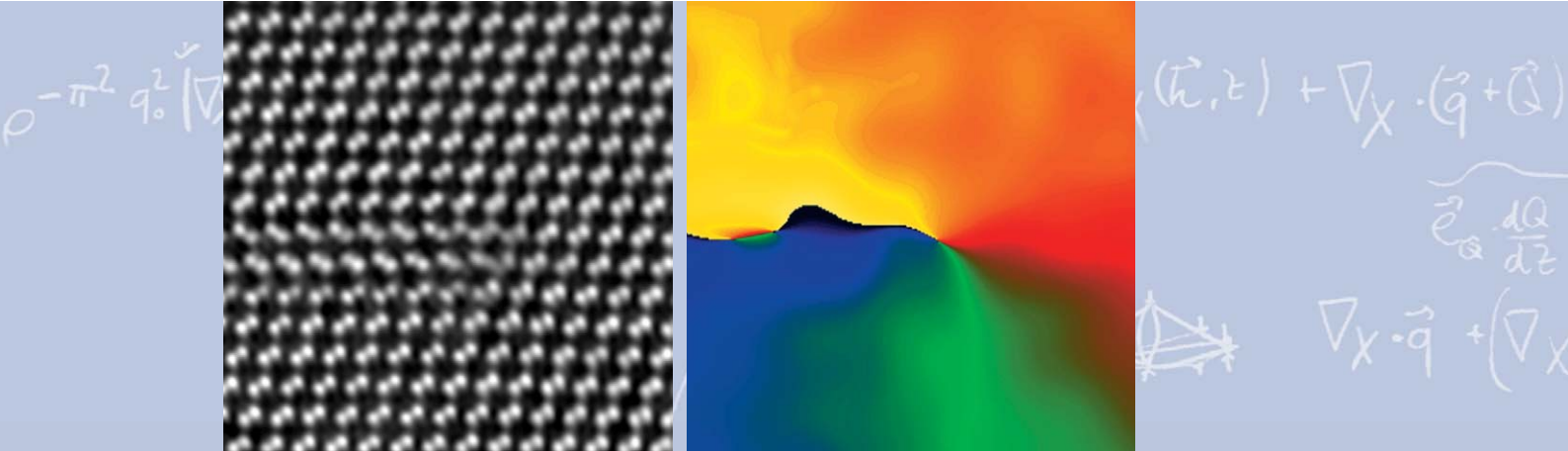


Prof. Burkhard Rauhut,
Rektor der RWTH Aachen

Die Aachener Hochschule – mit ihrem Schwerpunkt in den Ingenieur- und Naturwissenschaften – hat seit Jahrzehnten mit dem Forschungszentrum Jülich bereits in vielen Fragestellungen der Zukunftstechnologien erfolgreich agiert. Die Zusammenarbeit fand dabei in unterschiedlichen Formen statt. Neben Projekten in den Sonderforschungsbeziehungswise Transferbereichen wurden beispielsweise das „Aachen Institute for Advanced Study in Computational Engineering Science“ und die „German Research School for Simulation Science“ eingerichtet.

Mit JARA – der Jülich Aachen Research Alliance – wurde kürzlich die Partnerschaft zwischen universitärer und außeruniversitärer Forschung auf eine neue Basis gestellt.

Ziel der Zusammenarbeit ist stets die Stärkung der Wissens- und Technologieregion Aachen und ihrer Forschungseinrichtungen.



Der rasante Fortschritt auf dem Gebiet der Informations- und Kommunikationstechnologien fußt auf der fortschreitenden Miniaturisierung der Bauelemente. In den Computerchips der nächsten Generation wird es Strukturen geben, die kleiner sind als 45 Nanometer. Das entspricht etwa 200 aneinandergereihten Siliziumatomen. Entscheidend für das Verständnis der Funktionsmechanismen stetig kleiner werdender Strukturen sind leistungsfähige Mikroskope und Geräte, die die Eigenschaften der Nanowelt offen legen.

Die internationalen Anstrengungen, neue Forschungsbereiche in der Welt der Nanodimensionen zu erschließen und daraus innovative Anwendungen abzuleiten, führen unmittelbar zu atomistischen Konzepten. Nanophysik, Nanoelektronik und Nanotechnologie bedeuten die Synthese und Herstellung in quasi-atomaren Maßstäben.

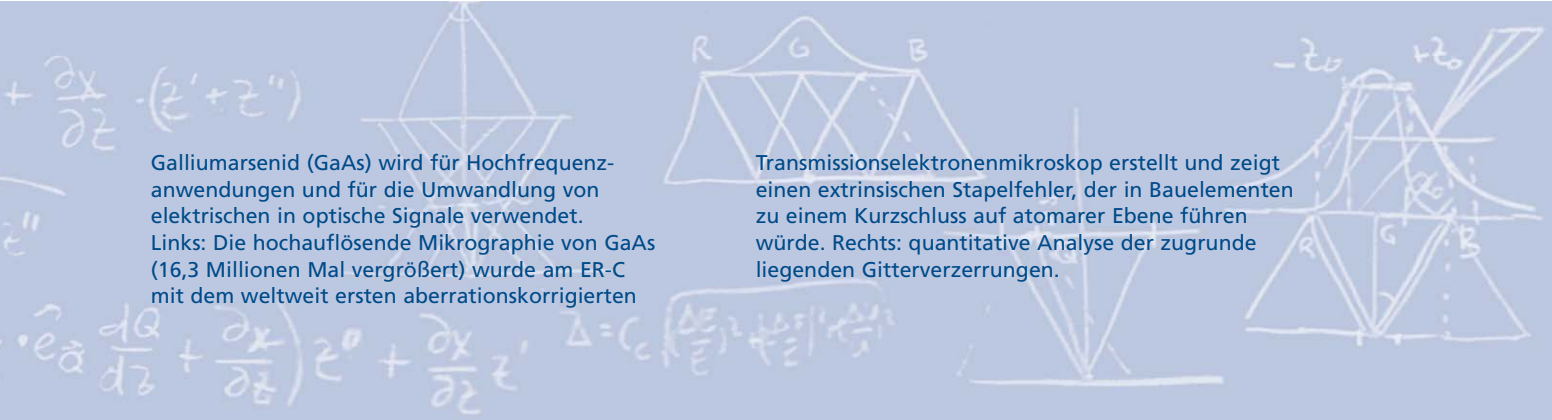


Das eingehende Verständnis der atomaren Ursachen makroskopischer Materialeigenschaften bildet die Basis, um Materialien der modernen Informationstechnologie problemspezifisch maßschneidern zu können.

Innovative Nanomaterialien müssen auf einer stetig kleiner werdenden Längenskala verstanden werden, denn jeder atomare Fehler oder jede Verzerrung der Anordnung der Atome kann die Eigenschaften einzelner Bauelementkomponenten beeinflussen. Um dies zu untersuchen und innovative Hochleistungswerkstoffe zu entwickeln, bedarf es höchstauflösender mikroskopischer Techniken, die es gestatten, nanoskalige Systeme in atomaren Dimensionen exakt zu kontrollieren.

Kooperation Forschungszentrum Jülich und RWTH Aachen

Mit der Gründung des Ernst Ruska-Centrums für Mikroskopie und Spektroskopie mit Elektronen (ER-C) haben das Forschungszentrum Jülich und die Rheinisch-Westfälische Technische Hochschule (RWTH) Aachen exzellente Voraussetzungen dafür geschaffen, zukünftige Anforderungen an die atomar auflösende Elektronenmikroskopie so früh wie möglich zu erkennen und damit instrumentelle und methodische Entwicklungen an vorderster Forschungsfront maßgeblich voranzutreiben. Das ER-C mit Sitz in Jülich wurde im Januar 2004 als erstes nationales Kompetenzzentrum für höchstauflösende Elektronenmikroskopie und -spektroskopie gegründet und hat im Mai 2006 formal seinen Betrieb aufgenommen.



Galliumarsenid (GaAs) wird für Hochfrequenzanwendungen und für die Umwandlung von elektrischen in optische Signale verwendet. Links: Die hochauflösende Mikrographie von GaAs (16,3 Millionen Mal vergrößert) wurde am ER-C mit dem weltweit ersten aberrationskorrigierten

Transmissionselektronenmikroskop erstellt und zeigt einen extrinsischen Stapelfehler, der in Bauelementen zu einem Kurzschluss auf atomarer Ebene führen würde. Rechts: quantitative Analyse der zugrunde liegenden Gitterverzerrungen.

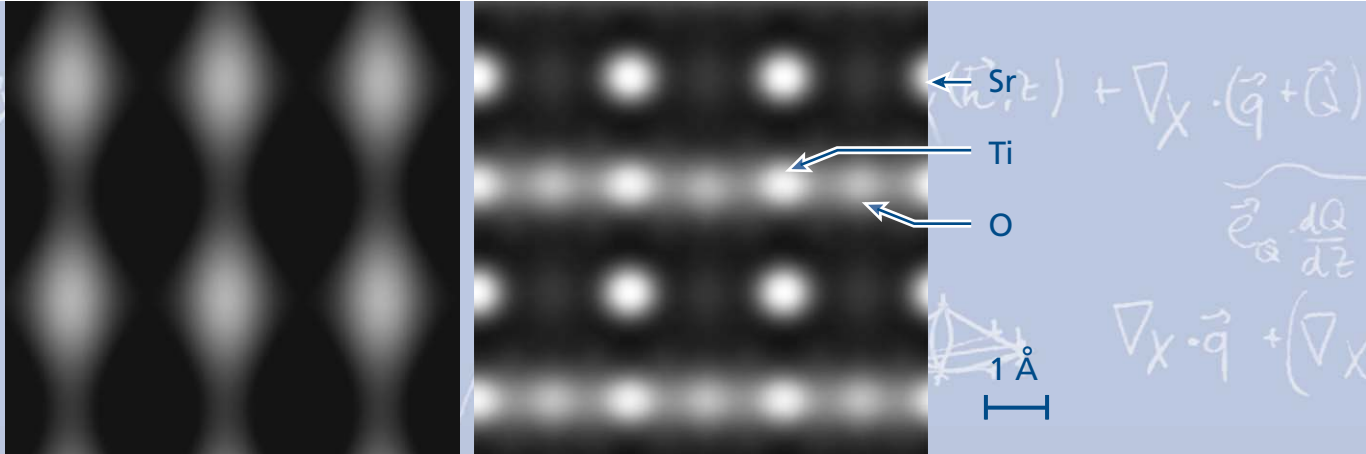
Eine Gründungsvereinbarung regelt die Zusammenarbeit der gleichberechtigten Partner Forschungszentrum Jülich und RWTH Aachen. Die beteiligten Institute, das Institut für Festkörperforschung in Jülich und das Gemeinschaftslabor für Elektronenmikroskopie der RWTH Aachen, gewährleisten die wissenschaftliche und technische Kompetenz des Zentrums. Beide Einrichtungen verfügten bereits vor Gründung des ER-C über eine umfangreiche elektronenmikroskopische Ausstattung. Darüber hinaus forscht am Jülicher Institut eine der weltweit wenigen theoretischen Arbeitsgruppen auf dem Gebiet der Elektronenoptik. Mit der Zielvorgabe, die ultimativen Grenzen elektronenmikroskopischer Abbildungstechniken auszureizen, fällt dieser mehrfach ausgezeichneten Arbeitsgruppe eine Schlüsselfunktion im internationalen Wettbewerb in Grundlagenforschung und elektronenoptischer Industrie zu.

50 Prozent externe Nutzung

Eine enge Zusammenarbeit des ER-C mit der Deutschen Forschungsgemeinschaft (DFG) stellt eine universitätsnahe und anwendungsorientierte Ausrichtung des Zentrums sicher. Die DFG war bereits in die Gespräche zur Gründung des ER-C eingebunden, sie ist im Kuratorium der Einrichtung vertreten und hat eines der beiden Höchstleistungsmikroskope des ER-C finanziert. In Absprache mit der DFG wurde festgelegt, dass 50 Prozent der Nutzungszeit Universitäten, Forschungseinrichtungen und der Industrie zur Verfügung gestellt wird. Diese Zeit wird von einem von der DFG benannten Gutachtergremium nach Prüfung der Qualität der Anträge vergeben. Die verbleibende Zeit teilen sich die RWTH Aachen und das Forschungszentrum Jülich. Mit dem Betrieb des ER-C erfüllt das Forschungszentrum Jülich eine seiner zentralen Aufgaben, die in der Mission der Helmholtz-Gemeinschaft deutscher Forschungszentren definiert sind: Die Bereitstellung kostenintensiver und betreuungsaufwendiger Infrastruktur, welche die Möglichkeiten einzelner wissenschaftlicher Einrichtungen übersteigt.

Einweihung des ER-C am 18. Mai 2006 mit Angehörigen des Namensgebers, von links: Klaus Heinz, RWTH-Rektor Prof. Burkhard Rauhut, Irmela Ruska, Dr. Jürgen Ruska, Prof. Joachim Treusch (Vorstandsvorsitzender des Forschungszentrums Jülich bis Oktober 2006) sowie die Direktoren des ER-C Prof. Knut Urban (Jülich) und Prof. Joachim Mayer (Aachen)





Die Bildentstehung in einem hochauflösenden Transmissionselektronenmikroskop (TEM) ist grundlegend vergleichbar mit der Phasenkontrastabbildung in einem Lichtmikroskop. Jedoch ermöglicht die kürzere Wellenlänge der zur Abbildung genutzten hochenergetischen Elektronen – verglichen mit den Lichtwellen eines Lichtmikroskops – eine wesentlich höhere Auflösung.

TEMs arbeiten mit elektromagnetischen Linsen, die den Elektronenstrahl bündeln, ihn auf die zu untersuchende Probe lenken und schließlich die Objektstruktur vergrößern. Elektromagnetische Rundlinsen besitzen allerdings, wie ihre Gegenstücke aus Glas, eine nachteilige Eigenschaft, die das Auflösungsvermögen der Elektronenmikroskope über Jahrzehnte deutlich einschränkte, die so genannte „sphärische Aberration“. Elektronen, die die strahlformende Kondensor- oder die bildgebende Objektivlinse fern der optischen Achse, also in der Nähe der jeweiligen Linsenränder durchdringen, werden dabei zu stark abgelenkt. Das Resultat sind „unscharfe“ Bilder mit entsprechend verringerter Auflösung.

Brille für Elektronenmikroskope

In Lichtmikroskopen wurde dieses Problem schon früh durch die Verwendung zusätzlicher Zerstreuungslinsen gelöst, doch die Zerstreuung des Elektronenstrahls bereitete lange Zeit Probleme. Erst in den 1990er Jahren gelang einer Forschergruppe der TU Darmstadt, des EMBL Heidelberg und des Forschungszentrums Jülich, gefördert von der VolkswagenStiftung, der Durchbruch mit der Entwicklung eines speziell geformten magnetischen Linsensystems, des so genannten „Hexapol“-Korrektors. Eine zusätzliche Umkehr des Kontrastübertragungs-

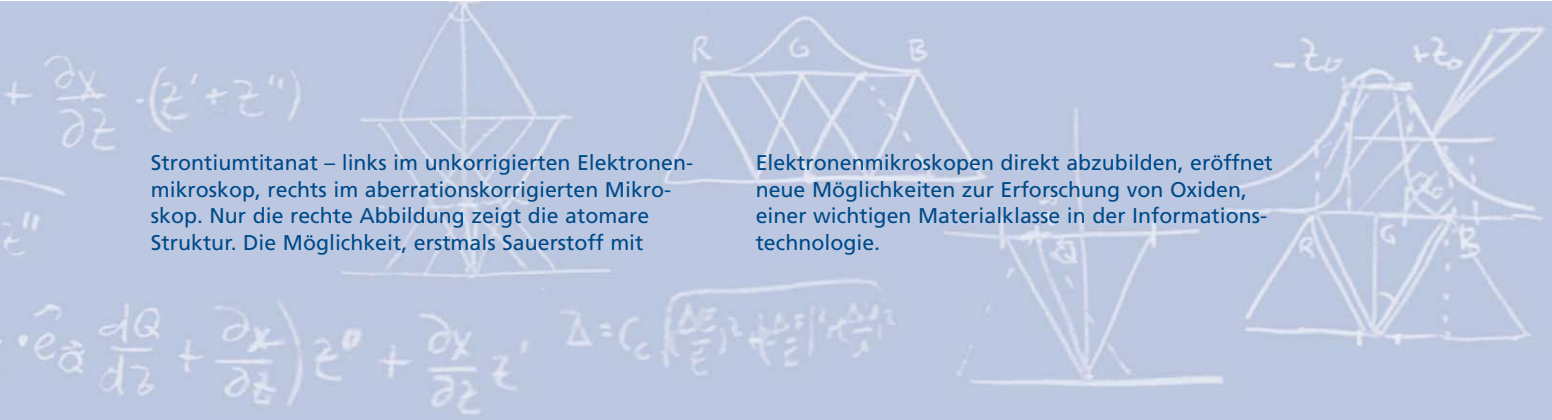
mechanismus erhöhte zudem den Bildkontrast deutlich.

Mit dem in Jülich in Betrieb genommenen Prototypen eines solchen aberrationskorrigierten Elektronenmikroskops waren die Jülicher Forscher erstmalig in der Lage, einzelne Reihen übereinanderliegender leichter Sauerstoffatome in der Umgebung schwerer Atome abzubilden und sogar deren lokale Konzentrationsschwankungen in atomaren Dimensionen präzise zu messen.

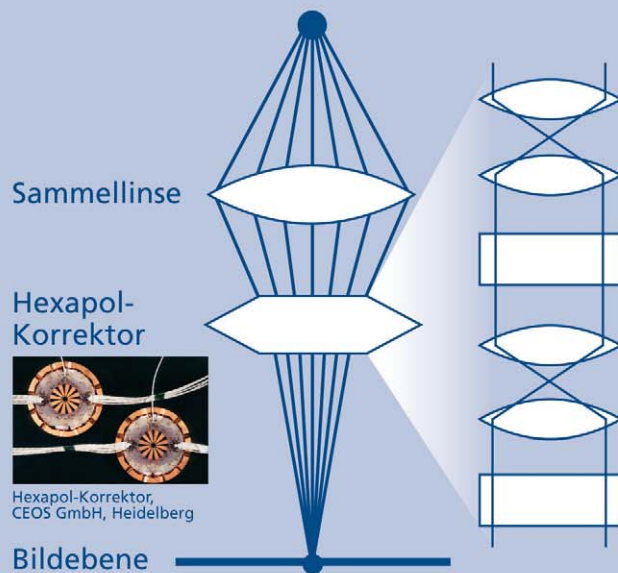
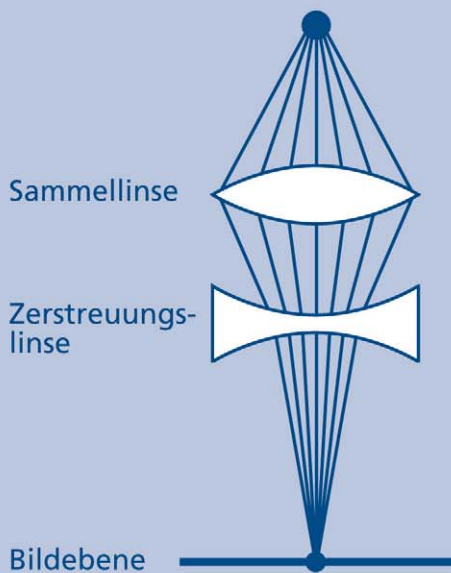
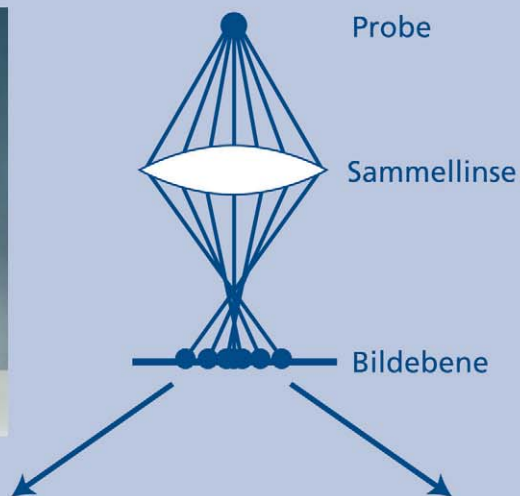
Softwarelösung „Made in Jülich“

Doch die Forscher am ER-C gingen noch einen entscheidenden Schritt weiter. Beim Blick in Nanodimensionen gelten nämlich die Regeln der Quantenphysik. Praktisch bedeutet dies, dass die visuelle Bildinterpretation nicht mehr ausreicht, wenn man sich den physikalischen Auflösungsgrenzen nähert. Was dann wie ein Bild im konventionellen Sinne aussieht, ist in Wirklichkeit ein verschlüsseltes Ergebnis der quantenphysikalischen Wechselwirkung der Elektronenwellen mit den Atomen der Probe. Deshalb entwickelten die Wissenschaftler ein softwarebasiertes Verfahren, das die zuverlässige Auswertung der höchstauflösten Bilddaten erst ermöglichte. Aus einer Serie sukzessive aufgenommener Abbildungen kann mit Hilfe numerischer Rechnungen so die von der Probe ausgehende Objektwellenfunktion rekonstruiert werden (mehr Informationen zur Software „Truelmage“: Seite 10 /11).

Forscher am ER-C konnten mithilfe der ausgeklügelten Sehhilfen für ihre Mikroskope mittlerweile atomare Abstände auf wenige Pikometer genau vermessen, eine Größe, die etwa dem Zehntel eines Atomdurchmessers entspricht.



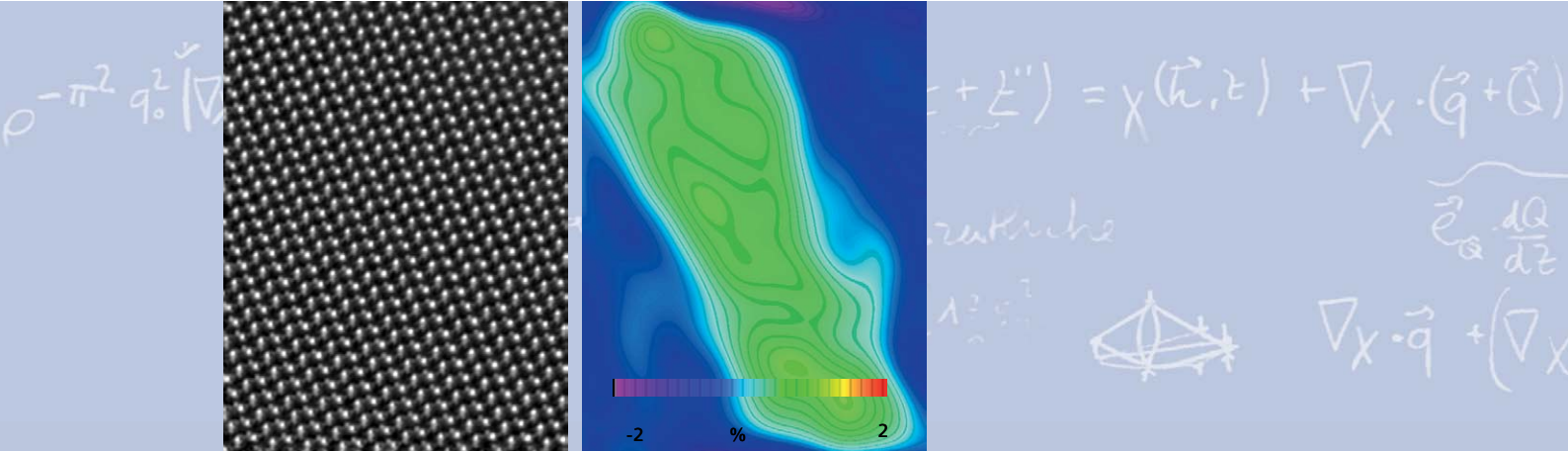
Sphärische Aberration: das Problem der Randablenkung



Beim Lichtmikroskop sorgt eine Zerstreuungslinse dafür, dass die Randablenkung der Sammellinse korrigiert wird.

Ein komplexes System aus elektromagnetischen Linsen, der so genannte Hexapol-Korrektor, kompensiert die Randablenkung beim Elektronenmikroskop.

Aberrationskorrektur in der Elektronenmikroskopie



Die Entwicklung aberrationskorrigierter Elektronenmikroskope hat zu einem einzigartigen Aufschwung im Bereich der elektronenoptischen Industrie geführt. Seit Markteinführung der neuesten Gerätegeneration im Jahr 2004, die teilweise nicht nur einen Abbildungskorrektor, sondern auch einen Korrektor im Strahlformierungssystem sowie Monochromatoren und Elektronenspektroskopie besitzt, wurden bis Ende 2006 etwa 100 Geräte geordert. Das entspricht je nach Ausrüstung einem Auftragsvolumen von jeweils 3 bis 4 Millionen Euro.

Einen großen Teil der Korrektoren für die Elektronenmikroskope der neuen Generation liefert oder lizenziert die CEOS GmbH in Heidelberg. Dieses Unternehmen wurde nach dem erfolgreichen Abschluss des Jülich-Darmstadt-Heidelberger Projektes (Seite 8) von Dr. Maximilian Haider, einem der Projektverantwortlichen, gegründet.



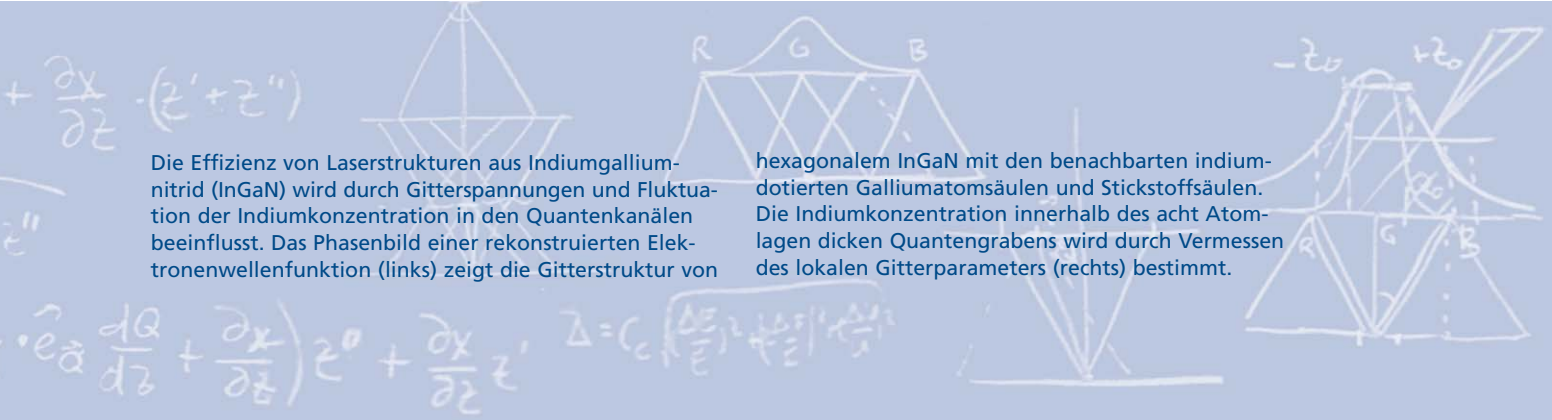
Das ER-C ermöglicht Forschern aus Wissenschaft und Industrie den Zugang zu den leistungsfähigsten Elektronenmikroskopen unserer Zeit.

Industriepartner ER-C

Das ER-C arbeitet auf der Basis einer Kooperationsvereinbarung mit der Firma FEI zusammen, einem der innovativsten Unternehmen in der Elektronenmikroskopie-Branche. An FEI wurde Software lizenziert, die Schlüsselfunktionen in der atomar auflösenden Elektronenmikroskopie leistet. So entwickelten Jülicher Forscher eine Technik zur computerbasierten Rekonstruktion der quantenmechanischen Objektwellenfunktion aus Fokusserien, die unentbehrlich für Arbeiten im Grenzbereich der Elektronenmikroskopie ist. Das Ergebnis dieser Forschungsarbeiten, ein umfangreiches Softwareprodukt für quantenmechanisch-optische Bildanalysen, wird unter der Bezeichnung „Truelmage“ vertrieben und weltweit angewendet. Das jüngste Produkt ist die Diagnostiksoftware „ATLAS“, die eine schnelle und hochpräzise Analyse elektronenoptischer Restaberrationen ermöglicht und damit eine Voraussetzung für deren anschließende Korrektur ist.

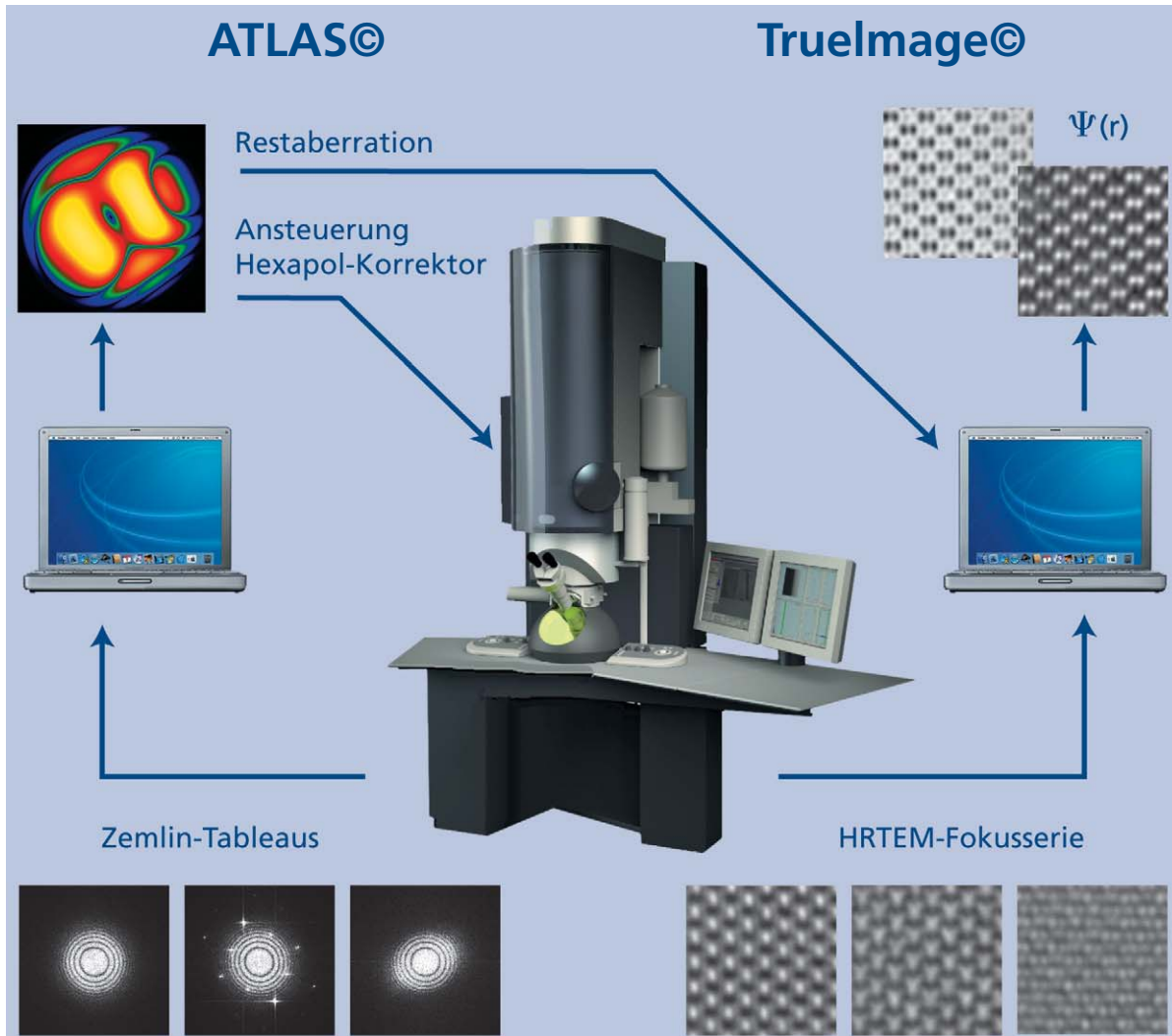
Von Nanotechnologie bis Automobilbau

Die wissenschaftlichen Anwendungsmöglichkeiten der höchstauflösenden Elektronenmikroskopie sind vielfältig. Das Zusammenspiel von Atomen bestimmt die Eigenschaften von Materialien und Bauelementen; ein Verständnis dieser grundlegenden Prozesse ist die entscheidende Basis für die Entwicklung neuer Werkstoffkombinationen für Anwendungen in der Nanotechnologie über die Computerindustrie bis hin zur Automobiltechnik. Ausgewählte Ergebnisse von Forschungsprojekten des ER-C finden sich jeweils oben auf den Doppelseiten dieser Broschüre.



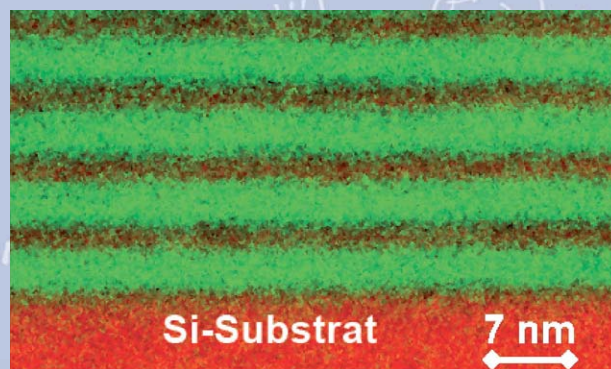
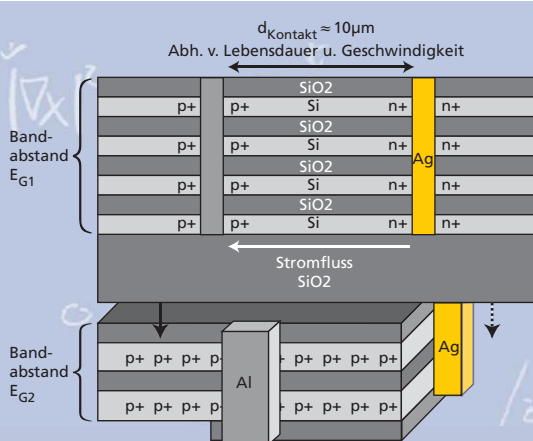
Die Effizienz von Laserstrukturen aus Indiumgalliumnitrid (InGaN) wird durch Gitterspannungen und Fluktuation der Indiumkonzentration in den Quantenkanälen beeinflusst. Das Phasenbild einer rekonstruierten Elektronenwellenfunktion (links) zeigt die Gitterstruktur von

hexagonalem InGaN mit den benachbarten indiumdotierten Galliumatomsäulen und Stickstoffsäulen. Die Indiumkonzentration innerhalb des acht Atomlagen dicken Quantengrabens wird durch Vermessen des lokalen Gitterparameters (rechts) bestimmt.



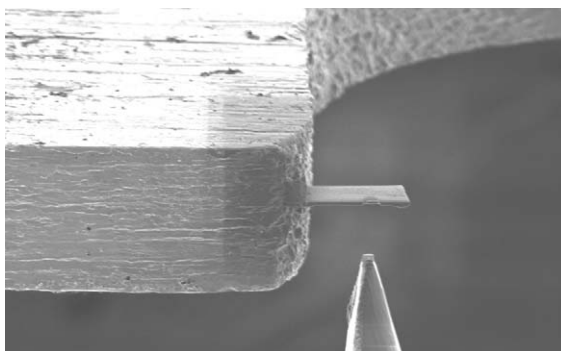
Am ER-C entwickelte Software-Pakete: ATLAS ermöglicht die präzise Vermessung des elektronenoptischen „Ist-Zustands“ des Elektronenmikroskops aus der Analyse von Zemlin-Tableaus. Werden die so gemessenen Aberrationen gezielt in die Steuerung des Hexapol-Korrektors eingekoppelt, lassen sich die Transfereigenschaften des Instruments weitgehend optimieren.

Rest aberrationen lassen sich durch Verwendung des Truelmage-Pakets zur Rekonstruktion der Objektwellenfunktion $\Psi(r)$ aus einer Fokussierung hochauflöser Gitterabbildungen vollständig eliminieren. Beide Pakete in Kombination entschlüsseln – erstmals in der Geschichte der hochauflösenden Elektronenmikroskopie – direkt die „wahre“ Struktur des untersuchten Präparats.



Die Anwendung modernster Methoden der höchstaflösenden Elektronenmikroskopie erfordert spezielles Fachwissen und Erfahrung – nur so können verwertbare Resultate im Grenzbereich der Elektronenmikroskopie erzielt werden. Deshalb bietet das ER-C Spitzentechnologie gemeinsam mit international herausragender Fachkompetenz. Dieses weltweit einmalige Angebot garantiert eine effiziente und zielgerichtete Nutzung der wertvollen Gerätschaften.

Im ER-C ergänzen sich die wissenschaftliche Expertise des Instituts für Festkörperforschung am Forschungszentrum Jülich und des Gemeinschaftslabors für Elektronenmikroskopie der RWTH Aachen optimal. Auf dem Gebiet der höchstaflösenden Elektronenmikroskopie und -spektroskopie arbeiten die beiden Einrichtungen im ER-C zusammen, im Nutzerbetrieb bietet das ER-C jedoch nicht nur elektronenoptische Spitzengeräte, sondern auch Einrichtungen zur Probenpräparation und zur Voruntersuchung elektronenmikroskopischer Präparate sowie eine umfassende Betreuung bei der Analyse von Messdaten.



Kritischer Schritt: Die Probenpräparation

Die Präparation elektronentransparenter Proben stellt einen besonders kritischen Arbeitsschritt der Elektronenmikroskopie dar. Insbesondere gilt dies im Grenzbereich der atomaren Auflösung; so darf das Probenmaterial eine maximale Präparatdicke von üblicherweise fünf Nanometern nur unwesentlich überschreiten.

Deshalb verfügt das ER-C über modernste Einrichtungen der Probenvorbereitung, etwa über „Focussed Ion Beam“ (FIB)- und Niedrigspannungsendünnungs-Anlagen mit integriertem Rasterelektronenmikroskop sowie über konventionelle Transmissionselektronenmikroskope, welche im Bedarfsfall zur Überprüfung der Probenqualität den Subängström-Untersuchungen vorgeschaltet werden können.

Mikroskope der neuesten Generation

Das Herz der Geräteausrüstung des ER-C bilden zwei aberrationskorrigierte Titan 80-300 Mikroskope der Firma FEI mit 300 Kilovolt Beschleunigungsspannung: Das abbildende TITAN 80-300 bietet ein Primärauflösungsvermögen von 80 Pikometern und erlaubt Messungen mit einer Genauigkeit unterhalb von 5 Pikometern bei der Bestimmung von Atompositionen.

Probenvorbereitung: Eine mittels FIB-Technologie präparierte, etwa 10 Mikrometer lange Probenlamelle (Mitte) wird an einem Trägernetzchen (oben) angeschweißt. Unten: die Spitze des Manipulators.

Neue hocheffiziente Solarzellen lassen sich auf der Basis von Silizium(Si)-Nanostrukturen realisieren. In der Entwicklung sind Multischichtsysteme (links), in denen das Absorptionsvermögen durch Variation der Dicke der Si-Schichten eingestellt wird. Zwischen diesen

werden SiO_2 -Schichten als Barriere eingebracht. Im Elementverteilungsbild (rechts) unterscheiden sich SiO_2 -Schichten (grün) von reinem Silizium (rot) durch ihren Sauerstoffgehalt. Das Energieverlustsignal wird mit einem abbildenden Energiefilter erfasst.

Das TITAN 80-300 Rastertransmissionsselektronenmikroskop (STEM) erreicht spektroskopisch mit einem Gatan Imaging Filter eine Energieauflösung von weniger als 0,1 Elektronvolt sowie eine Ortsauflösung von 0,1 Nanometern.

Betreute Nutzung

Externe Nutzer erfahren betreuende Unterstützung durch die Wissenschaftler und Ingenieure des ER-C, die sie während der anspruchsvollen mikroskopischen Untersuchungen begleiten. Für diese Betreuung auf höchstem wissenschaftlichem Niveau bringt das ER-C 50 Prozent seiner Wissenschaftlerkapazität ein.

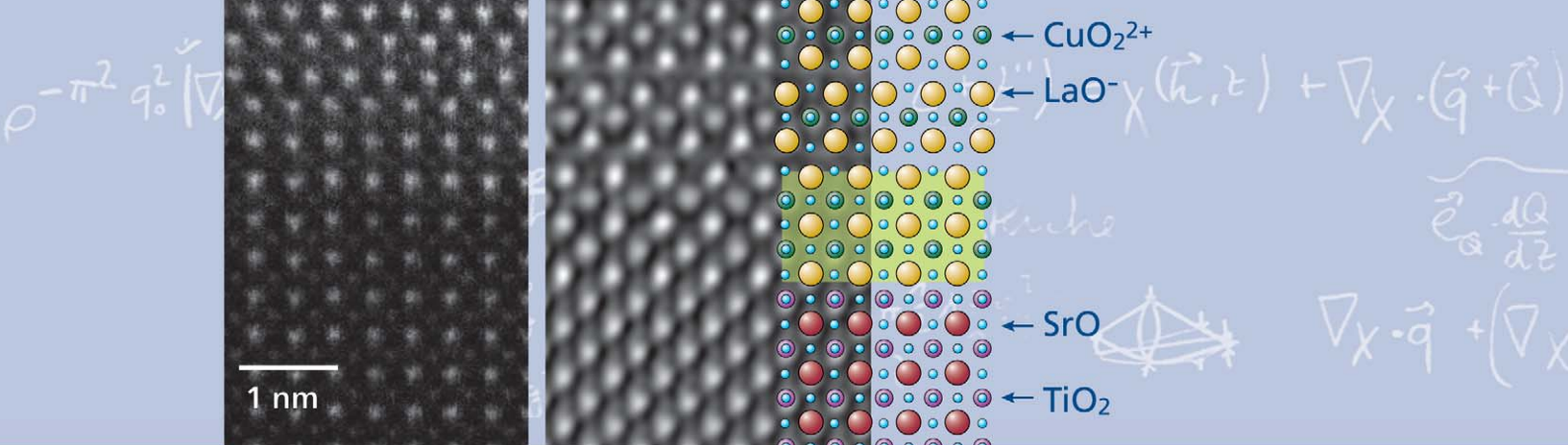
Herausforderung: Die Auswertung

Elektronen „sehen“ anders, als das menschliche Auge dies aus der Lichtoptik gewohnt ist. Elektronenmikroskopische Abbildungen liefern verschlüsselte Information über das interatomare Potential. Daraus strukturelle und element-spezifische Information abzuleiten, erfordert ein quantenphysikalisches Verständnis des gesamten bildgebenden Prozesses zuzüglich der Wechselwirkung der Elektronen mit dem atomaren Objekt selbst. Eine elektronenmikroskopische Abbildung ist deshalb, von wenigen Grenzfällen abgesehen, selten direkt und intuitiv zu interpretieren. In der Praxis sind deshalb computer-gestützte Analysen zur Auswertung primärer Messdaten notwendig.

Das ER-C bietet die effiziente Auswertung in enger Kooperation mit der hauseigenen Methodik- und Theoriegruppe an, um externen Nutzern zu ermöglichen, ein Maximum an verwertbarer Information aus experimentellem Datenmaterial zu gewinnen. Dieser Art einer umfassenden Nutzerbetreuung kommt eine Schlüsselfunktion in der Beurteilung der Belastbarkeit von Messergebnissen zu.



Exzellente Nutzerbetreuung bildet neben modernster Ausstattung die Basis für erfolgreiche Spitzenforschung am ER-C.



Forschungszentrum Jülich

Das Forschungszentrum Jülich leistet wesentliche Beiträge zu den großen gesellschaftlichen Herausforderungen auf den Gebieten Gesundheit, Energie & Umwelt sowie Informationstechnologie. Basis seiner Arbeit sind zwei Schlüsselkompetenzen: die in Jülich traditionsreiche Physik und die zukunftssträchtige Disziplin der Simulation Sciences. In Jülich werden sowohl mittelfristig angelegte Grundlagenforschung betrieben als auch konkrete technologische Anwendungen erarbeitet. Das Forschungszentrum Jülich ist Mitglied der Helmholtz-Gemeinschaft und gehört mit einem Jahresbudget von rund 360 Millionen Euro und seinen rund 4.400 Mitarbeiterinnen und Mitarbeitern zu den größten Forschungseinrichtungen Europas.

RWTH Aachen

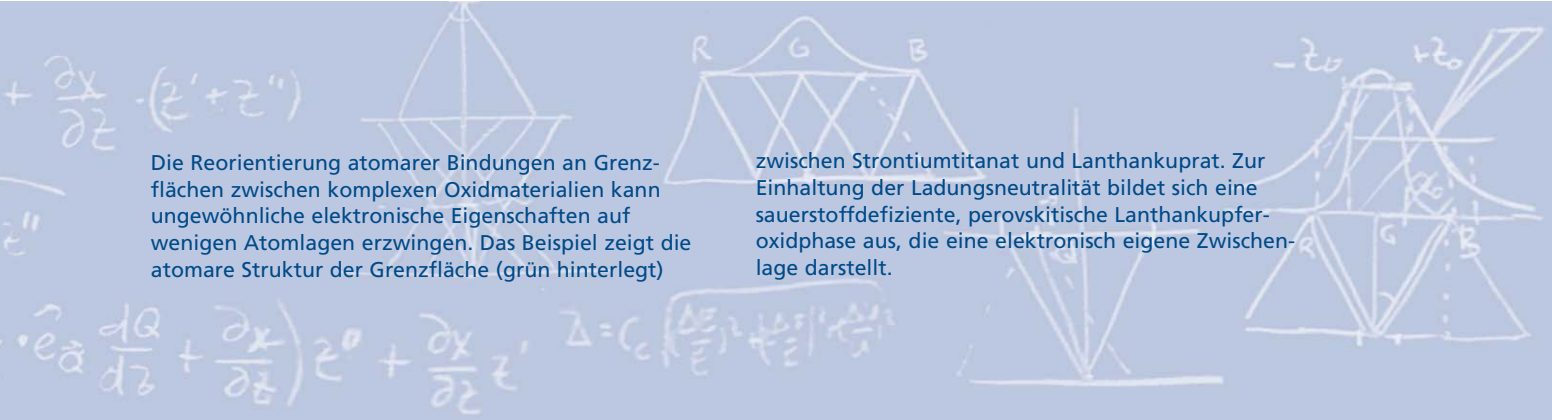
Über 30.000 Studierende sind in den 92 Studiengängen der RWTH Aachen eingeschrieben. Der Schwerpunkt der RWTH Aachen liegt in den Ingenieur- und Naturwissenschaften. Die Hochschule ist Arbeitgeberin für 6.700 Beschäftigte: 400 Professoren, 2.000 Wissenschaftliche und 2.000 Nichtwissenschaftliche Mitarbeiter, über 1.700 Drittmittelbedienstete sowie 711 Auszubildende und Praktikanten. Damit ist die RWTH die größte Arbeitgeberin und Ausbilderin der Region. Ihr Jahresetat liegt bei über 558 Millionen Euro. Über 140 Millionen Euro davon kommen in die Hochschule als sogenannte Drittmittel – Zuwendungen für Forschungsprojekte von öffentlichen und industriellen Auftraggebern. Damit nimmt die RWTH eine Spitzenstellung bei den bundesdeutschen Hochschulen ein.

Ernst Ruska-Centrum

Das ER-C ist das erste gemeinsam von einem Forschungszentrum und einer Universität betriebene Kompetenzzentrum für höchstauflösende Mikroskopie und Spektroskopie mit Elektronen. Es gewährleistet externen Nutzern aus Wissenschaft und Industrie Zugang zu den leistungsfähigsten Elektronenmikroskopen unserer Zeit. Das ER-C erarbeitet mit seinen Kooperationspartnern Grundlagen für die Weiterentwicklung der Elektronenmikroskopie und schafft damit eine entscheidende Voraussetzung für die Innovationsfähigkeit anderer Technologiebereiche, etwa der Nanotechnologie. Eigenständige Forschungsarbeiten am ER-C konzentrieren sich einerseits auf die Entwicklung elektronenoptischer Technologien und Methoden sowie



Seit 1970 veranstaltet das Institut für Festkörperforschung jährlich eine Ferienschule zu einem aktuellen Thema der Physik der kondensierten Materie. Nachwuchswissenschaftler aus der ganzen Welt nutzen die Chance, in Jülich von den Besten ihres Fachs zu lernen.



Die Reorientierung atomarer Bindungen an Grenzflächen zwischen komplexen Oxidmaterialien kann ungewöhnliche elektronische Eigenschaften auf wenigen Atomlagen erzwingen. Das Beispiel zeigt die atomare Struktur der Grenzfläche (grün hinterlegt)

zwischen Strontiumtitanat und Lanthankuprat. Zur Einhaltung der Ladungsneutralität bildet sich eine sauerstoffdefiziente, perovskitische Lanthankupferoxidphase aus, die eine elektronisch eigene Zwischenlage darstellt.

andererseits auf die Untersuchung festkörperphysikalischer Phänomene mit einem Schwerpunkt im Bereich der Informationstechnologie. Diese Arbeiten bilden eine solide Basis für die Entwicklung neuer Konzepte in der Mikro- und Nanoelektronik.

Durch Organisation und Ausrichtung von Tagungen und Ferienschulen beteiligt sich das ER-C an der Ausbildung des wissenschaftlichen Nachwuchses. Beispiele sind der „European Microscopy Congress 2008“ in Aachen oder die „IFF-Ferischule 2007“ in Jülich zum Thema „Probing the Nanoworld“.

Die Forschungsgebiete der externen Nutzer sind vielfältig und reichen von grundlegenden Untersuchungen der strukturellen und elektronischen Eigenschaften innerer Grenzflächen bis zu Analysen zur Beurteilung von Funktionsmechanismen in Bauelementprototypen.

Herausgeber:

Forschungszentrum Jülich GmbH
52425 Jülich
Internet: www.fz-juelich.de

Redaktion und Texte:

Angela Wenzik
Dr. Karsten Tillmann
Dr. Martina Luysberg

Bilder:

Forschungszentrum Jülich GmbH
CEOS GmbH, Heidelberg: S. 9 unten
FEI Company, Eindhoven: S. 11 Mitte
RWTH Aachen: S. 5, S. 12 alle, S. 15 rechts

Layout:

aligator-kommunikation GbR, Unkel am Rhein

Druck:

Druck & Medienagentur Gehler, Düren

September 2007



Die Direktoren des ER-C:
Prof. Knut Urban (Jülich, links) und
Prof. Joachim Mayer (Aachen, rechts)

**Ernst Ruska-Centrum für Mikroskopie
und Spektroskopie mit Elektronen**

Forschungszentrum Jülich GmbH
52425 Jülich

Telefon: 02461 61-4274

Telefax: 02461 61-6444

Internet: www.er-c.org