

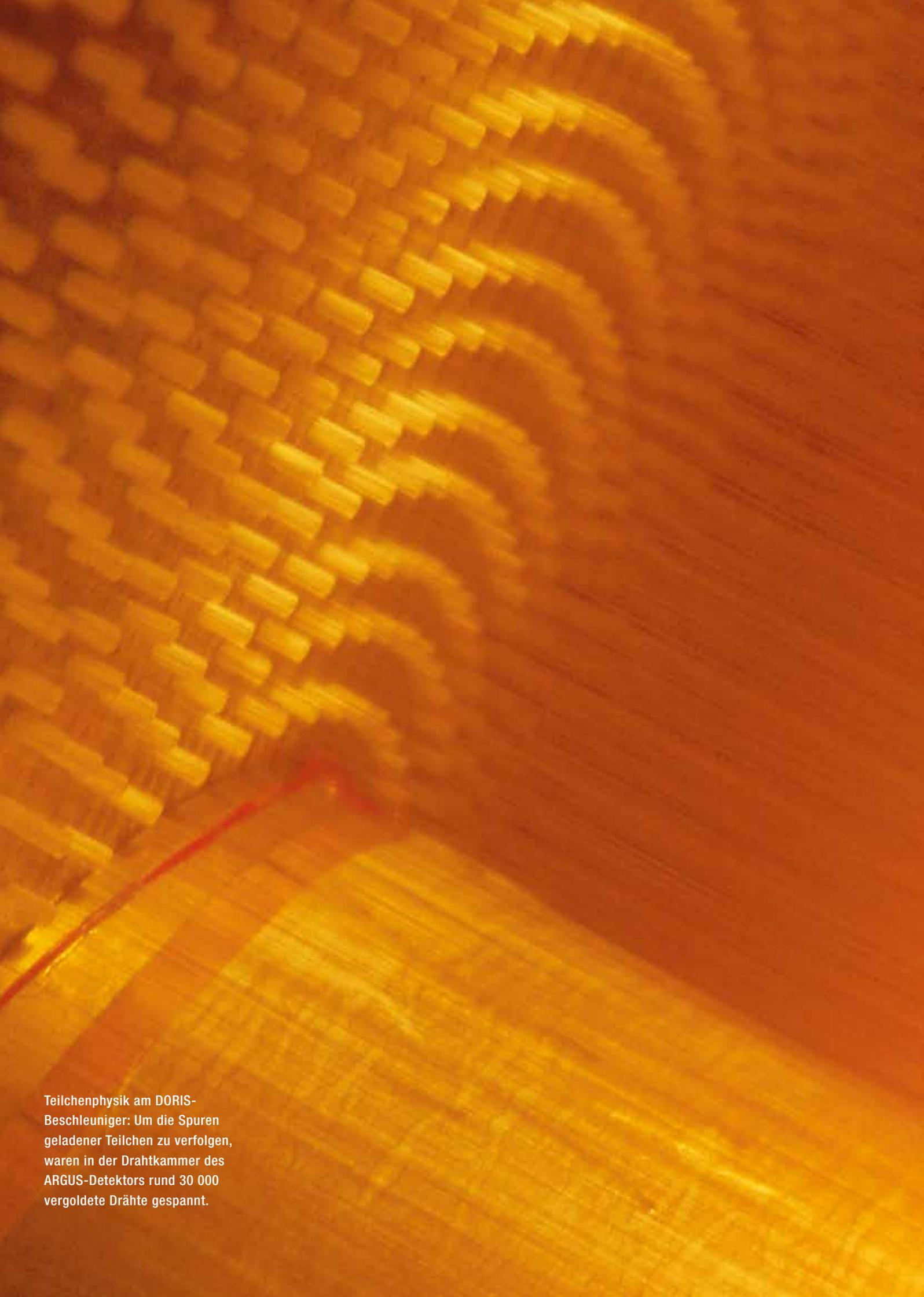
DORIS.

Ein Beschleuniger schreibt Wissenschaftsgeschichte

Beschleuniger | Forschung mit Photonen | Teilchenphysik

Deutsches Elektronen-Synchrotron
Ein Forschungszentrum der Helmholtz-Gemeinschaft



The image shows a close-up, low-angle view of a complex, woven structure made of numerous thin, gold-plated wires. The wires are arranged in a regular, grid-like pattern, creating a mesh that appears to be part of a larger cylindrical or spherical structure. The lighting is warm and directional, highlighting the metallic sheen and the intricate texture of the mesh. The background is a soft, out-of-focus orange-brown color, suggesting an interior environment like a particle detector chamber.

Teilchenphysik am DORIS-
Beschleuniger: Um die Spuren
geladener Teilchen zu verfolgen,
waren in der Drahtkammer des
ARGUS-Detektors rund 30 000
vergoldete Drähte gespannt.

Inhalt

EIN BESCHLEUNIGER SCHREIBT WISSENSCHAFTSGESCHICHTE	3
VIER JAHRZEHNTE SPITZENFORSCHUNG	4
BESCHLEUNIGERTECHNOLOGIE	14
Luftleerer Raum	16
Stoßdämpfer für Teilchenpakete	19
Mit Raffinesse gegen die Schiefelage	20
Helles Licht durch Slalomkurs	21
TEILCHENPHYSIK	24
Auf dem Weg zum Standardmodell	26
Innovatives Detektordesign	27
Mit ARGUS-Augen in die Teilchenwelt	29
OLYMPUS auf Spurensuche	30
FORSCHUNG MIT PHOTONEN	32
Die Bausteine des Lebens im Visier	34
DORIS und der Chemie-Nobelpreis	37
Innenansichten der Materie	38
Neue Schweißverfahren für den Flugzeugbau	40
Scharfe Röntgenbilder in 3D	41
DORIS und die Industrie	42
Katalysatoren im Röntgenblick	43
Van Gogh im Speicherring	44
Ur-Schmiede in Nordeuropa	45
IMPRESSUM	48

DORIS

DOPPEL- RING- SPEICHER

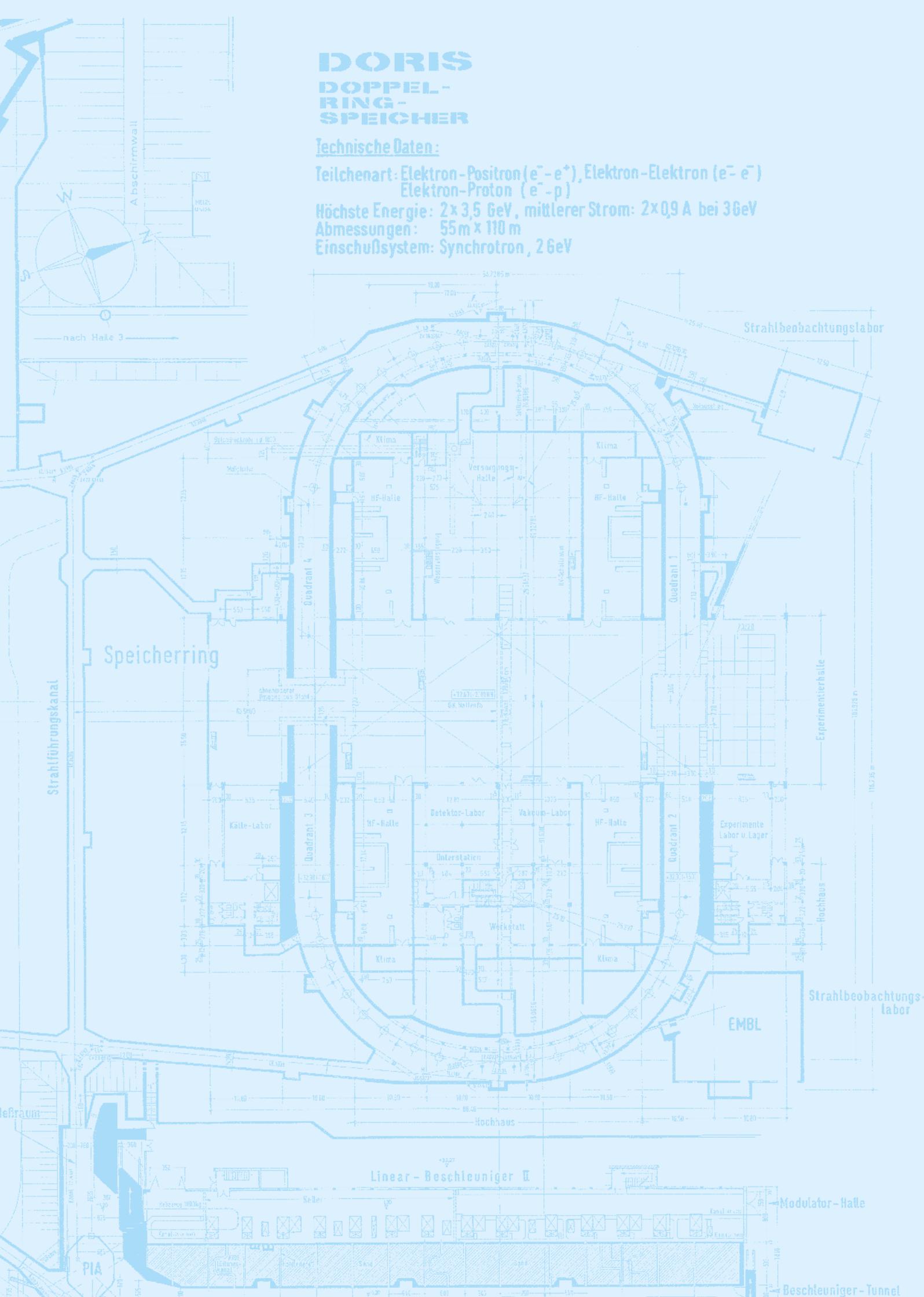
Technische Daten:

Teilchenart: Elektron-Positron ($e^- - e^+$), Elektron-Elektron ($e^- - e^-$)
Elektron-Proton ($e^- - p$)

Höchste Energie: $2 \times 3,5$ GeV, mittlerer Strom: $2 \times 0,9$ A bei 3 GeV

Abmessungen: $55\text{ m} \times 110\text{ m}$

Einschussystem: Synchrotron, 2 GeV



Abschirmwall

HEIZ-
UNTERK

nach Halle 3

Strahlbeobachtungslabor

Speicherring

Strahlführungs kanal

Experimentierhalle

Kälte-Labor

Detektor-Labor

Vakuu-Labor

Experimente
Labor u. Lager

Hochhaus

Strahlbeobachtungslabor

EMBL

Hochhaus

Linear-Beschleuniger II

Modulator-Halle

PIA

Beschleuniger-Tunnel

DORIS

Ein Beschleuniger schreibt Wissenschaftsgeschichte

Die DORIS-Erfolgsstory begann 1974 und hat eine immense Vielfalt von wissenschaftlichen Anwendungen und Erkenntnissen hervorgebracht. Anfang 2013 hat DESY den Speicherring abgeschaltet, doch die „Ära DORIS“ prägt weiterhin die Forschungslandschaft. Generationen von Forschern haben zahlreiche experimentelle Methoden, Innovationen und Technologien an DORIS entwickelt und erprobt, die inzwischen weltweit Anwendungen in Wissenschaft und Industrie gefunden haben. Nur ganz wenige Forschungs Großgeräte auf der Welt können auf eine ähnlich lange und erfolgreiche Wissenschaftsgeschichte zurückblicken.

1968 beschloss man bei DESY, den ersten Speicherring in Deutschland zu bauen: eine Maschine namens DORIS. Der Entschluss war wagemutig – damals wusste niemand mit Bestimmtheit zu sagen, ob der neue Beschleuniger die erhofften Ergebnisse liefern würde. Doch der Mut wurde belohnt: Zunächst lieferte die Maschine wichtige Resultate für die Teilchenphysik. Später fungierte sie äußerst erfolgreich als leistungsstarke Quelle für Synchrotronstrahlung.

Konzipiert wurde DORIS für die Teilchenphysik. Hier sorgte der Beschleuniger für eine Vielzahl interessanter Resultate. Denn der Start von DORIS im Jahre 1974 fiel in eine Phase der Umwälzungen – der überraschenden Entdeckung neuer Quarks. DORIS trug wichtige Ergebnisse zu dieser Revolution in der Physik bei. Später, als in Hamburg schon der größere PETRA-Speicherring den Betrieb aufgenommen hatte, bewies DORIS: Auch eine kleine Anlage kann noch Großes leisten. So entdeckten die Forscher mit dem ARGUS-Detektor ein ungewöhnliches Wechselspiel von Materie und Antimaterie – der Start in eine neue Ära der Teilchenphysik.

Ebenso eindrucksvoll gestaltete sich die Nutzung der Synchrotronstrahlung – ursprünglich ein

Nebenprodukt des Beschleunigerbetriebs. Von Anfang an nutzten Forscher bei DORIS den intensiven und gebündelten Röntgenstrahl aus dem Beschleuniger. Das Interesse wuchs rasch, deshalb wurde 1981 das Hamburger Synchrotronstrahlungslabor HASYLAB eingeweiht, das sich rasch zu einer international renommierten Einrichtung entwickelte. In manchen Jahren kamen über 2000 Experten aus aller Welt nach Hamburg, um an DORIS zu experimentieren – Physiker, Chemiker und Materialforscher, aber auch Biologen, Geowissenschaftler und Ingenieure aus der Industrie. Hunderte von Diplomanden und Doktoranden verdienten sich bei DORIS ihre ersten wissenschaftlichen Sporen. Es kamen ungezählte wissenschaftliche Kooperationen zustande – multinationale, manchmal auch interdisziplinäre Teams, die sich zu den Experimenten in Hamburg zusammenfanden.

DORIS beweist höchst eindrucksvoll: Wenn man ein wissenschaftliches Großgerät stetig den Erfordernissen der Wissenschaft anpasst, lässt es sich über viele Jahrzehnte nachhaltig nutzen. Welche enorme Vielfalt an Spitzenresultaten der Beschleuniger im Laufe der Zeit liefern würde, konnten seine Konstrukteure nicht einmal ansatzweise erahnen.



1969 begannen die Bauarbeiten für den DORIS-Speicherring.



Vier Jahrzehnte Spitzenforschung

Die Erfolgsgeschichte von DORIS: vom Charm-Quark zum Biomolekül

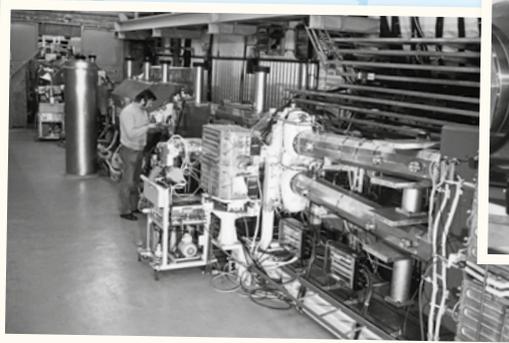
Er war ein Pionier, der erste Beschleuniger seiner Art in Deutschland. 1974 lief der Speicherring DORIS an, um die ersten Teilchen auf Trab zu bringen. Zunächst fungierte DORIS vor allem als Werkzeug für die Teilchenphysik. Später dann wurde die Anlage zur unverzichtbaren Röntgenlichtquelle für die unterschiedlichsten wissenschaftlichen Disziplinen. Dreimal wurde der 300-Meter-Ring modernisiert und den Wünschen der Forscher angepasst – und lieferte im Laufe der Zeit eine enorme Fülle an grundlegenden und anwendungsorientierten Erkenntnissen.

Die Geschichte von DORIS beginnt Mitte der 1960er Jahre. Damals steckte das Deutsche Elektronen-Synchrotron DESY noch in seiner Pionierphase. 1959 war die Gründungsurkunde für das Forschungszentrum unterzeichnet worden. Es sollte sich einem jungen, vitalen Zweig der Physik widmen – der Erkundung der kleinsten, fundamentalen Materieteilchen. 1964 ging der erste Beschleuniger auf dem Hamburger Forschungsgelände in Betrieb: das Synchrotron, ein Ring mit einem Umfang von 300 Metern. Damals waren die Experten vollauf damit beschäftigt, diese Maschine immer besser zum Laufen zu bringen und erste Experimente durchzuführen. Ein kleines Physiker-Team jedoch erhielt den Auftrag, sich um die Zukunft von DESY Gedanken zu machen.

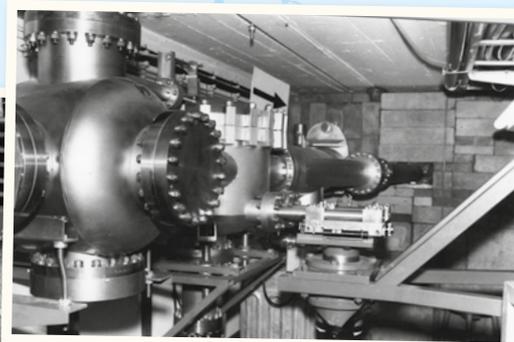
1966 stellten die Planer ihre Idee vor; sie klang höchst visionär: DESY sollte den Bau eines neuartigen Beschleunigertyps wagen, eines Speicherrings. Allerdings waren diese Pläne alles andere als unumstritten: Viele Experten hatten damals mit der naheliegenden Idee geliebäugelt, den von DESY eingeschlagenen Weg fortzusetzen und ein weiteres Synchrotron zu bauen – nur diesmal mit mehr Leistung, sprich höherer Energie. Ein Synchrotron beschleunigt kleinste Teilchen wie z.B. Elektronen in einer luftleer gepumpten Röhre nahezu auf Lichtgeschwindigkeit, um sie gleich darauf auf eine feste „Zielscheibe“ zu feuern. Das war die damals etablierte Methode, das Innerste der Materie unter die Lupe zu nehmen.



1968: Pioniere der Synchrotronstrahlung bei DESY



1974: der DORIS-Speicherring



1976: Strahlführung an DORIS

Die Idee des Speicherrings hingegen war 1966 noch neu und durchaus gewagt: Im Gegensatz zu einem Synchrotron würde er die schnellen Teilchen in dem Vakuumrohr kreisen lassen und mehrere Stunden lang speichern. Dabei würde man Elektronen im Uhrzeigersinn beschleunigen und gleichzeitig ihre Antiteilchen, die „Positronen“, in Gegenrichtung kreisen lassen. An einigen Stellen des Rings könnten dann beide Teilchensorten mit hoher Energie frontal aufeinander prallen statt wie bei einem Synchrotron auf eine feste Zielscheibe. Das würde deutlich höhere Kollisionsenergien ermöglichen und damit neue, ungeahnte Einblicke in die Struktur der Materie.

Das Problem: Die Technik war neu und kaum erprobt. Speicherringe gab es nur als kleine Prototypen. 1962 war in Italien der erste Elektron-Positron-Speicherring überhaupt gebaut worden. Mit wenigen Metern Umfang war er allerdings nur ein besseres Spielzeug. Da durften die Pläne, einen nahezu 300 Meter großen Ring zu konstruieren, als wagemutig gelten.

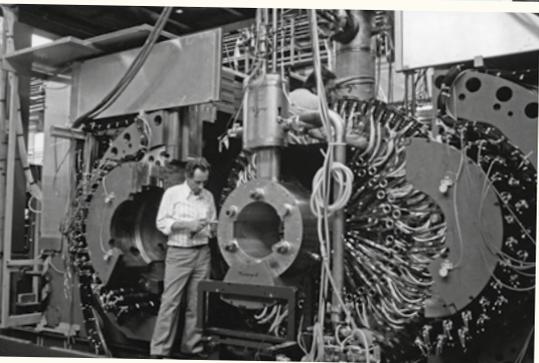
Doch ob bei so einer Maschine tatsächlich etwas Interessantes herauskommen würde, war ziemlich ungewiss. Deshalb reagierten die Physiker zwiesgespalten auf den Vorschlag. Manche Gutachter sahen eher die Chancen, die der innovative

Beschleuniger für die Teilchenforschung bringen könnte. Andere dagegen warnten vor dem Konzept; ihre Empfehlung: Ein Speicherring lohnt sich nicht, lasst es bleiben!

Dennoch entschieden sich die Verantwortlichen für die riskantere Variante – wohl eher aus einem Bauchgefühl heraus als einer logischen Argumentation folgend. Der Mut wurde, so zeigte sich später, belohnt. Speicherringe sollten sich auf breiter Front durchsetzen. So ist auch der bislang leistungsstärkste Beschleuniger, der LHC in Genf, ein Speicherring.

Doch die Experten diskutierten auch darüber, auf welche Kollisionsenergie der neue Ring die Teilchen bringen sollte. Manche meinten, eine Energie von 4 Giga-Elektronenvolt (GeV) würde völlig reichen. Bei höheren Energien dürfte ein Speicherring kaum noch Messdaten liefern. Die DESY-Macher um den damaligen Direktor Willibald Jentschke jedoch legten die Maschine etwas größer aus – auf 6 GeV, mit einem Ausbau-Potenzial von knapp 9 GeV. Eine weise Entscheidung, wie später klar werden würde.

1969 begann der Bau von DORIS, dem DOPPELRING-Speicher. Seine Form ähnelte einer Leichtathletik-Laufbahn: zwei Kurven verbunden durch zwei Geraden, Umfang 289 Meter. Das Konzept sah



1975: das PLUTO-Experiment



Das Team von DASP



1975: DESY-Heidelberg-Experiment

zwei übereinander liegende Vakuumröhren vor, eine für die Elektronen, die andere für die im Gegensinn kreisenden Positronen – deshalb Doppelringspeicher. Zwar setzte die Konkurrenz in den Beschleunigerzentren der USA auf ein anderes Konzept – eine einzige Vakuumröhre, in der Elektronen und Positronen gegenläufig kreisen. Doch in Deutschland wollten sich die Konstrukteure eine zusätzliche Option offenhalten: Mit DORIS sollte es alternativ möglich sein, Elektronen aufeinanderzuschießen. Und das war nur mit zwei getrennten Röhren möglich.

Bereits in der Planungsphase von DORIS meldete sich eine weitere Forschergruppe zu Wort – die Nutzer der Synchrotronstrahlung. So heißt jene intensive, stark gebündelte Röntgenstrahlung, die Kreisbeschleuniger quasi als Nebenprodukt erzeugen und mit der sich die unterschiedlichsten Materialien höchst effektiv durchleuchten lassen – deutlich genauer als mit herkömmlichen Röntgenröhren, wie man sie vom Arzt kennt. Bereits am DESY-Synchrotron waren einige Messstationen eingerichtet worden, mit denen die Forscher Metalle und Halbleiter, aber auch den Flugmuskel eines Käfers beleuchtet und im Detail untersucht hatten.

Ein Speicherring wie DORIS versprach, einen stabileren und rund hundertmal stärkeren Röntgenstrahl zu erzeugen als das vorhandene Synchrotron

– eine verlockende Aussicht. Doch die Möglichkeiten waren damals noch begrenzt. Deshalb stand zunächst nur ein relativ kleines Labor zum Experimentieren mit der Strahlung zur Verfügung – der Bunker 3, mit seiner Fläche von 120 Quadratmetern kaum größer als eine Vierzimmerwohnung.

1974 nahm der DORIS-Ring seinen Betrieb auf, mit zwei Detektoren namens PLUTO und DASP zum Beobachten der Teilchenkollisionen. Etwas früher waren in den USA zwei ähnliche Beschleuniger an den Start gegangen. Im November 1974, kurz bevor die Messungen an DORIS begannen, entdeckten diese US-Experimente etwas Spektakuläres – eine neue Sorte von Elementarteilchen, das Charm-Quark. Die Fachwelt sprach von der „Novemberrevolution“. In der Folge beteiligte sich man in Hamburg an der Vermessung des neuen Quarks – und trug wichtige Details bei.

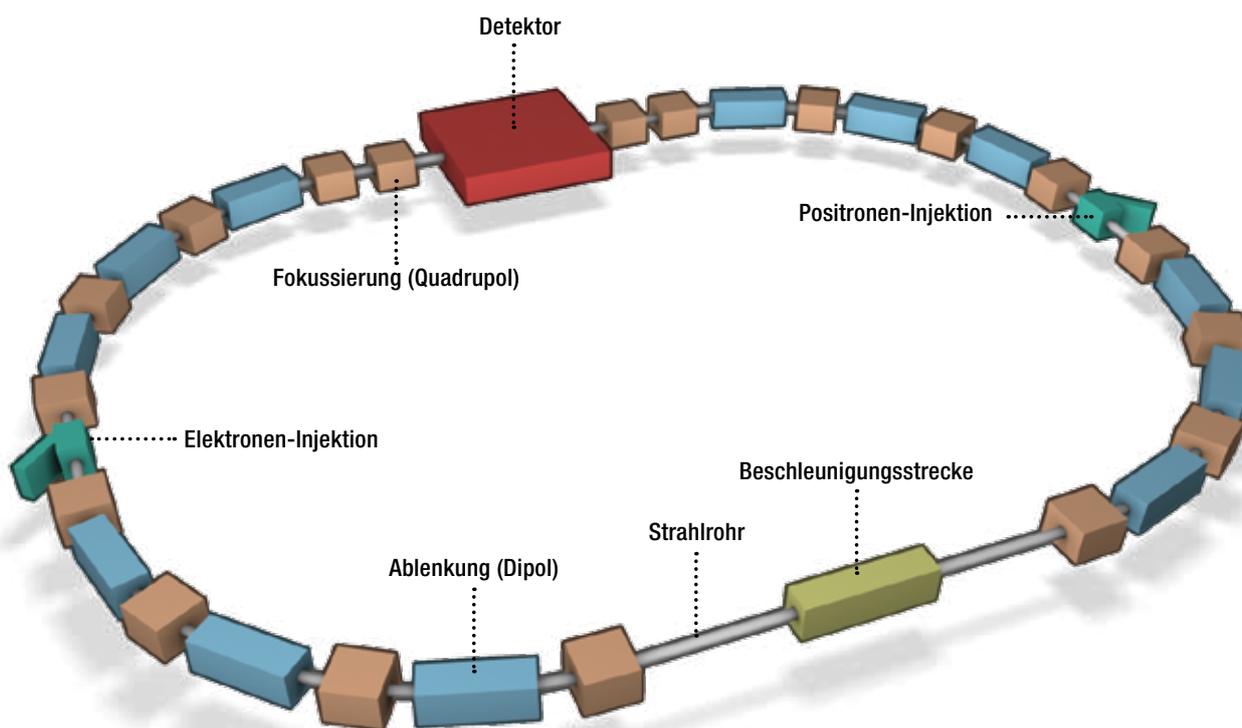
Auch die Experimente mit Synchrotronstrahlung liefen 1974 bei DORIS an – mit ganzen 40 Nutzern. Bereits ein Jahr später wurde für das EMBL, das Europäische Labor für Molekularbiologie, ein weiteres Laborgebäude am Speicherring gebaut, der Bunker 4. Hier konnten Biologen gezielt Biomoleküle mit Röntgenstrahlen untersuchen. Mit der Zeit wurde die EMBL-Außenstation zu einem der weltweit meistgenutzten Biologielabors für Synchrotronstrahlung.



1980: Aufbau des ARGUS-Detektors



Driftkammer von ARGUS



Speicherring

In einem Speicherring kreisen Teilchen (z.B. Elektronen) über Stunden mit annähernd Lichtgeschwindigkeit in einer Vakuumröhre. In Gegenrichtung fliegen andere Teilchen – zumeist Positronen, die Antiteilchen der Elektronen. An einer oder mehreren Stellen des Rings lässt man Teilchen beider Sorten frontal aufeinander prallen. In einem winzigen, aber sehr dichten Energieblitz vernichten sich Elektron und Positron. Aus diesem Energieball können dann neue Teilchen entstehen – zum Beispiel schwere Quarks. Riesige Detektoren beobachten diese Kollisionen, fungieren also quasi als Teilchenkameras. Anhand ihrer Messdaten können die Forscher rekonstruieren, welche neuen Teilchen im Beschleuniger entstanden sind.



Der EMBL-Bunker an DORIS



Bau der HASYLAB-Experimentierhalle



Experimente im HASYLAB

1977 entdeckten US-Physiker ein weiteres Elementarteilchen, das fünfte Quark. Sie taufte es später auf den Namen Bottom-Quark. Seine detaillierte Analyse versprach reiche Erkenntnisse, doch es gab ein Problem: Die Energie, mit der DORIS damals die Teilchen beschleunigte und aufeinanderprallen ließ, reichte nicht aus, um das neue Quark zu erzeugen. Deshalb entschloss man sich bei DESY, den Ring technisch aufzurüsten.

Dazu mussten die Experten zusätzliche Beschleunigungsstrecken einbauen und die Magnete auf eine höhere Stärke trimmen. Außerdem gaben sie das Doppelring-Prinzip auf. Es hatte mehr Schwierigkeiten bereitet als Vorteile gebracht. Fortan ließ man die Teilchen in einer einzigen Vakuumröhre kreisen. Ab Anfang 1978 konnten die Forscher mit ihren beiden Detektoren das Bottom-Quark detailliert untersuchen – mit wichtigen Ergebnissen für das damals noch junge Standardmodell der Teilchenphysik.

Bald darauf nahm der nächste DESY-Beschleuniger seinen Betrieb auf: PETRA, mit einem Umfang von 2,3 Kilometern deutlich größer als DORIS und dadurch in der Lage, erheblich höhere Kollisionsenergien für die Suche nach neuen Elementarteilchen zu erreichen. Dennoch blieb DORIS für die

Teilchenforschung interessant, und zwar für die genaue Analyse von B-Mesonen – speziellen kurzlebigen Teilchen, die ein Bottom-Quark enthalten. Dazu jedoch musste die Maschine erneut modernisiert werden – der Umbau zu DORIS II erfolgte.

1981 rüsteten die Maschinenphysiker die Magnete um und steigerten die Energie ein weiteres Mal, von 9 auf mehr als 11 GeV. Zugleich konnten sie den Stromverbrauch um die Hälfte senken – ein wichtiges Gebot angesichts jener Anstrengungen zum Energiesparen, ausgelöst durch die beiden Ölkrisen der 1970er Jahre. Um die Teilchenkollisionen an DORIS II zu beobachten, errichtete ein internationales Forscherteam den ARGUS-Detektor. Er ging 1982 in Betrieb und sollte sich als eines der erfolgreichsten Teilchenphysik-Experimente bei DESY entpuppen.

In den Jahren zuvor hatte die zweite Forscherfraktion einen größeren Einfluss erlangt – die Nutzer der Synchrotronstrahlung. Seit dem Start von DORIS war ihre Zahl stetig gewachsen. Die Wissenschaftler entwickelten stetig neue Methoden, um mit dem gebündelten Röntgenstrahl aus dem Speicherring die unterschiedlichsten Stoffe detailliert unter die Lupe zu nehmen.



1991: Ablenkmagnete im DORIS-Beschleuniger



Chemie-Nobelpreisträgerin Ada Yonath



Brennstoffzelle im Synchrotronlicht

1981 wurde ein eigenes Labor eingeweiht, um die entsprechende Forschung an DORIS gezielter zu organisieren: das Hamburger Synchrotronstrahlungslabor HASYLAB. Damit erhielt die Nutzung der Strahlung bei DESY einen der Teilchenphysik ebenbürtigen Status. Das HASYLAB erwies sich als eine der Keimzellen, von der die weltweite Erfolgsgeschichte der Forschung mit Synchrotronstrahlung ihren Ausgang nahm.

In den 1980er Jahren teilten sich Teilchenphysiker und HASYLAB-Nutzer den Speicherring: Zu zwei Dritteln der Messzeit wurde DORIS in einem Modus betrieben, der für den ARGUS-Detektor optimiert war. In dieser Zeit ließ sich der Röntgenstrahl lediglich „parasitär“ nutzen, also unter eingeschränkten Bedingungen. Ein Drittel der Messzeit hingegen war für das HASYLAB reserviert. Dann wurde der Ring so eingestellt, dass er möglichst viel Strahlung lieferte. In diesem Modus war DORIS II die hellste Röntgenquelle Europas – bis 1994 die Europäische Synchrotronstrahlungsquelle ESRF im französischen Grenoble in Betrieb ging.

Zunächst gab es im HASYLAB 15, später 30 Messplätze. Um diese mit Instrumenten auszurüsten, richtete das Bundesforschungsministerium einen Schwerpunkt für Synchrotronstrahlung ein.

Dieser Topf ermöglichte es vor allem den Universitäten, Messplätze im HASYLAB zu bauen – und zwar nach folgendem Prinzip: Im ersten Jahr durfte jede Gruppe als Lohn für ihr Engagement ihren Messplatz alleine nutzen. Danach hatte sie Messzeit auch an andere Teams abzugeben.

1986 war die große HASYLAB-Experimentierhalle mit ihren 30 Messstationen voll belegt und weitere Labors wurden angebaut. So installierte das EMBL eine eigene Außenstelle bei DESY, um Biomoleküle extrem genau unter die Lupe zu nehmen. Auch Molekularbiologen der Max-Planck-Gesellschaft richteten permanente Arbeitsgruppen ein. Eine davon leitete die spätere Chemie-Nobelpreisträgerin Ada Yonath, der an DORIS einige ihrer Schlüsselexperimente gelangen.

Rasch aber zeigte sich: Der Andrang war kaum zu bewältigen, das Interesse war einfach zu groß. Fachleute aus unterschiedlichsten Fachrichtungen wollten mit dem intensiven Röntgenlicht von DORIS experimentieren – von Halbleiterphysikern über Materialforscher, Chemikern und Geophysikern bis hin zu Biologen und Medizinerinnen. Die Anfragen kamen nicht nur aus ganz Deutschland, sondern von renommierten Forschungseinrichtungen aus aller Welt.



Der ARGUS-Detektor als Exponat am DESY-Eingang



Ins rechte Licht gerückt: Messplätze im HASYLAB



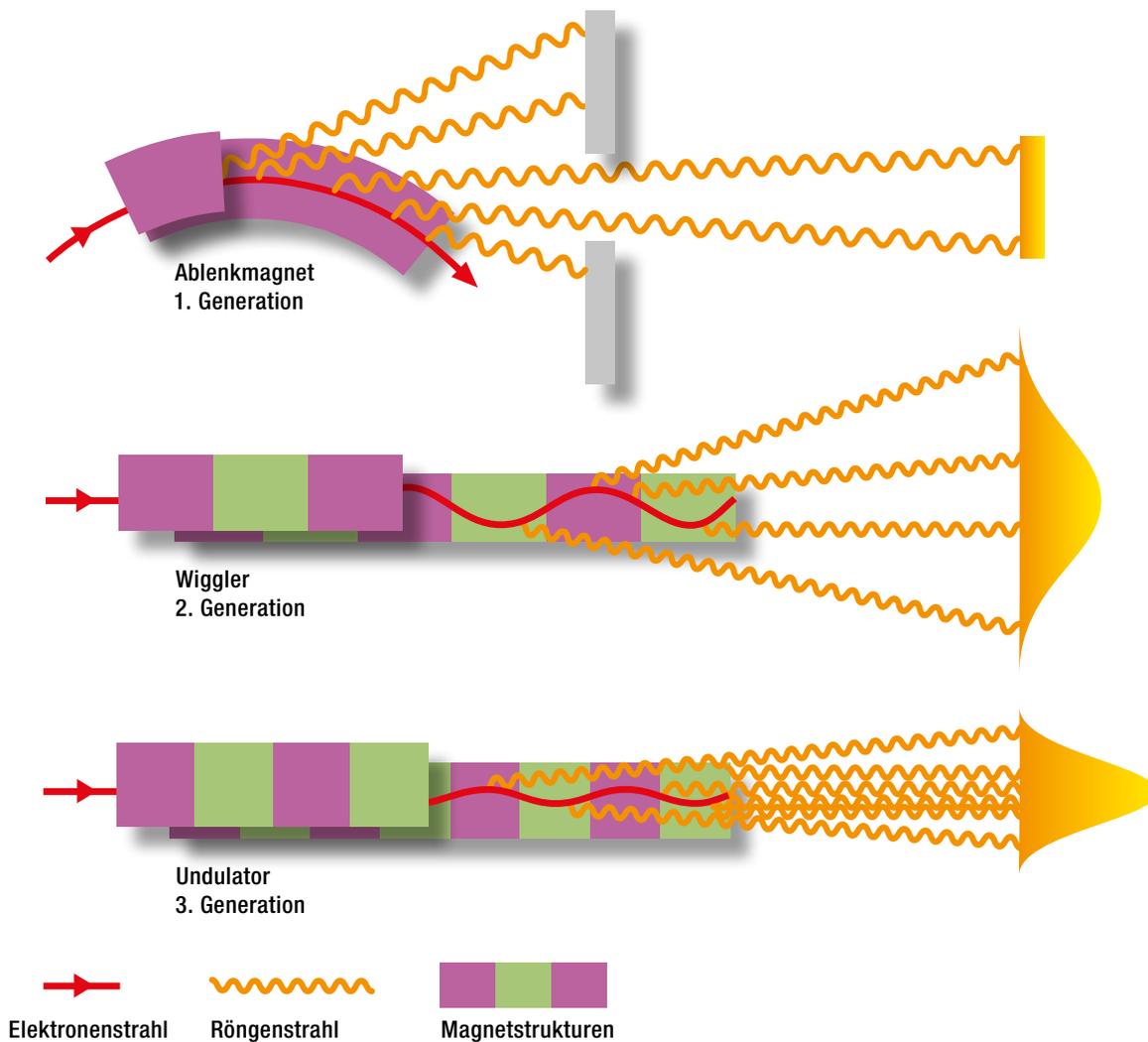
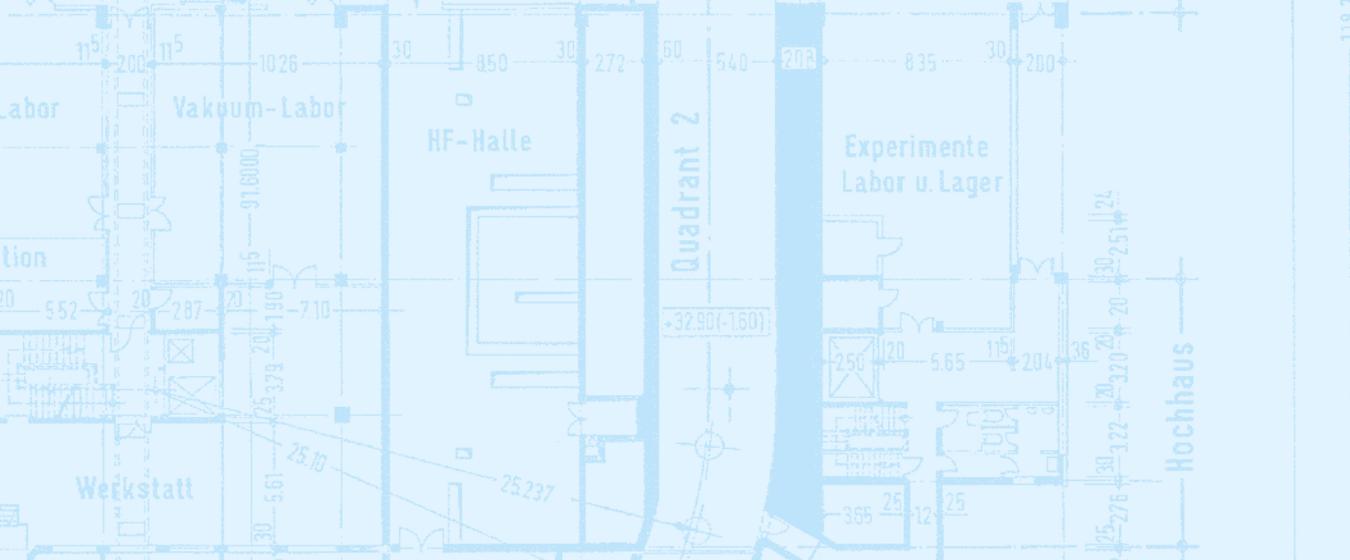
1986 regten die HASYLAB-Forscher einen erneuten Umbau an, um den steigenden Bedarf zu decken: Aus DORIS II sollte DORIS III werden. Der Plan sah vor, eines der beiden geraden Teilstücke des Speicherrings durch einen 74 Meter langen Bogen zu ersetzen. In diesen Bogen ließen sich dann mehrere Spezialmagnete integrieren, sogenannte Wiggler und Undulatoren. Dadurch ließ sich nicht nur die Zahl der Messeplätze steigern, sondern auch die Qualität und Intensität der Röntgenstrahlung. Bestimmte Experimente wurden durch diese Spezialmagnete überhaupt erst möglich.

1990 begann der Umbau, ein Jahr später ging DORIS III in Betrieb. Für den Teilchendetektor ARGUS aber kam bald danach das Aus: Die Bedingungen an dem umgebauten Speicherring erwiesen sich als schwierig, der Detektor konnte nicht genug Messdaten sammeln und wurde 1993 abgeschaltet. Heute findet sich ARGUS als eindrucksvolles Exponat direkt am Eingang zum DESY-Gelände. Sein Standort am DORIS-Speicherring sollte viel später noch einmal von einem anderen Detektor

besetzt werden: 2012 untersuchte ein internationales Forscherteam mit OLYMPUS bestimmte Eigenschaften des Protons.

Bis dahin allerdings hatte DORIS allein den HASYLAB-Nutzern zur Verfügung gestanden. Pro Jahr zog die Röntgenquelle bis zu 2000 Gastwissenschaftler aus mehr als 30 Ländern an. An rund 36 Messplätzen konnten sie mit der gebündelten Strahlung verschiedene Proben analysieren.

Dabei gelang es den Wissenschaftlern, so gut wie alle Stoffe zu untersuchen: Nanoteilchen, Halbleitermaterialien, Kunststoffe, aber auch Eisenbahnschienen, Glühbirnen und die Gemälde alter Meister. Mediziner entwickelten ein neues Röntgenverfahren, mit dem sich die Herzkranzgefäße schonend untersuchen lassen. Die Patienten wurden dabei mit einer Art Fahrstuhl durch den gebündelten Röntgenstrahl gefahren. Insgesamt wurden mit diesem Verfahren nahezu 400 Menschen untersucht.



Synchrotronstrahlung

Synchrotronstrahlung entsteht, wenn Teilchen (z.B. Elektronen) in einem Beschleunigerring kreisen: Wenn die fast lichtschnellen Elektronen durch die Ablenkmagneten um die Kurve gelenkt werden, senden sie einen hochintensiven, gebündelten Lichtstrahl aus. Dessen Spektrum reicht vom Infrarotlicht bis zur Röntgenstrahlung. Ausgesprochen starkes Röntgenlicht liefern Wiggler und Undulatoren. Sie bestehen aus einer meterlangen Folge sich abwechselnder Nord- und Südpole. Diese zwingen die Elektronen auf einen Slalomkurs und erzeugen auf diese Weise einen besonders intensiven Strahl. Synchrotronstrahlung ist millionenfach heller als die Strahlung einer Röntgenröhre beim Arzt. Forscher aus vielen Disziplinen nehmen mit ihr die unterschiedlichsten Materialien unter die Lupe: Metalle und Halbleiter, auch Kunststoffe und Eiweißmoleküle.



Am 2. Januar 2013 wurde der Speicherring DORIS abgeschaltet.

Abbau der DORIS-Experimente

Am 2. Januar 2013 schließlich wurde der Speicherring abgeschaltet. Mit einer enormen Vielzahl an Forschungsmöglichkeiten markierte DORIS einen entscheidenden Meilenstein. Heute zählt DESY zu den weltweit führenden Einrichtungen für die Forschung mit Photonen, also die Wissenschaft, die mit extrem leistungsstarken Lichtquellen die Struktur der Materie ergündet.

Der Freie-Elektronen-Laser FLASH und die Röntgenquelle PETRA III liefern heute Strahlung, die noch deutlich intensiver und gebündelter ist als die von DORIS. In wenigen Jahren wird der Röntgenlaser European XFEL noch stärkere Röntgenblitze erzeugen. Außerdem wird PETRA III weiter ausgebaut und mit zusätzlichen Messstationen bestückt. Vorläufer mancher Stationen waren schon bei DORIS in Betrieb – das direkte Erbe eines der erfolgreichsten Beschleuniger der Wissenschaftsgeschichte.



Völkerverständigung

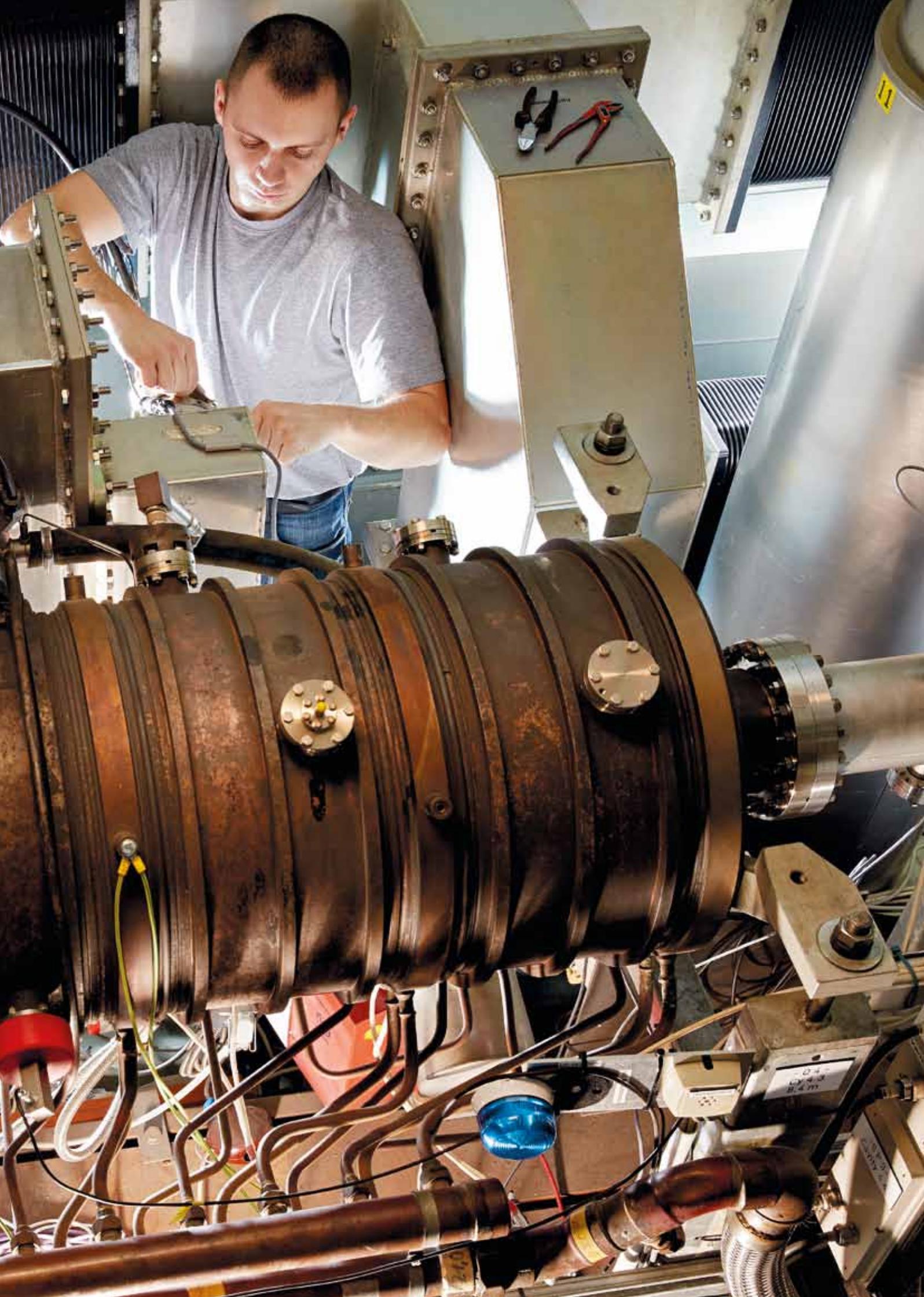
ARGUS – A Russian-German-United States-Swedish Collaboration

Teilchenphysik heißt Völkerverständigung. Das zeigt kein Detektor besser als ARGUS. Das gemeinsame Interesse an der Physik führte Kollegen aus der westlichen Welt und Russland zusammen – trotz des Kalten Krieges forschten sie zusammen, um zu ergünden, was „die Welt im Innersten zusammenhält“.

BESCHLEUNIGERTECHNOLOGIE

Als DORIS 1974 in Betrieb ging, zählte der Speicherring zu den innovativsten Anlagen seiner Zeit. Bei der Konstruktion der Maschine kamen zahlreiche technische Neuerungen zum Einsatz – einige von hoher Relevanz für die Industrie. Auch später, als DORIS mehrfach grundlegend modernisiert wurde, ließen sich die Experten manche Innovation einfallen – Entwicklungen, die sich oft auch für andere Forschungsanlagen als wertvoll erwiesen.

● Beschleunigermodul aus Kupfer



Luftleerer Raum

Wie für DORIS neue Vakuumtechniken entwickelt wurden

Damit ein Speicherring wie DORIS überhaupt funktioniert, ist eines unerlässlich: Die Ringröhre, in der die schnellen Teilchen kreisen, muss möglichst luftleer sein. Ansonsten würden die rasenden Teilchen dauernd mit Luftmolekülen zusammenstoßen und dadurch rasch verlorengehen. Um in der Röhre ein möglichst gutes Vakuum zu erzeugen, muss sie luftdicht abgeschlossen und mit Spezialpumpen „leergesaugt“ werden. Eine enorme technische Herausforderung, schließlich soll in der Röhre ein Druck herrschen, der rund eine Billion mal niedriger ist als der Luftdruck.

„Für das DORIS-Vakuumsystem wurden zahlreiche Neuentwicklungen angestoßen. Ein Teil dieser Innovationen war auch für die Industrie relevant.“

Dr. Lutz Lilje, Beschleunigerexperte und Leiter der Vakuumgruppe bei DESY

Um das für DORIS zu schaffen, mussten die DESY-Fachleute in den siebziger Jahren einige neue Techniken schaffen oder weiterentwickeln. So ging es darum, Komponenten aus Kupfer mit Bauteilen aus Stahl zu verbinden. Das aber war nur durch Löten bei großer Hitze möglich – mit dem Nachteil, dass das Kupfer danach zu weich für den Einsatz im Alltagsbetrieb war. Aus diesem Grund taten sich die DESY-Vakuumexperten mit Fachleuten der Norddeutschen Affinerie (heute Aurubis) zusammen, einem der weltweit führenden Kupferproduzenten. Ergebnis der Kooperation waren spezielle Kupferlegierungen, die auch nach dem Löten hart genug blieben.

Zusätzlich entwickelten die Experten neuartige Lötmittel auf Silberbasis. Das Besondere: Einige der Lötmittel werden bei höheren Temperaturen flüssig als andere. Dadurch lassen sich an einem Bauteil mehrere Komponenten nacheinander anlöten – eine effektive Methode, die auch heute noch zum Einsatz kommt, etwa beim Bau des Röntgenlasers European XFEL.

Weiterhin wurde gemeinsam mit der Osnabrücker Firma „kabelmetal“ (heute KME AG) die Methode des „Strangpressens“ erarbeitet. Damit ließen sich die komplex geformten Vakuumröhren quasi aus einem Stück formen – eine deutliche Vereinfachung der Herstellungsprozedur. Heute ist das Strangpressen ein wichtiges Verfahren, um komplexe Aluminium-Profile zu fertigen.

Schließlich erkundeten die Vakuumfachleute wesentliche theoretische Grundlagen für eine spezielle Art von Pumpen, die Ionengetter-Pumpen. Das Prinzip: Restgaspartikel werden ionisiert und per elektrischer Hochspannung auf eine Oberfläche gelenkt, in der sie buchstäblich kleben bleiben. Ein Konzept, das sich durchgesetzt hat: Ionengetter-Pumpen werden heute in weiten Bereichen der Vakuumtechnik verwendet. Die genauen Kenntnisse ermöglichten außerdem den Einsatz von einfacheren technischen Bauweisen. Dadurch ließ sich die Anzahl der aktiven Ionengetter-Pumpen reduzieren, das gesamte Vakuumsystem wurde robuster.



Viele der Komponenten im DORIS-Beschleunigertunnel mussten luftleer gepumpt werden. Dazu waren ausgefeilte Techniken nötig.



In den Beschleunigerring von DORIS waren spezielle Sensoren eingebaut. Sie registrierten die Teilchenpakete, die nahezu lichtschnell in der Vakuumröhre kreisten. Korrekturmagnete hielten die Teilchen auf Kurs.

Stoßdämpfer für Teilchenpakete

Eine neuartige Feedback-Regelung sorgt für mehr Messdaten

Je mehr, desto besser. Diese simple Regel gilt auch für Beschleuniger. Denn je mehr Teilchen ein Speicherring beschleunigen kann, umso mehr Messdaten vermag er zu liefern: In der Teilchenphysik steigt die Zahl der auswertbaren Kollisionen. Und bei der Erzeugung von Synchrotronstrahlung wird das Röntgenlicht deutlich intensiver, wenn man mehr Teilchen im Ring kreisen lässt.

Allerdings ist es alles andere als einfach, einen Speicherring mit immer mehr Teilchen zu füllen, etwa mit Elektronen. Der Grund: Mehrere Milliarden Elektronen sind zu etwa streichholzgroßen Paketen gebündelt. Diese Pakete sind elektrisch geladen und erzeugen, wenn sie nahezu lichtschnell durch die Vakuumröhre rasen, hochfrequente elektrische Felder. Das Problem: Versucht man, zu viele Elektronen in ein Paket zu stopfen, wirken die Felder derart heftig auf die Elektronenpakete zurück, dass diese zu schwingen beginnen und schließlich auseinanderbrechen – ähnlich wie ein ungeübter Fahrer sein Auto auf einem Slalomkurs so stark zum Schlingern bringt, dass es am Ende ausbricht.

Um dieses Problem zu lösen, ließen sich DESY-Physiker Ende der 1980er Jahre ein neuartiges Verfahren einfallen, das Multibunch-Feedback-System. Ausgangspunkt ist eine Reihe von Sensoren. Sie erfassen, wie stark die vorbeisausenden Elektronenpakete gerade schwingen.

Ausgehend von den Sensordaten berechnet ein Computer in Echtzeit hochpräzise Signale, mit denen er spezielle Korrekturmagnete ansteuert. Diese Magnete wirken den sich aufschaukelnden Schwingungen entgegen und fungieren damit als eine Art intelligente Stoßdämpfer.

Die besondere Herausforderung dabei: Durch den Speicherring DORIS kreisen zehn Elektronenpakete gleichzeitig, und das Feedback-System muss in der Lage sein, alle zehn Pakete unabhängig voneinander anzusteuern. Das System wurde bei DESY entwickelt, gemeinsam mit PETRA war DORIS der erste Speicherring, bei dem es eingesetzt wurde. Der Erfolg war beeindruckend: Dank der neuen Technik ließ sich die Anzahl der Teilchen pro Paket verfünffachen. Deshalb kam das System später auch an vielen anderen Elektronen-Speicherringen zum Einsatz. 1996 wurden die DESY-Experten für ihre Entwicklung mit dem renommierten Preis der Europäischen Physikalischen Gesellschaft ausgezeichnet.

Mit Raffinesse gegen die Schiefelage

DESY-Forscher entwickelten innovatives Regelungssystem

Bis in die frühen 1980er Jahre standen die Nutzer der Synchrotronstrahlung vor einem Problem – und zwar an sämtlichen Anlagen der Welt: Der Röntgenstrahl, mit dem sie ihre Proben beleuchteten, verhielt sich ein wenig so wie ein Taschenlampen-Lichtkegel in der zitternden Hand: Er blieb nicht starr an einem Punkt, sondern wanderte hin und her. Ein Ärgernis für die Forscher, denn je stetiger und gleichmäßiger sie ihre Proben aus immer der gleichen Richtung beleuchten können, umso besser sind die Messdaten.

„Die Strahlage-Regelung, die wir damals für DORIS entwickelt hatten, ist heute in allen Synchrotronstrahlungsquellen auf der Welt selbstverständlich.“

Dr. Werner Brefeld, Beschleunigerphysiker bei DESY

Der Grund für den unsteten Röntgenstrahl waren beispielsweise Temperaturschwankungen und Erschütterungen im Beschleunigertunnel. Beides nämlich störte jene Magnete, die die Teilchen auf ihrer Bahn halten. Diese Magnetstörungen wirkten sich dann zwangsläufig auf die Flugbahn der Teilchen aus: Sie gerieten aus ihrer eigentlichen Lage und flogen ein bisschen höher oder tiefer als vorgesehen. Und damit verschob sich dann auch der Lichtkegel, den die Teilchen beim Flug um die Kurven aussendeten – der Röntgenstrahl „wackelte“.

Um das Problem zu mildern, entwickelten DESY-Forscher 1983 zeitgleich mit Experten in den USA eine raffinierte Korrekturtechnik – die Strahlage-Regelung. Das Prinzip: Diverse Sensoren überwachen die aktuelle Position der Teilchen im Ring sowie die Lage der Röntgenstrahlen auf ihrem Weg zu den Messplätzen.

Die Werte dieser Sensoren werden in einen Computer eingespeist. Dessen Software vergleicht die jeweiligen Ist-Werte mit den angepeilten Soll-Werten, also den Werten für die optimale Lage und Richtung der Röntgenstrahlen an den Messplätzen. Unterscheiden sich Ist-Werte und Soll-Werte zu stark, steuert der Rechner gegen und sendet ein Korrektursignal an einige der Magneten im Beschleuniger.

Mit dieser Methode lässt sich eine drohende „Schiefelage“ der Teilchen ausgleichen. Der Röntgenstrahl bleibt dort, wo er hin soll. DORIS zählte zu den ersten Beschleunigern der Welt, für die diese Korrektur-Technik entwickelt wurde. Heute sind solche Strahlage-Regelungen für moderne Röntgenquellen wie PETRA III in Hamburg und die ESRF in Grenoble Standard und absolut unersetzlich.

Helles Licht durch Slalomkurs

An DORIS entstand der erste Multipol-Wiggler Europas

1980 hatte der deutschstämmige US-Physiker Klaus Halbach in Kalifornien einen neuen Spezialmagneten entwickelt, der die Forschung mit Synchrotronstrahlung revolutionieren sollte – den Multipol-Wiggler aus Permanentmagneten. Er besteht aus einer präzisen Abfolge von kleinen Magnetblöcken. Auf einen schnellen Elektronenstrahl hat dieser Aufbau einen besonderen Effekt: Er bringt die Teilchen dazu, buchstäblich Slalom zu fahren. Bei dieser Kurvenfahrt senden die Elektronen einen Röntgenstrahl aus, der bis zu tausendmal stärker sein kann als bei den bis dato verwendeten Ablenkmagneten.

Schnell begriffen die DESY-Forscher, wie wertvoll dieser Spezialmagnet für die Forschung ist und beschlossen, möglichst rasch einen solchen Multipol-Wiggler an DORIS zu installieren – den ersten dieser Art in Europa. Um mehr über die Technik zu erfahren, luden sie Halbach nach Hamburg ein. Zwar stellte er die Grundzüge seiner Erfindung vor, blieb aber ansonsten reichlich zugeknöpft: Die entscheidenden Details behielt Halbach für sich.

Also blieb den DESY-Experten nichts anderes übrig, als bei Null anzufangen und den Magneten komplett in Eigenregie zu entwickeln: Für damals noch primitive Computer mussten sie Programme schreiben, um jene Röntgenspektren zu berechnen, die der Multipol-Wiggler liefern sollte. Eine Herausforderung war auch die Präzision, mit der die einzelnen Magnetblöcke zur kompletten Struktur verklebt werden mussten.

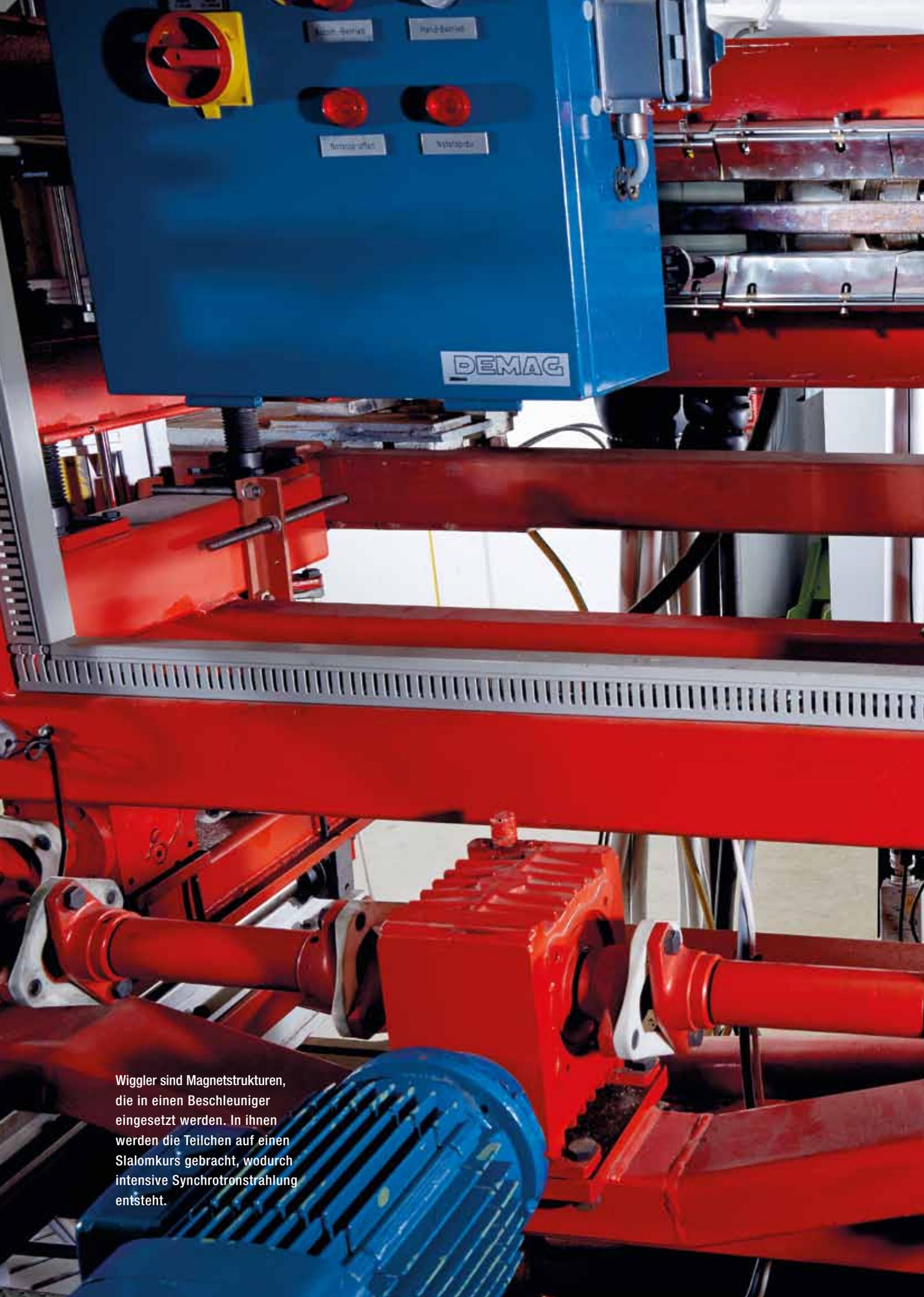
1983 dann war der erste Wiggler an DORIS fertig – und funktionierte auf Anhieb. Weitere Modelle folgten, und später verfeinerten die Experten das Konzept und bauten sogenannte Undulatoren – Magnetstrukturen, die bei bestimmten Wellenlängen noch einmal deutlich intensiver strahlen als ein Wiggler. Ab 1991 kamen an DORIS insgesamt zehn Wiggler und Undulatoren zum Einsatz. Und auch die neueste Generation von Röntgenquellen – Freie-Elektronen-Laser wie FLASH und der European XFEL – kann ohne Undulatoren kein Röntgenlicht liefern.

1989 wurde bei DORIS eine Variante des Konzepts entworfen: der „asymmetrische“ Wiggler. Im Gegensatz zu normalen Wigglern besitzen seine Nordpole eine andere Stärke als seine Südpole. Dadurch kann er sogenanntes zirkular polarisiertes Röntgenlicht erzeugen – Strahlung, die in einer bestimmten Richtung schwingt und sich zur detaillierten Untersuchung magnetischer Materialien eignet. Zuvor hatte sich zirkular polarisierte Strahlung nur mit Ablenkmagneten erzeugen lassen. Der asymmetrische Wiggler liefert diese Strahlung mit vielfacher Intensität. Heute kommt er an mehreren Röntgenquellen auf der Welt zum Einsatz, mittlerweile auch als supraleitende Variante.



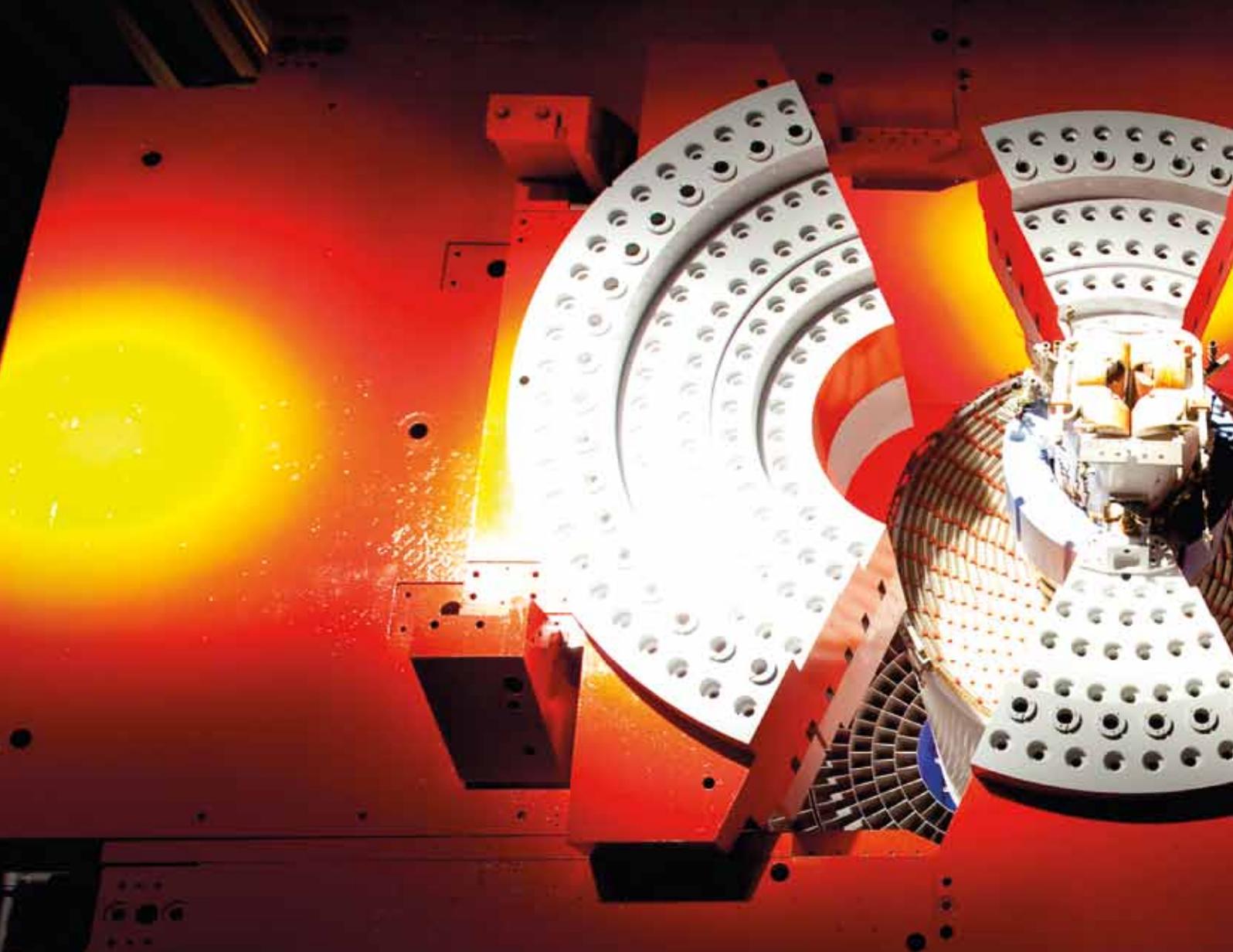
Der erste Wiggler-Magnet wurde 1983 bei DESY fertiggestellt und in DORIS eingebaut (oben); moderne Wiggler (unten) haben eine deutlich längere Magnetstrecke.





Wiggler sind Magnetstrukturen, die in einen Beschleuniger eingesetzt werden. In ihnen werden die Teilchen auf einen Slalomkurs gebracht, wodurch intensive Synchrotronstrahlung entsteht.





TEILCHENPHYSIK

Die Teilchenforschung fahndet nach den Grundbausteinen der Materie und den zwischen ihnen wirkenden Naturkräften. In den 1970er und 1980er Jahren wurde das Fundament dafür gelegt und gefestigt – das Standardmodell der Teilchenphysik. Zum diesem heute noch gültigen Weltbild der Physik steuerten die Experimente am Speicherring DORIS zahlreiche Erkenntnisse bei.

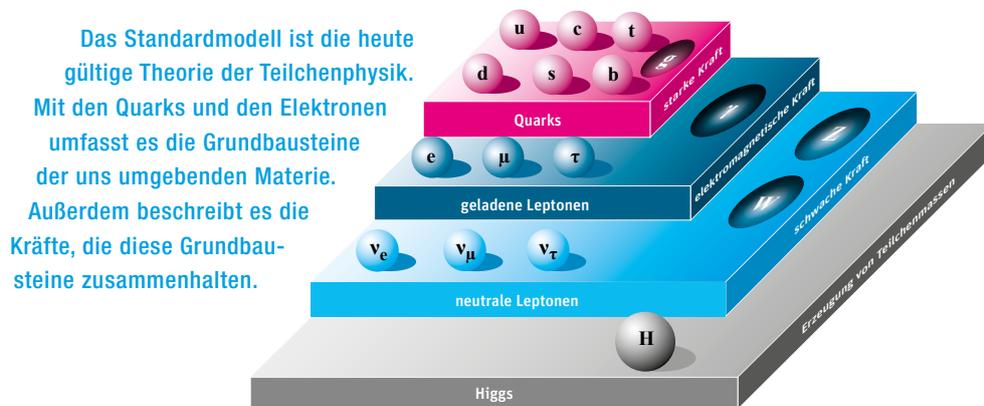


Der ARGUS-Detektor

Auf dem Weg zum Standardmodell

DORIS lieferte bahnbrechende Erkenntnisse für die Teilchenphysik

Als DORIS 1974 anlief, herrschte in der Teilchenphysik gerade große Aufbruchstimmung: Kurz zuvor hatten US-Beschleuniger ein neues Teilchen aufgespürt, bestehend aus „Charm-Quarks“ – eine Entdeckung, die später mit dem Physik-Nobelpreis geadelt wurde. Quarks zählen zu den Grundbausteinen der Materie. Das Charm-Quark war das vierte der sechs Quarks, die man heute kennt.



Sofort nach dem Start von DORIS nahmen die Physiker das neue Teilchen unter die Lupe, um seine Eigenschaften näher zu studieren. Mit Erfolg: Die Detektoren entdeckten mehrere „Anregungen“ des neuen Teilchens. 1977 folgte eine weitere Umwälzung: US-Physiker erzeugten das fünfte Quark, heute Bottom-Quark genannt. Nach einem Ausbau zu höherer Energie konnte es auch bei DORIS beobachtet werden – mit interessanten Ergebnissen: So fanden die Forscher mit den Detektoren PLUTO und DASP II heraus, dass die elektrische Ladung des Bottom-Quarks exakt einem Drittel der Elektronenladung entspricht. Außerdem trug PLUTO maßgeblich zur Entdeckung des Tau-Leptons

bei, eine Art schwerer Bruder des Elektrons. Ferner zeigten PLUTO und DASP II, dass ein bestimmtes, ausschließlich aus Bottom-Quarks bestehendes Teilchen auf besondere Art zerfallen kann. Das war der erste Hinweis auf die Existenz von Gluonen – jenen Klebeteilchen, die die Quarks und damit unsere Materie zusammenhalten. Den endgültigen Beweis, dass Gluonen tatsächlich existieren, lieferte kurze Zeit später ein anderer DESY-Beschleuniger, der Speicherring PETRA. Alle diese Entdeckungen halfen, die Theorie der Quarks fest in der Physik zu verankern – und zwar auch bei jenen Forschern, die zuvor skeptisch gewesen waren.

Innovatives Detektordesign

Bei DORIS kam erstmals ein supraleitender Magnet für die Teilchensuche zum Einsatz

Er war einer der beiden Detektoren, die an DORIS aufgebaut waren, als der Speicherring 1974 anlief: PLUTO analysierte bis ins letzte Detail, was bei den Frontalkollisionen der schnellen Elektronen und Positronen geschah. Bei diesen Kollisionen können neue, exotische Elementarteilchen entstehen, die allerdings gleich wieder in andere Teilchen zerfallen. Diese Bruchstücke registrieren Detektoren wie PLUTO möglichst genau. Denn mithilfe dieser Messdaten können die Physiker rekonstruieren, welche Exoten bei den Kollisionen eigentlich entstanden sind.



PLUTO zählte zu den ersten Teilchendetektoren am Speicherring DORIS.

PLUTO brachte 1974 eine für Teilchendetektoren völlig neue Technologie ins Spiel: Er war der erste Detektor, der nicht mit einem konventionellen, sondern einem supraleitenden Magneten funktionierte. Supraleitende Magnete können äußerst starke Felder erzeugen, müssen dazu allerdings auf etwa minus 270 Grad Celsius abgekühlt werden. Der Vorteil: Je stärker das Magnetfeld in einem Detektor, desto genauer lässt sich der Impuls der herausfliegenden Teilchen messen – eine zentrale physikalische Größe.

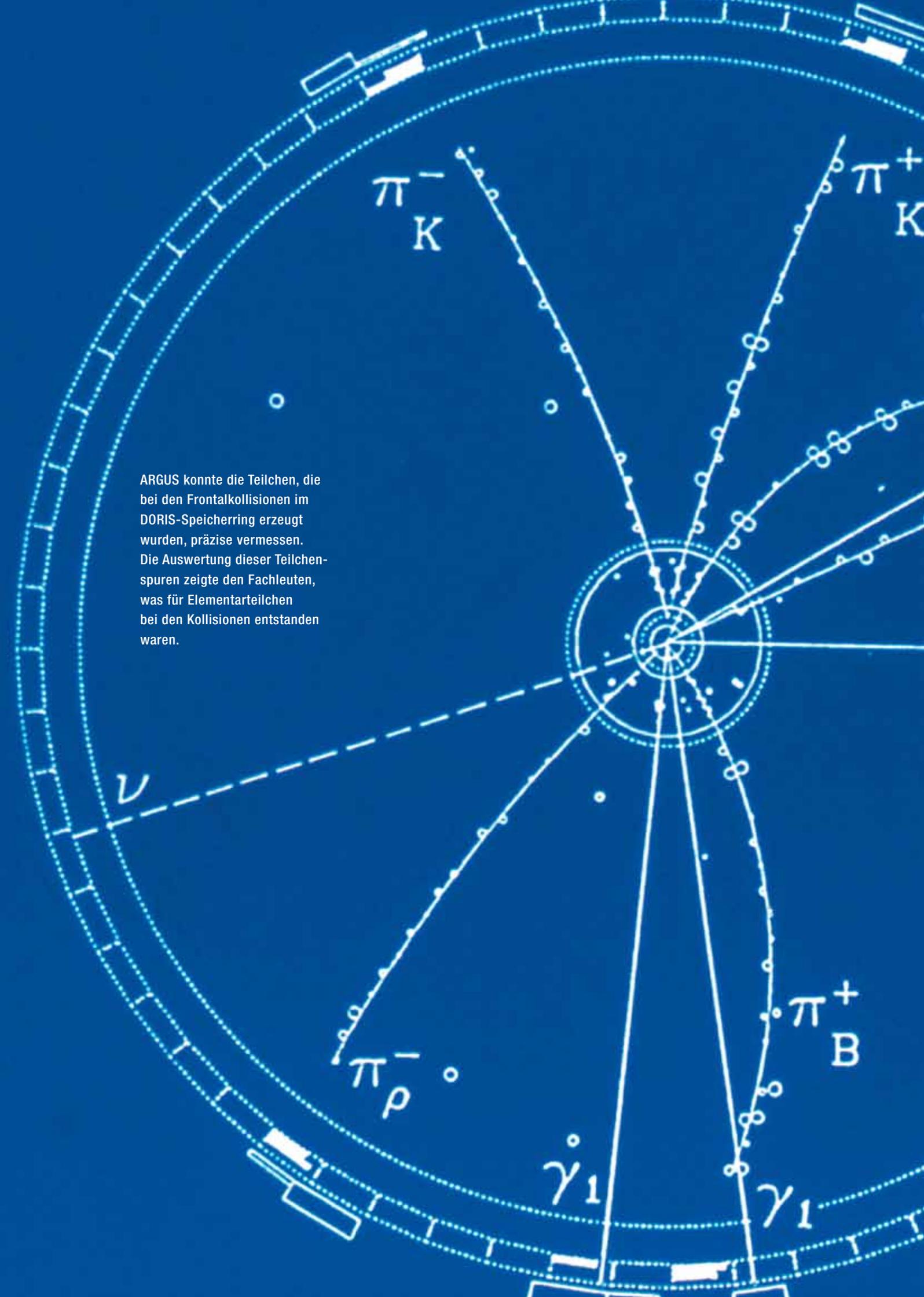
Supraleitende Magnete, wie sie in PLUTO zum Einsatz kamen, setzten sich bei der Entwicklung von Teilchendetektoren durch: Heute nutzen viele Experimente auf der Welt diese Technik, unter anderem die riesigen Detektoren am

LHC in Genf, dem weltweit stärksten Beschleuniger. Auch die Firma, die den Magneten für PLUTO gebaut hatte, profitierte von der Entwicklung: Siemens ist heute Weltmarktführer bei Kernspintomographen, jenen röhrenförmigen Diagnosegeräten, die dreidimensionale Bilder aus dem Körperinneren liefern und aus dem Klinikalltag nicht mehr wegzudenken sind. Ohne Supraleitung könnten diese Tomographen keine scharfen Aufnahmen machen. Und die Konstruktion des PLUTO-Magneten hat Siemens wertvolle Informationen über den Bau supraleitender Magnete geliefert.

„PLUTO hatte einen Vorbildcharakter für andere Detektoren überall auf der Welt.“

Prof. Hinrich Meyer, Universität Wuppertal, ehem. PLUTO-Mitglied

ARGUS konnte die Teilchen, die bei den Frontalkollisionen im DORIS-Speicherring erzeugt wurden, präzise vermessen. Die Auswertung dieser Teilchenspuren zeigte den Fachleuten, was für Elementarteilchen bei den Kollisionen entstanden waren.



Mit ARGUS-Augen in die Teilchenwelt

Einer der erfolgreichsten DESY-Detektoren lief an DORIS

Als 1978 der PETRA-Speicherring in Betrieb ging, schienen die Tage der Teilchenphysik an DORIS gezählt. Denn mit einem Umfang von 2,3 Kilometern war PETRA deutlich größer als DORIS und erreichte fünfmal höhere Kollisionsenergien, was einen viel tieferen Blick in den Mikrokosmos erlaubte. Dennoch hatte der damalige DESY-Direktor Herwig Schopper das Gefühl, der kleinere Speicherring sei noch nicht ausgereizt – vorausgesetzt, man würde ihn umrüsten und mit einem neuen Experiment ausstatten, dem ARGUS-Detektor.

1982 war der Ausbau zu DORIS II fertig. Nun konnte der Beschleuniger höhere Energien als zuvor erreichen und mehr Teilchenkollisionen produzieren. Auch der neue ARGUS-Detektor setzte neue Maßstäbe: Als erstes Experiment weltweit konnte es nahezu alle Reaktionsprodukte, die bei den Kollisionen entstanden, beobachten. Zudem war es in der Lage, die Impulse sowohl der geladenen als auch der neutralen Teilchen genauer zu messen als andere Detektoren. Der US-Konkurrenz war ARGUS in dieser Hinsicht um das Siebenfache überlegen. Das ermöglichte die Entwicklung ganz neuer Analysetechniken.

Damit gelang den Physikern eine ganze Reihe von außergewöhnlichen Entdeckungen: So konnte ARGUS eine seltene Zerfallsart von B-Mesonen (das sind Teilchen, die das Bottom-Quark enthalten) beobachten – die Fachleute sprechen vom „charmlosen“ Zerfall. Außerdem fanden sie neue Kombinationen des Bottom-Quarks mit anderen Quark-Sorten, bestimmten erstmals die korrekte Masse des Tau-Leptons sowie dessen „Helizität“, eine wichtige quantenphysikalische Größe.

Die bedeutendste Entdeckung aber folgte 1987: ARGUS beobachtete, dass sich B-Mesonen offenbar spontan in ihre Antiteilchen umwandeln. Bei diesem Prozess musste ein damals noch unentdecktes Teilchen hineinspielen – das

Top, das sechste und schwerste Quark. Mit den ARGUS-Daten ließ sich abschätzen, wie schwer das Top-Quark ungefähr sein musste – viel schwerer als zuvor erwartet. Erst 1995 konnte es an einem US-Beschleuniger entdeckt werden.

Außerdem spielten die ARGUS-Daten bei einer anderen Frage eine zentrale Rolle: Warum gibt es im Kosmos überhaupt Materie? Bis heute ein Rätsel, denn beim Urknall vor 13,8 Milliarden Jahren müssten eigentlich gleich viel Materie und Antimaterie entstanden sein, beide hätten sich sofort wieder vernichten müssen. Doch während die Antimaterie offenbar vollständig vernichtet wurde, ist ein winziger Teil der ursprünglich vorhandenen Materie übrig geblieben, sonst würden wir nicht existieren.

Die Entdeckung von ARGUS, dass sich B-Mesonen spontan in ihre Antiteilchen umwandeln, markierte den Startpunkt für ein neues Forschungsgebiet: Denn nun war klar, dass sich mit Experimenten an B-Mesonen herausfinden lässt, ob das Standardmodell der Elementarteilchen die Unregelmäßigkeit zwischen Materie und Antimaterie beschreiben kann oder nicht. Spätere Versuche an Speicherringen in den USA und Japan zeigten dann, dass das Standardmodell diese Unregelmäßigkeit nur zum Teil erklärt. Das Rätsel der verschwundenen Antimaterie ist bislang ungelöst.

OLYMPUS auf Spurensuche

Das letzte Experiment am DORIS-Beschleuniger

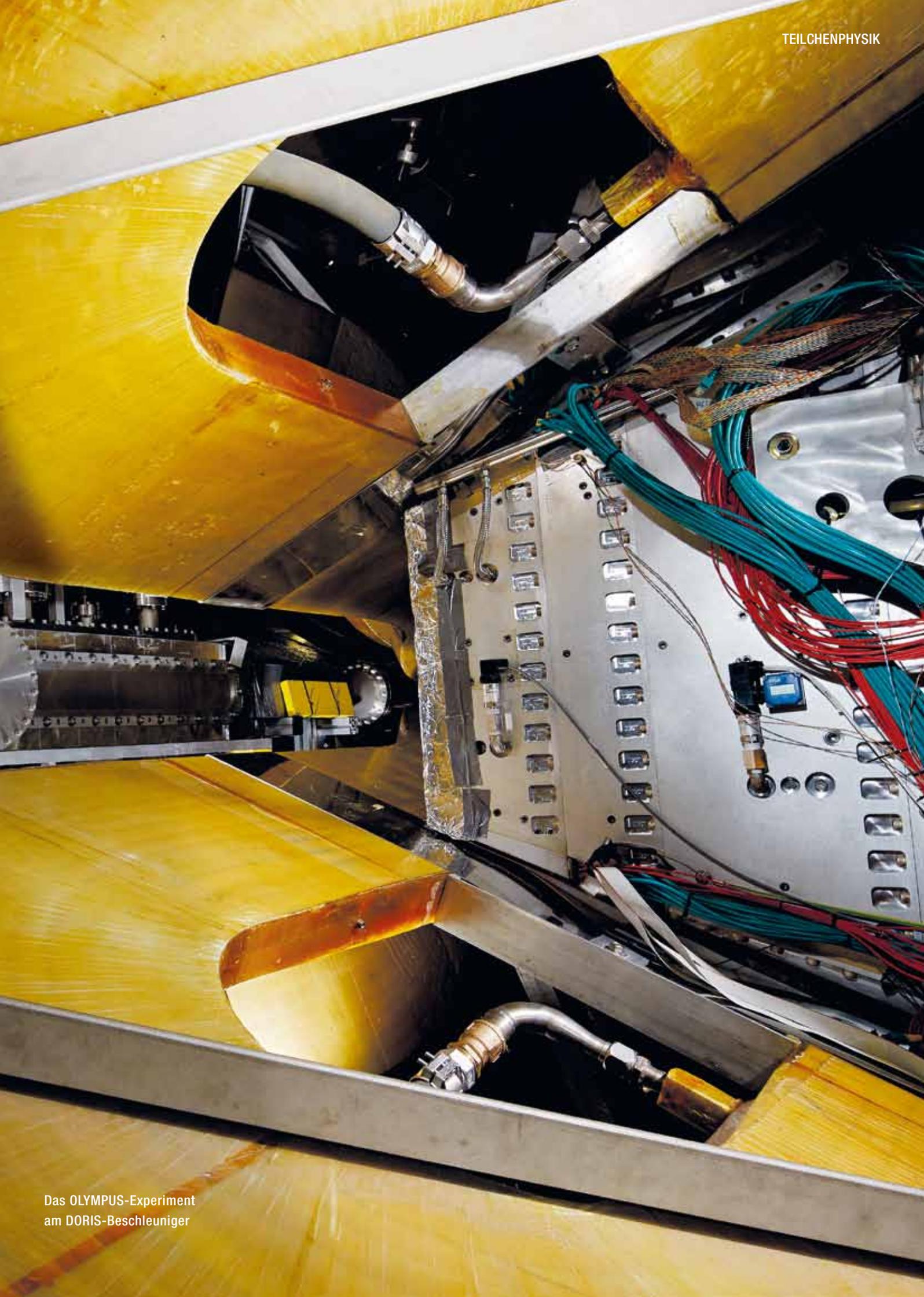
Eigentlich war DORIS für die Teilchenphysik gebaut worden. Später diente der Speicherring lange als hochintensive Röntgenquelle. Mit dem letzten Experiment aber kehrten die Forscher noch einmal zu den Wurzeln zurück: Bis Anfang 2013 nahm der OLYMPUS-Detektor Messdaten, um neue Details über das Verhalten eines wichtigen Teilchens herauszufinden – des Protons.

Konkret hat das OLYMPUS-Team – 50 Fachleute aus 13 Instituten – eine bewährte Methode verfeinert: Schießt man ein Elektron auf ein Proton, wird das Elektron gestreut, also in seiner Flugrichtung abgelenkt, da zwischen den beiden Teilchen die elektromagnetische Kraft wirkt. Während dieser Kraftwirkung werden bestimmte Botenteilchen ausgetauscht, Photonen genannt. Bei solchen Streuversuchen war ein US-Experiment vor einigen Jahren auf Ungereimtheiten gestoßen. Seine Messwerte stimmten nicht mit denen älterer Versuche überein.

Eine Erklärung für die Abweichungen: Bei manchen Streuprozessen wird womöglich nicht nur ein Photon ausgetauscht, sondern mehrere. Eben diese These sollte OLYMPUS testen. Die Geschichte hinter dem Experiment ist bemerkenswert: Ursprünglich stand der Detektor am MIT in Boston, einer der renommiertesten Forschungsuniversitäten der Welt. Allerdings war der dortige Teilchenbeschleuniger 2005 abgeschaltet worden.

Zudem konnte er keine Positronen beschleunigen, die Antiteilchen der Elektronen. Deshalb kam den Experten eine originelle Idee: Würde man den Detektor nach Hamburg bringen und in den DORIS-Speicherring einsetzen, könnte man ein völlig neues Experiment betreiben. Denn anders als die meisten anderen Anlagen vermag DORIS abwechselnd Elektronen und Positronen auf eine „Zielscheibe“ zu feuern. Durch den Vergleich der Elektronen- und Positronen-Daten sollte sich die „Mehr-Photonen“-Hypothese präzise überprüfen lassen.

2010 wurde der Detektor nach Hamburg verschifft – eine 50-Tonnen-Apparatur fast so groß wie ein Einfamilienhaus. Nur wenige Umbauarbeiten waren nötig, dann passte OLYMPUS in den Ring. 2012 liefen die Messungen über insgesamt drei Monate. Die letzten Kollisionsdaten lieferte DORIS am 2. Januar 2013, dann wurde der Ring endgültig abgeschaltet. Nun werten die Experten die Messdaten aus. Mit Ergebnissen rechnen sie frühestens 2014.



Das OLYMPUS-Experiment
am DORIS-Beschleuniger



FORSCHUNG MIT PHOTONEN

Schon bald nach dem Start von DORIS erwies sich die Synchrotronstrahlung, die der Speicherring quasi als Nebenprodukt erzeugte, als wertvolles Forschungsinstrument für Materialforscher, Biologen und viele andere Wissenschaftler. In den frühen 1990er Jahren wurde der Beschleuniger endgültig zu einer der führenden Röntgenquellen der Welt und lockte Abertausende von Forschern nach Hamburg.

Die Bausteine des Lebens im Visier

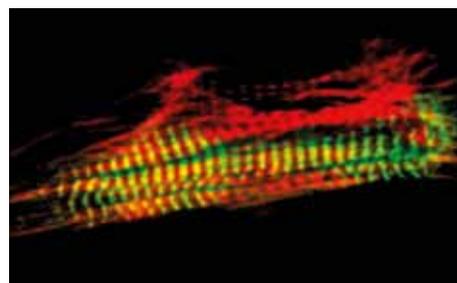
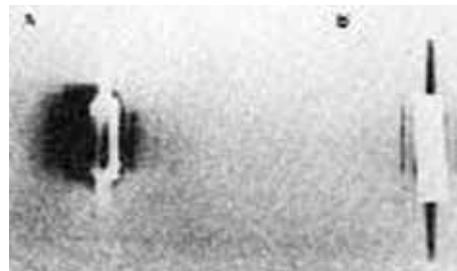
DORIS bahnte den Weg zur Strukturaufklärung von Biomolekülen

Mit der intensiven Röntgenstrahlung aus einem Beschleuniger lassen sich verschiedenste Biomoleküle detailliert untersuchen. Als DORIS 1974 in Betrieb ging, steckte die Technik dafür aber noch in den Kinderschuhen. Im Laufe der Zeit wurden die Methoden immer besser. So gelang es Ende der 1970er Jahre an DORIS, den molekularen Ablauf der Muskelbewegung zu enträtseln. Später konnten Experten des Europäischen Laboratoriums für Molekularbiologie (EMBL), der Max-Planck-Gesellschaft und der Universität Hamburg die Struktur zahlreicher lebenswichtiger Proteine bestimmen – etwa die der Ribosomen, der Eiweißfabriken lebender Zellen. Viele der Ergebnisse und Methoden sind von grundlegender Bedeutung für die Experimente an den heutigen Röntgenquellen – von Speicherringen wie PETRA III und der ESRF bis hin zum European XFEL, dem stärksten Röntgenlaser der Welt, der 2015 bei Hamburg seinen Betrieb aufnehmen wird.

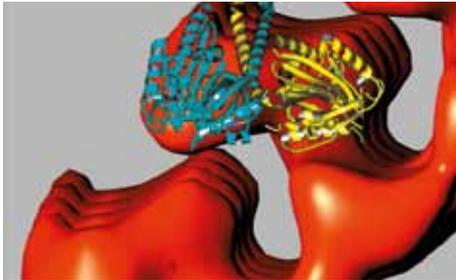
Weshalb sich Muskeln bewegen

Wie funktioniert ein Muskel im Detail? Wie gelingt es ihm, chemische Energie in Bewegung umzusetzen? Über den genauen Mechanismus hatten Biologen schon früh eine plausible Theorie entwickelt: Demnach schieben sich Bündel aus zwei miteinander verzahnten Proteinsorten ineinander – die dicken Myosin- und die dünnen Aktin-Filamente. Die Verzahnung bewirkt dann die Muskelbewegung.

Dass diese Theorie tatsächlich zutrifft, konnten Forscher des Europäischen Laboratoriums für Molekularbiologie (EMBL) in den späten 1970er Jahren beweisen – ein Durchbruch. Mit der gebündelten Synchrotronstrahlung aus dem DORIS-Beschleuniger machten sie die Proteinfäden in den Muskelfasern sichtbar. Das Resultat: Der eigentliche Motor der Muskelbewegung ist der Kopf des Myosinmoleküls. An seinem Ende sitzt ein kleiner Hebelarm, der unter Energieverbrauch in Sekundenbruchteilen umklappt. Diese Klappbewegung führt dann dazu, dass Aktin- und Myosin-Filamente ineinandergleiten – der Muskel zieht sich zusammen.



Oben: Erste biologische Experimente mit Synchrotronstrahlung – Beugungsbild eines Insektenflugmuskels, untersucht im DESY-Synchrotron (links) und mit einer herkömmlichen Röntgenquelle (rechts). Unten: Muskelzelle im Detail – die grüne Färbung markiert Bereiche des Riesenproteins Titin, seine Struktur haben Forscher des Europäischen Laboratoriums für Molekularbiologie (EMBL) an DORIS untersucht.



An DORIS wurden auch sogenannte Motorproteine analysiert, die in lebenden Zellen Nähr- oder Botenstoffe transportieren.

Den Ursachen von Alzheimer auf der Spur

Mit steigender Lebenserwartung wird sie immer mehr zum Volksleiden – die Alzheimer-Krankheit. Noch gibt es keine wirksame Therapie. Um eine Behandlungsmöglichkeit zu finden, versuchen Forscher die grundlegenden molekularen Mechanismen zu verstehen, die hinter dem Gedächtnisverlust stecken. Untersuchungen einer Max-Planck-Arbeitsgruppe bei DESY haben hierzu aufschlussreiche Ergebnisse gebracht. Mit dem intensiven Röntgenstrahl von DORIS analysierten die Forscher unter anderem das „Tau-Protein“. Es besitzt die wichtige Aufgabe, die Verkehrswege innerhalb einer Nervenzelle zu stabilisieren. Bei Alzheimer aber versagt das Tau-Protein seinen Dienst. Das Verkehrssystem der Zelle bricht zusammen, sie geht zugrunde. Außerdem verklumpen die Tau-Proteine miteinander und bilden dadurch einen Teil der schädlichen Ablagerungen, die sich als typisches Merkmal im Gehirn von Alzheimer-Kranken finden.

Den Forschern ist es gelungen, die dahintersteckenden molekularen Prozesse teilweise zu enträtseln. Nun sind sie Wirkstoffen auf der Spur, die eine Verklumpung der Proteine verhindern könnten – vielversprechende Kandidaten für ein Alzheimer-Medikament.

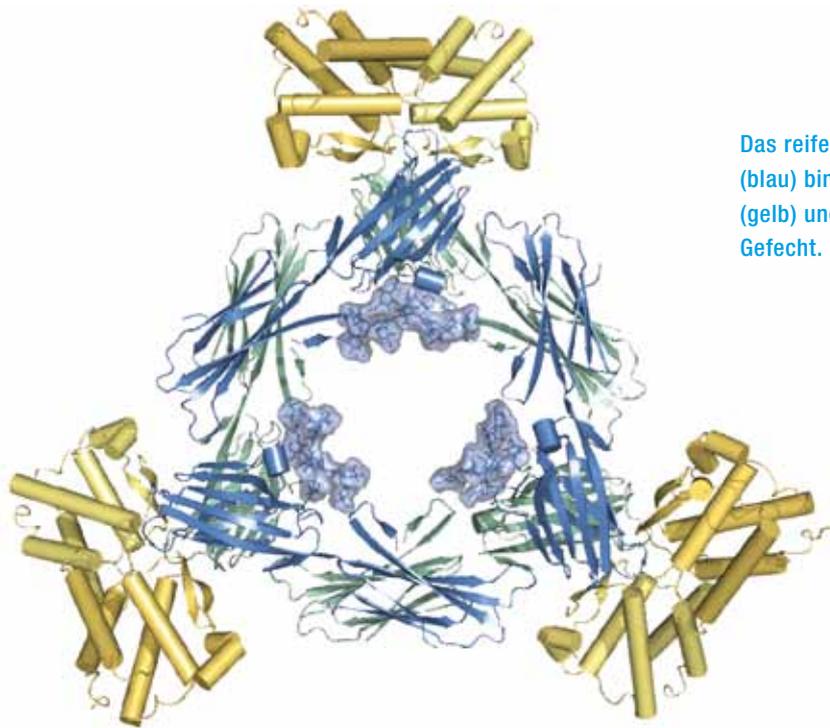
Kalziumpumpe mit Turbo-Schalter

Kalzium ist für viele Lebensprozesse unverzichtbar – sei es bei der Zellteilung, dem Tag-Nacht-Rhythmus oder der Zellkommunikation. Eine wichtige Rolle spielt dabei ein Molekülkomplex, der als Pumpe fungiert und Kalzium bei Bedarf vom Zellinneren nach außen pumpt. Wie diese Kalziumpumpe im Detail geschaltet wird, hat ein dänisch-britisches Forscherteam entschlüsselt – unter anderem mit Experimenten am Speicherring DORIS.

Das Ergebnis überraschte die Wissenschaftler: Statt wie erwartet nur die beiden Stellungen „An“ und „Aus“ besitzt die Pumpe eine dritte Einstellung, eine Art Turbo-Schalter. Er versetzt den Molekülkomplex in die Lage, deutlich mehr Kalzium aus der Zelle zu schaufeln – wichtig etwa bei ausgeprägten Stresssituationen, wenn sich besonders viel Kalzium in der Zelle angereichert hat. Die Entdeckung verbessert nicht nur das Verständnis eines fundamentalen Zellmechanismus, sondern könnte künftig bessere Therapien bestimmter Krankheiten ermöglichen, bei denen der Kalziumhaushalt gestört ist.



Um den Molekülkomplex der Kalziumpumpe mit Röntgenstrahlung untersuchen zu können, mussten ihn die Forscher zu winzigen Kristalle züchten.



Das reifenförmige Viren-Eiweiß (blau) bindet drei Immunproteine (gelb) und setzt sie dadurch außer Gefecht.

DORIS enthüllt Herpes-Angriffe

Herpes ist ein wahres Volksleiden. Nahezu jeder Erwachsene infiziert sich im Laufe seines Lebens mit einer Herpes-Variante, auch wenn längst nicht jeder krank wird. Doch wie attackiert das Virus das menschliche Immunsystem, um sich dauerhaft im Organismus einnisten zu können? Ein wichtiges Detail dazu konnte ein internationales Forscherteam enträtseln, unter anderem mit Hilfe von DORIS. Die Experten spürten eine wichtige Waffe des Epstein-Barr-Virus auf, einer weit verbreiteten Herpes-Variante. Das Epstein-Barr-Virus verursacht unter anderem das Pfeiffersche Drüsenfieber und steht im Verdacht, Krebs auszulösen.

Schon länger war bekannt, dass der Erreger ein bestimmtes Eiweiß produziert, mit dem er ein körpereigenes Protein des Immunsystems ausschaltet. Die DORIS-Experimente trugen maßgeblich dazu bei, diesen Mechanismus zu enträtseln: Und zwar blockiert das Viren-Eiweiß nicht wie erwartet die aktiven Bindungsstellen des menschlichen Proteins. Stattdessen greift es das Immunprotein an einer anderen Stelle an und „verbiegt“ es, sodass es nicht mehr funktioniert. Die Alarmkette der körpereigenen Immunabwehr ist lahmgelegt, das Virus kann sich einnisten. Das Ergebnis verspricht Ansatzpunkte für die Entwicklung neuer Medikamente.



DORIS und der Chemie-Nobelpreis

Ada Yonath erforschte in Hamburg den Aufbau der Ribosomen

Stockholm, 10. Dezember 2009. Aus den Händen von König Carl Gustaf von Schweden empfängt die Biochemikerin Ada Yonath gemeinsam mit zwei Fachkollegen den Nobelpreis für die Entschlüsselung der Struktur des Ribosoms. Entscheidende Versuche dazu waren der Israelin an DORIS gelungen. Mit dem Röntgenstrahl aus dem Hamburger Beschleuniger hatte sie das Ribosom unter die Lupe genommen – eines der zentralen Moleküle des Lebens.

“DESY provided us very generously with beamtime even back in the 1980s, when our project met with worldwide scepticism as it was widely assumed that the structure of the ribosome might never be determined.”

Prof. Ada E. Yonath, Nobelpreisträgerin 2009

Das Ribosom besteht aus mehreren Dutzend Einzelmolekülen und findet sich in jeder Zelle. Dort hat es eine besondere Funktion: Es fungiert als Fabrik für Eiweiße, indem es Aminosäuren zu größeren Molekülen verkettet – zu lebenswichtigen Proteinen. Nur: Wie im Detail funktioniert dieser Prozess? Um das zu verstehen, muss man die Struktur des Ribosoms präzise kennen – möglichst bis auf ein Atom genau. Die Methode, mit der sich das am besten erreichen lässt, ist die Röntgenkristallographie: Hierbei züchtet man zuerst einen Kristall aus den Molekülen, die man analysieren will. Dieser Kristall wird dann in einen intensiven Röntgenstrahl gehalten.

Aus den Messdaten lässt sich dann die genaue Gestalt des Moleküls rekonstruieren – im Idealfall Atom für Atom.

Das Problem für Ada Yonath: Ribosomen lassen sich nur höchst widerwillig in Kristallform zwingen. Deshalb ließ sich die Forscherin einen Trick einfallen: Aus dem Toten Meer, wo das Wasser extrem salzig und bis zu 60 Grad warm ist, isolierte sie spezielle Bakterien. Deren Ribosomen erwiesen sich tatsächlich als widerstandsfähig genug, um aus ihnen Kristalle zu züchten zu können. Diese Kristalle ließen sich schließlich mit dem Röntgenstrahl von DORIS präzise analysieren.

Innenansichten der Materie

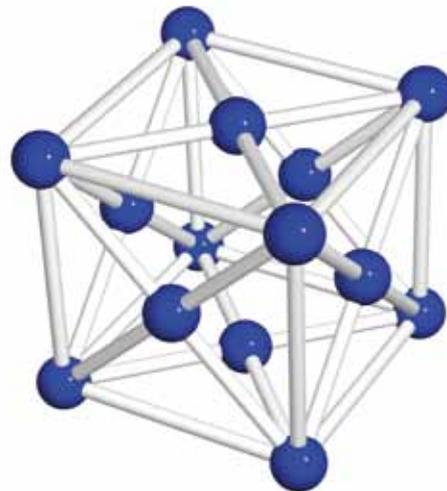
DORIS lieferte helles Licht für die Grundlagenforschung

Die hochintensive Synchrotronstrahlung von DORIS eignete sich vor allem für eines – die grundlegenden Eigenschaften von verschiedensten Substanzen zu erkunden. Die Strahlung erlaubte es, den mikroskopischen Aufbau von Materie detailliert unter die Lupe zu nehmen: Wie sind die Atome, aus denen sie besteht, angeordnet? Und wie reagieren diese Atome auf die ausgesprochen helle Synchrotronstrahlung? Auf diese Weise lieferte DORIS im Laufe der Zeit eine enorme Fülle an neuem Basiswissen.

Atomkerne im Gleichtakt

Was passiert, wenn man eine Eisenlegierung stark erhitzt? Die Antwort lieferte DORIS: Mit steigender Temperatur springen immer mehr Atome im Kristall hin und her – ein unerwünschter Effekt, der die Legierung entmischt und unbrauchbar macht. Die Messungen lieferten wichtige Informationen darüber, wie sich hitzebeständigere Materialien entwickeln lassen.

Auch die entsprechende Methode wurde bei DORIS mitentwickelt: die „Mößbauer-Spektroskopie“, benannt nach dem Physik-Nobelpreisträger Rudolf Mößbauer. Hierbei werden die Röntgenblitze aus dem Beschleuniger von den Atomkernen der Probe „verschluckt“ und nach kurzer Zeit wieder ausgesendet. Sitzen die Atome in der Materialprobe auf ihren Plätzen, findet dieser Prozess quasi im Gleichtakt statt. Fangen die Atome an, im Gitter zu springen, geht der Gleichtakt verloren. Das lässt sich präzise messen, und die Experten können daraus auf den Materialtransport in der Probe schließen.



In Kristallen sind die Atome (hier Eisen) zu einem Gitter angeordnet. Mit Synchrotronstrahlung lassen sich diese Gitterstrukturen detailliert untersuchen.

Magnetmaterialien unter der Superlupe

Synchrotronstrahlung ist nicht nur hell und gebündelt, sondern besitzt auch andere interessante Eigenschaften: So kann sie „zirkular polarisiert“ sein, also in einer bestimmten, kreisförmigen Ebene schwingen. 1987 gelang es einem Forscherteam an DORIS, diese Eigenschaft zur Untersuchung magnetischer Materialien auszunutzen – eine Weltpremiere.

Dass manche Stoffe magnetisch sind, hat einen mikroskopischen Grund: Ihre Atome besitzen einen bestimmten „Spin“, verhalten sich vereinfacht gesagt wie winzige Kompassnadeln. Synchrotronstrahlung kann diese Mikro-Kompassse genau unter die Lupe nehmen. Mit der an DORIS entwickelten Methode ließen sich die magnetischen Eigenschaften von Materialien erstmals im Maßstab von Atomen beobachten. Heute wird sie an mehreren anderen Speicherringen auf der Welt angewandt.

Basiswissen für Energiesparlampen

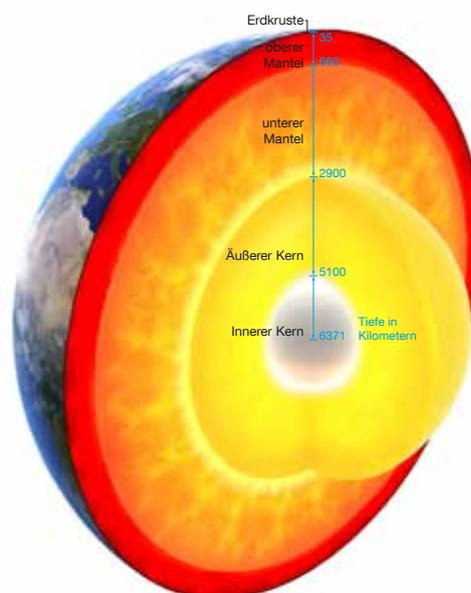
Energiesparlampen und Leuchtstoffröhren sind effiziente Lichtspender, enthalten jedoch geringe Mengen an giftigem Quecksilber. Als Ersatz könnten sich Edelgase wie Xenon eignen. Allerdings müssen dafür neue, speziell angepasste Leuchtstoffe entwickelt werden, welche die unsichtbare Strahlung des Xenons in sichtbares Licht umwandeln. Mithilfe der Synchrotronstrahlung von DORIS konnten Wissenschaftler dazu einige wichtige Grundlagen schaffen.

Konkret lieferte DORIS einen hochintensiven Ultraviolett-Strahl, der das Xenon quasi simulieren und potenziell geeignete Leuchtstoffe gezielt anregen konnte. Dadurch ließ sich unter anderem herausfinden, welche Stoffe sich am besten eignen und ob sie haltbar genug sind. Die Resultate halfen bei der gezielten Erforschung neuer Leuchtstoffe.

Röntgen unter Hochdruck

2000 Grad Celsius, 250 000facher Atmosphärendruck – derartige Bedingungen finden sich in den Tiefen unseres Planeten. Um genau zu verstehen, wie sich die Mineralien im Erdinneren verhalten, haben Geoforscher die Extremverhältnisse im Labor simuliert. Mit Stempeln pressten sie Gesteinsproben von mehreren Seiten zusammen. Dann schossen sie den gebündelten Röntgenstrahl von DORIS in die Probe.

Die Messung der abgelenkten Röntgenstrahlung verriet, wie sich die Kristallstruktur des Minerals unter Hochdruck verändert. So entdeckten die Experten, dass sich Olivin, ein Bestandteil des Erdmantels, unter Druck in das Mineral Spinell umwandelte. Ferner untersuchten sie, wie zähflüssig künstliches Magma bei bestimmten Drücken ist – wichtig um zu verstehen, wie sich Magma unter einem Vulkan sammelt.

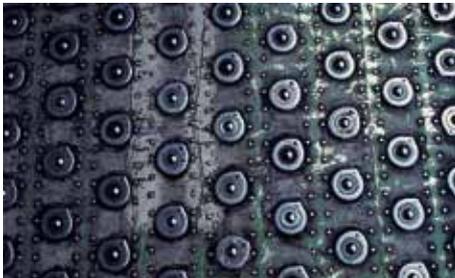


Im Inneren der Erde herrschen extreme Bedingungen. An DORIS konnten Geoforscher diese Bedingungen simulieren und Mineralproben mit Röntgenstrahlung analysieren.

Neue Schweißverfahren für den Flugzeugbau

Das Helmholtz-Zentrum Geesthacht betreibt Materialforschung bei DESY

Möglichst leicht und zugleich möglichst stabil. So lautet die Devise für moderne Metallwerkstoffe, ob sie nun im Flugzeugbau, in der Autoindustrie oder für regenerative Energien zum Einsatz kommen. Doch um sie für ihren jeweiligen Zweck maßschneidern zu können, müssen Materialforscher ihre innere Struktur so detailliert wie möglich kennen. Wie sind die Atome miteinander verbunden, und haben sie winzige Risse oder Poren?



Im Flugzeugbau wird die klassische Verbindungstechnik des Nietens zunehmend durch Schweißverbindungen ersetzt. Für die im Flugzeugbau verwendeten Aluminiumlegierungen eignet sich insbesondere das Reibrührschweißen, das an DORIS optimiert wurde.

Manche Antworten darauf gaben Experimente an DORIS, bei denen die Materialien mit intensivem Röntgenlicht bestrahlt wurden. So konnten Experten des Helmholtz-Zentrums Geesthacht (HZG) in ihrer Außenstelle bei DESY quasi live verfolgen, wie eine Schweißnaht entsteht. Möglich machte das eine vom HZG entwickelte Apparatur, bei der ein ferngesteuerter Roboter Metallplatten zusammenschweißte, während der Röntgenstrahl aus dem Beschleuniger den Prozess durchleuchtete und damit sichtbar machte, was im mikroskopischen Detail geschieht.

Damit ließen sich neue Verfahren wie das „Reibrührschweißen“ optimieren, welches sich

zum Verbinden von Aluminiumteilen eignet. Dabei erwärmt ein spezieller Kopf das Material durch Reibung derart, dass es weich wird und verrührt werden kann. Erstarrt es gleich darauf wieder, kann eine hochfeste Schweißnaht entstehen.

Um diesen Prozess zu optimieren, muss man verstehen, wie sich das Material abhängig von der Rührgeschwindigkeit verändert – was mit dem intensiven Röntgenstrahl von DORIS möglich war. Interessant ist das Verfahren unter anderem für den Flugzeugbau. Heute werden die Jets überwiegend noch genietet. In Zukunft könnte man sie komplett schweißen – was die Jets leichter machen und die Produktionskosten senken würde.

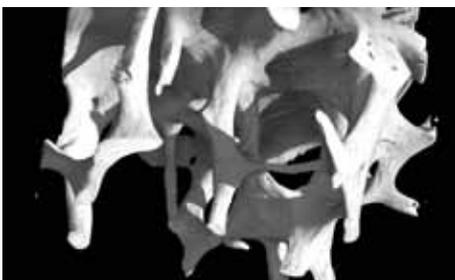
Scharfe Röntgenbilder in 3D

Mikrotomographie mit Synchrotronstrahlung

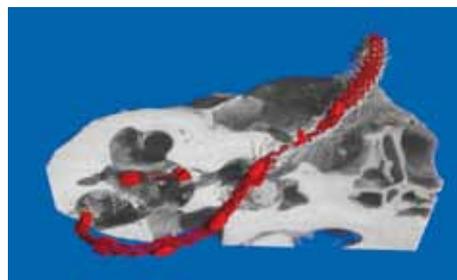
Die Methode ähnelt dem Computertomographen im Krankenhaus – einem Röntgenapparat, der dreidimensionale Bilder aus dem Körperinneren liefert. Doch verwendet man statt der in der Klinik üblichen Röntgenröhren einen Speicherring als Strahlungsquelle, lassen sich extrem detailgetreue Aufnahmen machen – mit Auflösungen von zum Teil unter einem Mikrometer. Für die Grundlagenforschung ist die Mikrotomographie mit Synchrotronstrahlung ein wertvolles Werkzeug. Ähnlich wie bei einem Computertomographen wird zunächst eine Reihe von zweidimensionalen Schattenbildern aufgenommen. Diese fügt ein Rechner dann zu einem 3D-Bild zusammen.

Bei DORIS wurde das Verfahren mit erfunden, viele Jahre lang angewendet und dabei stetig weiterentwickelt. Die Liste der untersuchten Objekte ist vielfältig und faszinierend: Unter anderem konnten Materialforscher sichtbar machen, wie und wohin jenes Metall, das bei einem Schweißprozess zwangsläufig schmilzt, im Detail fließt. Auch die genaue Struktur von Faserplatten, wie sie zur Möbelherstellung verwendet werden, ließ sich mit der Methode enträtseln. Doch auch für die Biologie taugt die Methode: So konnten Wissenschaftler kleinste Details des

Knocheninneren sichtbar machen, etwa den Verlauf von Blutbahnen oder „Stützpfählern“ (Trabekeln) – wichtig für das grundlegende Verständnis von Knochenkrankungen wie der Osteoporose. Ferner nahmen sie die Feinheiten des Innenohrs unter die Lupe, blickten ins Innere von Dinosaurierfossilien, Amphibienschädeln, Schwämmen und Wespen. Heute kommt die Methode an mehreren Speicherringen zum Einsatz und wird insbesondere bei PETRA III von einer internationalen Nutzerschaft als Messverfahren für die Materialforschung verwendet.



3D-Bild einer Knochenstruktur. Im Vergleich zu Computertomographen im Krankenhaus bietet die Mikrotomographie mit Synchrotronstrahlung eine tausendmal höhere Auflösung.



Die Mikrotomographie zeigt die exakte Platzierung eines Ohr-Implantats und die Struktur von Innenohr und Schläfenbein.



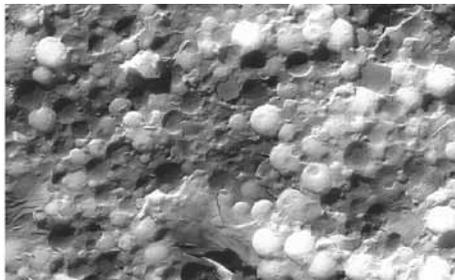
DORIS und die Industrie

Perspektiven für optimale Produktentwicklung

Auch die Wirtschaft hat das Potenzial der gebündelten Röntgenstrahlung von DORIS erkannt und für sich genutzt: Im Laufe der Zeit haben Unternehmen der verschiedensten Branchen am Hamburger Speicherring experimentiert. Besonders hilfreich war DORIS für Unternehmen, die Katalysatoren herstellen. Die Experimente mit Synchrotronstrahlung halfen Firmen wie Umicore, Haldor Topsøe und IFP, ihre Produkte effizienter zu machen – Katalysatoren etwa für die Abgasreinigung, die chemische Industrie sowie die Petrochemie.

„Emulgatoren stabilisieren unsere Emulsionen – Gemische aus Öl und Wasser – und bilden dabei übermolekulare Strukturen. Die Charakterisierung dieser Strukturen unter anderem durch Synchrotronstrahlung ist für die fortlaufende Verbesserung unserer Produkte im Hinblick auf eine optimale Balance zwischen Wirkung und Verträglichkeit unabdingbar.“

Prof. Dr. Klaus-Peter Wittern, Leiter Beiersdorf Forschung & Entwicklung



Rasterelektronenmikroskopische Aufnahme einer Wasser-Öl-Emulsion (Nivea)

Cleverer Kosmetik

Sie stecken in jeder Hautcreme: Emulsionen sind Wasser-Öl-Gemenge, wobei entweder das Öl als feinste Tröpfchen im Wasser verteilt ist oder aber das Wasser im Öl. Da sich allerdings beide Stoffe nicht mischen, braucht es einen Emulgator, der die Emulsion stabilisiert. Wie sich der Hilfsstoff im mikroskopischen Detail verhält, haben Forscher der Beiersdorf AG mit dem intensiven Röntgenstrahl von DORIS erkundet. Unter anderem halfen die Messungen herauszufinden, wie viel Emulgator in einer Creme stecken sollte, damit sie bei Hitze nicht allzu sehr zerfließt.

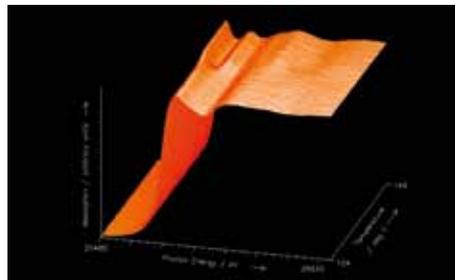
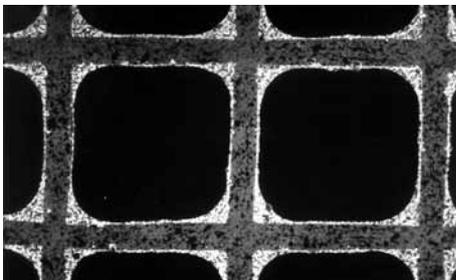
Haltbare Halogenlampen

Um die Langlebigkeit ihrer Produkte zu steigern, bedienten sich Experten des Leuchtmittelherstellers OSRAM einer speziellen Röntgenmethode am DORIS-Speicherring. Damit konnten sie enträtseln, wie eine handelsübliche Halogenlampe im Detail glüht – und gewannen interessante Hinweise, wie sich deren Haltbarkeit steigern lässt. Bevor eine Halogenlampe ins Ladenregal gelangt, wird sie in der Fabrik vorgeglüht. Dabei wachsen die ursprünglich sehr kleinen Kristallite, aus denen die Wolfram-Glühwendel besteht, zu größeren Körnchen zusammen – was den Glühfaden stabiler und damit haltbarer macht. Diesen Prozess konnten die Fachleute in Hamburg genau beobachten und dabei wichtige Rückschlüsse für die Verbesserung ihrer Produktionsmethoden ziehen.

Katalysatoren im Röntgenblick

Langjährige Zusammenarbeit mit dänischem Unternehmen

Die dänische Firma Haldor Topsøe stellt Katalysatoren her – Stoffe, die chemische Reaktionen beschleunigen und ohne die die meisten Prozesse in Chemiefabriken und Ölraffinerien nicht laufen würden. Drei Jahrzehnte lang kam das Unternehmen regelmäßig an den DORIS-Speicherring, um seine Proben mit dem intensiven Röntgenstrahl zu analysieren. Einer der Hauptverantwortlichen war der Haldor Topsøe-Manager Alfons Molenbroek.



In Zusammenarbeit mit Industrieunternehmen werden im HASYLAB verschiedene Katalysatoren untersucht. Links: Dünnschnitt durch einen Diesel-Katalysator, rechts: Absorptionsmessdaten zur Modellierung der Katalysatormikropartikel.

Wie sahen Ihre Experimente in Hamburg aus?

A. Molenbroek: Die Katalysatoren haben wir bei uns in Dänemark hergestellt. In der Apparatur in Hamburg konnten wir dann die entsprechenden chemischen Reaktionen ablaufen lassen und sie dabei mit dem intensiven Röntgenlicht aus dem Beschleuniger unter die Lupe nehmen. Damit konnten wir dem Katalysator quasi bei der Arbeit zuschauen, und zwar mit einer so hohen Auflösung, dass sich sogar das Verhalten einzelner Atome erkennen ließ.

Welche Proben haben Sie untersucht?

A. Molenbroek: Zum Beispiel Katalysatoren, die die Industrie für die Herstellung von Methanol benötigt. Diese Katalysatoren enthalten Stoffe wie Kupfer, Zinkoxid und Tonerde. Mit der

Synchrotronstrahlung von DORIS konnten wir unter anderem feststellen, wie sich die Größe und auch die Form der kleinen Kupferteilchen während der Reaktion verändern – eine wichtige Information für uns.

Was waren die wichtigsten Erkenntnisse, inwieweit haben Sie von den Versuchen bei DORIS profitiert?

A. Molenbroek: Die Experimente haben dazu beigetragen, die Funktionsweise unserer Produkte besser zu verstehen. Konkret haben wir versucht, unsere Katalysatoren zu optimieren. Um das zu schaffen, mussten wir möglichst genau wissen, wie sie im Detail funktionieren. Das haben wir mit einer ganzen Reihe von analytischen Methoden gemacht. Die Untersuchungen mit dem Röntgenstrahl von DORIS waren dabei ein wichtiges Teil des Puzzles.

Van Gogh im Speicherring

DORIS enträtselt die Geheimnisse alter Kunstschätze

Steckt unter einem alten Gemälde vielleicht ein anderes Motiv, das der Meister irgendwann übermalt hatte? Ist das Werk überhaupt echt? Und wie haben sich die Farben im Laufe der Jahrhunderte verändert? Fragen, die nicht nur Kunsthistoriker interessieren. Raffinierte Röntgenverfahren am DORIS-Speicherring haben viele aufschlussreiche Antworten geliefert.



Der Röntgenstrahl von DORIS machte verborgene Gemälde sichtbar – etwa das Porträt einer Bauersfrau, die Vincent van Gogh mit dem Motiv einer Sommerwiese übermalte.

So hatten Fachleute die Echtheit eines Blumenstilllebens von Vincent van Gogh bezweifelt – es besitzt eine außergewöhnliche Größe, zudem prangt die Signatur an ungewohnter Stelle. Deshalb wurde das Gemälde ab 2003 nicht mehr dem berühmten Niederländer zugeschrieben, sondern einem unbekanntem Künstler. 2012 jedoch nahm es ein internationales Expertenteam noch mal genauer unter die Lupe – unter anderem mit einer neuen Röntgenmethode bei DORIS. Und tatsächlich: Das Verfahren konnte zeigen, dass die Farbpigmente exakt jenen entsprachen, die van Gogh auch sonst benutzt hatte. Außerdem konnten die Forscher die typische Pinselführung des Meisters in einem Motiv erkennen, das er mit dem Stillleben übermalt hatte. Nun darf der Besitzer, das niederländische Kröller-Müller-Museum, das „Stillleben mit Wiesenblumen und Rosen“ wieder als echten van Gogh ausweisen.

Auch ein anderes Rätsel konnte DORIS lösen helfen: Lange hatten sich Kunstexperten gewundert, dass die Leuchtkraft mancher Meisterwerke stetig abnahm: So hatte sich das strahlende Gelb der van Gogh'schen Sonnenblumen allmählich in ein ausdrucksloses Braun verwandelt. Aufschluss brachten Untersuchungen unter anderem an DORIS: Sie zeigten, wie sich das entscheidende Farbpigment – Chromgelb – chemisch verändert hatte und dass dabei Licht sowie Stoffe aus anderen Farbpigmenten entscheidend beteiligt waren. Später ermittelten die Forscher, dass vor allem grünes und blaues Licht einen ungünstigen Einfluss hat. Ihr Tipp: Um ein weiteres Nachdunkeln der Werke zu vermeiden, sollte man sie in den Museen besser nicht mit LED-Lampen beleuchten. Deren Spektrum nämlich enthält relativ starke und damit schädliche Blautöne.

Ur-Schmiede in Nordeuropa

An DORIS untersuchten Archäologen Beile aus der Stein- und Bronzezeit

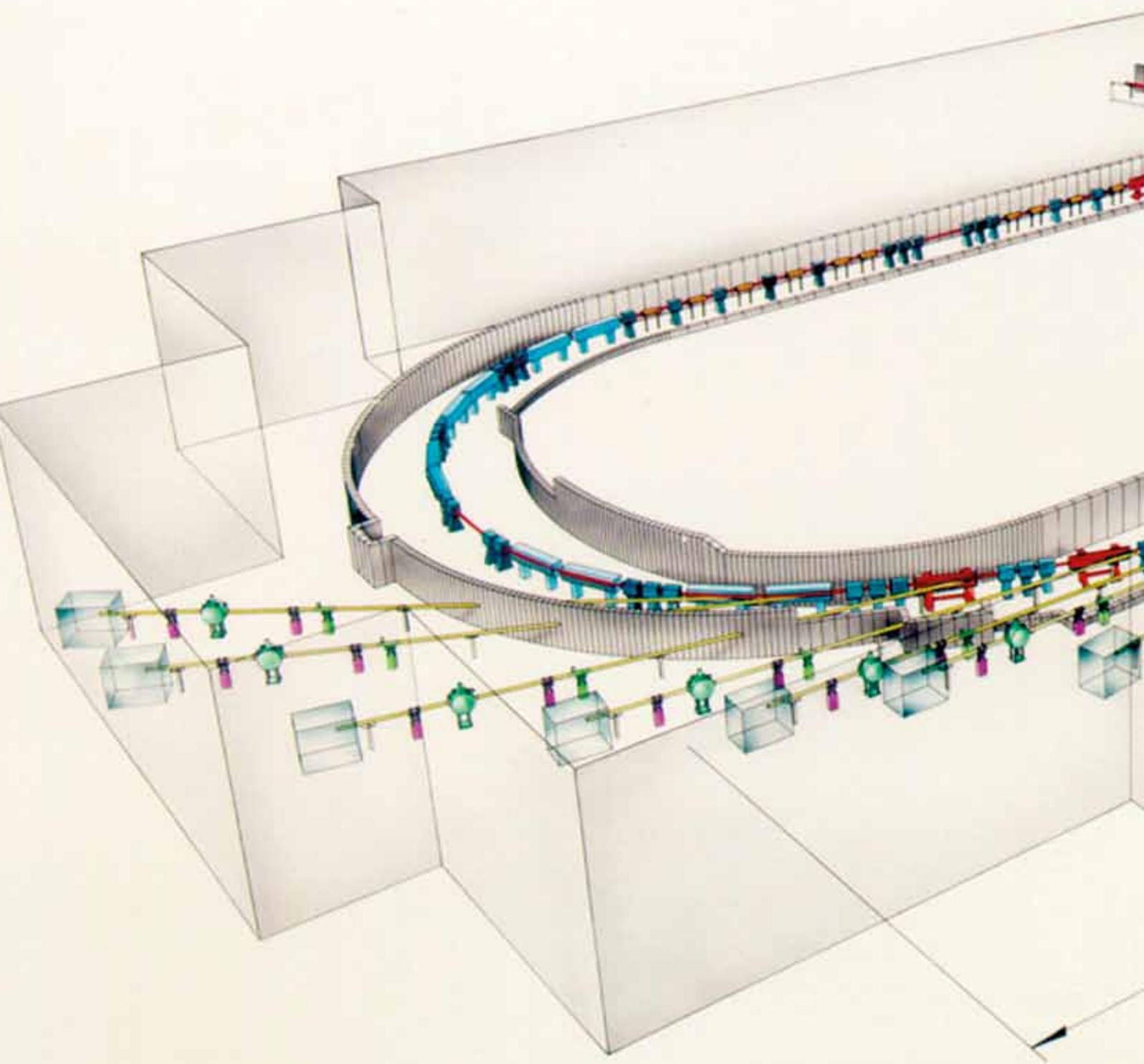
Gräber gelten als die Schatztruhen der Archäologen. Dort finden sie immer wieder Gegenstände, die spannende Details über das Leben und die Bräuche unserer Vorfahren verraten. In der Stein- und Bronzezeit (2500–1350 v. Chr.) waren Beile als Waffen in Gräbern oder als Werkzeuge in Opfern sehr beliebt. Doch sind die Funde echt oder nur eine Fälschung? Eine durchaus relevante Frage, denn im 19. Jahrhundert wurden manchmal Imitate heimlich zu einem Grab-Ensemble hinzugefügt, um den Fund gegenüber den Behörden aufzuwerten.

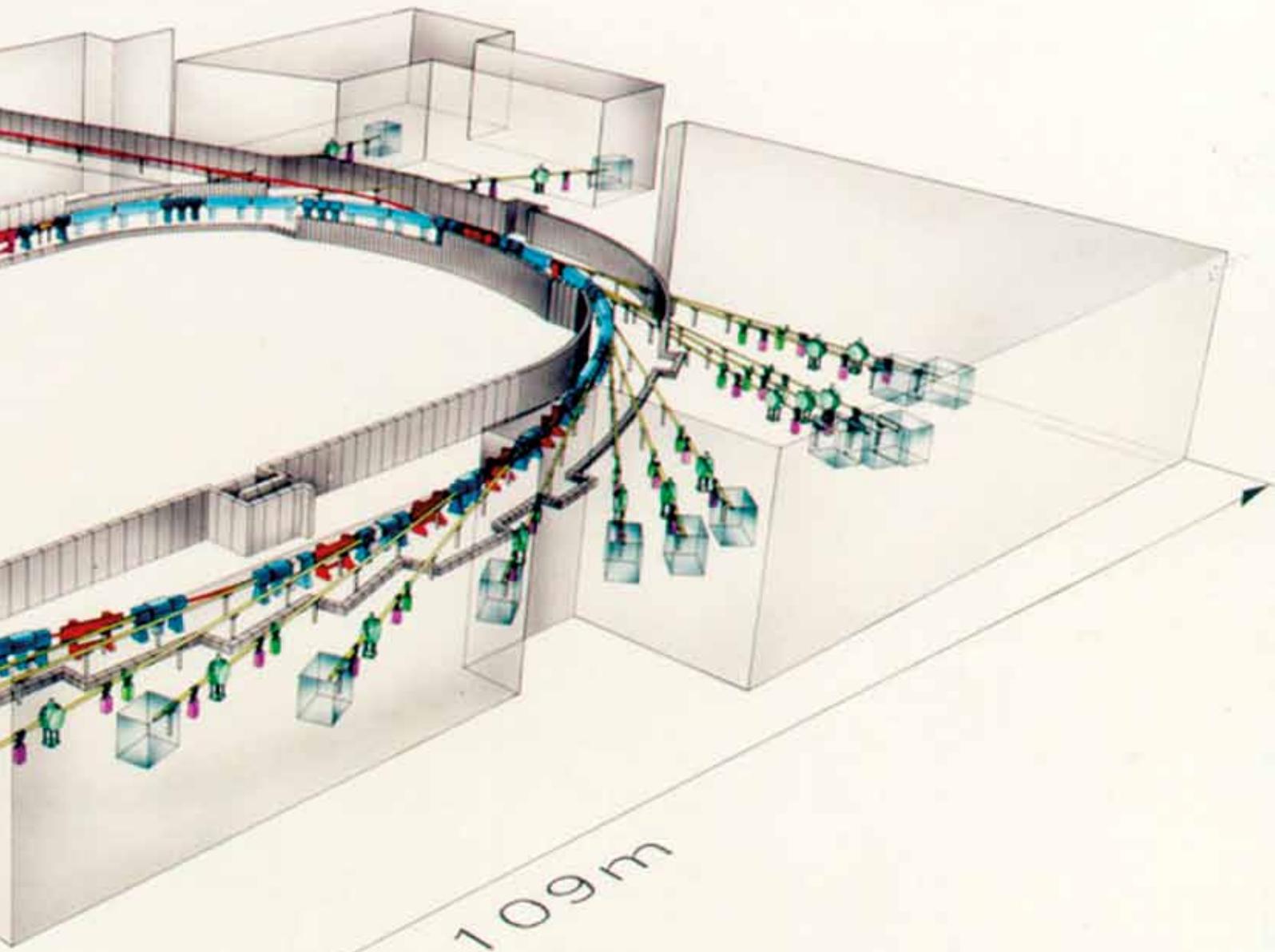
Nur: Wie unterscheidet man zwischen echt und falsch? Zufällig kamen Experten des Archäologischen Landesmuseums Schloss Gottorf mit DESY-Physikern ins Gespräch – und entdeckten die Synchrotronstrahlung als geeignete, weil zerstörungsfreie Analyseverfahren. An DORIS untersuchten die Archäologen die chemische Zusammensetzung sowie die mikroskopische Struktur der Funde. Dabei fanden sie heraus, dass es sich bei einigen Exemplaren tatsächlich um Fälschungen handelt: Der Zinnanteil war viel zu hoch. Außerdem fanden sich Schmiedespuren auf der Oberfläche, aber keine Verformungen im Materialinneren. Die Schlussfolgerung: Offenbar handelt es sich um Abgüsse von alten Beilen. Außerdem sind die Experten einem weiteren Rätsel auf der Spur: Aus dem Europa

der späten Steinzeit sind speziell geformte Steine bekannt. Wurden sie womöglich zum Schmieden benutzt – in der Steinzeit eine revolutionäre Technik? Um das zu klären, fertigten die Archäologen Repliken der Steine an, um testweise damit zu schmieden. Anschließend wurden die angefertigten Beile im Röntgenstrahl von DORIS mit den Originalen verglichen. Dadurch erhielten die Fachleute Hinweise, ob die Werkzeugabdrücke und auch die inneren Strukturen der Originale identisch sind mit denen der selbstgeschmiedeten Nachbildungen. Die Resultate der Forschungen, die an PETRA III fortgeführt werden, können eine hochinteressante Frage beantworten helfen: Ab wann wurde in unseren Breiten Metall geschmiedet, um Waffen und Werkzeuge härter und stabiler zu machen?



Kultgegenstand, Werkzeug oder Waffe? Auch das „Beil von Ahneby“ kam bei DESY unter die Röntgenlupe. Es stammt aus der Bronzezeit.





1991 ging DORIS III in Betrieb und bot vielfältige Möglichkeiten, mit Synchrotronstrahlung zu experimentieren.

- DORIS: Ringbeschleuniger für Elektronen und Positronen
- Länge: 289 m
- Inbetriebnahme: 1974
- 1974 – 1992: Teilchenphysik und Forschung mit Synchrotronstrahlung
- 1993 – 2012: Quelle für Synchrotronstrahlung
- 36 Messplätze mit 45 im Wechsel betriebenen Instrumenten

IMPRESSUM

Herausgeber

Deutsches Elektronen-Synchrotron DESY
Ein Forschungszentrum
der Helmholtz-Gemeinschaft

Standort Hamburg:

Notkestraße 85, D-22607 Hamburg
Tel.: +49 40 8998-0, Fax: +49 40 8998-3282
desyinfo@desy.de, www.desy.de

Standort Zeuthen:

Platanenallee 6, D-15738 Zeuthen
Tel.: +49 33762 7-70, Fax: +49 33762 7-7413
desyinfo.zeuthen@desy.de

Autor

Frank Grotelüschen, Hamburg

Realisation und Redaktion

Ute Wilhelmsen

Gestaltung und Produktion

Monika Illenseer

Fotos und Grafiken

Archäologisches Landesmuseum der Stiftung Schleswig-Holsteinische Landesmuseen,
Schleswig; Lars Berg, Münster; Bohm und Nonnen, Darmstadt; DESY; EMBL, Heidelberg;
form one®, Hamburg; Peter Ginter, Lohmar; Helmholtz-Zentrum Geesthacht;
illustrato / Jochen Stuhmann, Hamburg; iStockphoto; Heiner Müller-Elsner, Hamburg;
Savvas Savvides, Universität Gent; Manfred Schulze-Alex, Hamburg;
Henning Tidow, Universität Aarhus; TU Delft; Marco Urban, Berlin

Druck

Heigener Europrint GmbH, Hamburg

Redaktionsschluss

April 2013

Nachdruck, auch auszugsweise, unter Nennung der Quelle gerne gestattet.

Frauen und Männer sollen sich von dieser Publikation gleichermaßen angesprochen fühlen.
Allein zur besseren Lesbarkeit werden häufig geschlechterspezifische Formulierungen auf die
maskuline Form beschränkt.

Wir danken allen, die an der Entstehung dieser Broschüre mitgewirkt haben, für ihre tatkräftige Unterstützung. ●



Frischekick für das Gehirn: Der Tischkicker in der HASYLAB-Halle wurde für kreative Pausen gern genutzt.



Deutsches Elektronen-Synchrotron Ein Forschungszentrum der Helmholtz-Gemeinschaft

In der Helmholtz-Gemeinschaft haben sich 18 naturwissenschaftlich-technische und medizinisch-biologische Forschungszentren zusammengeschlossen. Ihre Aufgabe ist es, langfristige Forschungsziele des Staates und der Gesellschaft zu verfolgen. Die Gemeinschaft strebt nach Erkenntnissen, die dazu beitragen, die Lebensgrundlagen des Menschen zu erhalten und zu verbessern. Dazu identifiziert

und bearbeitet sie große und drängende Fragen von Gesellschaft, Wissenschaft und Wirtschaft durch strategisch-programmatisch ausgerichtete Spitzenforschung in sechs Forschungsbereichen: Energie, Erde und Umwelt, Gesundheit, Schlüsseltechnologien, Struktur der Materie sowie Luftfahrt, Raumfahrt und Verkehr.

www.helmholtz.de

