




WIR MACHEN  
ERKENNTNIS  
MÖGLICH.







Das Deutsche Elektronen-Synchrotron DESY ist eines der weltweit führenden Beschleunigerzentren zur Erforschung der Materie. DESY entwickelt, baut und nutzt Beschleuniger und Detektoren für die Forschung mit Photonen und die Teilchenphysik. DESY ist ein mit öffentlichen Mitteln finanziertes nationales Forschungszentrum und Mitglied der Helmholtz-Gemeinschaft.



# Inhalt

<b>00: VORWORT</b> Zurück in die Zukunft	4
<b>01: GRÜNDUNG</b> Physik auf dem Schleifstein	6
<b>02: SYNCHROTRON</b> Die ersten Teilchen kreisen	14
<b>03: DORIS</b> Elektronen im Dauerlauf	20
<b>04: PETRA</b> Mit Karacho auf Kollisionskurs	28
<b>05: HASYLAB</b> Vom Bunker zum Großlabor	40
<b>06: HERA</b> Der Gigant von Bahrenfeld	50
<b>07: ZEUTHEN</b> Forschen am See	58
<b>08: FLASH</b> Weltrekord-Laser aus Hamburg	66
<b>09: PETRA III</b> Superleuchte für Röntgenlicht	76
<b>10: EUROPEAN XFEL</b> Freier Flug für freie Elektronen	84
<b>11: LHC</b> Teilchen-Exkursion nach Genf	92
<b>12: ILC</b> Heiße Pläne, kalte Entscheidung	100
<b>13: DESY</b> Die Kräfte hinter den Kulissen	108





DESY wird 50

# ZURÜCK IN DIE ZUKUNFT



Wissenschaftler richten ihren Blick normalerweise nach vorne. Das ist berufsbedingt – schließlich geht es in der Spitzenforschung darum, unbekanntes Terrain zu erkunden, grundlegend Neues zu finden und Antworten auf bohrende Fragen zu finden, die unsere Zukunft maßgeblich bestimmen. Manchmal aber lohnt sich auch der Blick zurück, in die Geschichte der Forschung. Die nämlich kann überaus spannend sein – so wie die Historie des Forschungszentrums DESY mit seinen Standorten Hamburg und Zeuthen.

Am 18. Dezember 1959, also vor 50 Jahren, wurde im Hamburger Rathaus die Gründungsurkunde für das „Deutsche Elektronen-Synchrotron“ unterzeichnet. Damals dachte man an ein nationales Zentrum für die Teilchenphysik, ein gemeinsames Dach für vielleicht zwei- bis dreihundert Spezialisten. Doch im Nachhinein muss man feststellen: Die Gründer waren viel zu bescheiden! Heute nämlich ist DESY ein unglaublich vielfältiges und innovatives Forschungszentrum.

Etwa 3000 Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler aus aller Welt arbeiten hier oder kommen regelmäßig als Gastforscher nach Hamburg und Zeuthen. Sie befassen sich mit den unterschiedlichsten Gebieten: Die einen suchen nach den kleinsten Elementarteilchen, also den Grundbausteinen der Welt – sei es mit riesigen, technologisch hochgerüsteten Beschleunigern und Messgeräten, sei es mit Papier, Bleistift und superschnellen Computern.

Andere enträtseln, wie winzige Eiweißmoleküle im Detail funktionieren – essenzielle Erkenntnisse für die Medikamente von morgen. Wieder andere schaffen wichtige Grundlagen der Nanotechnologie, analysieren Materialien mit völlig neuen Eigenschaften oder sind dabei, regelrechte Liveberichte aus der Nanowelt zu schalten.

Wie DESY im Laufe der Jahrzehnte zu dem wurde, was es heute ist, erfahren Sie in dieser Broschüre. Gleich einer Zeitmaschine geht es durch die verschiedenen Epochen – von den bescheidenen Anfängen in den 1960er Jahren über den Bau des Riesenbeschleunigers HERA in den 1980ern bis zu den hellsten Röntgenlampen der Welt, die heute und in Zukunft die internationale Expertengemeinde in Scharen anlocken. Und spannend, manchmal sogar amüsant, sind insbesondere die Geschichten hinter der Geschichte. Denn mit schöner Regelmäßigkeit „passierte“ bei DESY der Fortschritt nicht auf geraden Bahnen, sondern auf durchaus verschlungenen Pfaden, betreten von Persönlichkeiten, denen man mit Fug und Recht Charakter attestieren darf.

Nach Wilhelm von Humboldt hat nur derjenige eine Zukunft, der seine Vergangenheit kennt. In diesem Sinne richten wir Wissenschaftler auch mal den Blick zurück zu den eigenen Wurzeln. Ich hoffe, dass dies auch für Sie lohnend ist.



Ihr Helmut Dosch



### LABORBUCHEINTRAG

50 JAHRE BEWEGTE UND GELEBTE GESCHICHTE BEI DESY BEDEUTEN NICHT NUR NEUE KAPITEL FÜR PHYSIK-LEHRBÜCHER, SONDERN AUCH UNZÄHLIGE GEFÜLLTE LOGBÜCHER, LABORBÜCHER, NOTIZBÜCHER, SCHREIBTISCHUNTERLAGEN UND TAFELN VOLL MIT IDEEN, ERGEBNISSEN UND PROTOKOLLEN. IN DEN FRÜHEN JAHREN WAREN ES NOCH KILOSCHWERE, MIT INZWISCHEN VERGILBTEN AUSDRUCKEN VON DIAGRAMMEN VERSEHENE WÄLZER. HEUTE SIND ES ELEKTRONISCHE LOGBÜCHER, DIE DEN BESCHLEUNIGERSTATUS ODER DIE SCHICHT AM DETEKTOR DOKUMENTIEREN. DIE BROSCHÜRE ZU DESYS 50-JÄHRIGEM JUBILÄUM STEHT IN DIESER TRADITION – VIEL SPAß BEIM EROBERN UNSERES LABORBUCHS!







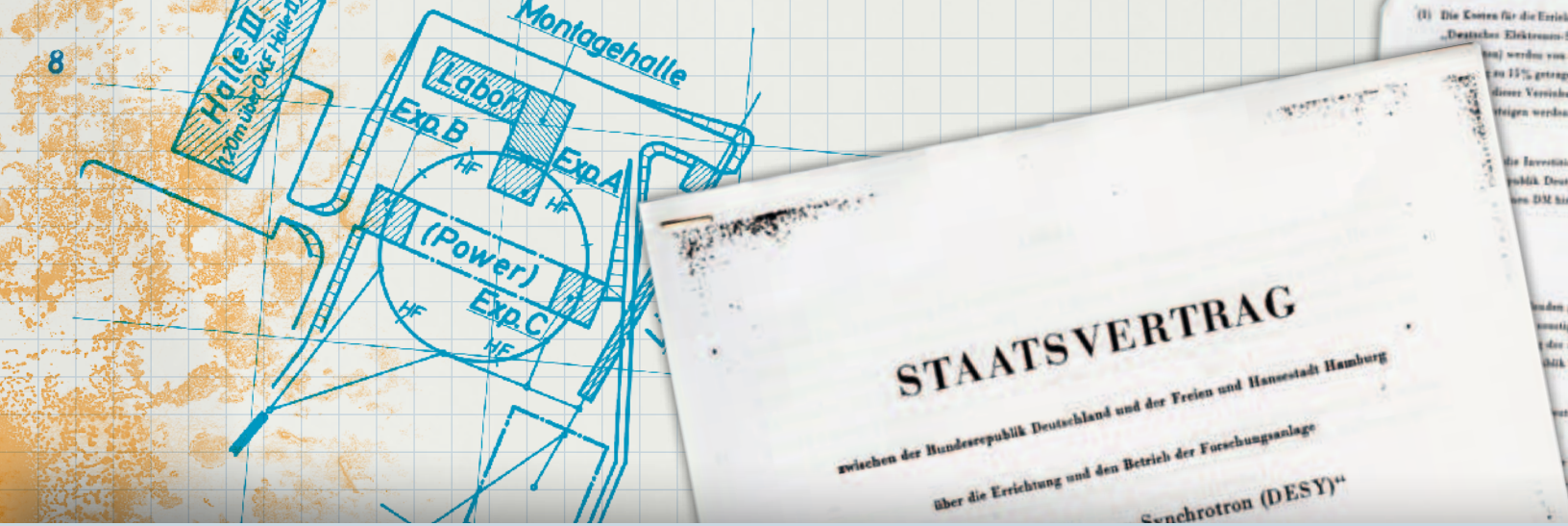


01: GRÜNDUNG

Wie DESY auf einem ehemaligen Exerzierplatz entstand

# PHYSIK AUF DEM SCHLEIFSTEIN





# Physik auf dem Schleifstein

Wie DESY auf einem ehemaligen Exerzierplatz entstand

Hamburg, 18. Dezember 1959. Im Rathaus fand eine kleine, aber bedeutende Zeremonie statt: Mit feierlicher Miene setzten Siegfried Balke, Bundesminister für Atomenergie und Wasserwirtschaft, und der Hamburger Bürgermeister Max Brauer ihre Unterschriften unter einen Staatsvertrag. Mit der Urkunde wurde die Gründung eines neuen Forschungszentrums besiegelt: Das Deutsche Elektronen-Synchrotron DESY, eine selbstständige Stiftung bürgerlichen Rechts, sollte erforschen, aus welchen Grundbausteinen Materie besteht und was die Welt im Innersten zusammenhält.

Die eigentliche Geschichte aber begann früher, Mitte der fünfziger Jahre. Überall in der Welt hatten Forscher und Politiker erkannt, dass sich gerade ein neues, höchst spannendes Wissenschaftsfeld aufat, das viele grundlegende Entdeckungen versprach – die Teilchenphysik. Die USA dominierten das junge Feld, hier gab es bereits einige Beschleunigerzentren. Um nicht den Anschluss zu verlieren, hatten die Europäer 1954 das CERN in Genf gegründet, das Europäische Zentrum für Kernforschung. Um ihren Physikern auch im eigenen Land Forschungsmöglichkeiten zu bieten, planten Länder wie Frankreich und Italien eigene, nationale Beschleuniger.



ung der Forschungsanlage sowie die Personal- und Sachausgaben der Stiftung  
Synchrotron (DESY) während der Bauzeit der Forschungsanlage (Investi-  
tion der Bundesrepublik Deutschland zu 50%, und von der Freie und Hansestadt  
Hamburg zu 50%). Die Bundesrepublik Deutschland und die Freie und Hansestadt Hamburg  
sind davon einverstanden, daß die Investitionskosten des Betrag von 60 Millionen DM

Investitionskosten über den Betrag von 60 Millionen DM hinaus erhöhen, so werden  
die Bundesrepublik Deutschland und die Freie und Hansestadt Hamburg über die Aufbringung des  
zusätzlichen Betrags einzeln verhandeln.

Artikel 2

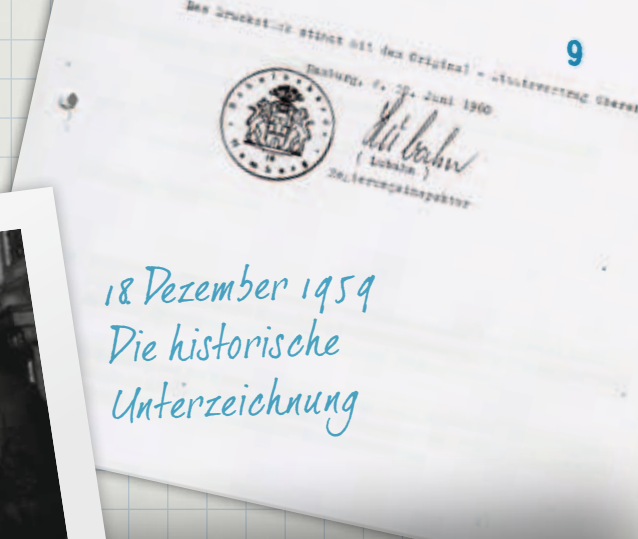
Es geht davon aus, daß die Kosten für  
den Betrieb der Anlage (Betriebskosten) von der Bundesrepublik  
Deutschland getragen werden.

Die Bundesrepublik Deutschland übernimmt die Hälfte der Investitionskosten

Die Freie und Hansestadt Hamburg übernimmt die Hälfte der Investitionskosten



18. Dezember 1959  
Die historische  
Unterzeichnung



Auch die deutschen Physiker wollten nicht zurückstehen. Die Umstände für die Gründung eines eigenen Teilchenforschungszentrums schienen günstig. Deutschland hatte gerade einen Teil seiner Souveränität zurückerhalten. Und das noch junge, damals für die physikalische Grundlagenforschung zuständige Bundesministerium für Atomkernenergie und Wasserwirtschaft hatte Geld und ein offenes Ohr für ein neues wissenschaftliches Großprojekt.

Nur: Wie sollte dieses Projekt aussehen? Diese Frage sollte auf einer Konferenz in Genf im Juni 1956 beantwortet werden, als sich eine Gruppe der damals wichtigsten deutschen Teilchenforscher zu einer Arbeitssitzung traf, um eine erste Skizze für eine neue Maschine zu entwerfen: ein ringförmiger Beschleuniger vom Typ Synchrotron, Umfang 300 Meter, der Elektronen auf eine Energie von 6 GeV (Gigaelektronenvolt = Milliarden Elektronenvolt) beschleunigen sollte – ein neuer Rekordwert und die größte Energie, die man damals mit einem Elektronen-Synchrotron zu erreichen hoffte. Die Maschine sollte die großen Protonen-Beschleuniger ergänzen, die gerade am CERN und in den USA im Bau waren. Mit dem Konzept war auch der Name des neuen Forschungszentrums gefunden: Deutsches Elektronen-Synchrotron DESY.

Bald darauf begann ein offizieller Arbeitsausschuss mit den konkreten Planungen. Geleitet wurde er von Willibald Jentschke, einem international renommierten Physiker, der eigens für das neue Projekt aus den USA an die Universität Hamburg gekommen war. Wo aber sollte der Beschleuniger in der Hansestadt stehen? Immerhin ging es um den Bau eines kompletten Forschungszentrums, bestehend aus Synchrotron, Experimentierhallen, Werkstätten und Bürogebäuden.



## Verwirrung im Teilchenzoo

In den vierziger und fünfziger Jahren des letzten Jahrhunderts steckte die Physik mitten in einer radikalen Umwälzung. Bis dato hatte man angenommen, sämtliche Materie bestehe aus Elektronen sowie aus zwei Sorten von Kernteilchen: Protonen und Neutronen. Ein durchaus übersichtliches Weltbild, denn aus den beiden Bausteinen Neutronen und Protonen sind sämtliche Atomkerne zusammengesetzt, und diese Atomkerne bauen dann gemeinsam mit den Elektronen die Atome auf. Atome wiederum bilden Moleküle und Kristalle – und damit uns selbst und die uns umgebende Materie.

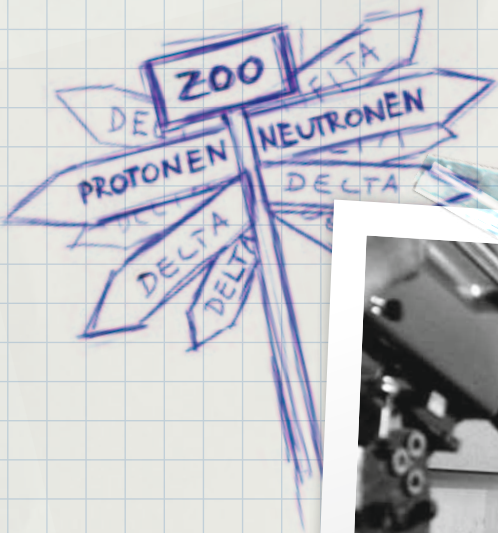
Dann aber entdeckten Physiker in der kosmischen Höhenstrahlung neue, rätselhafte Teilchen. Diese existierten zwar nur für einen Wimperschlag, wollten aber partout nicht in das damalige Weltbild der Physik passen. In den Folgejahren erzeugten die Wissenschaftler mit ersten Beschleunigern immer neue Teilchen, zum Beispiel diverse Sorten von „Delta-Teilchen“. Bald sprach die Expertenwelt von einem regelrechten Teilchenzoo. Nur: Nach welchem Schema dieser Hunderte von Teilchen umfassende Zoo aufgebaut war, blieb in den fünfziger Jahren weitgehend unklar. Mit dem DESY-Beschleuniger wollten die Physiker den Teilchenzoo genauer unter die Lupe nehmen – in der Hoffnung, etwas Licht ins Dunkel der Vielfalt zu bringen.

Die Lösung fand sich im Hamburger Stadtteil Bahrenfeld. Dort gab es ein großflächiges Areal, einst wegen einer unfruchtbaren, 35 Meter mächtigen Sandschicht als „Hungerkamp“ bezeichnet. Ab dem späten 19. Jahrhundert hatte das Ödland diversen Regimentern als Exerzierplatz gedient. Und mehr als einmal nahm dort, auf dem „Großen Schleifstein“, Seine Majestät Kaiser Wilhelm II. eine Militärparade ab.

1927, während der Weimarer Republik, wurde die Bahrenfelder Exerzier-Wiese zum Militärflugplatz umgewidmet. Dann, nach Ende des Zweiten Weltkriegs, lag das Gelände weitgehend brach. Zwar gehörte es dem Bundesverteidigungsministerium, aber die 1956 neu entstandene Luftwaffe wusste mit dem Flugplatz nichts anzufangen: Er war nicht groß genug und lag zu dicht am zivilen Flughafen Hamburg-Fuhlsbüttel. Ein Glück für die DESY-Planner: Das Gelände hatte Ausbaupotenzial, und abgesehen von einigen Findlingsblöcken war der sandige Untergrund für den Bau eines Beschleunigers fast ideal.

Noch vor der offiziellen Gründung begannen 1958 die ersten Bauarbeiten. „Die Apparate, die in Bahrenfeld aufgestellt werden sollen, haben furchterregende Ausmaße“, schrieb das *Hamburger Abendblatt* anlässlich eines Richtfestes am 23. Oktober 1958. „Aber niemand braucht vor ihnen Angst zu haben, denn sie erzeugen nur winzige Strahlungsmengen, die keinen Schaden anrichten können.“

Anfang 1959 wurde der Grundstein für das Ringtunnelgebäude gelegt, welches den Beschleuniger aufnehmen sollte. Und als Siegfried Balke und Max Brauer am 18. Dezember 1959 ihre Unterschriften unter den Staatsvertrag setzten, war in Bahrenfeld das erste DESY-Gebäude bereits fertig – ein Mehrzweckbau, der als Wissenschaftlerwohnheim, Verwaltungsbüro und Kantine fungierte.



Willibald Jentschke erklärt an einem Modell, wie das Synchrotron funktioniert.





Der Bau beginnt.



## Der DESY-Architekt

Willibald Jentschke gilt als Gründungsvater des Deutschen Elektronen-Synchrotrons



Willibald  
Jentschke  
1911 – 2002

Wiener Charme, diplomatisches Geschick – und ein gewisses Quäntchen Unverfrorenheit. Das sind die prägnantesten Eigenheiten von Willibald Jentschke, der wichtigsten Persönlichkeit der DESY-Gründerjahre. „Ohne Jentschke hätte es das Forschungszentrum nicht gegeben“, meint Erich Lohrmann, der 1961 als junger Physiker bei DESY anfang.

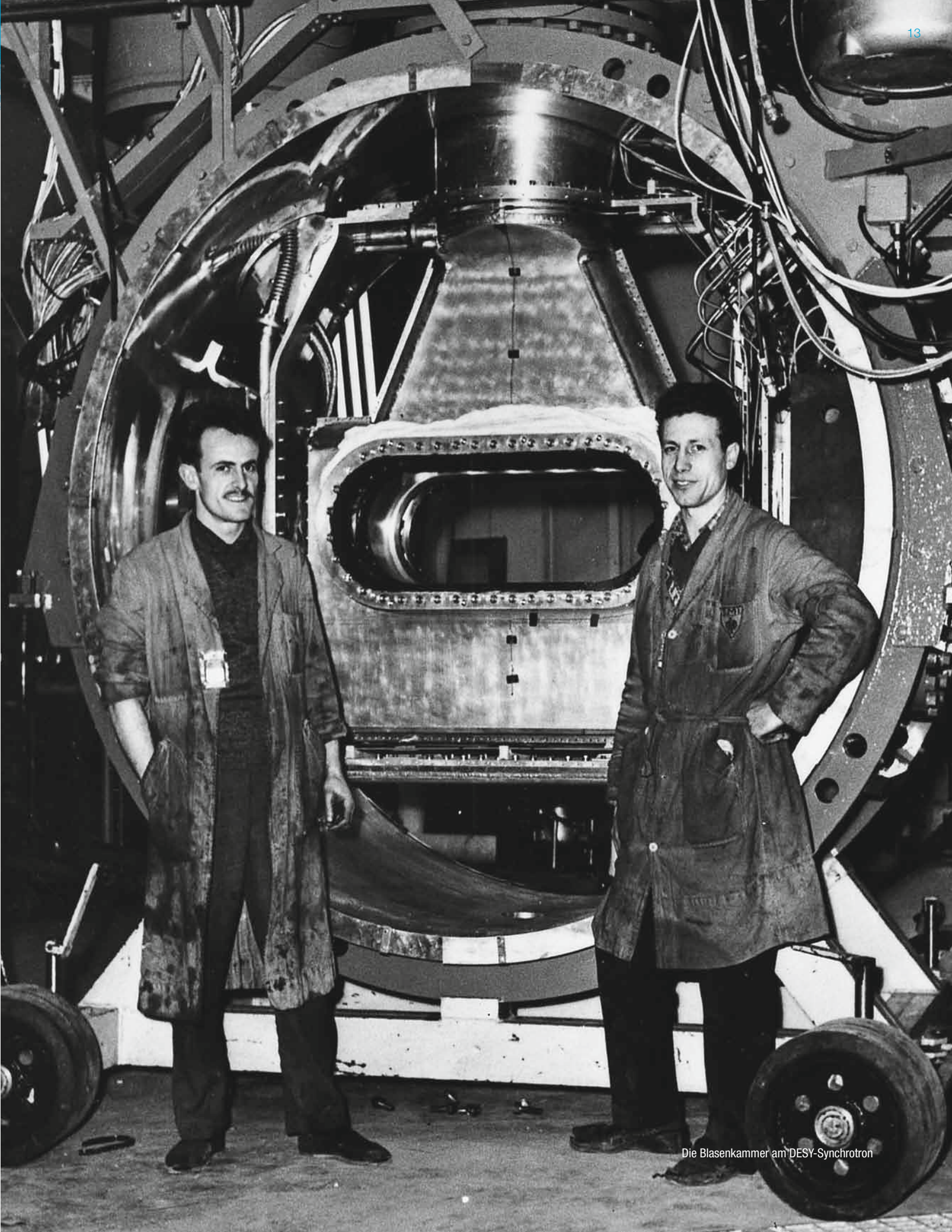
Jentschke, 1911 in Wien geboren, hatte sich in den USA als Experte für Kernphysik und Beschleunigerbau einen Namen gemacht. 1954 kam ein hochinteressantes Angebot aus Deutschland: Die Universität Hamburg bot ihm eine Professur – und die Aussicht, ein neues Physikinstitut mitsamt eines wissenschaftlichen Großgeräts aufzubauen. Ein Jahr lang verhandelte Jentschke mit den Hamburger Behörden um die Konditionen. Sein Verhandlungsgeschick gilt als legendär: Mit jeder Runde schraubte er seine Forderungen immer höher, bis der Hamburger Senat im August 1955 die damals ungeheuerliche Summe von 7,35 Millionen DM an Forschungsgeldern bewilligte – einer der finanziellen Grundsteine für DESY.

Im Sommer 1956 kam Willibald Jentschke nach Hamburg und scharte ein Team von begeisterten, wenn auch zumeist unerfahrenen Physikern um sich. „Was den Bau eines Großbeschleunigers anging, waren wir Amateure“, sagt Lohrmann. „Aber unsere Unerfahrenheit wurde durch einen enormen Enthusiasmus kompensiert.“

Jentschkes Führungsstil sollte den Geist des Labors nachhaltig prägen. „Zwar hatte er immer etwas von einem Wiener Geheimrat an sich“, erinnert sich Erich Lohrmann. „Aber er hat bei DESY für eine Atmosphäre der Toleranz und des Zusammenhaltens gesorgt. Und dieser Geist ist noch heute spürbar.“

Mit der DESY-Gründung im Dezember 1959 wurde Willibald Jentschke Vorsitzender des DESY-Direktoriums – und blieb es bis 1970, um anschließend als CERN-Generaldirektor nach Genf zu wechseln. Die Teilchenphysik, so sagte er, war für ihn zeitlebens das faszinierendste aller wissenschaftlichen Gebiete: „Mag sich auch die Frage aufdrängen, ob diese Anstrengungen und dieser große Einsatz von Menschen und Material gerechtfertigt sind, so ist darauf zu sagen, dass die Natur von uns diesen Einsatz fordert, wenn wir in ihre tiefsten Geheimnisse eindringen wollen. Das Forschen mit diesen Maschinen ist ein großes Abenteuer. Soll es uns doch die innerste Struktur jener Bausteine enthüllen, aus denen wir selbst alle bestehen. Nicht die Erforschung eines Teilgebietes der Physik ist das Ziel, sondern die Erforschung des Aufbaus der Welt im Ganzen.“





Die Blasenkammer am DESY-Synchrotron







02: SYNCHROTRON

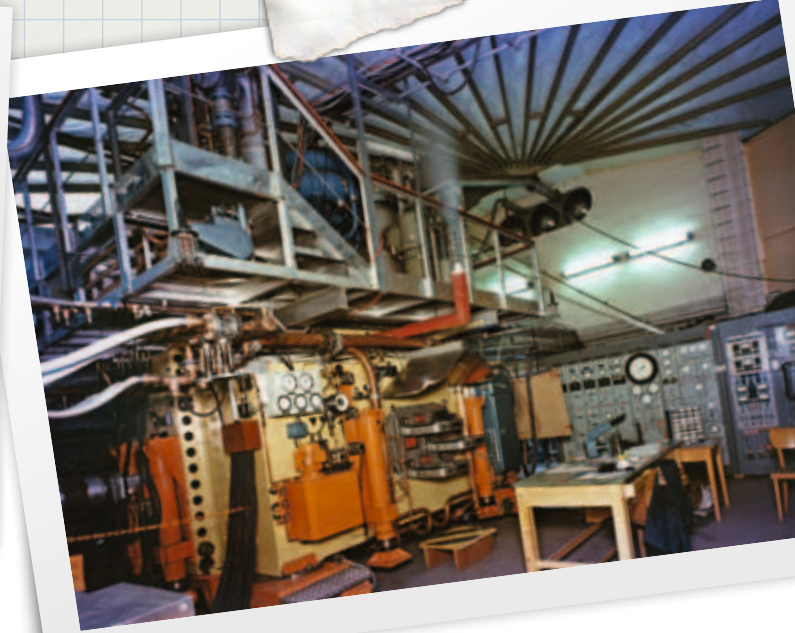
Pioniertaten mit dem DESY-Synchrotron



# DIE ERSTEN TEILCHEN KREISEN



25. FEBRUAR 1964: 2,5 GEV BEIM ERSTEN TEST! EIN GRUND ZUM FEIERN!



## Die ersten Teilchen kreisen

Pioniertaten mit dem DESY-Synchrotron

25. Februar 1964, kurz vor Mitternacht. Im nagelneuen Kontrollraum des Synchrotrons drängten sich die DESY-Physiker, es herrschte eine angespannte, knisternde Atmosphäre. Wird der Beschleuniger, auf den man fast zehn Jahre hingearbeitet hat, so funktionieren wie geplant? Dann folgte der entscheidende Test: Die Experten an den Konsolen hantierten mit Schaltern und Drehreglern. Kurz darauf signalisierte ein kurzes Flimmern auf den Anzeigegeräten: Ja, es hat geklappt! 8000 Mal war der Elektronenstrahl durch die 300 Meter lange, ringförmige Vakuumröhre geflitzt. Am Ende hatte er eine Energie von 2,5 GeV erreicht. Nur einen Tag später schafften die Physiker einen Wert von 5 GeV – fast schon die Maximalenergie des Synchrotrons.





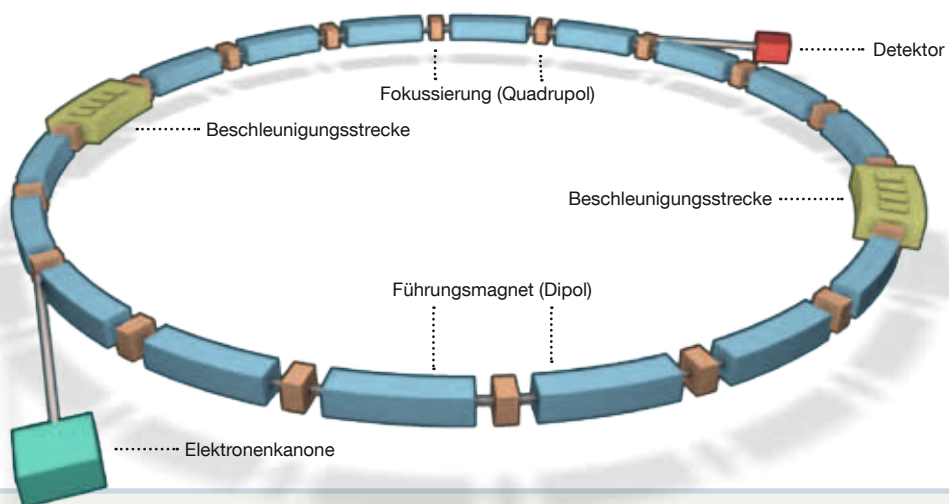
DIE BLASENKAMMER  
WIRD INGEWEIHT.



Dass der erste DESY-Teilchenbeschleuniger derart zügig und ohne größere Probleme zum Laufen gebracht werden konnte, war alles andere als selbstverständlich. Zwar war es DESY-Direktor Willibald Jentschke gelungen, eine junge, hoch motivierte Schar von Physikern und Ingenieuren nach Hamburg zu locken. Nur: Den meisten der Experten fehlte jegliche Erfahrung beim Bau eines Teilchenbeschleunigers. Die Herausforderungen waren enorm: So mussten zum Beispiel die Magnete, die die schnellen Elektronen auf ihrer Kreisbahn halten, mit einer Genauigkeit von einigen zehntel Millimetern positioniert werden und auch so stehen bleiben.

Zum Glück war es der jungen DESY-Garde möglich, den Beschleunigerkonstruktoren in den USA und am CERN in Genf ausgiebig über die Schulter zu schauen. Am Ende gelang es den Hamburgern, zu einem Preis von rund 100 Millionen DM ein neues Forschungszentrum mit einem der leistungsfähigsten Elektronen-Synchrotrons der sechziger Jahre auf die Beine zu stellen. Gemeinsam mit einer Maschine in Boston bot das DESY-Synchrotron 1964 die mit Abstand höchste Elektronen-Energie in der Welt: 6 GeV, also 6 Milliarden Elektronenvolt. Damit war die Anlage unter anderem in der Lage, Protonen (Wasserstoffkerne) mit einer bis dato unerreichten Genauigkeit zu erforschen.





## Wie funktioniert ein Synchrotron?

Am Anfang steht die „Elektronenkanone“. Sie erzeugt durch Aufheizen eines Metalldrahts feine Pakete bestehend aus zig Millionen Elektronen. Diese Päckchen bringt zunächst ein Linearbeschleuniger – im Prinzip eine überdimensionale Fernsehbildröhre – auf Trab. Denn ebenso, wie man ein Auto nur schwer im vierten Gang anfahren kann, lassen sich auch Elektronen deutlich besser ins Synchrotron einschließen, wenn sie eine gewisse Grundgeschwindigkeit haben. Im Synchrotron laufen die Teilchen dann praktisch mit Lichtgeschwindigkeit, also mit knapp 300 000 Kilometern pro Sekunde, in einer armdicken, luftleer gepumpten Vakuumröhre im Kreis.

An einigen Stellen erhalten die Elektronenpakete von starken Radiowellen einen heftigen Schubs – der eigentliche Beschleunigungsvorgang, bei dem die Elektronen zwar kaum noch an Geschwindigkeit gewinnen, aber an Energie. Damit sie aber nicht wie ein zu schnelles Auto aus der Kurve fliegen, werden sie von großen Elektromagneten auf ihrer Kreisbahn gehalten. Dabei gilt: Je mehr Bewegungsenergie die Elektronen haben, umso

größer muss das Feld der Ablenkmagneten sein. Das Magnetfeld und die Energie der Elektronen müssen also stets zusammenpassen. In einem Synchrotron wird dieser Gleichlauf automatisch hergestellt. Die Elektronenenergie regelt sich quasi selbst synchron zum Magnetfeld – deshalb der Name Synchrotron.

Bereits nach einer hundertstel Sekunde und zehntausend Runden im Ring haben die Elektronen ihre maximale Energie erreicht. Dann werden sie in die Experimentierhallen gelenkt und auf eine Probe geschossen. Die Energie, die die schnellen Elektronen erreichen, wird von den Physikern übrigens in einer speziellen Einheit gemessen, dem Elektronenvolt, kurz eV. Ein Elektronenvolt ist jene Energie, die ein einzelnes Elektron erhält, wenn es ein elektrisches Feld von genau einem Volt durchläuft. Eine Fernsehbildröhre bringt es auf rund 10 000 eV. 1964 schaffte das DESY-Synchrotron 6 Milliarden eV. Und der ILC, ein geplanter Riesenbeschleuniger der nächsten Generation, soll Elektronen sogar bis auf eine Energie von 250 Milliarden eV bringen.





DESY aus der Luft

Die eigentlichen Experimente spielten sich aber nicht im Beschleuniger selbst ab, sondern in den benachbarten Experimentierhallen. In diese Hallen wurde der nahezu lichtschnelle Elektronenstrahl gelenkt, um dort auf eine „Zielscheibe“ zu treffen, im Fachjargon Target genannt. So eine Zielscheibe bestand zum Beispiel aus Flüssigwasserstoff oder auch aus einem Diamanten, groß wie ein Daumnagel – aber schwarz und deshalb als Schmuckstück völlig unbrauchbar.

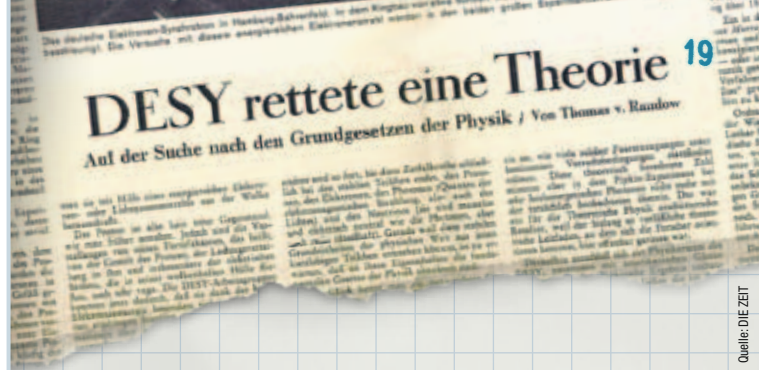
Trafen die schnellen Elektronen auf das Target, erzeugten sie höchst energiereiche Strahlung. Diese „Bremsstrahlung“ konnte sich dann in exotische, kurzlebige Teilchen verwandeln. Diese Exoten (bzw. ihre Bruchstücke) ließen sich durch spezielle Detektoren nachweisen – etwa durch eine Blaskammer. Das war ein Tank gefüllt etwa mit Flüssigwasserstoff, in dem die Teilchen entlang ihrer Flugbahn winzige, aber deutlich sichtbare Bläschen hinterließen.

Die ersten wissenschaftlichen Resultate ließen nicht lange auf sich warten. So erhielt ein junges Forscherteam den Physikpreis der Deutschen Physikalischen Gesellschaft für seine Messungen mit so genannten polarisierten Photonen. Ein Ergebnis „schaffte“ es sogar in die Schlagzeilen der Boulevardpresse. Den DESY-Physikern war es als ersten gelungen, ein Antiproton, also das Antiteilchen des Wasserstoffkerns, mit Hilfe äußerst energiereicher Gamma-Strahlung zu erzeugen. Am 10. Dezember 1965 titelte die *Bild-Zeitung* auf ihrer Seite 1: „Sensation in Hamburg: Anti-Teilchen aus Licht“.

Bis Ende 1978 fanden am Synchrotron Experimente statt. Damit aber hatte die Anlage noch lange nicht ausgedient. Noch heute dient sie – mehrfach umgebaut und erneuert – als Vorbeschleuniger für die anderen Ringe in Hamburg sowie als Teststand, um neue Komponenten für Detektoren zu erproben.



Quelle: BLD Zeitung



Quelle: DIE ZEIT

## Der Theorie-Retter

Was das Synchrotron für die Physik brachte

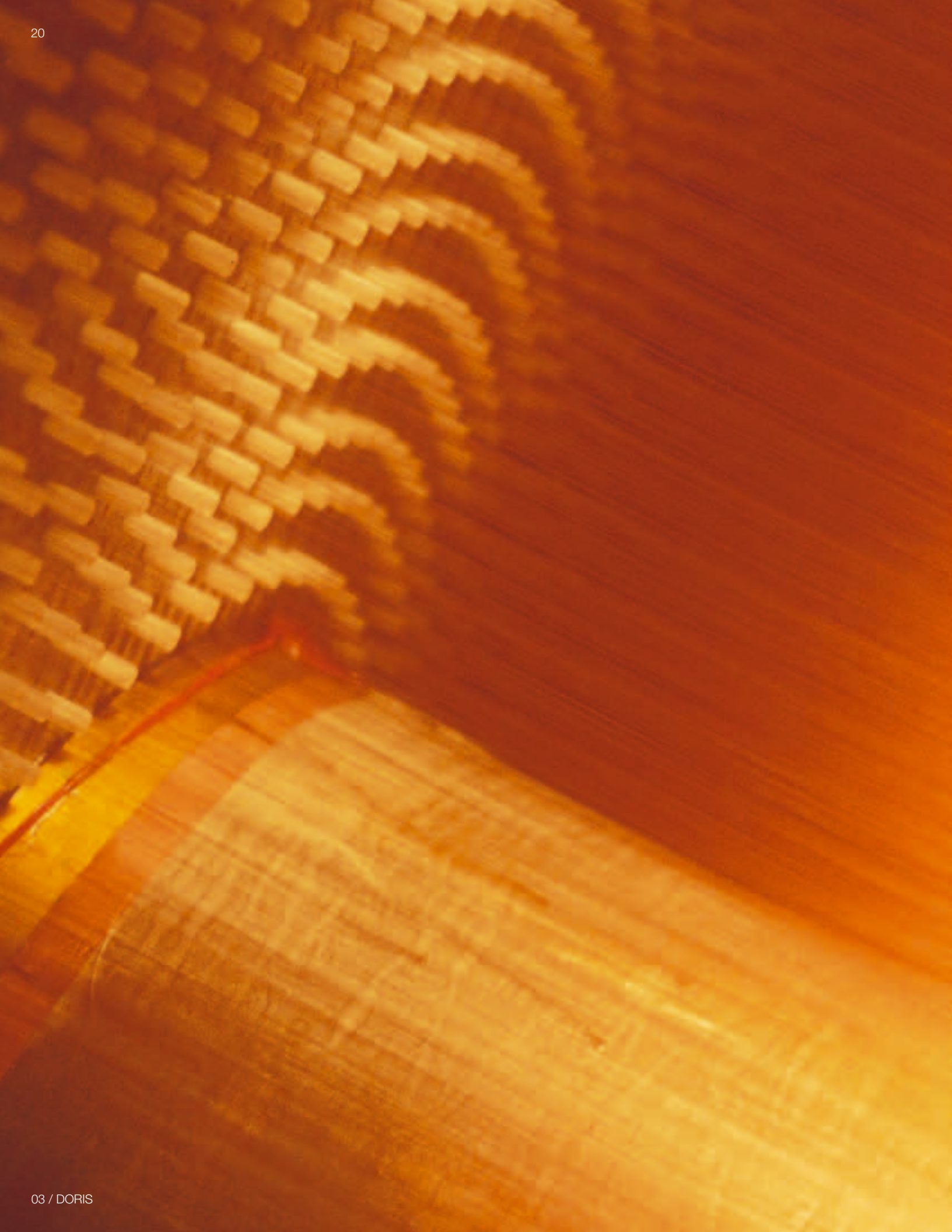
Besitzt das Proton einen harten, fest umrissenen Kern? Oder ist seine elektrische Ladung mehr oder weniger gleichmäßig über das Teilchen „verschmiert“? Diese Frage war in den frühen sechziger Jahren noch völlig offen. Gemeinsam mit einem US-Beschleuniger lieferte das Hamburger Synchrotron des Rätsels Lösung: Nein, es ist kein ausgeprägter Kern im Proton erkennbar. Und sollte sich das Proton tatsächlich aus kleineren Bausteinen zusammensetzen, müssten diese überaus winzig sein.

Auch eine andere Physiker-Debatte wurde durch die Messungen bei DESY ad acta gelegt: Einige Zeit zuvor hatten Forscher an einem US-Beschleuniger Hinweise dafür entdeckt, dass etwas an einer damals noch jungen grundlegenden Theorie faul sei – der Quantenelektrodynamik (QED). Ein Team um den späteren Nobelpreisträger Samuel Ting ging diesen Hinweisen bei DESY nach und stellte fest, dass rein gar nichts an der Sache dran war. Die QED behielt Gültigkeit, und die Wochenzeitung *Die Zeit* titelte: „DESY rettet eine Theorie“.

Im Laufe der Jahre lieferte das Synchrotron unzählige Messdaten – und zwar nicht nur für die DESY-Forscher, sondern für Physiker aus ganz Deutschland und auch aus dem Ausland. Sogar das Teilchenphysik-Institut der DDR in Zeuthen mischte bei den Versuchen mit der Blaskammer mit – eine bemerkenswerte Kooperation mitten in der Ära des Kalten Krieges, zustande gekommen durch persönliche Kontakte am CERN.

Rettet die QED!







03: DORIS

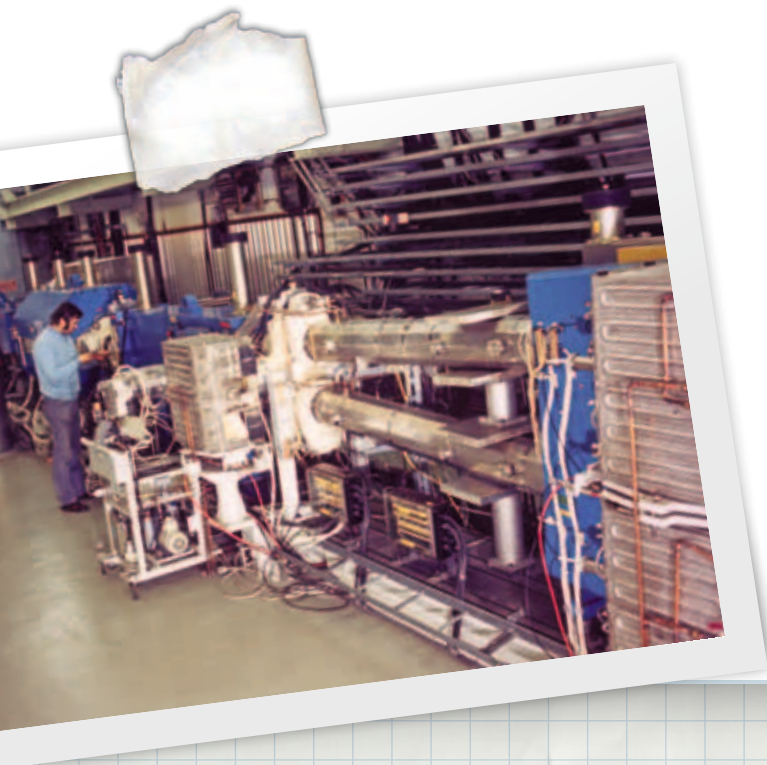
DORIS, der erste Speicherring bei DESY

ELEKTRONEN  
IM DAUERLAUF



# Elektronen im Dauerlauf

DORIS, der erste Speicherring bei DESY



1964. Das DESY-Synchrotron war kaum in Betrieb, da wurde die „Gruppe H“ ins Leben gerufen – eine Art Think Tank mit der Mission, sich über die Zukunft des Forschungszentrums DESY Gedanken zu machen. Denn wenn sich das Hamburger Labor tatsächlich fest in der Weltspitze der Teilchenforschung etablieren wollte, musste man irgendwann einen neuen, leistungsfähigeren Beschleuniger ins Visier nehmen. Bereits zwei Jahre später meldete sich die Gruppe H mit einem verwegenen Vorschlag zu Wort: Statt ein größeres Synchrotron zu bauen, empfahl man die Konstruktion eines damals noch sehr jungen, unausgereiften Beschleunigertyps – eines Speicherrings.

Der Grund für die wagemutige Empfehlung: Ein Speicherring, bei dem zwei Teilchen mit voller Fahrt frontal aufeinander prallen, verspricht deutlich höhere Kollisionsenergien als ein Synchrotron. Doch die Technik war brandneu und wenig erprobt. Erst 1962 war in Italien der erste Elektron-Positron-Speicherring überhaupt gebaut worden – mit seinen paar Metern Umfang fast ein Spielzeug. Einen großen Speicherring mit Hunderten von Metern Umfang gab es noch nicht. Ob wirklich etwas wissenschaftlich Interessantes bei so einer Maschine herauskommen würde, war höchst ungewiss.

Doppelringspeicher DORIS

## Den Quarks auf der Spur Was DORIS für die Physik brachte

Als DORIS geplant wurde, rätzelten die Physiker noch darüber, ob Teilchen wie Protonen und Neutronen aus noch kleineren Teilchen bestehen oder nicht. Zwar gab es seit den frühen sechziger Jahren schon eine Idee: Demnach könnten sich Protonen, Neutronen und ähnliche Teilchen aus winzigen Bestandteilen zusammensetzen, Quarks genannt. Doch bis in die siebziger Jahre hinein war diese These höchst umstritten. Nicht wenige Forscher hielten die Quarks mit ihren seltsamen drittelzahligen Ladungen lediglich für mathematische Hilfskonstrukte. Erst die spektakulären Ergebnisse eines Speicherringes in Kalifornien und auch von DORIS in Hamburg überzeugten die letzten Skeptiker davon, dass es Quarks wirklich gibt.

In den achtziger Jahren, nach dem Umbau von DORIS zu DORIS II, gelang dem ARGUS-Detektor eine weitere spektakuläre Beobachtung: B-Mesonen – das sind Teilchen, die ein b-Quark enthalten – können sich spontan in ihre Antiteilchen umwandeln. Bei dieser Umwandlung musste auf geisterhafte Weise ein damals noch nicht entdecktes Teilchen mit hineinspielen – das Top-Quark, das sechste und schwerste aller Quarks. Mit Hilfe von ARGUS ließ sich erstmals verlässlich abschätzen, wie schwer das Top-Quark ungefähr sein musste – viel schwerer als zuvor erwartet. Es wurde erst 1995 durch den damals leistungsstärksten Beschleuniger Tevatron in den USA entdeckt.

November 1974:  
REVOLUTION

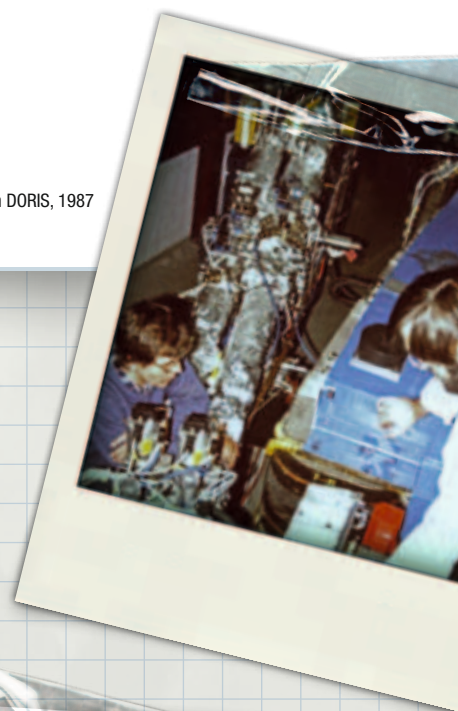


Deshalb meinten nicht wenige DESY-Forscher, es sei doch besser, auf die bewährte Technik zu setzen und lieber ein größeres Synchrotron zu bauen. Der Bau eines Speicherrings, so hieß es damals in einem Gutachten, lohne nicht, man solle lieber die Finger davon lassen. Dass sich die DESY-Verantwortlichen dennoch auf die riskantere Variante einließen, entsprang mehr einem Gefühl als auf Argumenten beruhender Überzeugungskraft. Der Wagemut wurde, so sollte sich bald zeigen, reichlich belohnt.

1969 begannen die Bauarbeiten für den neuen Beschleuniger. Sein Umfang wurde auf 288 Meter festgelegt, seine Form ähnelte der Laufbahn eines Leichtathletikstadions – zwei Kurven verbunden durch zwei gerade Stücke. Die Maschine sollte aus zwei übereinander liegenden Beschleunigerröhren bestehen, eine für die Elektronen, die andere für die im Gegensinn kreisenden Positronen. Diese Doppelstruktur gab dem Kind seinen Namen: **DO**ppel**RI**ng**SP**eicher DORIS.

Noch bevor DORIS 1974 fertig war, hatten zwei andere Speicherringe bereits bewiesen, dass das neue Beschleuniger-Konzept tatsächlich für spannende Wissenschaft taugt: Teilchen ließen sich damit durchaus effektiv erzeugen. Dann, kurz bevor die Messungen in Hamburg begannen, platzte die Bombe. An zwei Beschleunigern in den USA gelang eine höchst spektakuläre Entdeckung: Die Forscher fanden ein neues Quark, Charm-Quark genannt. Die Entdeckung sollte als „Novemberrevolution“ in die Geschichte der Physik eingehen und den Entdeckern Samuel Ting und Burton Richter den Physiknobelpreis einbringen.

Umbauarbeiten an DORIS, 1987

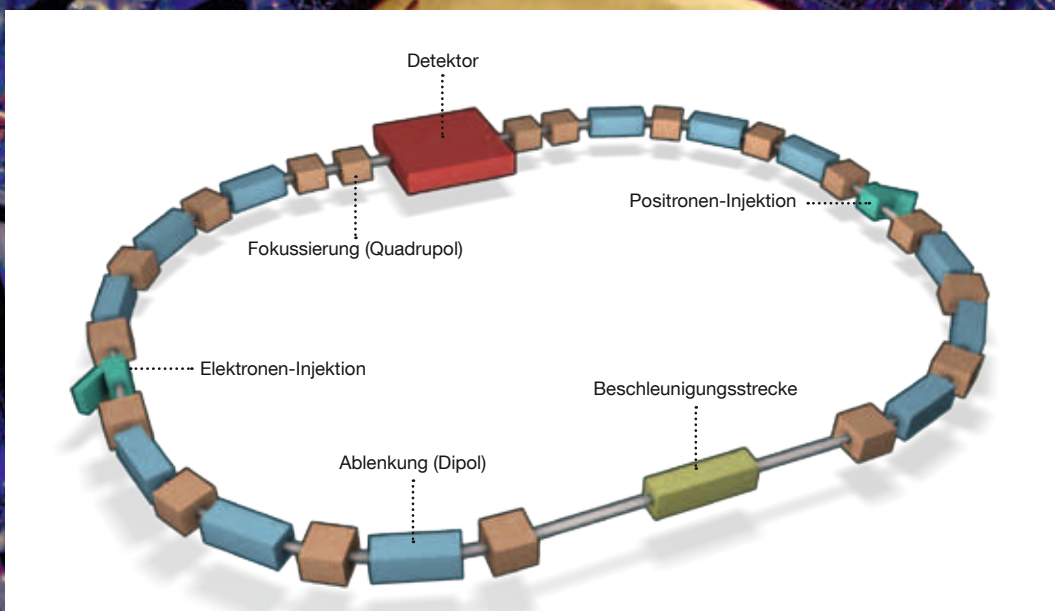


Außerdem spielt die von ARGUS entdeckte spontane Verwandlung eines Teilchens in sein Antiteilchen bei einer anderen, überaus faszinierenden Frage eine Rolle: Warum gibt es im Universum überhaupt solche gewaltigen Massen an Materie? Beim Urknall vor rund 13,7 Milliarden Jahren dürfte gleich viel Materie und Antimaterie entstanden sein, und eigentlich hätten sich beide umgehend wieder zu purer Strahlung vernichten müssen. Dass aber dennoch einiges an Materie übrig blieb, wogegen die Antimaterie offenbar aus unserem Kosmos verschwand, scheint mit einer winzigen Unregelmäßigkeit bei der Umwandlung von Teilchen in Antiteilchen und umgekehrt zusammenzuhängen. Die Entdeckung von ARGUS eröffnete dabei eine neue Perspektive für das Verständnis dieser Unregelmäßigkeit. Der Schlussstrich, der auf den ARGUS-Messungen aufbaute, wurde 2001 von zwei Speicherringexperimenten in den USA und Japan geliefert.

*Ein Kunstwerk:  
den ARGUS-Detektor*







### Was ist ein Speicherring?

Der Name verrät es schon: In einem Speicherring werden die Teilchen (z.B. Elektronen) im Gegensatz zu einem Synchrotron nicht nur kurz beschleunigt, um dann flugs auf ein Ziel gefeuert zu werden. Stattdessen kreisen sie über Stunden mit Maximalenergie in einem Ring. Der Clou: Genau in Gegenrichtung fliegen ebenso schnelle Teilchen – zumeist Positronen, die Antiteilchen der Elektronen. An bestimmten Stellen des Rings prallen diese Teilchen dann mit voller Wucht aufeinander. In einem winzigen, aber sehr dichten Energieball vernichten sich Elektron und Positron. Aus diesem Energieball können unter anderem exotische Teilchen entstehen – zum Beispiel schwere Quarks.

Je größer dabei der Speicherring ist, desto höher ist die Kollisionsenergie, die er erreicht – und desto schwerer und exotischer sind die Teilchen, die bei den Kollisionen erzeugt werden. Im Übrigen gibt es verschiedene Arten von Speicherringen: Manche schießen Elektronen und Positronen aufeinander, andere Wasserstoffkerne (Protonen).

Der DESY-Beschleuniger HERA kombinierte beide Typen und feuerte Elektronen auf Protonen. Andere Speicherringe beschleunigen ausschließlich Elektronen, ohne sie miteinander kollidieren zu lassen. Sie dienen nicht der Teilchenphysik, sondern fungieren als Quellen für Synchrotronstrahlung, insbesondere Röntgenlicht.

In den letzten Jahrzehnten waren Speicherringe die dominierenden Beschleuniger. Auch der LHC in Genf, der zurzeit leistungsstärkste Beschleuniger der Welt, ist ein Speicherring, und zwar für Protonen. Bei der kommenden Generation von Elektronenbeschleunigern setzen die Physiker allerdings auf einen neuen Typus – den Linear Collider. Er soll Elektronen und Positronen mit Hilfe von zwei schnurgeraden, sich gegenüberstehenden Beschleunigern aufeinander schießen. Dadurch lassen sich unerwünschte Energieverluste durch Synchrotronstrahlung vermeiden, die entsteht, wenn geladene Teilchen um Kurven fliegen.





DESY-Heidelberg-Experiment an DORIS

Ein regelrechter Teilchen-Goldrausch setzte ein, bei dem auch DORIS kräftig mitmischte und manches wichtige Detail beitrug. Diese Phase etablierte endgültig das Quark-Modell in den Köpfen der Physiker. Es war wie ein Dammbuch – ein Aufbruch in eine „neue Physik“. Nachdem 1977 in den USA das fünfte Quark gefunden wurde, das Bottom-Quark, entschloss man sich in Hamburg, den DORIS-Beschleuniger umzubauen, um die Eigenschaften dieses neuen b-Quarks zu erforschen. Noch im selben Jahr wurde aus dem Doppel- ein Einzelring, was gewisse technische Vorteile mit sich brachte.

Dann, 1981, wurde DORIS zu DORIS II umgebaut. Die Teilchenphysiker rüsteten die Magnete um, steigerten die Energie auf 5,6 GeV und errichteten mit ARGUS einen brandneuen, hochmodernen Detektor, spezialisiert auf die Analyse von B-Mesonen – das sind Teilchen, die ein b-Quark enthalten. Auch eine zweite Forscher-Fraktion kam fortan stärker zum Zuge – die Nutzer der Synchrotronstrahlung. So nennt man jene Strahlung, die beim Beschleunigerbetrieb quasi als Abfallprodukt entsteht und mit der sich die unterschiedlichsten Materialien höchst wirkungsvoll be- und durchleuchten lassen.

1990 schließlich wurde DORIS II zu DORIS III umgebaut, der damals hellsten Röntgenquelle Europas. Sie leuchtet bis heute und zieht in jedem Jahr rund 2000 Gastwissenschaftler aus aller Welt an, die mit der gebündelten Strahlung die unterschiedlichsten Proben bis ins kleinste Detail analysieren können.





## Der beste Job in der Physik

Vom Doktorand am DESY-Heidelberg-Experiment zum CERN-Chef



Rolf-Dieter  
Heuer

Manche Karrieren in der Teilchenphysik beginnen mit einer kurzen Stippvisite – zum Beispiel die von Rolf-Dieter Heuer, ehemaliger DESY-Doktorand und heute Generaldirektor des CERN in Genf. Nach seiner Diplomarbeit an der Uni Stuttgart wollte sich Heuer seinen neuen Arbeitsplatz als Doktorand der Uni Heidelberg bei DESY nur einmal neugierig angucken. Den Koffer noch in der Hand wurde er sofort für die Nachtschicht am DESY-Heidelberg-Experiment an DORIS eingezogen. Der Schichtleiter: ein gewisser Albrecht Wagner...

Seitdem entwickelt, baut, analysiert und managt Heuer Teilchenphysikexperimente, immer mit Neugier im Gepäck, und ist vom Doktorand, Postdoc, Gruppenleiter, Kollaborationsleiter am CERN-Experiment OPAL, Professor an der Uni Hamburg und Wissenschaftsdirektor bei DESY zum Generaldirektor des größten Zentrums für Teilchenphysik aufgestiegen, des CERN. „Der beste Job in der Physik“, gestand er einem Reporter des *Economist* in einem Interview. Als Generaldirektor den Start des Large Hadron Collider LHC zu leiten, die ersten Kollisionen und wahrscheinlich die ersten Entdeckungen mitzuerleben – des lang erwarteten Higgs-Teilchens zum Beispiel – ist für einen waschechten Teilchenphysiker unheimlich spannend.

„Ich habe anscheinend ein Händchen für Leute“, erklärt Heuer. Sein Credo: Man muss sich selbst zurücknehmen und denjenigen Sichtbarkeit geben, die die Arbeit ausführen. „Vertrauen ist unheimlich wichtig“, so Heuer. Ohne Nachwuchswissenschaftler könne kein Experiment effizient und innovativ sein, und neue Ideen sind unter Heuer immer willkommen, wenn sie überzeugen: „Das habe ich von Björn Wiik gelernt, dem Vater von HERA und TESLA. Erst kamen bei ihm die Ideen, dann die Ressourcen. Den gleichen Geist möchte ich auch am CERN einführen.“

Wie geschmiert laufen die Strukturen der Zusammenarbeit, die Heuer an seinen Wirkungsstätten schafft. Er ist oft Vermittler zwischen den Welten – zum Beispiel als Wegbereiter für die LHC-Rechenknotenpunkte Karlsruhe und DESY oder Vater der Helmholtz-Allianz „Physik an der Teraskala“, die alle an LHC und ILC beteiligten deutschen Universitäten und Institute vereint. Heuer ist allerdings nicht der einzige, der vom „Tellerwäscher“-Job am DORIS-Beschleuniger ins höhere Physikmanagement aufgestiegen ist – ständiger Begleiter seit den frühen siebziger Jahren und Vorreiter im DESY-Direktorium war sein ehemaliger Schichtleiter bei DORIS, Albrecht Wagner.



# Richtiger Riecher

**Die Messungen am ARGUS-Detektor begannen 1982 – also zu einem Zeitpunkt, als es in Hamburg bereits einen größeren Beschleuniger als DORIS gab. Was hat Sie dennoch dazu bewogen, einen neuen Detektor an einer alten Maschine aufzubauen?**

**Walter Schmidt-Parzefall:** Schon um das Jahr 1977 glaubten die meisten Physiker hier bei DESY, der DORIS-Beschleuniger sei ausgereizt. Also konzentrierten sie sich auf den Bau eines neuen, größeren Speicherrings namens PETRA. Doch der damalige DESY-Direktor Herwig Schopper hatte das Gefühl, dass mit DORIS noch etwas zu holen sei. Zunächst fragte er die etablierten Forscher in Hamburg, ob nicht einer von ihnen an der alten, kleinen Maschine bleiben wolle, um dort weiter zu experimentieren. Doch bei allen diesen „Stars“ holte er sich einen Korb – sie wollten lieber an der neuen großen Maschine PETRA arbeiten. Doch dann hat sich Schopper an seinen Doktoranden erinnert – und das war ich. Er bot mir eine Stelle als Abteilungsleiter an, wenn ich nach Hamburg kommen und an der kleinen Maschine arbeiten würde. Ich habe das als eine große Chance angesehen und zugesagt. Kaum war ich dann hier, trat ein großer Glücksfall ein: In Amerika entdeckte man überraschend ein neues Quark, das Bottom-Quark. Und dieses neue Quark war ein idealer Forschungsgegenstand für DORIS. Also hatte Herwig Schopper mit seinem Gefühl, mit der alten Maschine sei noch etwas zu holen, intuitiv richtig gelegen.



**Walter Schmidt-Parzefall** leitete in den achtziger Jahren das ARGUS-Projekt. Der Detektor am Speicherring DORIS zählt zu den erfolgreichsten Experimenten in der DESY-Geschichte.

## Was waren denn die herausragenden Eigenschaften von ARGUS?

ARGUS war in der Lage, die Reaktionsprodukte, die bei den Kollisionen entstanden, fast vollständig zu beobachten. Außerdem konnte er die Impulse der Teilchen deutlich genauer messen als alle anderen Detektoren auf der Welt. Dazu mussten wir allerdings eine möglichst große Magnetspule verwenden. Die Spule war so groß, dass der Detektormagnet gerade noch in die Wechselwirkungszone von DORIS passte. Wir haben dadurch auch eine beträchtliche Stromrechnung gehabt. Doch da man mit der Abwärme der Spule das Gebäude heizen konnte, wurde die Stromrechnung ein wenig gemildert.

## Wie groß war das Team damals?

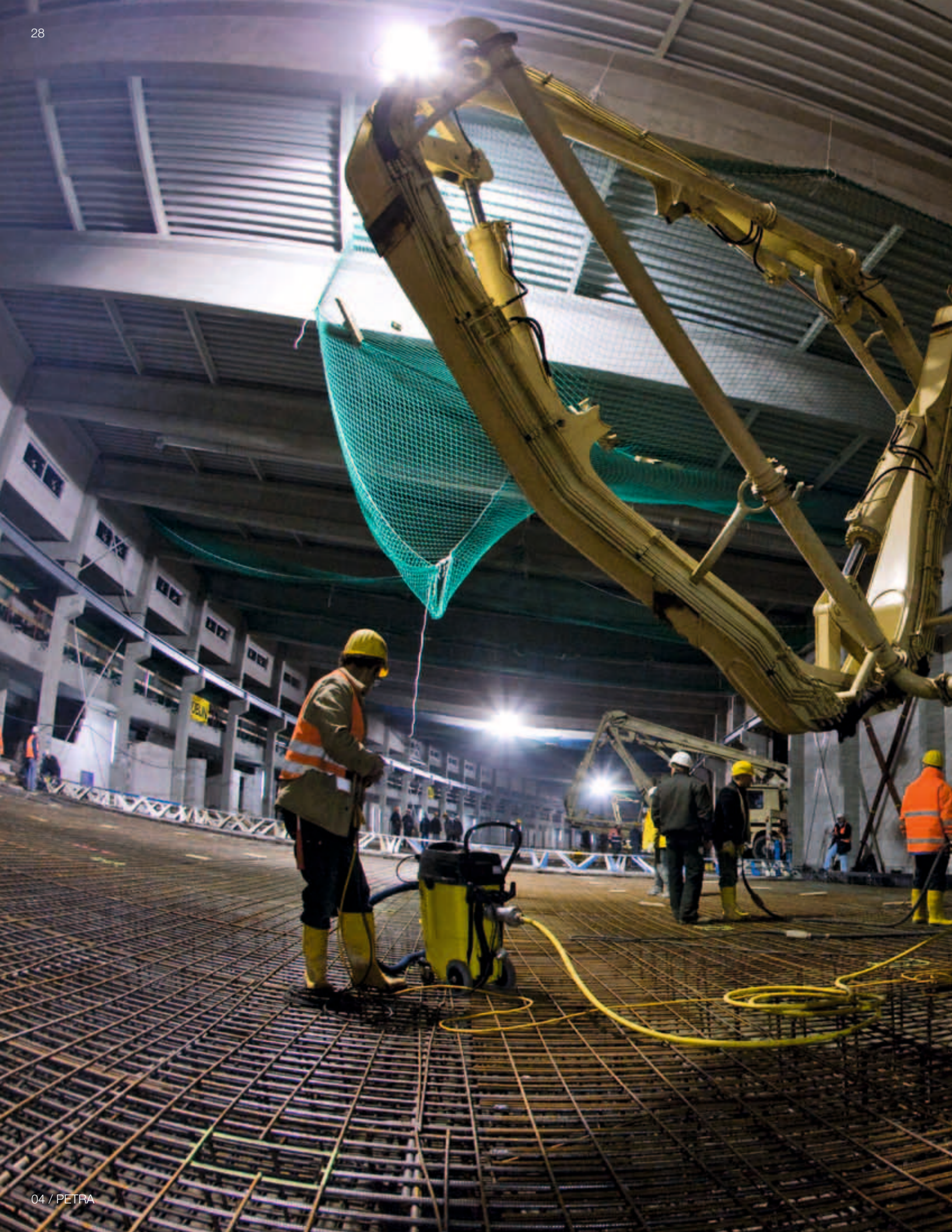
Anfangs war das Team ganz klein, in der Bauzeit umfasste es vielleicht 25 Leute. Doch im Laufe der Zeit stießen immer mehr Wissenschaftler dazu, schließlich waren es rund 100. Sie kamen nicht nur von deutschen Universitäten, sondern auch aus dem Ausland, aus Schweden etwa, aus Kanada und den USA. Sehr wichtig war auch eine russische Gruppe – damals noch eine ziemlich exotische Sache. Doch Herwig Schopper wollte den eisernen Vorhang öffnen und ließ seine Kontakte spielen. Es war natürlich im Kalten Krieg nicht einfach mit der Kommunikation und dem Reisen. Aber wir haben es immer hingekriegt. Insgesamt war ARGUS dann rund zehn Jahre lang im Betrieb und hat eine Fülle von wissenschaftlichen Ergebnissen geliefert. So wurden Mitglieder des ARGUS-Teams im Jahr zu über 100 Vorträgen in aller Welt eingeladen.

## Mit welcher Mission sind Sie zu DESY gekommen?

Ich hatte die Aufgabe, einen neuen Detektor für DORIS zu entwerfen. Bei diesem Entwurf konnte ich mich an den damals neusten Detektoren der Welt orientieren – zum Beispiel den Detektoren von PETRA. Von allen Konstruktionen habe ich das jeweils Beste genommen und die Technik dann noch weiter verfeinert. Diese Strategie hat sich als sehr erfolgreich herausgestellt, denn dadurch waren wir unserer Konkurrenz in den USA deutlich überlegen.









## 04: PETRA

Mit dem Speicherring PETRA stieß DESY endgültig in die Weltspitze der Teilchenforschung vor



MIT KARACHO AUF  
KOLLISIONSKURS





# Mit Karacho auf Kollisionskurs

Mit dem Speicherring PETRA stieß DESY endgültig in die Weltspitze der Teilchenforschung vor

1974. Der DORIS-Speicherring war noch gar nicht fertig, da schmiedeten die Physiker bereits Pläne für einen Nachfolger. Sein Name: Positron-Elektron-Tandem-Ring-Anlage, kurz PETRA. Ebenso wie DORIS sollte er Elektronen auf ihre Antiteilchen schießen, die Positronen. Doch PETRA war deutlich größer: Mit seinem Umfang von 2,3 Kilometern passte er gerade noch aufs DESY-Gelände – der weltweit größte Speicherring seiner Zeit.

Das Wachstum hatte gute Gründe: Je größer nämlich ein Ring gebaut wird, umso schwächer gebogen sind die Kurven, durch die die Elektronen und Positronen gelenkt werden müssen. Und je sachter die Kurve, durch die ein nahezu lichtschnelles Teilchen fliegt, umso geringer die Strahlungsverluste, die es erleidet. Es ist ein bisschen so

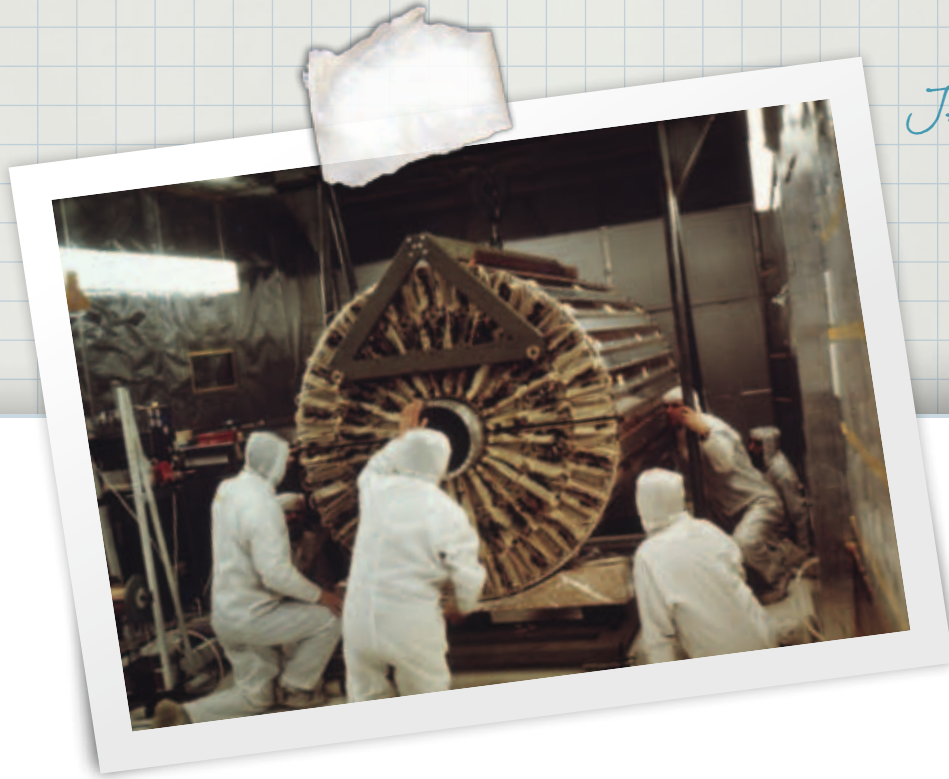
wie im Straßenverkehr: Während sich eine sanft geschwungene Autobahnkurve fast mit Vollgas nehmen lässt, muss man bei einer Spitzkehre in den Alpen kräftig auf die Bremse treten, um nicht aus der Kurve zu fliegen. Das Auto verliert in der Spitzkehre also mehr Bewegungsenergie als in der sachten Autobahnkurve.



Rasante Kurven: schön anzuschauen, aber nichts für schnelle Teilchen



## JADE-Innendetektor



Für einen Teilchenbeschleuniger heißt das: In einem großen Ring können die Teilchen auf höhere Energien beschleunigt werden und dann mit deutlich größerer Wucht zusammenprallen als in einem kleinen. Dadurch ist die Kollisionsenergie höher, und damit wächst die Chance, neue, bis dato unbekannte Elementarteilchen zu erzeugen. In Zahlen: PETRA erreichte eine Kollisionsenergie von 38 GeV, später sogar 47 GeV – etwa das Vier- bis Fünffache der vorangegangenen Beschleunigergeneration.

Trotz seiner Ausmaße war PETRA verhältnismäßig kostengünstig: Vieles an Infrastruktur stand in Hamburg bereits parat. So konnten die Teilchen im Synchrotron vorbeschleunigt werden – ähnlich wie man ein Auto im ersten und zweiten Gang anfährt, um dann auf der Bundesstraße im hohen Gang die Kilometer abzureißen. Und da sämtliche Entwicklungsarbeiten von den DESY-Experten selbst erledigt wurden, konnten auch völlig fachfremde Firmen die Fertigung mancher Komponenten übernehmen. Ein Beispiel: Die Platten für das Eisenjoch der Magnete wurden von einem Unternehmen gebaut, das damals ansonsten Kühlschränke herstellte.

Im Oktober 1975 wurde PETRA bewilligt, zu Baukosten von rund 100 Millionen DM. Keine drei Jahre später, im Juli 1978, kreisten die ersten Elektronen im Ring. Eine rekordverdächtige Bauzeit. Die PETRA-Konstrukteure hatten den Terminplan um ein volles Jahr unterschritten und 20 Millionen DM weniger ausgegeben als geplant. Damit hatte DESY weltweit die Nase vorn: Der konkurrierende Speicherring PEP in Kalifornien wurde erst zwei Jahre später fertig.



Positionsmonitor  
am PETRA-Beschleuniger



QUARKS	LEPTONEN	AUSTAUSCHTEILCHEN
UP	ELEKTRON	PHOTONEN
DOWN	ELEKTRON-NEUTRINO	W <sup>+</sup> BOSON
CHARM	MYON	W <sup>-</sup> BOSON
STRANGE	MYON-NEUTRINO	Z BOSON
TOP	TAU	GLUONEN
BOTTOM	TAU-NEUTRINO	

FOUND BY PETRA

## Auf den Leim gegangen

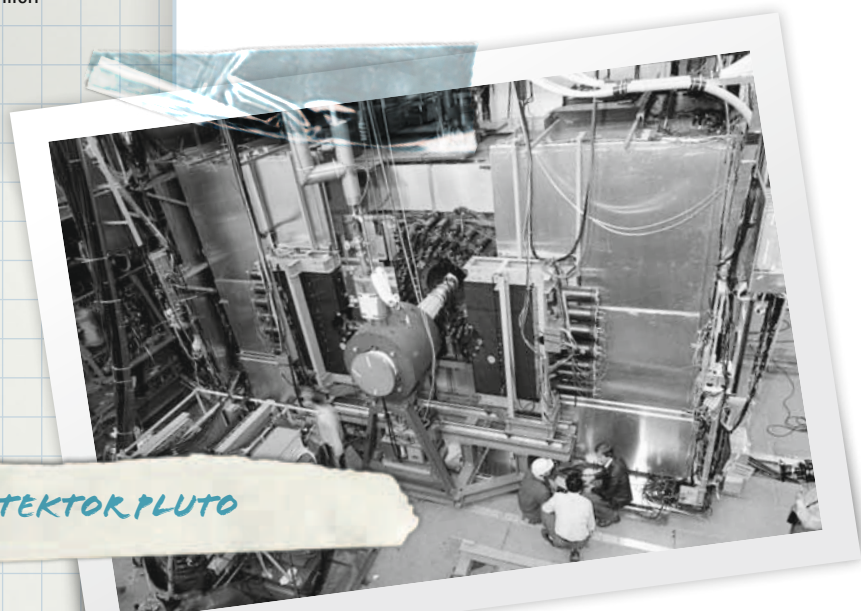
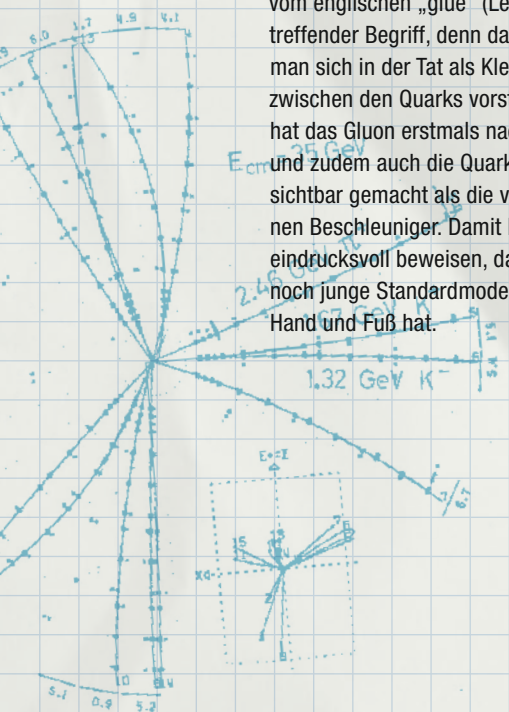
Wie PETRA das Weltbild der Physik veränderte

Als PETRA 1978 eingeschaltet wurde, etablierte sich in den Köpfen der Wissenschaftler gerade ein neues Weltbild: das Standardmodell der Teilchenphysik. Es geht davon aus, dass Materie aus winzigen Elementarbausteinen entsteht – unterschiedlichen Sorten von Quarks und Elektronen. Zwischen diesen Bausteinen wirken verschiedene anziehende oder auch abstoßende Naturkräfte. So sorgt die „starke Kraft“ dafür, dass sich je zwei oder drei Quarks zu größeren Teilchen zusammenschließen, etwa zu einem Wasserstoffkern.

Übermittelt werden die Naturkräfte durch Botenteilchen. Bildlich gesprochen flitzen diese Boten zum Beispiel zwischen zwei Quarks hin und her und teilen ihnen mit, wie stark sie sich anziehen sollen. Das Botenteilchen der starken Kraft nennt sich Gluon. Sein Name leitet sich vom englischen „glue“ (Leim) her – ein treffender Begriff, denn das Gluon kann man sich in der Tat als Klebeteilchen zwischen den Quarks vorstellen. PETRA hat das Gluon erstmals nachgewiesen und zudem auch die Quarks deutlicher sichtbar gemacht als die vorangegangenen Beschleuniger. Damit konnte PETRA eindrucksvoll beweisen, dass das damals noch junge Standardmodell tatsächlich Hand und Fuß hat.

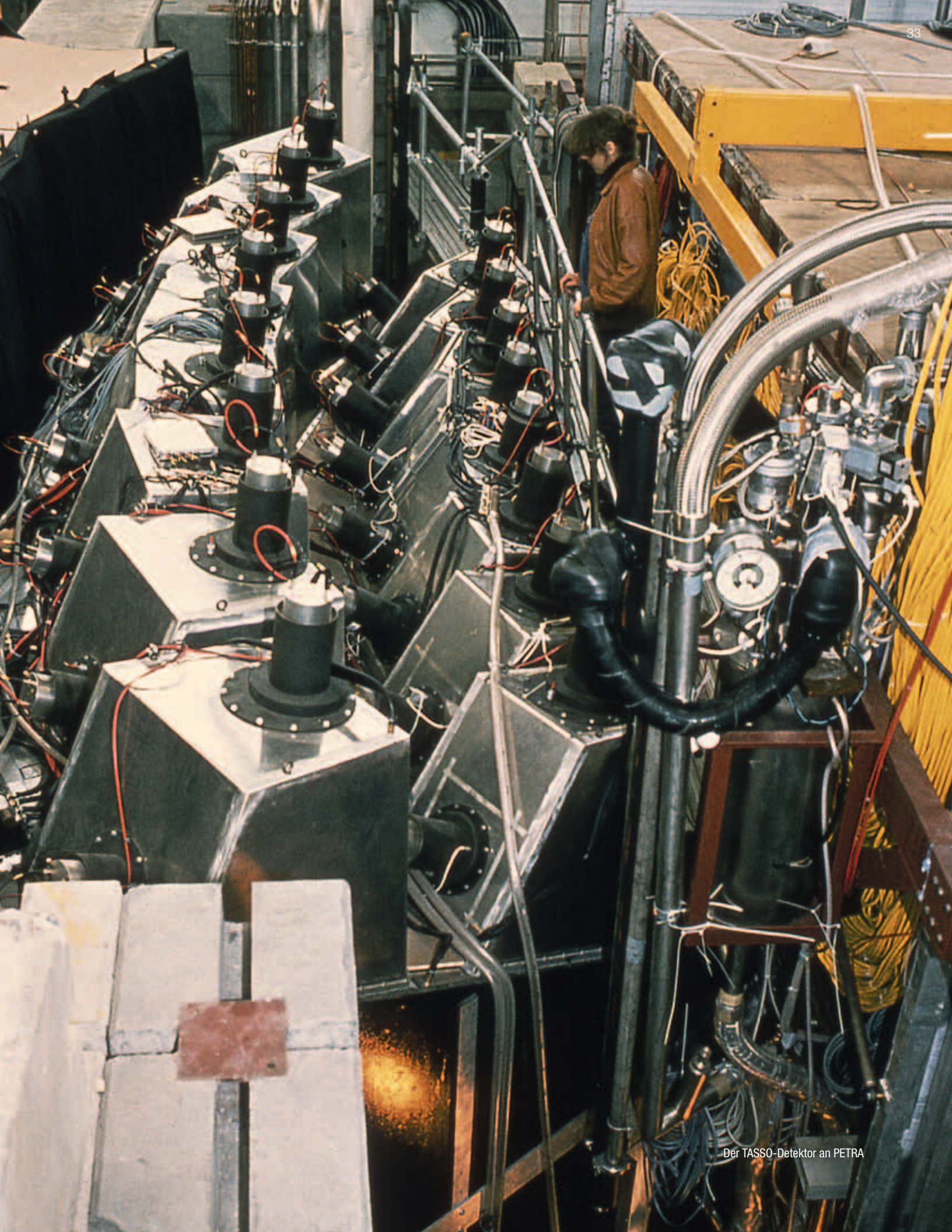
Parallel zum Bau des Beschleunigers fanden sich einige hundert Physiker zu fünf Teams zusammen, um die Teilchenkollisionen mit riesigen, um den Ring verteilten Detektoren zu beobachten. Nur ein kleiner Teil dieser Forscher war bei DESY angestellt. Die meisten kamen von Instituten und Universitäten aus ganz Deutschland und aus aller Welt. Neu war, dass jedes Team für Bau, Betrieb und Finanzierung seines Detektors komplett selbst verantwortlich war, dafür aber weitgehend autonom agieren konnte. Dieses Konzept hat sich fortan bei vielen anderen Projekten in der Teilchenphysik durchgesetzt.

Noch im Oktober 1978 begannen die ersten Messungen. Ein Jahr später machte PETRA seine wichtigste Entdeckung: Die Physiker spürten das Gluon auf – jenes Klebeteilchen, das die Kräfte zwischen den Quarks übermittelt und sie zusammenhält. Damit hatte sich DESY endgültig in der absoluten Spitzenforschung etabliert. Neben den großen US-Labors und dem CERN in Genf zählte es fortan zu den ersten Adressen in der Teilchenphysik.



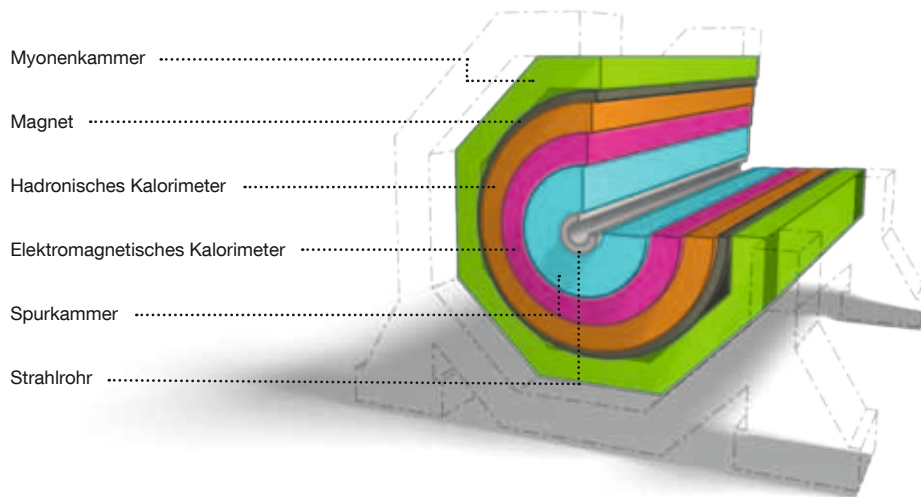
DETEKTOR PLUTO





Der TASSO-Detektor an PETRA





## Was ist ein Teilchendetektor?

Ein Detektor fungiert als eine Präzisions-Teilchenkamera. In ihm stoßen die nahezu lichtschnellen Teilchen aus dem Beschleuniger zusammen, und der Detektor beobachtet genau, was dabei passiert. Beim Zusammenprall entstehen neue, zum Teil schwere Teilchen, zum Beispiel bestimmte Quark-Sorten oder deren Klebteilchen, die Gluonen. Direkt nachweisen kann der Detektor diese Exoten allerdings nicht: Sie „leben“ nur einen Wimpernschlag lang und verwandeln sich rasch in andere, leichtere Teilchen, die in unterschiedliche Richtungen davonstieben und im Detektor ihre Spuren hinterlassen.

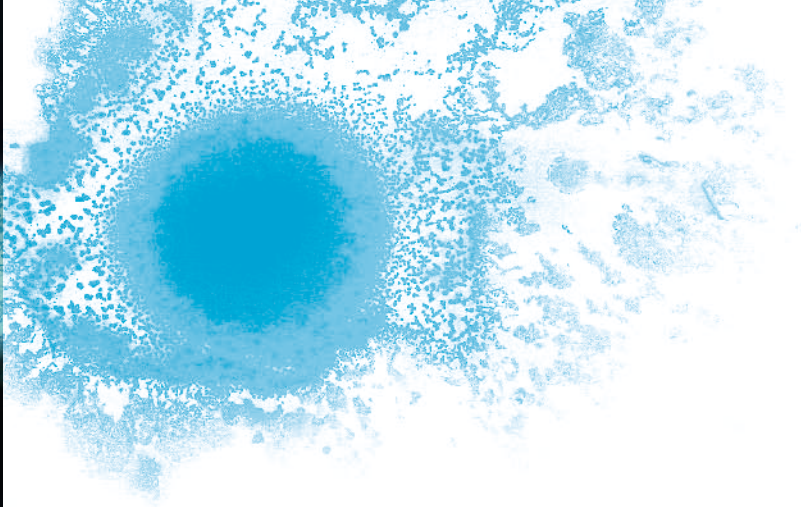
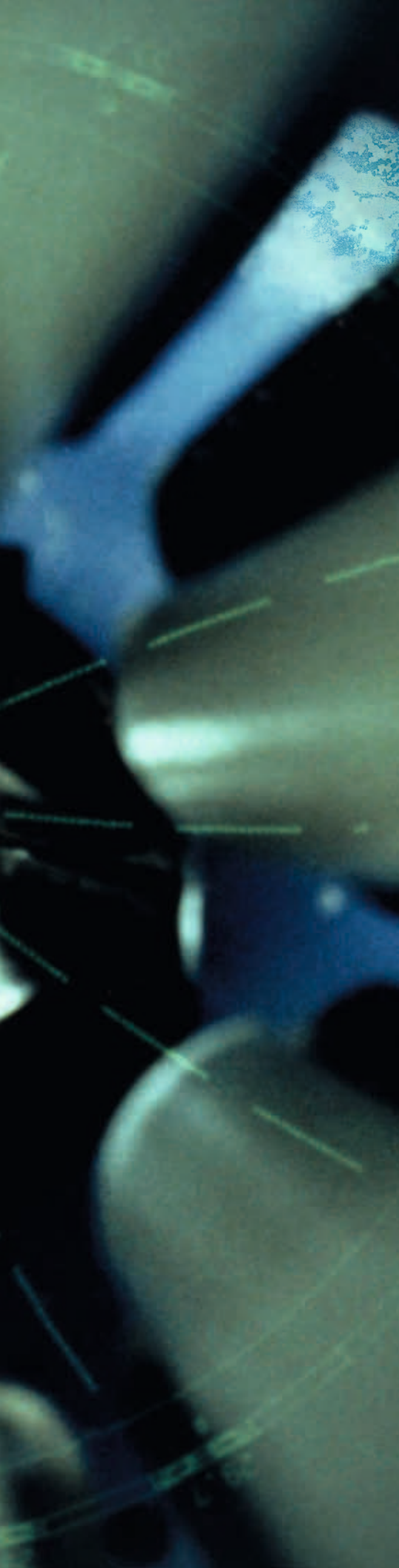
Diese Spuren müssen die Physiker so präzise wie möglich vermessen. Nur dann können sie rekonstruieren, welche exotischen Teilchen direkt beim Zusammenprall erzeugt wurden – ein mühsamer Indizienbeweis. Um die Teilchen, die vom Kollisionspunkt aus wegfliegen, möglichst genau erfassen zu können, ist der Detektor mit verschiedenen „Sinnesorganen“ bestückt:

Im Zentrum sitzen *Vertexdetektor* bzw. *Spurkammer*. Beide verfolgen die Flugbahnen der Teilchen, die nach einer Kollision durch den Detektor schießen. Das *elektromagnetische Kalorimeter*

misst die Energie der eher leichten Teilchen, die nach dem Zusammenprall entstanden sind. Dazu zählen Elektronen und Lichtteilchen (Photonen). Das *hadronische Kalorimeter* hingegen erfasst die Energie der schwereren Teilchen (Hadronen). Große *Magnetspulen* tauchen das Zentrum des Detektors in ein starkes Magnetfeld. Es krümmt die Flugbahnen der herausfliegenden geladenen Teilchen und macht es dadurch möglich, wertvolle Größen wie Ladung und Impuls zu bestimmen. Ganz außen befinden sich die *Myonenkammern*. Myonen sind die schweren Verwandten der Elektronen. Sie fliegen im Detektor am weitesten und werden deshalb von der äußersten Schicht aufgeschnappt.

Teilchendetektoren sind haus hohe Messgeräte, vollgestopft mit Sensoren und Elektronik. Im Laufe der Jahrzehnte sind sie immer größer, aber auch immer sensibler geworden: Ein PETRA-Detektor wie JADE war rund fünf Meter hoch und wog 1200 Tonnen. Die größten Detektoren heute stehen am Teilchenforschungszentrum CERN in Genf, sind mit 25 Metern so hoch wie ein Bürohaus und wiegen bis zu 12 500 Tonnen.





Blick in den PETRA-Ring



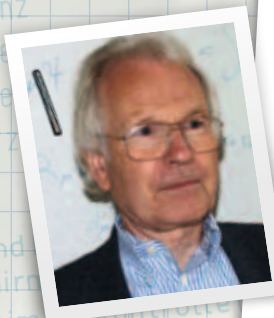
Als 1986 das Experimentierprogramm ausgereizt war und die Detektoren abgeschaltet wurden, waren sich die Experten einig: PETRA hatte maßgeblich dazu beigetragen, das noch junge Standardmodell der Teilchenphysik fest zu etablieren. Demnach besteht die uns umgebende Materie im Wesentlichen aus winzigsten Elementarbausteinen – aus Quarks und Elektronen.

PETRA allerdings war damit noch lange nicht am Ende. Gleich nach Abschalten der Detektoren wurde der Ring umgebaut zu PETRA II – dem Vorbeschleuniger für HERA, der bis heute größten Maschine bei DESY. Und nach einem weiteren, grundlegenden Umbau erlebt der Ring nun seinen dritten Frühling: Als PETRA III fungiert er ab 2009 als die weltweit hellste Röntgenlampe ihrer Art. Aufgrund ihrer enormen Leuchtkraft wird sie Forscher aus aller Welt nach Hamburg locken.



# Detektiv für Klebeteilchen

Paul Söding war an der bedeutendsten Entdeckung von PETRA beteiligt.



Als der PETRA-Beschleuniger im Juli 1978 anlief, war er ein Jahr früher fertig als geplant – und damit übrigens fast zwei Jahre eher als ein Konkurrenzprojekt in Kalifornien. Ist das nicht ungewöhnlich für ein wissenschaftliches Großprojekt?

Paul Söding: Oh ja. Der Grund dafür war: Wir hatten mit Gustav-Adolf Voss den wohl besten Beschleuniger-Konstrukteur, den es damals gab. Er hatte eine außerordentlich effiziente Art, sein Team zu führen – alle haben sich enorm reingekniet. Und PETRA war nicht nur früher fertig als vorgesehen, sondern hat auch fast 20 Millionen DM weniger gekostet als veranschlagt.

Was war das für ein Gefühl, mit dem damals größten und leistungsfähigsten Elektronenring der Welt experimentieren zu können?

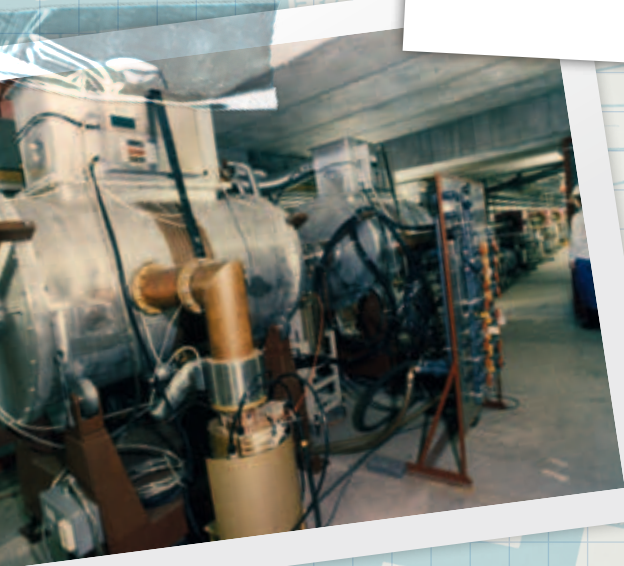
Es war wunderbar. Wir versprachen uns eine wahre Vielzahl von Entdeckungen, und das beflügelte uns ungemein. Insbesondere hofften wir, das Top-Quark zu finden, das schwerste der sechs Quarks. Niemand hatte damals erwartet, dass das Top-Quark in Wirklichkeit viel zu schwer war, um es mit PETRA entdecken zu können. Erst 1995 wurde es an einem deutlich größeren Beschleuniger in den USA gefunden.



TASSO-DETEKTOR

Dafür machten Sie und Ihre Kollegen eine andere wichtige Entdeckung: das Gluon, ein „Klebeteilchen“, das die Quarks zusammenhält. Wie haben Sie es entdeckt? Zeigte es sich eines Nachts ganz plötzlich in Signalen der Anzeigeeinstrumente?

Nein, das ging viel langsamer. Bei jeder Kollision im PETRA-Ring entstanden meist sehr viele Teilchen – 10 bis 15. Deren Flugbahnen mussten wir möglichst präzise mit einem Detektor vermessen, um sie dann auszuwerten und zu analysieren. Weil es aber zu viele Daten waren, mussten wir eine Software schreiben, die die Analysen automatisch erledigte. Das alles war umständlich und langwierig. Und es dauerte Monate, bis die letzten Zweifel ausgeräumt waren, dass wir das Gluon wirklich gefunden hatten.





**Es gab damals insgesamt fünf Forscherteams, die mit ihren Detektoren dem Gluon auf der Spur waren. Herrschte da nicht eine gewisse Konkurrenz?**

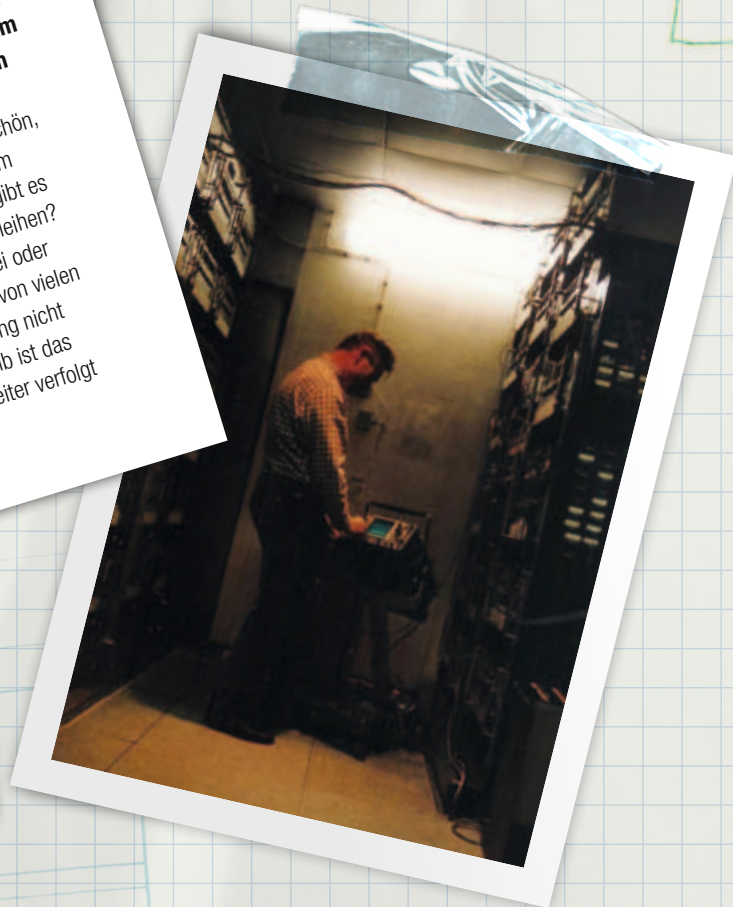
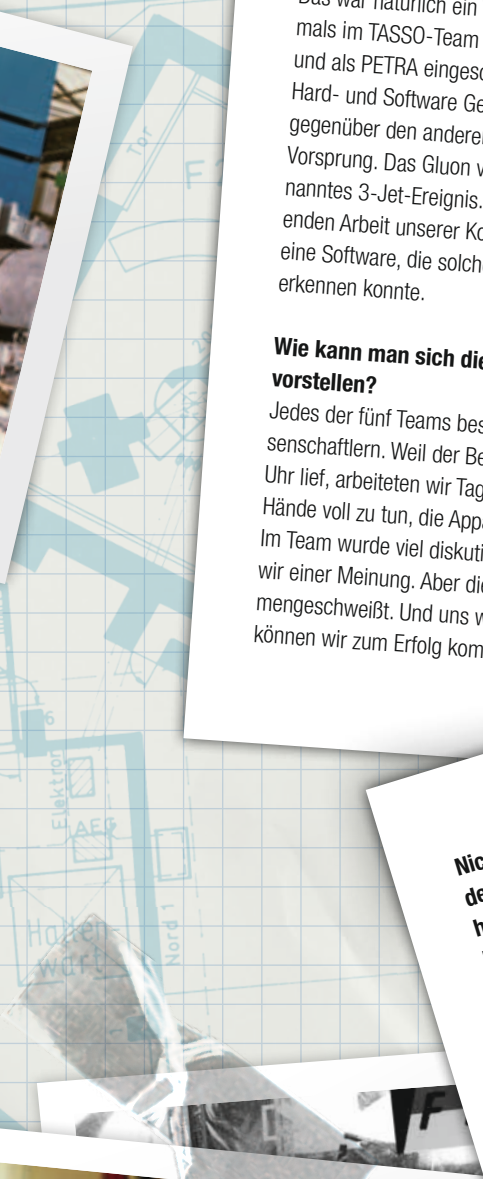
Das war natürlich ein Wettrennen. Ich arbeitete damals im TASSO-Team mit. Wir waren gut vorbereitet, und als PETRA eingeschaltet wurde, stand unsere Hard- und Software Gewehr bei Fuß. Das gab uns gegenüber den anderen Teams einen gewissen Vorsprung. Das Gluon verriet sich durch ein so genanntes 3-Jet-Ereignis. Und dank der vorausschauenden Arbeit unserer Kollegin Sau Lan Wu hatten wir eine Software, die solche Ereignisse relativ schnell erkennen konnte.

**Wie kann man sich die Arbeit Ihres Teams vorstellen?**

Jedes der fünf Teams bestand aus 50 bis 100 Wissenschaftlern. Weil der Beschleuniger rund um die Uhr lief, arbeiteten wir Tag und Nacht. Wir hatten alle Hände voll zu tun, die Apparaturen waren kompliziert. Im Team wurde viel diskutiert, und nicht immer waren wir einer Meinung. Aber die Arbeit hat uns zusammengeschweißt. Und uns war klar: Nur gemeinsam können wir zum Erfolg kommen.

**Nicht wenige Experten halten die Entdeckung des Gluons für nobelpreiswürdig. Doch warum hat es – bislang jedenfalls – nicht mit einem Nobelpreis geklappt?**

Für DESY wäre ein Physik-Nobelpreis sicher schön. Schließlich hängt ein enormes Prestige an dem Preis. Bei der Entdeckung des Gluons aber gibt es ein Problem: Wem sollte man den Preis verleihen? Schließlich war es nicht das Werk von zwei oder drei Physikern, sondern eine Teamarbeit von vielen Leuten, ohne deren Arbeit die Entdeckung nicht zustande gekommen wäre. Und deshalb ist das mit dem Nobelpreis vielleicht nicht weiter verfolgt worden.





## Ein (Berufs-) Leben mit PETRA

Klaus Balewski gestaltet den Umbau des Beschleunigers maßgeblich mit



Klaus Balewski

„Das ist ein Quadrupol-Magnet, eine Art Magnetlinse für Elektronen.“ Klaus Balewski steht neben einem der rot lackierten Metallklötze, die sich alle paar Meter im Tunnel aufreihen. Dann zeigt der Physiker auf die knapp armdicke Edelstahlröhre, die durch das Zentrum der Magneten führt. „In dieser Röhre fliegt der Elektronenstrahl. Und in der Röhre direkt daneben läuft der Röntgenstrahl“, sagt er und muss dabei mit seiner Stimme gegen das helle, pfeifende Rauschen ankommen, das von der Wasserkühlung der Magnete stammt.

Die Bauteile, die Balewski beschreibt, sind nagelneu – auch wenn sie zu einem Beschleuniger gehören, der schon ein paar Jahrzehnte auf dem Buckel hat. Klaus Balewski ist stellvertretender Projektleiter von PETRA III, einem der aktuellen DESY-Projekte. Sein Team macht aus einem ehemaligen Teilchenphysik-Beschleuniger eine der hellsten Röntgenlampen der Welt.

Schon während seiner Doktorarbeit Mitte der achtziger Jahre hatte Balewski mit PETRA zu tun – damals noch mit der ersten, ursprünglichen Version. Dann wurde der Ring zu PETRA II umgebaut, einem Vorbeschleuniger für die sehr viel größere HERA-Maschine. „Ich war stark in den Betrieb von PETRA II involviert“, erzählt Klaus Balewski. „Und ab 2001 habe ich mich damit beschäftigt, wie man aus PETRA II eine Lichtquelle machen könnte.“

Um das zu schaffen, mussten die Physiker ein Achtel des 2,3 Kilometer großen Rings komplett neu konstruieren und insgesamt 14 Spezialmagnete einsetzen, so genannte Undulatoren. Sie bringen die Elektronen aus dem Beschleuniger zum Schlingern, wodurch die Teilchen intensives Röntgenlicht aussenden. Die Herausforderung: Die Experten müssen äußerst präzise arbeiten und die Undulatoren genauer als einen Millimeter auf ihrer Position ausrichten.

„Wenn man es mit der Automobilindustrie vergleicht, bauen wir hier keinen gewöhnlichen Kompaktwagen, sondern den Formel-1-Renner für die nächste Saison“, meint Klaus Balewski. Ingenieurskunst an der Grenze des Machbaren. „Manchmal geht es aufregend und stressig zu. Aber das gehört mit dazu.“ Sagt er und wirkt dabei ziemlich gelassen.

2009 – im Jubiläumsjahr von DESY – ist PETRA III angefahren. Balewskis Job als stellvertretender Projektleiter ist damit aber noch nicht erledigt. „Ich bin mir sicher, dass mich PETRA III noch eine Weile auf Trab hält – mindestens bis Ende 2010“, sagt der Physiker. „Und es gibt bereits Ideen, die Maschine noch weiter auszubauen.“ Kann also gut sein, dass Klaus Balewski noch ein paar weitere Berufsjahre mit PETRA verbringen wird. Und man kann sich des Eindrucks nicht erwehren, dass ihm diese Vorstellung durchaus behagt.





Die längste Betonplatte der Welt: Für PETRAS drittes Leben als brillante Lichtquelle wurde ein Achtel des Rings komplett umgebaut.



MUS MUS MUS





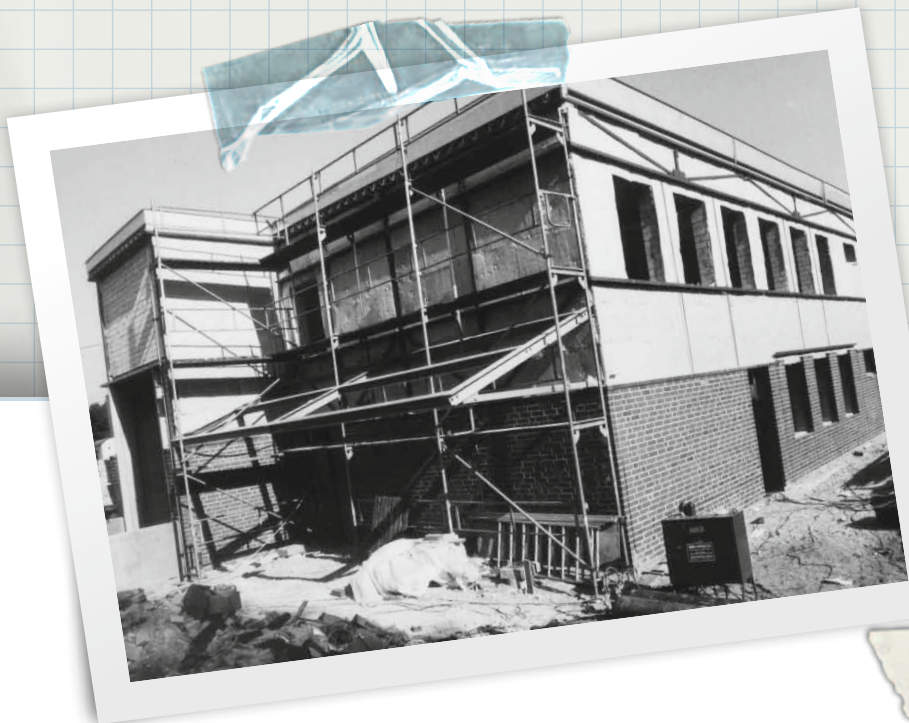
05: HASYLAB

Der Teilchenbeschleuniger als Röntgenlampe

# VOM BUNKER ZUM GROSS- LABOR







1968.  
Pioniere in Sachen  
Synchrotronstrahlung

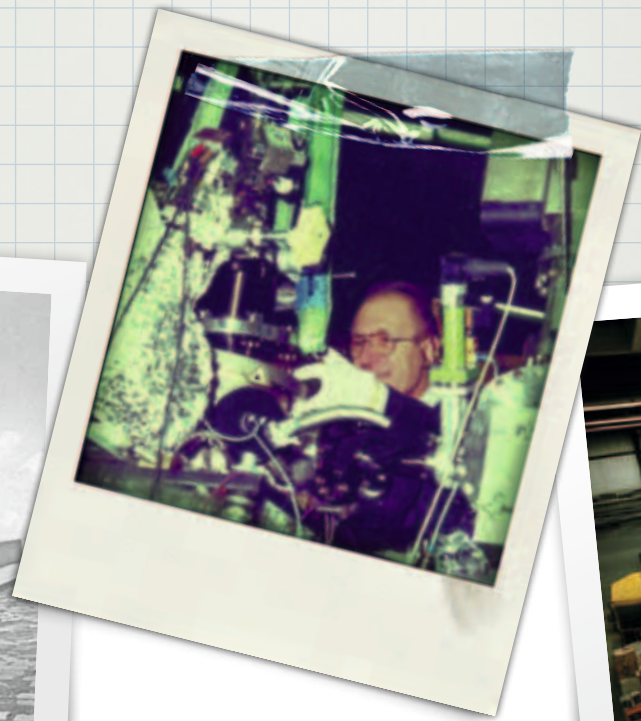
## Vom Bunker zum Großlabor

### Der Teilchenbeschleuniger als Röntgenlampe

In den sechziger und siebziger Jahren entwickelte sich Hamburg allmählich zu einem Mekka der Teilchenphysik. Doch was damals kaum jemand ahnte: DESY sollte im Laufe der Zeit ein zweites Standbein erhalten – die Nutzung der Synchrotronstrahlung. Denn Beschleuniger taugen nicht nur als Werkzeug der Teilchenjäger, sondern können auch als intensive Röntgen- und UV-Lampen fungieren. Heute zählt DESY mit seinem Hamburger Synchrotronstrahlungslabor HASYLAB zu den weltweit wichtigsten Adressen für die Forschung mit Röntgenlicht. Tausende von Wissenschaftlern profitieren von den Superlampen – Physiker, Chemiker und Materialforscher ebenso wie Biologen, Mediziner und Geologen.

Die Geschichte beginnt bereits vor der DESY-Gründung. 1947 hatte der US-Techniker Floyd Haber an einem Elektronenbeschleuniger seines Arbeitgebers General Electric einen gleißend hellen Lichtstrahl entdeckt. Da es sich bei dem Beschleuniger um ein Synchrotron handelte, wurde das Licht fortan Synchrotronstrahlung genannt. Als die DESY-Teilchenphysiker Anfang der sechziger Jahre ihr erstes Synchrotron bauten, war ihnen das intensive Leuchten eigentlich ein Dorn im Auge, denn Synchrotronstrahlung begrenzt die Maximalenergie eines Beschleunigers.





Messplätze für die Forschung  
mit einem besonderen Licht

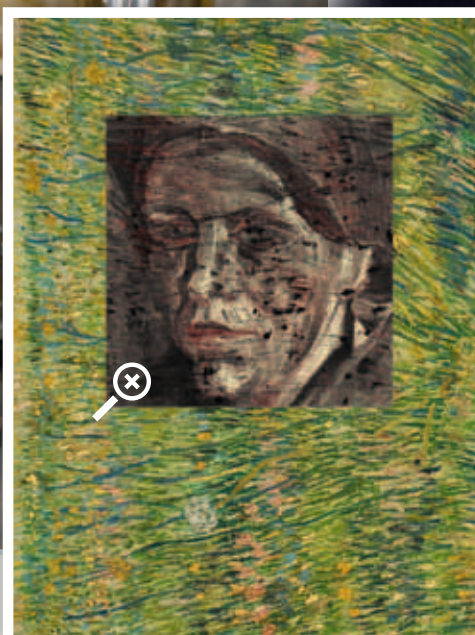


Doch der vermeintliche Störeffekt lässt sich auch nutzen – zwar nicht für die Teilchenphysik, aber für andere Disziplinen wie die Materialforschung. Über diesen Umstand dachte man bei DESY bereits nach, noch bevor der erste Beschleuniger fertig war – das Synchrotron. Treibende Kraft war der damalige Forschungsdirektor Peter Stähelin: Er hatte das Gefühl, die Synchrotronstrahlung verspreche nahezu unerschöpfliche Experimentiermöglichkeiten. Also beauftragte er den jungen Nachwuchsphysiker Ruprecht Haensel damit, sich in seiner Doktorarbeit den Perspektiven der neuen Lichtquelle zu widmen. Platz finden sollte das Projekt in einem unterirdischen Bunker neben dem Beschleuniger.

Schon 1966, nach den ersten Experimenten, war klar: DESY war in Sachen Synchrotronstrahlung auf dem richtigen Weg. Allerdings erwies es sich als knifflig, andere Wissenschaftler in Deutschland für die neue Methode zu interessieren. Viele Forscher verkannten die Möglichkeiten der neuen Lichtquelle schlichtweg oder wollten sich partout nicht in Hamburg engagieren, bevor nicht die ersten wissenschaftlichen Publikationen vorlagen. Als die dann kamen, war klar: Das Röntgenlicht aus dem Beschleuniger ist deutlich heller als aus einer konventionellen Röntgenröhre. Dadurch lassen sich die unterschiedlichsten Materialien viel genauer analysieren – Metalle, Kunststoffe oder auch biologische Proben.

Infolgedessen wuchs das Interesse der Forscher allmählich – der Bunker wurde zu eng. Er erhielt ein zweites Stockwerk, später entstand ein zweiter Messbunker. Dann, 1974, ging der Speicherring DORIS in Betrieb. Da er die Elektronen über Stunden hinweg speicherte, lieferte er wesentlich stabileres, ruhigeres Röntgenlicht als zuvor das Synchrotron. Die Nutzer der Synchrotronstrahlung erhielten ein eigenes Labor. Mit seinen 120 Quadratmetern wurde es aber rasch zu klein. Schon nach wenigen Jahren war es dem Andrang nicht mehr gewachsen.





## Van Gogh unter der Röntgenlupe

Das Bild zeigt eine grüne, blühende Sommerwiese. Ein echter von Gogh, entstanden im Jahre 1887, drei Jahre vor dem Tod des exzentrischen Genies. Doch seit kurzem ist klar: Unter „Grasgrund“, so der Titel des Meisterwerks, verbirgt sich ein weiteres, älteres Gemälde von van Gogh – das Portrait einer Bauersfrau, düster und ein wenig grobschlächtig. Die spektakuläre Enthüllung gelang 2008 am HASYLAB. Ein spezielles Röntgenverfahren hatte das alte, vom Künstler selbst übermalte Bild detailliert sichtbar gemacht.

Schon einige Zeit zuvor hatte ein belgisch-niederländisches Kunsthistoriker-Team unter der Oberfläche des Bildes die Konturen eines Kopfes entdeckt. Um herauszufinden, wie dieser Kopf genau aussieht, reisten die Experten mit dem wertvollen Gemälde nach Hamburg. Dann begannen die Messungen am DORIS-Beschleuniger. Zum Einsatz kam eine spezielle Methode, die Mikro-Fluoreszenzanalyse: Punkt für Punkt rasterte der Röntgenstrahl das Bild völlig zerstörungsfrei ab. Die in der Farbe enthaltenen chemischen Elemente antworteten auf diesen „Röntgenreiz“ – und zwar jedes auf seine Art. Auf diese Weise konnten selbst jene Farbpigmente sichtbar gemacht werden, die nur in Spuren im Gemälde stecken.

Zwei Elemente spielten die Hauptrolle: Antimon und Quecksilber. Sie finden sich vor allem in dem unteren, übermalten Portrait und weniger in der darüber liegenden Sommerwiese. Das Signal des Antimonpigments – obwohl nur in geringer Konzentration messbar – enthüllte die hellen Stellen von Nase oder Kinn. Und die quecksilberhaltigen Pigmente, z.B. das Zinnoberrot, hatte van Gogh für die rötlichen Lippen und Wangen verwendet. Als die Analysen beendet waren, zeigten sich die Kunstexperten begeistert: Zu sehen war nicht etwa nur eine grobe Skizze, sondern die Rekonstruktion eines echten, detaillierten, farbigen Gemäldes – das Portrait einer Landfrau.

Mittlerweile weiß man, dass van Gogh dieses Portrait zwischen 1884 und 1885 geschaffen haben muss. Doch schon zwei Jahre später, so spekulieren die Kunsthistoriker, könnte der Meister das Gemälde als derart altmodisch empfunden haben, dass er es schlicht und ergreifend mit der ausdrucksstarken Wiesenlandschaft übermalt hat.

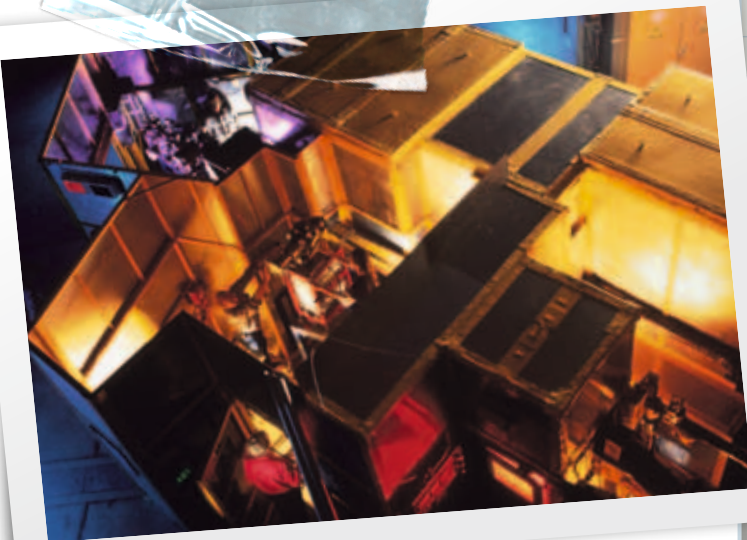


Deshalb wurde den Forschern 1978 ein deutlich größeres Labor zugesprochen – das Hamburger Synchrotronstrahlungslabor HASYLAB. 1981 war es mitsamt seiner großen Experimentierhalle fertig. Nun standen 15, später sogar 30 Messplätze zur Verfügung. Das Europäische Laboratorium für Molekularbiologie EMBL installierte eine Zweigstelle bei DORIS, um Biomoleküle detailliert zu analysieren. Bald darauf kamen Arbeitsgruppen der Max-Planck-Gesellschaft mit einer festen Außenstelle hinzu.

1991 kam der nächste Kick: Um noch mehr Licht aus dem Beschleuniger herauszuholen, wurde DORIS II umgebaut zu DORIS III. Eines der beiden geraden Segmente erhielt eine regelrechte „Ausbeulung“, wodurch sich sieben zusätzliche Spezialmagnete einsetzen ließen, Wiggler und Undulatoren genannt. Diese Magneten erzeugen besonders intensive Röntgenstrahlung, was bestimmte Experimente erst möglich macht.

Heute kommen Jahr für Jahr über 2000 Forscher aus mehr als 35 Ländern nach Hamburg, um am HASYLAB zu experimentieren. Die Spannweite ihrer Experimente ist enorm. Mit dem durchdringenden Lichtstrahl von DORIS können die Wissenschaftler tief in das Innere von Materie blicken. Sie forschen beispielsweise an effektiven Katalysatoren für eine sauberere Umwelt, feineren Analysemethoden zum Nachweis von Schadstoffen, innovativen Wirkstoffen für die Medizin, leichten und doch stabilen neuen Werkstoffen für die mobile Gesellschaft.

Messhütten im HASYLAB

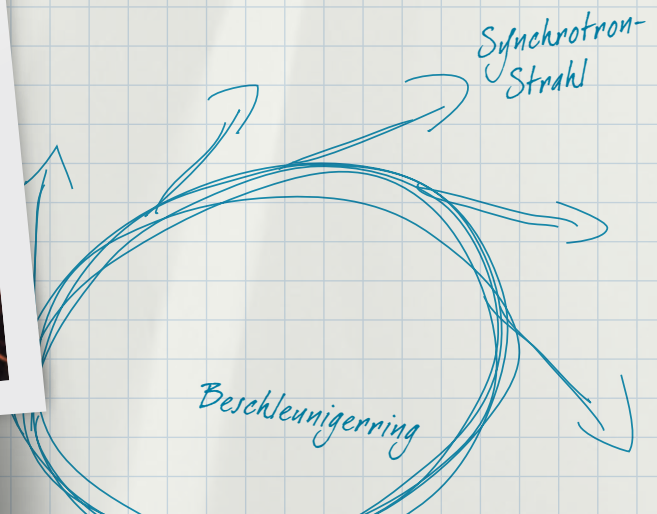


## Was ist Synchrotronstrahlung?

Synchrotronstrahlung entsteht dann, wenn Teilchen, etwa Elektronen, in einem Beschleunigerring kreisen: Immer, wenn die fast lichtschnellen Elektronen durch die Ablenkmagneten um die Kurve gelenkt werden, verlieren sie einen Teil ihrer Energie, indem sie einen hochintensiven Lichtstrahl aussenden. Im Prinzip entspricht der Effekt dem Geschehen in einem Sendemast: Auch hier werden Elektronen hin- und herbewegt und dadurch gezwungen, Radiowellen abzugeben. Die Elektronen im Speicherring haben allerdings eine deutlich höhere Energie und senden deshalb auch energiereichere Strahlung aus – keine Radiowellen, sondern ein breites Spektrum, das von Infrarotlicht bis hin zu harter Röntgenstrahlung reicht.

Noch effektiver als ein Ablenkmagnet wirken Spezialmagnete namens Wiggler und Undulatoren. Ein Wiggler wird in den Speicherring eingesetzt und besteht aus einer meterlangen Folge aus sich abwechselnden Magnetpaaren. Dieser „Magnetparcours“ zwingt die lichtschnellen Elektronen auf einen engen Slalomkurs. Durch die vielen hintereinander geschalteten Magnetpole senden die Elektronen einen weitaus intensiveren Lichtstrahl aus als in einem einzelnen Ablenkmagneten. Beim Wiggler ist die Synchrotronstrahlung bis zu hundertmal stärker als bei einem Ablenkmagneten. In einer bestimmten Betriebsart erreicht die Intensität bei gewissen Wellenlängen sogar das Tausendfache, da sich die Wellenzüge gegenseitig verstärken. Aus dem Wiggler wird ein Undulator.

Die Wissenschaftler sehen in der Synchrotronstrahlung ein höchst willkommenes Forschungswerkzeug vor allem für die Arbeit mit Röntgenstrahlung. Der Grund: Im Röntgenbereich ist das Licht aus dem Beschleuniger bis zu eine Million Mal heller als die Röntgenröhre in der Arztpraxis. Zudem ist Synchrotronstrahlung fast so gebündelt wie ein Laserstrahl. Forscher nahezu aller Disziplinen nehmen mit Synchrotronlicht die unterschiedlichsten Materialien mit atomarer Genauigkeit unter die Lupe: Metalle und Halbleiter, aber auch Kunststoffe und Eiweißmoleküle.





## Pioniere in Unterhosen

Ruprecht Haensel war der erste, der bei DESY mit Synchrotronstrahlung experimentiert hat



Ruprecht  
Haensel

Februar 1962. Bei DESY erhielt Nachwuchsphysiker Ruprecht Haensel, damals gerade 26 Jahre alt, eine ungewöhnliche Aufgabe: Er sollte in seiner Doktorarbeit herausfinden, ob sich nicht etwas Sinnvolles mit einem „Abfallprodukt“ anfangen ließe, das in ein paar Jahren bei dem ersten DESY-Beschleuniger anfallen würde – der Synchrotronstrahlung. Haensel sollte ein Rohr bauen, durch das man die Strahlung vom Beschleuniger zu einem Experimentierplatz führen konnte, der in einer Art Bunker neben dem Synchrotron Platz finden sollte.

Für Haensel bedeutete das einen Haufen Pionierarbeit: „Es gab damals auf der Welt noch kein Labor, das systematisch mit Synchrotronstrahlung gearbeitet hatte und bei dem wir uns etwas anschauen konnten“, erinnert er sich. „Wir waren die ersten, die die neue Strahlung systematisch erschließen wollten.“

Haensel wälzte die Fachliteratur und machte sich mit der Vakuumtechnik vertraut; schließlich musste der gebündelte Lichtstrahl durch eine luftleer gepumpte Röhre an einen Messplatz geleitet werden. „Gelegentlich hat einer aus Versehen ein Ventil geöffnet. Dann gab es eine Implosion, und wir haben den ganzen Ring belüftet.“ Einmal – nach einem heftigen Sommerregen – mussten die Forscher ihren Bunker sogar von Hand leerschippen. Haensel: „Da hatten wir unsere Hosen ausgezogen, standen in Unterhosen da und machten einen sehr männlichen Eindruck!“

Doch derlei Rückschläge konnten den Doktoranden nicht schrecken. 1965, nachdem das Synchrotron in Betrieb gegangen war, hatte Haensel ein wichtiges Etappenziel erreicht: „Über einen Spiegel konnte ich das Licht im Ring sehen. Es war ein grell glänzendes Licht – ein aufregender Augenblick.“ Der Physiker hatte nachweisen können, dass die Synchrotronstrahlung im Röntgenbereich den theoretisch erwarteten Eigenschaften entsprach – und erscrieb sich damit 1966 seinen Doktorhut. Das Ergebnis: Der Teilchenbeschleuniger als Lichtquelle ist um Größenordnungen stärker als eine herkömmliche Röntgenröhre, wie man sie aus Arztpraxen kennt.

Dennoch: „Die Experimente der Teilchenphysik hatten immer Vorrang, und wir standen im zweiten Glied“, erinnert sich Ruprecht Haensel. „Die meisten Teilchenforscher am DESY sahen das als eine Art Abfallverwertung und bezeichneten uns liebevoll als Parasiten.“ Die ersten Experimente begannen unter primitivsten Bedingungen: Die Forscher hockten hinter einem Schutzwall und hielten zwei Drähte in der Hand. Mit dem einen zogen sie die Probe in den Strahl hinein, mit dem anderen wieder heraus.

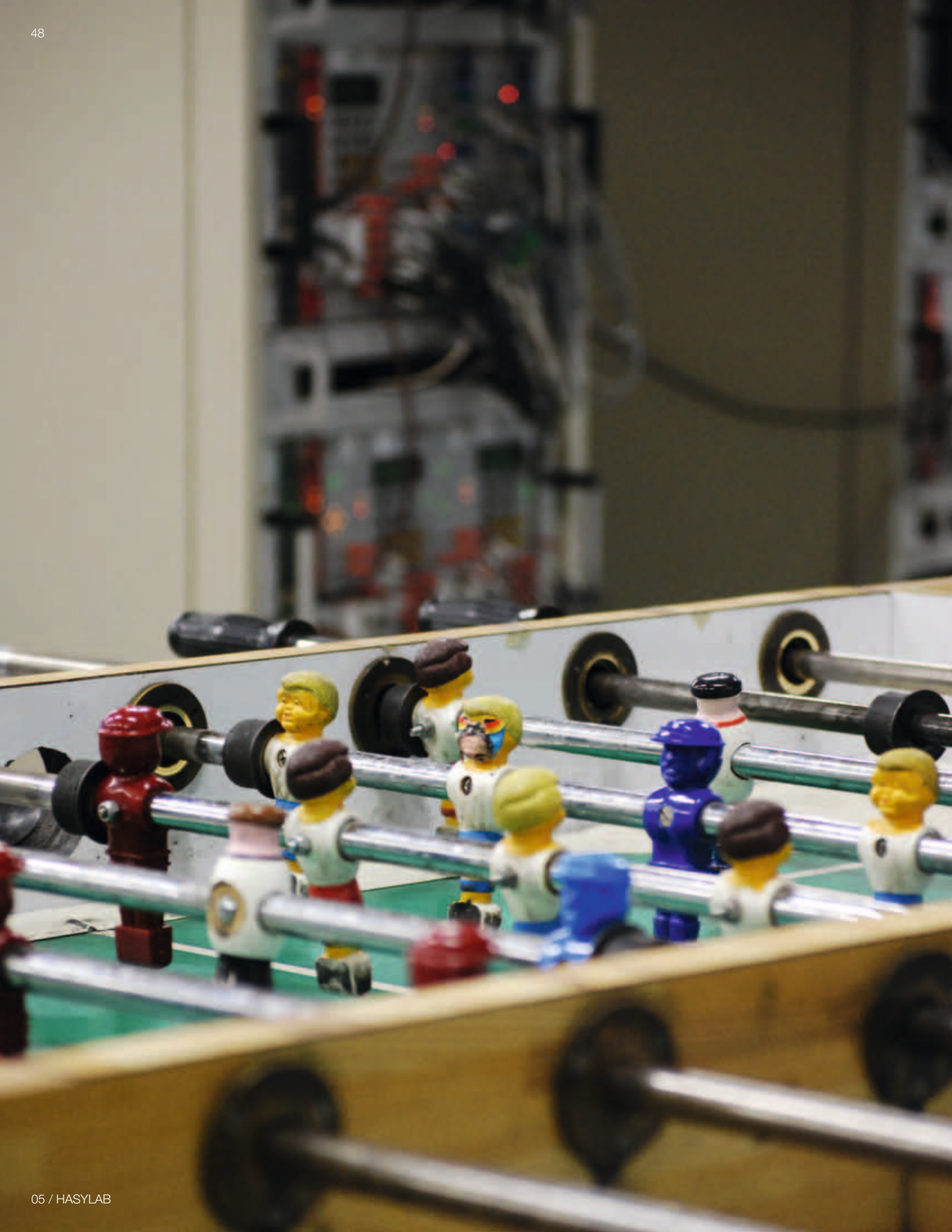
„Zunächst haben wir fröhlich vor uns hingemessen“, schmunzelt Haensel. „Ich glaube, die ersten Ergebnisse waren völliger Blödsinn!“ Dann aber trugen die Versuche erste wissenschaftliche Früchte, etwa die Vermessung bestimmter Metalle. Eine Fachveröffentlichung folgte der nächsten; der Erfolg entschädigte für Mühen und durchgearbeitete Nächte. „Zwar wussten wir damals, dass wir an einer hochinteressanten Sache dran sind“, rekapituliert Ruprecht Haensel. „Aber wie sich das Feld dann später entwickelt hat, das konnten wir nicht einmal ahnen.“





Schuppen im Dienst der Wissenschaft:  
Pionierarbeit im Messbunker







## Messen mit der Röntgenlupe

Seit Jahrzehnten kommt der Däne Robert Feidenhans'l nach Hamburg, um am HASYLAB zu forschen

Das Labor ist groß wie eine Turnhalle. In seinem Inneren drängen und stapeln sich alle denkbaren physikalischen Gerätschaften: Vakuummkammern, Kabel, Schränke voller Spezialelektronik sowie lange Röhren, eingewickelt in Alufolie. Pumpen zwischen, die Lüftung rauscht und ab und zu gibt eine Automatenstimme durch, welcher der 36 Messplätze gerade aktiv wird.

An einem der Rechner, unweit einer gelb markierten Hütte aus mattem Metall, hockt Robert Feidenhans'l. Für ein paar Tage ist der Physikprofessor vom Niels-Bohr-Institut in Kopenhagen ans HASYLAB gekommen, um seine Proben mit dem intensiven Röntgenstrahl von DORIS zu beleuchten. Es sind winzige Siliziumplättchen, deren Oberflächen nanometerfeine Strukturen tragen – Grundlagenforschung für die Nanotechnologie.

Der Däne zählt zu den Pionieren am HASYLAB: 1981 lernte er das Labor als Sommerstudent kennen. Später, als Doktorand, hat er den Messplatz BW2 aufgebaut. „Noch heute kenne ich ihn in- und auswendig“, sagt er. In jedem Jahr kommen Feidenhans'l und seine Leute drei- bis viermal nach Hamburg, um an BW2 zu messen.

Wie so eine Messung abläuft? „Als erstes müssen wir Instrument und Probe justieren“, antwortet Feidenhans'l. „Das ist fast das Wichtigste – ein Physiker, der das Justieren nicht beherrscht, misst falsch oder ungenau!“ Konkret heißt das: Die Forscher schieben diverse Blenden, Halterungen und Stellschrauben solange hin und her, bis der haarfeine Röntgenstrahl optimal auf die Probe fällt. Auch der Detektor – quasi die Röntgenkamera – muss so eingestellt werden, dass er die Signale bestmöglich erfasst. „Meist dauert diese Prozedur einen halben Tag“, erzählt Feidenhans'l. „Ein Geduldspiel.“

Dann endlich können die Messungen losgehen. Sie finden gut abgeschirmt in einer speziellen Hütte mit Wänden aus Blei statt. „Sobald der Strahl in der Hütte ist, darf keiner mehr rein“, sagt der Däne. Gesteuert wird das Experiment von außen, per Computer. Drinnen trifft der Röntgenstrahl auf die Probe – das Siliziumplättchen – und wird von ihr in bestimmte Richtungen reflektiert. „Nach diesen Röntgenreflexen suchen wir mit unserem Detektor“, beschreibt Feidenhans'l. „Wir analysieren, wo sie liegen und wie stark sie sind.“ Um eine komplette Messreihe aufzuzeichnen, werden Probe und Detektor systematisch gedreht. Aus den Daten lässt sich herausfinden, wie im Detail die Oberfläche des Siliziumplättchens beschaffen ist.

Der Speicherring läuft Tag und Nacht, deshalb arbeiten die Physiker im Schichtbetrieb: „Die jungen Forscher müssen natürlich immer die Nachtschichten übernehmen“, feixt Feidenhans'l. Herrscht zwischendurch mal Leerlauf, bietet ein Tischfußball fachfremde Ablenkung. „Meistens aber nutzen wir die Zeit, um schon mal die Messdaten auszuwerten“, sagt der Röntgenprofessor aus Kopenhagen. „Dann nämlich können wir sehen, ob man etwas Vernünftiges gemessen hat oder ob die Probe falsch justiert oder unbrauchbar war.“

Und die Zukunft? Feidenhans'l lächelt. „Ich habe mir schon mal die neue Experimentierhalle von PETRA III angeschaut“, erzählt er. „Auf die Messungen dort freue ich mich schon!“ Denn mit dem Röntgenlicht von PETRA werden sich die dänischen Nanokristalle noch viel genauer unter die Lupe nehmen lassen als bislang.



Robert  
Feidenhans'l







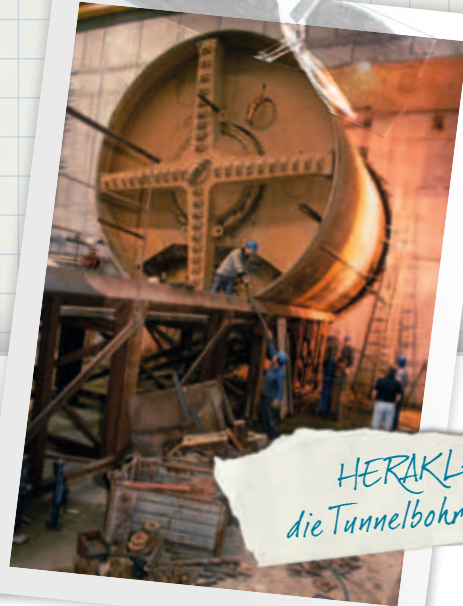
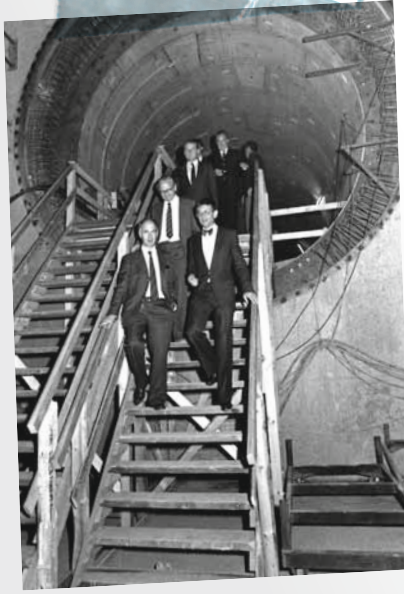
06: HERA

Mit HERA baut DESY seinen größten Beschleuniger

# DER GIGANT VON BAHRENFELD



VIP-Besuch  
im Tunnel



HERAKLES,  
die Tunnelbohrmaschine

## Der Gigant von Bahrenfeld

Mit HERA baut DESY seinen größten Beschleuniger

Am 30. Juni 2007, einem Samstag, drängten sich spät abends mehr als hundert Physiker im Beschleunigerkontrollraum von DESY. Dann, um punkt halb 12, zählten alle den Countdown herunter. Nach der „Null“ herrschte ratloses, fast bedrücktes Schweigen. Dann aber brandete Applaus auf – Applaus für HERA, den größten Teilchenbeschleuniger, den DESY je gebaut hatte. An diesem Abend im Sommer 2007 war der 6,3 Kilometer lange Ring nach 15-jähriger Laufzeit mit einem Knopfdruck abgeschaltet worden.

HERAs Geschichte begann in den späten siebziger Jahren. Der PETRA-Ring war gerade in Betrieb gegangen, und die DESY-Verantwortlichen sannten darüber nach, wie ein Nachfolgeprojekt aussehen könnte. Einer der Forscher, Björn Wiik, machte sich für eine verwegene Idee stark. Er schlug einen völlig neuen, bis dato noch nicht dagewesenen Speicherring-Typ vor: einen Beschleuniger, der Elektronen und Wasserstoffkerne, also Protonen, aufeinander feuert. Mit so einer Maschine hätte man, so das Kalkül, ein extrem leistungsfähiges Mikroskop für das Proton an der Hand. Man könnte dieses überaus wichtige Materieteilchen so detailliert untersuchen wie nie zuvor – eine höchst wertvolle Ergänzung zu anderen Speicherringen.





## Tiefgekühlte Magnete

Wasserstoffkerne (Protonen) lassen sich auf deutlich höhere Energien beschleunigen als Elektronen, da bei ihnen die Verluste durch Synchrotronstrahlung nicht so groß sind. Sie sind viel schwerer als Elektronen. Aus diesem Grund braucht ein Protonenring viel stärkere Magnete als ein Elektronenring, um die Teilchen auf der Kreisbahn zu halten. Die beste Technik, mit deren Hilfe sich solche superstarken Elektromagnete effektiv bauen lassen, heißt Supraleitung. Bei der Supraleitung verlieren bestimmte Materialien ihren elektrischen Widerstand und leiten den Strom völlig verlustfrei – vorausgesetzt, man kühlt sie auf extrem tiefe Temperaturen ab: auf ungefähr minus 269 Grad Celsius, also rund vier Grad über dem absoluten Temperaturnullpunkt.

Die Herausforderungen beim Bau des supraleitenden Protonenrings von HERA waren enorm: Die HERA-Konstrukteure entwickelten Magnetspulen, die auf zig meterlangen Spezialkabeln aus einer Niob-Titan-Legierung basieren. Diese Spulen mussten überaus präzise geformt werden

und auf ein fünfzigstel Millimeter genau in ihrer Position fixiert bleiben. Das ist alles andere als ein Kinderspiel angesichts der gewaltigen Kräfte, die in so einem Magneten wirken: Während des Betriebs zerrten rund 100 Tonnen an jedem Meter Spule. Insgesamt brauchte HERA 750 supraleitende Magnete, die meisten von ihnen neun Meter lang und zehn Tonnen schwer. Sie wurden in Serie von zwei Unternehmen aus Italien und Deutschland gefertigt – eine große Herausforderung auch für die Industrie.

Ähnlich anspruchsvoll war die Kältetechnik: Schließlich musste der gesamte, 6,3 Kilometer lange Protonenring mit Hilfe von flüssigem Helium auf minus 269 Grad Celsius gebracht werden. Um das zu schaffen, baute die Firma Sulzer im Auftrag von DESY den bis dato größten „Kühlschrank“ Europas. Dieser beanspruchte eine ganze Halle für sich. Mit einem Durchsatz von 15 Tonnen Flüssighelium war er mehr als zehnmals leistungsfähiger als irgendeine andere vergleichbare Kälteanlage in Europa.



$$F_2^{ep}(x) = x \left\{ \frac{4}{9} [u(x) + \bar{u}(x)] + \frac{1}{9} [d(x) + \bar{d}(x) + s(x) + \bar{s}(x)] \right\}$$

## Das Proton im Visier

Was HERA der Physik brachte

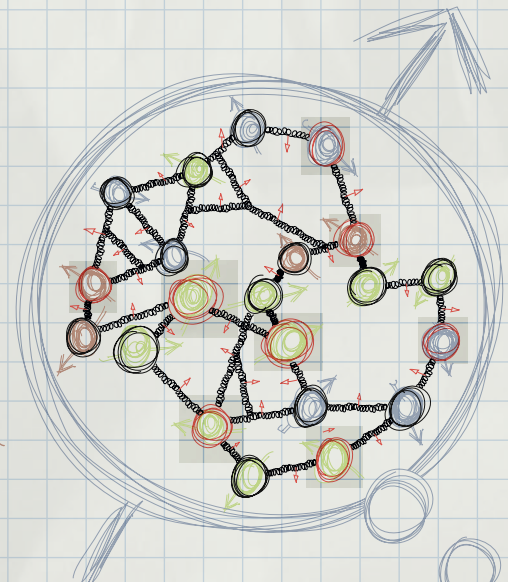
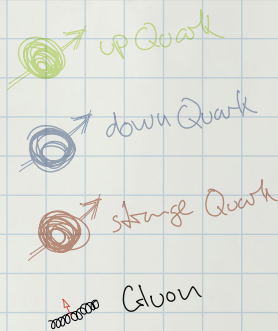
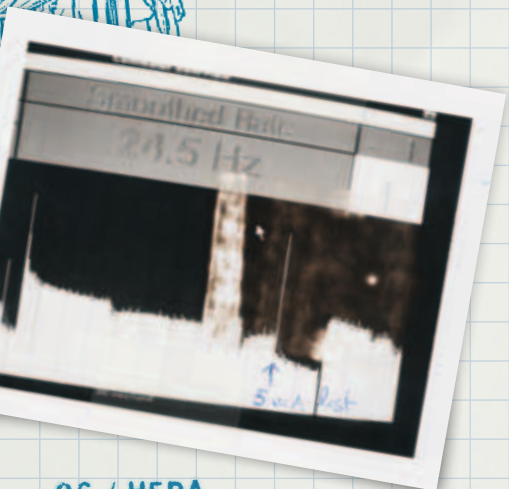
Indem HERA Elektronen und Protonen mit voller Wucht aufeinander prallen ließ, fungierte der Beschleuniger als ein Supermikroskop für Protonen (Wasserstoffkerne). Das Proton besteht aus Quarks. Die Elektronen dienten bei den Kollisionen als Sonden, die das Zusammenspiel der Quarks studierten. Damit konnten die Physiker viel genauer als jemals zuvor untersuchen, wie das Proton aus Quarks zusammengesetzt ist.

Im Laufe der Jahre entdeckten die Experimente H1 und ZEUS an HERA, dass das Proton nicht aus nur drei Quarks besteht, sondern aus einem regelrechten Quark-Gewimmel, einem See aus zumeist extrem flüchtigen und kurzlebigen Teilchen. Das bedeutet: Der Wasserstoffkern ist deutlich komplexer aufgebaut als erwartet. Außerdem legten die Messungen nahe, dass Quarks tatsächlich elementar sind und nicht aus noch kleineren Bausteinen bestehen – ebenfalls ein wichtiges Resultat. Mit HERA ließ sich sogar abschätzen, wie groß ein Quark höchstens ist: Es muss kleiner sein als ein Tausendstel des Protonendurchmessers.

Auch bei einem Nobelpreis hat HERA eine wichtige Rolle gespielt: 2004 waren die US-Physiker David Gross, David Politzer und Frank Wilczek für ihre theoretischen Berechnungen der zwischen den Quarks wirkenden starken Kraft ausgezeichnet worden. HERA hat ihre Berechnungen eindrucksvoll bestätigt.

HERMES, ein in den neunziger Jahren gebauter HERA-Detektor, förderte ebenfalls Interessantes zutage. Er ging einem Problem nach, das die Teilchenforscher als „Spinkrise“ bezeichnen. Der Spin eines Elementarteilchens ist bildlich gesprochen sein Eigendrehmoment. Lange schon wussten die Physiker, dass der Spin des Protons den Wert  $\frac{1}{2}$  hat. Nur: Wie kommt dieser Wert zustande? Die nahe liegende Antwort würde lauten: Man muss einfach die Spins der drei Quarks addieren, aus denen das Proton besteht. Bei dieser Addition kommt allerdings ein viel zu kleiner Wert heraus. HERMES lieferte deutliche Hinweise, woher der fehlende Rest kommen könnte: Unter anderem dürften die Bewegungen der Quarks, die sie innerhalb des Protons vollführen, einen gehörigen Teil zum Protonenspin beitragen.

Viele der mit HERA gewonnenen Erkenntnisse haben Eingang in die Lehrbücher gefunden und gehören zum Grundlagenwissen über den Aufbau unserer Welt. Eine physikalische Sensation hatte die Hamburger Teilchenschleuder im Laufe ihrer 15-jährigen Amtszeit allerdings nicht zu bieten – eine leise Enttäuschung für die Forscher. So hatten die Wissenschaftler gehofft, dass einzelne Elektronen bei den Kollisionen an den Quarks kleben bleiben und dadurch ein ganz neues Teilchen bilden. Die Existenz eines solchen Leptoquarks hätte die Grundfesten der Teilchenphysik erschüttert und den HERA-Forschern wohl einen Nobelpreis beschert. Aber ebenso wie an den anderen großen Beschleunigern auf der Welt blieb die Suche nach derart exotischen Teilchen bei HERA ohne Erfolg.







Das Experiment HERMES an HERA

Rasch wurde klar: Wollte man wirklich Spitzenforschung betreiben, wäre diese Hadron-Elektron-Ring-Anlage, kurz HERA, so groß, dass sie nicht auf das DESY-Gelände passen würde. Konkret: Die neue Maschine, bestehend aus zwei übereinander angeordneten Vakuumröhren, sollte in einem unterirdischen, 6,3 Kilometer langen Ringtunnel Platz finden. Ausgehend vom DESY-Gelände sollte dieser Ring in 10 bis 20 Metern Tiefe unterhalb von Volkspark, Trabrennbahn und einem Gewerbegebiet verlaufen, aber auch unter einigen Dutzend Wohnhäusern. Ein kühner Plan: Nirgendwo auf der Welt hatte es jemand gewagt, einen Beschleuniger unter den Wohngebieten einer Stadt zu bauen.

Auch die technischen Herausforderungen schienen enorm. So sollten die schnellen Protonen durch supraleitende Magnete auf ihrer Kreisbahn gehalten werden – eine überaus anspruchsvolle Technologie. Eine weitere Hürde bildeten die Kosten: Alles in allem sollte der Beschleuniger rund eine Milliarde DM kosten. Um so ein Megaprojekt zu stemmen, waren die Physiker um Björn Wiik und den damaligen DESY-Direktor Volker Soergel darauf angewiesen, Forscher und Institutionen aus dem Ausland für HERA zu gewinnen und ihre tat- und zahlungskräftige Unterstützung einzuwerben.

HERA war die größte und schwierigste Aufgabe, die DESY je angegangen hatte. Niemand hatte zuvor so einen Speicherring gebaut, die Hamburger wagten sich in absolutes Neuland. Nicht wenige Fachleute und auch Forschungspolitiker waren deshalb skeptisch, ob das Konzept aufgehen würde. Doch die DESYaner konnten sie überzeugen. Zum einen legten sie einen stichhaltigen Plan vor, wie man die supraleitenden Magnete effektiv konstruieren und von der Industrie fertigen lassen könnte. Zum anderen gelang es ihnen, renommierte Institute aus dem Ausland ins HERA-Boot zu holen, unter anderem aus Frankreich, Großbritannien, Italien, Kanada, Israel, den Niederlanden und den USA. Diese Partner entsandten Personal und bauten wichtige Komponenten für den Beschleuniger. Allein Italien lieferte rund die Hälfte der 750 supraleitenden Magnete – ein entscheidender Beitrag.

Björn Wiik, der „Vater“ von HERA





# Mit ZEUS auf Teilchenjagd

Der Oxford-Physiker **Brian Foster** experimentierte von Beginn an am HERA-Ring. Von 1999 bis 2004 war er Sprecher von ZEUS, einem multinationalen Team aus etwa 450 Physikern.



**Was hat Sie in den frühen achtziger Jahren dazu bewogen, sich in das ZEUS-Projekt einzuklinken?**

**Brian Foster:** Ich hatte ab 1978 schon bei TASSO mitgemacht, einem der Detektoren am PETRA-Beschleuniger. Viele meiner TASSO-Kollegen haben sich dann bei ZEUS engagiert. Da lag es für mich nahe, ebenfalls an der neuen Maschine zu experimentieren, denn sie versprach höchst interessante Ergebnisse. Allerdings erwies es sich als sehr anspruchsvoll, einen Detektor für HERA zu bauen. Er musste viel mehr Messdaten aufnehmen und verarbeiten können als die Detektoren bei PETRA.

**Das ZEUS-Team setzte sich aus etwa 450 Physikern zusammen, die aus ganz verschiedenen Ländern kamen. Lief da die Zusammenarbeit immer glatt?**

Nun, gelegentlich gab es Meinungsverschiedenheiten darüber, wie wir den Detektor im Detail konstruieren sollten. Manchmal gingen diese Meinungsverschiedenheiten sogar soweit, dass einzelne Forscher das Projekt verließen. Aber so etwas lässt sich in so einem großen Team nicht vermeiden. Im Großen und Ganzen aber lief das Teamwork extrem gut. Meistens konnten die Streitpunkte in Diskussionen geklärt werden.



**ZEUS lief mit Unterbrechungen 15 Jahre lang, und Sie waren die ganze Zeit dabei. Was war das Aufregendste, was Sie in dieser Zeit erlebt haben?**

Ich kann mich noch sehr gut daran erinnern, als HERA in Betrieb ging und wir unseren Detektor einschalteten. Als die ersten Teilchen kollidieren sollten, starrten wir wie gebannt auf den Schirm. Wir hatten keine Ahnung, was uns erwartete und waren höchst erfreut, als wir kein Rauschen sahen, sondern klare Spuren von Teilchenkollisionen. Das zeigte uns: ZEUS funktionierte wirklich!

Ein paar Jahre später dann hatte es so ausgesehen, als hätte ZEUS ein ganz neues, exotisches Teilchen entdeckt, das Leptoquark. Diese Entdeckung wäre eine Sensation gewesen, und deshalb herrschte in dieser Zeit bei DESY große Aufregung. Aber ein halbes Jahr später stellte sich heraus: Es hat sich leider bloß um einen statistischen Ausreißer gehandelt und nicht um eine Entdeckung.

**Welches war Ihrer Meinung nach das wichtigste Resultat der HERA-Experimente?**

HERA hat herausgefunden, wie das Proton im Detail aufgebaut ist und wie die starke Kernkraft diesen Aufbau bestimmt. Dieses Wissen wird sich in den Lehrbüchern der kommenden Jahrzehnte niederschlagen. Und ich denke nicht, dass in absehbarer Zeit etwas grundlegend Neues dazukommen wird.





Im April 1984 gaben der damalige Bundesforschungsminister Heinz Riesenhuber und Hamburgs damaliger Wissenschaftssenator Hansjörg Sinn das Okay. Wenige Tage danach begannen die Bauarbeiten. Ein Jahr später trat die Schildvortriebsmaschine in Aktion – eine Art mechanischer Riesenmaulwurf, der sich unterirdisch durch den Hamburger Untergrund wühlte. Gleichzeitig wurden über den Ring verteilt vier große, unterirdische Hallen gebaut. In ihnen sollten die Detektoren Platz finden – riesige Installationen, zum Teil groß wie Häuser, vollgestopft mit Messelektronik und hochsensiblen Sensoren. Die beiden zuerst aufgebauten Detektoren hießen H1 und ZEUS, betrieben und finanziert von multinationalen Teams bestehend aus mehreren hundert Physikern.

Im August 1987 hatte die Tunnelbohrmaschine den Ring ohne größere Zwischenfälle fertig gegraben. Mit einer Abweichung von gerade mal zwei Zentimetern kam sie wieder an ihrem Ausgangspunkt an. Dann, im November 1990, drückte der damalige Forschungsminister Heinz Riesenhuber vor mehr als 1000 geladenen Gästen den roten Knopf. HERA war – zumindest symbolisch – aktiviert. Der Bau hatte sechseinhalb Jahre gedauert. Der ehrgeizige Zeitplan war eingehalten, und die Physiker waren innerhalb des Budgets von rund 1,2 Milliarden DM für den Beschleuniger und die Detektoren geblieben. Besonders bemerkenswert: Obwohl HERA ein deutsches Projekt war, hatte das Ausland insgesamt mehr als 20 Prozent zum Beschleuniger und zu den Detektoren beigetragen – nahezu 300 Millionen DM.

Die Messungen begannen im Juni 1992. Zunächst wurden Elektronen auf die Protonen gefeuert, später dann auch Positronen. 1998 konnten die Physiker die Energie der Protonen von 820 auf 920 GeV steigern. Und ab 2000 verpassten sie HERA eine gründliche Renovierung, bei der sie die Luminosität – ein Expertenmaß für die „Trefferrate“ der Teilchen – mehr als verdoppeln konnten.

15 Jahre lang lief HERA äußerst zuverlässig und lieferte eine Fülle von Daten. Im Sommer 2007 endete der Experimentierbetrieb an Deutschlands größtem Forschungsinstrument, das Physikgeschichte schrieb. Die bis ins nächste Jahrzehnt dauernde Auswertung der Messdaten wird einzigartige Einsichten in das Innenleben des Protons und die Natur der fundamentalen Kräfte liefern. Demontiert wurde die Maschine aber nicht. DESY hat sie stillgelegt und dafür gesorgt, dass nichts rostet. Und sollte jemand eines Tages eine zündende Idee haben, etwas Neues, Spannendes mit HERA zu machen, ließe sich der Beschleuniger ohne gewaltigen Aufwand wiederbeleben.



8. November 1990: Forschungsminister Riesenhuber gibt das Signal zum Start von HERA.



Applaus für eine große Maschine: Im Sommer 2007 wurde HERA abgeschaltet.







07: Zeuthen

Mit Zeuthen besitzt DESY eine schlagkräftige Zweigstelle in Ostdeutschland



FORSCHEN  
AM SEE



## Forschen am See

Mit Zeuthen besitzt DESY eine schlagkräftige Zweigstelle in Ostdeutschland

Die Lage ist idyllisch – ein Grundstück am See, an heißen Sommertagen lockt der Sprung ins kühle Nass. Und der Ort ist historisch: In „Hankels Ablage“, einem ehemaligen Hotel und Ausflugslokal, lässt Theodor Fontane Ende des 19. Jahrhunderts die Schlüsselszenen seines berühmten Romans „Irrungen und Wirrungen“ spielen. Heute findet sich an dieser Stelle das Verwaltungsgebäude des zweiten DESY-Standorts Zeuthen südöstlich von Berlin.

Das Institut blickt auf eine überaus bewegte Geschichte zurück. Seine Wurzeln reichen bis ins Jahr 1939, als das Reichspostministerium in Zeuthen ein kernphysikalisches Labor einrichtete – das Amt für physikalische Sonderfragen. Ein Jahr zuvor hatte Otto Hahn die Kernspaltung entdeckt. In Zeuthen wollte man unter anderem herausfinden, inwieweit sich die „Atomzertrümmerung“ als neue Energiequelle eignen könnte, aber auch für die Herstellung von Bomben mit ungeheurer Sprengkraft.

Besonders weit kam die Reichspost jedoch nicht. Sie hatte in Zeuthen ein Zyklotron bauen wollen, damals der modernste Beschleunigertyp. Doch im Mai 1945, kurz vor Fertigstellung des Apparats, besetzten sowjetische Truppen das Institut. Sie machten sich umgehend an die Demontage des Zyklotrons und aller sonstigen Einrichtungen.

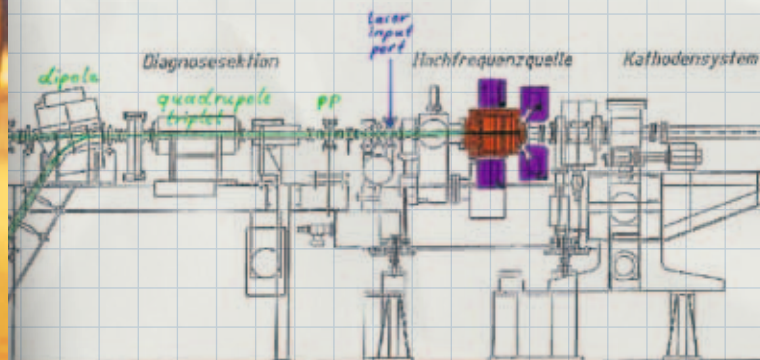
Um 1950 begann sich die gerade gegründete DDR für die Kernphysik zu interessieren und gründete auf dem Zeuthener Gelände das Institut Miersdorf. In internen Dokumenten wurde es auch als Institut X bezeichnet – wobei das „X“ auch für Kernphysik stand, ein damals für Deutschland noch unerlaubtes Forschungsgebiet. Die Mission des neuen Instituts: Die Forscher sollten die Grundlagen für Kernkraftwerke schaffen, aber auch radioaktive Isotope für die Medizin herstellen.



## Elektronenhirn, Elektronenkanone, Eiswürfel

Heute arbeiten rund 200 Menschen bei DESY in Zeuthen. Die Forschung konzentriert sich auf drei Schwerpunkte:

- 01 Seit 1994 gibt es das Zentrum für paralleles Rechnen – ein international anerkanntes Rechenzentrum für die theoretische Teilchenphysik. Mit speziellen Computern, die aus Aberhunderten von Prozessoren bestehen und deshalb extrem schnell sind, können die Forscher aufwändige Berechnungen anstellen, um beispielsweise das komplexe Wechselspiel der Quarks zu simulieren. Die Ergebnisse dieser Computersimulationen lassen sich dann mit Teilchenbeschleuniger-Experimenten überprüfen.
- 02 Mit dem Photoinjektor-Teststand in Zeuthen, kurz PITZ, haben die Zeuthener Forscher einen Teststand der ganz besonderen Art aufgebaut. Er dient der Entwicklung von speziellen, hochpräzisen „Elektronenkanonen“. Das Besondere: Innerhalb von Bruchteilen einer billionstel Sekunde müssen diese Kanonen mehrere Milliarden Elektronen produzieren und zu einem winzigen Paket zusammenschnüren – eine enorme technische Herausforderung. Doch solche ultra-präzisen Elektronenquellen sind nötig, um den stärksten Röntgenlaser der Welt bauen zu können: den europäischen Röntgenlaser European XFEL, der in Hamburg entsteht.
- 03 Zeuthener Astrophysiker sind maßgeblich an einem spektakulären Großexperiment am Südpol beteiligt: IceCube. Es besteht aus knapp 5000 hochsensiblen optischen Sensoren. Sie sind an Drahtseilen mehrere Kilometer tief im Eis der Antarktis verankert und decken ein Volumen von einem Kubikkilometer ab. Die basketballgroßen Glaskugeln sollen die Signale von Neutrinos aufschnappen – geisterhaften Elementarteilchen, die nur sehr sporadisch mit gewöhnlicher Materie interagieren. IceCube, das 2011 fertig sein soll, fungiert dabei als Neutrino-teleskop und soll Geisterteilchen aus den fernsten Winkeln des Weltalls beobachten. Die Forscher hoffen, völlig neue Erkenntnisse über kosmische Extremereignisse zu gewinnen: Was geschieht in der Nähe schwarzer Löcher? Wie spielt sich die Supernova-Explosion eines sterbenden Riesensterns ab? Wie funktionieren kosmische Teilchenbeschleuniger?





Doch 1957 ging in Rossendorf bei Dresden der erste Forschungsreaktor der DDR in Betrieb. Damit hatte sich der Schwerpunkt der ostdeutschen Kernforschung verschoben, und die Physiker in Zeuthen wandten sich der Teilchenphysik zu – erst unter dem Namen Forschungsstelle für Physik hoher Energien, ab 1968 dann als Institut für Hochenergiephysik IfH.



1991: Jetzt gehören DESY und IfH zusammen.

Allerdings besaß die DDR keinen eigenen Großbeschleuniger. Deshalb arbeiteten die Zeuthener am Vereinigten Institut für Kernforschung, dem osteuropäischen Beschleunigerzentrum im russischen Dubna mit, waren aber auch regelmäßig im Westen an Versuchen am europäischen Teilchenforschungszentrum CERN in Genf beteiligt. Zwischen 1965 und 1967 mischten die DDR-Physiker sogar bei der Auswertung von Experimenten am DESY-Synchrotron mit – bis das SED-Regime die deutsch-deutsche Wissenschaftskooperation unterband. Dennoch: Über das CERN konnte Zeuthen stetige Verbindung mit westeuropäischen Forscherteams halten.

Mitte der achtziger Jahre tauten die deutsch-deutschen Beziehungen ein wenig auf, es kam ein Abkommen über wissenschaftliche und kulturelle Kooperationen zustande. Die Folge: Ab 1986 konnte das IfH offiziell bei H1 mitmachen, einem der beiden großen Teilchendetektoren, die gerade für den HERA-Speicherring gebaut wurden.

Dann, im November 1989, fiel die Mauer. Bei aller Freude über das Ende des Kalten Krieges machte sich in Zeuthen Unsicherheit breit: Wie sollte es weitergehen? Die DDR war faktisch bankrott, das Überleben des Instituts vollkommen ungewiss. Jetzt sollte sich rentieren, dass es den Zeuthener Physikern gelungen war, trotz zum Teil widriger Bedingungen den Kontakt zu westlichen Teilchenphysik-Zentren aufrechtzuerhalten und in internationalen Spitzenprojekten mitzuarbeiten, etwa an dem L3-Detektor am CERN.

Als 1990 unabhängige Experten die wissenschaftliche Qualität des Instituts begutachteten, kamen sie zu einer überaus positiven Beurteilung und empfahlen, es dauerhaft zu erhalten. Jetzt machten sich auch die guten Kontakte nach Hamburg bezahlt: Bald nach der Wende hatte DESY signalisiert, man sei für ein Zusammengehen offen. Am 11. November 1991 wurde der entsprechende Staatsvertrag zwischen der Bundesrepublik Deutschland und den Ländern Brandenburg und Hamburg unterzeichnet. Damit gehörte das IfH Zeuthen zu DESY, das nunmehr zwei Standorte mit jeweils hochkarätigem Forschungsprofil hat.



# Wendemanöver geglückt

*Thomas Naumann, 2001 – 2009 stellvertretender Leiter des Forschungsbereichs Zeuthen, über die deutsche Teilchen-Einheit.*



## Seit wann forschen und arbeiten Sie in Zeuthen?

**Thomas Naumann:** Im Jahr 1975, mit 22 Jahren, fing ich am Institut für Hochenergiephysik meine Doktorarbeit an. Dass ich hier gelandet bin, war reiner Zufall. Aber ich war sofort begeistert von dieser tollen Physik und der wundervollen Atmosphäre. Dem damaligen Direktor Karl Lanius war es gelungen, eine einzigartige Umgebung zu schaffen – fachlich wie politisch. Das hieß etwa, dass im Gegensatz zu vielen anderen DDR-Forschungseinrichtungen nicht der automatisch Karriere machte, der in der SED etwas zu sagen hatte. In gewissem Sinne lebten wir also auf einer Insel der Glückseligen.

## Dennoch waren die Arbeitsbedingungen sicher nicht leicht, oder?

Wir haben versucht, was wir konnten, und wir haben das Beste draus gemacht. Zwar durften nur wenige von uns nach Genf ans CERN fahren, um dort zu experimentieren. Dafür aber konnten wir viel zur Datenanalyse beitragen: Das CERN schickte uns Zigtausende Filmrollen von einem Teilchendetektor, einer Blaskammer. Mit unseren hochwertigen Analysegeräten konnten wir diese Aufnahmen dann detailliert auswerten. Das bedeutet: Diese Fotos haben uns authentische Physik ins Labor gebracht – als würden wir das Experiment bei uns im Hause machen. Die Ergebnisse konnten wir dann gemeinsam mit unseren Partnern vom CERN in internationalen Fachmagazinen veröffentlichen.

## Wann kamen Sie erstmals mit DESY in Kontakt?

1986 haben die Bundesrepublik und die DDR einen Vertrag über wissenschaftliche und kulturelle Zusammenarbeit unterzeichnet. Das hat es uns in Zeuthen ermöglicht, beim H1-Experiment am HERA-Beschleuniger mitzumachen. Auch ich als ewiger Partei-Verweigerer durfte 1988 in den Westen reisen, um dort einige Jahre als Gastwissenschaftler zu arbeiten. Den Fall der Mauer am 9. November 1989 habe ich also bei DESY erlebt. Am nächsten Morgen roch ganz Hamburg nach Trabantöl – das war natürlich bizarr!

## Nach dem Mauerfall war ja zunächst nicht klar, wie es mit dem Institut in Zeuthen weitergeht. Wie haben Sie diese Wendezeit erlebt?

Eine Zeitlang herrschte natürlich große Ungewissheit. Aber das DESY-Direktorium um Volker Soergel hat sich sehr schnell und sehr stark für uns eingesetzt. Bei der Eingliederung ins DESY sind wir dann überaus fair behandelt worden – auch, was den Umgang mit der Stasi-Thematik angeht. Im Nachhinein muss man sagen, dass es kaum einem Institut in der DDR so gut ergangen ist wie uns. Von den etwa 60 Instituten, die zur Akademie der Wissenschaften der DDR gehört hatten, ist Zeuthen das einzige, das praktisch komplett überlebt hat. Auch wenn es ein bisschen pathetisch klingt: Ich empfinde die Vereinigung von Hamburg und Zeuthen als den gelungensten Fall in der deutsch-deutschen Wissenschaftsgeschichte.





## Physik am Südpol

Um den Neutrinodektor aufzubauen, musste Christian Spiering seinen Arbeitsplatz zeitweilig in die Antarktis verlegen



Christian  
Spiering

Allein die Anreise ist ein Abenteuer: 30 Stunden ist der Linienflieger nach Christchurch in Neuseeland unterwegs. Von da aus braucht die Militärtransportmaschine acht Stunden bis nach McMurdo, einer Forschungsstation am Rande der Antarktis. Am nächsten Tag geht es weiter zur Amundsen-Scott-Station am Südpol – 1500 Kilometer Flug über Gletscher und das Transantarktische Gebirge. Christian Spiering hat den Extrem-Trip insgesamt viermal absolviert. „Wenn man das erste Mal aussteigt, fühlt man sich fast wie der erste Mensch auf dem Mond“, sagt der DESY-Forscher aus Zeuthen. „Man sagt sich: fantastisch! Du bist tatsächlich am Südpol!“

Doch dem Hochgefühl folgt die Höhenkrankheit: Der Südpol liegt auf einem 3000 Meter dicken Eispanzer, die Luft ist ebenso dünn wie im Hochgebirge. Also muss sich der Körper anpassen, und das läuft nicht bei jedem ohne Komplikationen. Manche bekommen häufig Nasenbluten, einigen wenigen ergeht es gar derart schlecht, dass sie zurücktransportiert werden müssen. „Bei mir dauerte es zum Glück nur zwei bis drei Tage, dann hatte ich mich jedes Mal einigermaßen akklimatisiert“, beschreibt Spiering. „Allerdings schlafe ich da unten ausgesprochen schlecht – ein typisches Phänomen bei großen Höhen.“

Der Physiker gehört zu jenem internationalen Team, das seit den neunziger Jahren ein Neutrinooteleskop am Südpol installiert. Dazu müssen die Experten tiefe Löcher ins Eis bohren – Knochenarbeit im Schichtbetrieb. „Gebohrt wird mit 80 Grad heißem Wasser“, erläutert Spiering. „Es frisst sich pro Sekunde zwei Zentimeter tief ins Eis.“ Nach 40 Stunden Dauerbohren ist das Ziel erreicht – ein mit Wasser gefülltes Loch im antarktischen Eispanzer, 60 Zentimeter breit und 2,5 Kilometer tief. „In dieses Loch lassen wir eine Stahltrasse hinab“, so Spiering. Daran hängen in Abständen von 17 Metern gläserne Kugeln mit optischen Sensoren.“ Ist der Strang mit den insgesamt 60 Sensorkugeln versenkt, lassen ihn die Forscher im ewigen Eis einfrieren.

Das Problem: Die Zeitspanne, während der das Bohrteam ausrücken kann, ist begrenzt. Die Saison beginnt Anfang November und geht bis Mitte Februar. In diesen dreieinhalb Monaten des antarktischen Sommers scheint die Sonne 24 Stunden am Tag, es ist nur selten bewölkt. Die Temperatur erreicht mit minus 35 bis minus 25 Grad ein erträgliches Maß. Im antarktischen Winter hingegen ist es bis zu minus 80 Grad kalt und immer dunkel. Dann ist die Polarstation nur von einigen „Überwinterern“ besetzt.

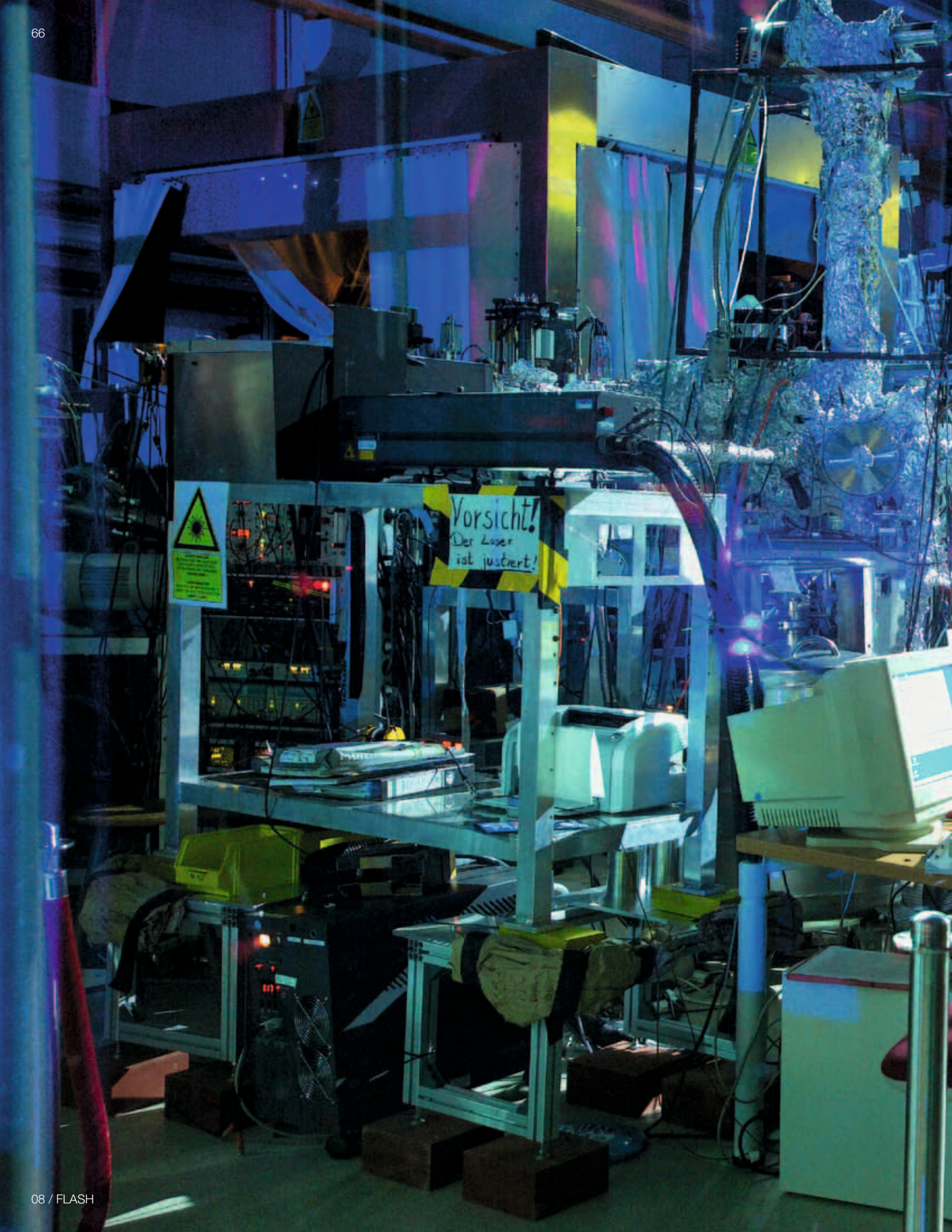
Pro Saison schaffen die Forscher inzwischen bis zu 19 Bohrlöcher. 59 sind fertig, bis 2011 sollen es insgesamt 86 sein, dann ist IceCube komplett. „Man arbeitet dort unten meist mehr als zwölf Stunden am Tag“, sagt Spiering. „Es gibt ja auch nicht viel anderes zu tun.“ Immerhin: Im Gymnastikraum lässt sich der Körper fit halten, Bücherei und Videothek sorgen für Ablenkung. Und die ganz Harten schwitzen in der Sauna, um sich dann im Eis der Antarktis die Extrem-Abkühlung zu verschaffen.

Über zehntausend Neutrinos haben die Forscher bisher registriert. Ob allerdings extraterrestrische darunter sind, können sie noch nicht eindeutig sagen. Die Vermessung von solchen Neutrinos würde die Lösung einer der aufregendsten Fragen der Astrophysik bringen: Wie funktionieren die kosmischen Teilchenschleudern, die Kernteilchen auf mehr als das Millionenfache der Strahlenergie des Large Hadron Collider LHC in Genf beschleunigen? Kosmische Teilchen wurden erstmals 1912 durch den österreichischen Physiker Viktor Hess nachgewiesen. Spierings Hoffnung: „IceCube löst das Rätsel noch vor dem hundertsten Jahrestag von Hess' Entdeckung!“











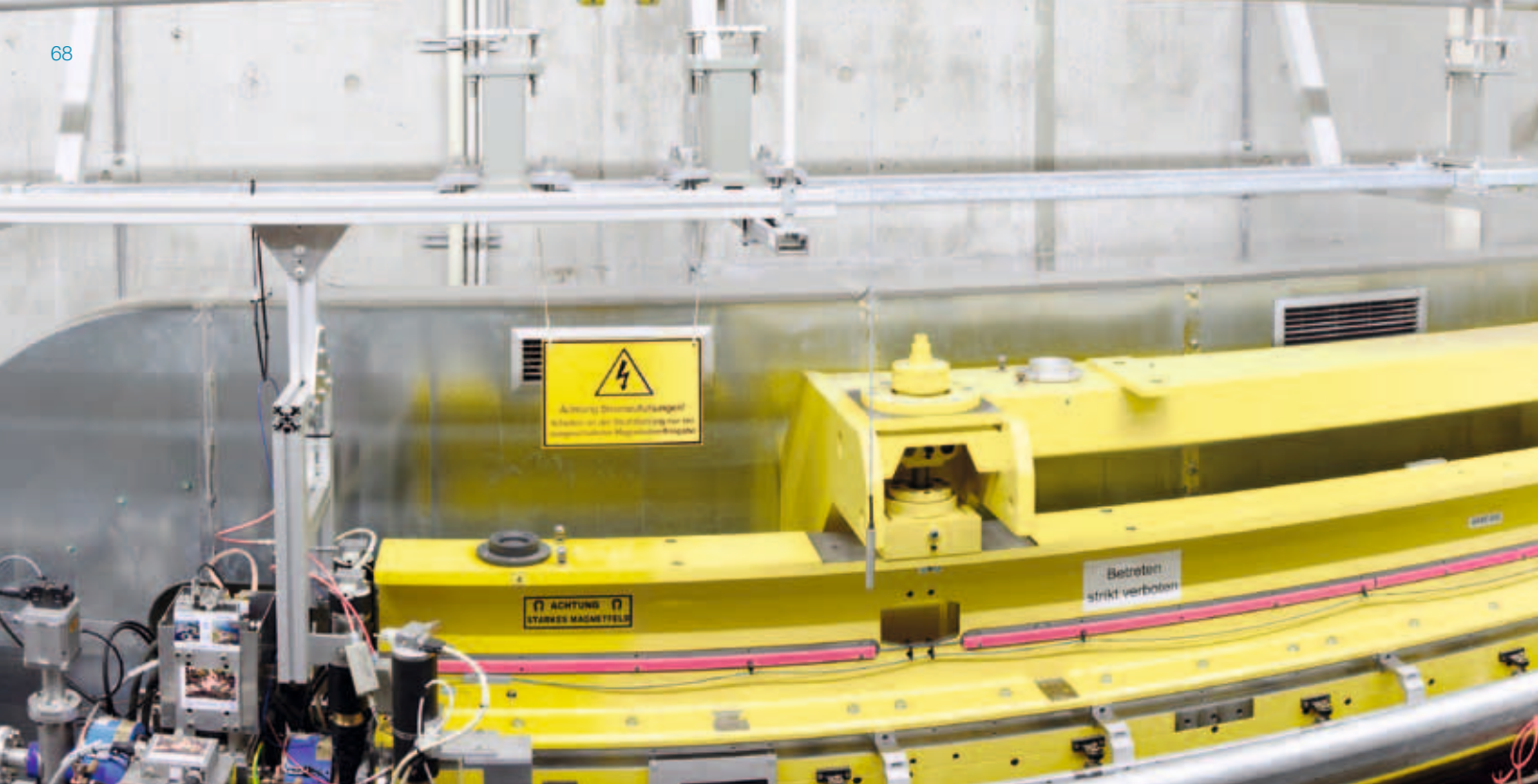
08: FLASH

FLASH erzeugt einzigartige Blitze für die Forschung



# WELTREKORD- LASER AUS HAMBURG





Undulatoren erzeugen das begehrte Laserlicht von FLASH.

## Weltrekord-Laser aus Hamburg

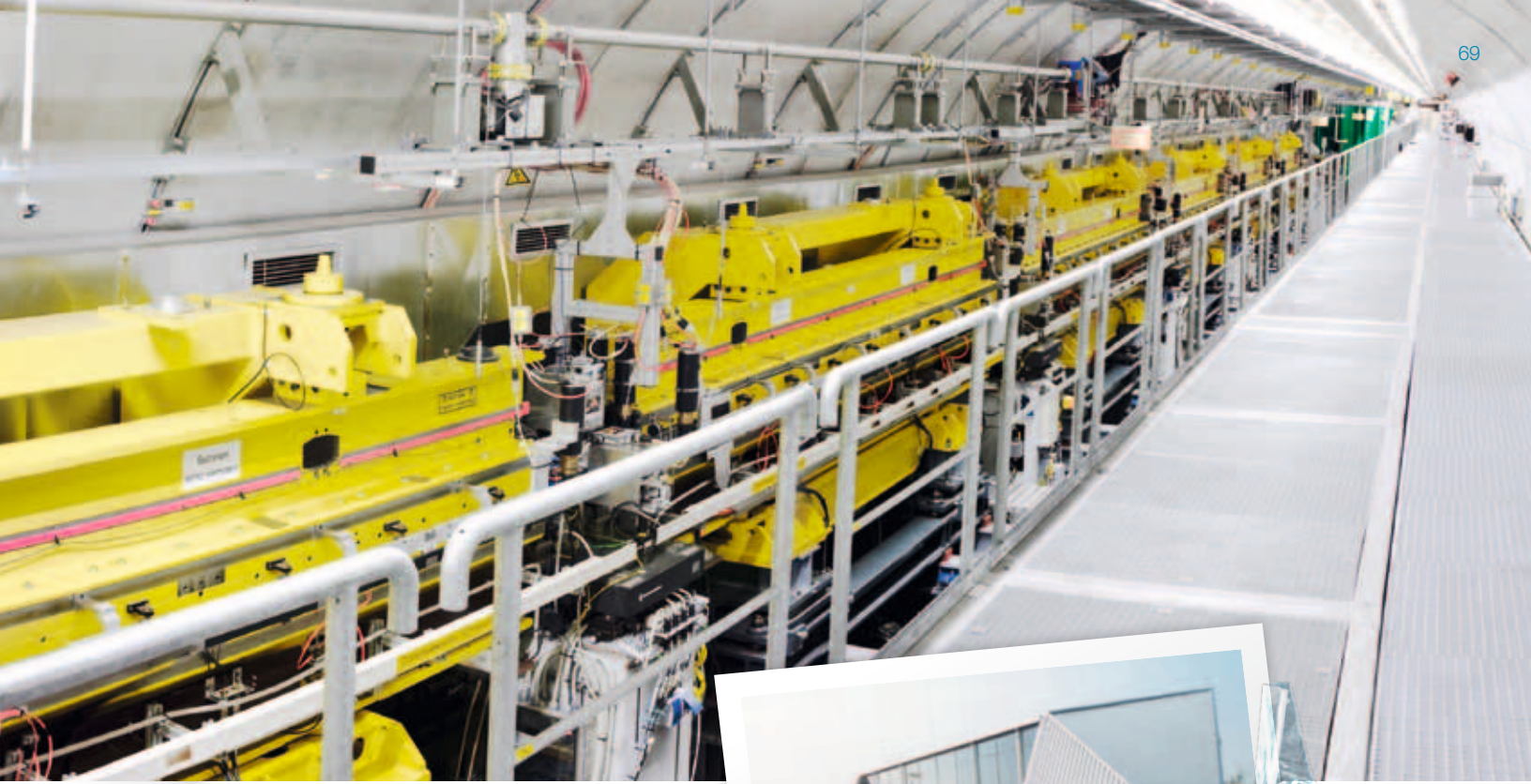
FLASH erzeugt einzigartige Blitze für die Forschung

Erst dachten sie an einen Fehler in der Maschine. Doch eine Stunde später war das kleine, internationale Forscherteam bei DESY völlig aus dem Häuschen. In der Nacht vom 22. zum 23. Februar 2000 hatten die Physiker in einem mit Monitoren und Elektronikschränken vollgestopften Container wie üblich die Einstellungen an den Steuerungscomputern optimiert. Plötzlich hatte ein Intensitätssensor einen Wert angezeigt, der das normale Niveau um das 20-fache übertraf.

Nach Minuten des Staunens wurde den Wissenschaftlern klar, was ihnen gelungen war: Ihr Speziallaser, der auf einem 100 Meter langen Beschleuniger basiert und an dem sie seit Jahren gebaut hatten, funktionierte! Wie am Fließband erzeugte er Laserblitze mit einer Wellenlänge von nur 110 Nanometern (milliardstel Meter) – Fachleute sprechen von vakuum-ultravioletter Strahlung, kurz VUV. Ein Weltrekord: Andere Geräte hatten bis dato allenfalls 226 Nanometer erreicht.

Der Rekordlaser bei DESY zählt zu einer noch jungen Gattung von Forschungsmaschinen, Freielektronen-Laser genannt – kurz FEL. Die Grundidee wurde in den siebziger Jahren in den USA geboren. Das Prinzip: Ein Linearbeschleuniger bringt winzige lichtschnelle Elektronenpakete auf hohe Energien. Dann jagen die Elektronen durch so genannte Undulatoren. Diese bestehen aus vielen nacheinander angeordneten Magnetpaaren, die die Elektronen buchstäblich auf einen Slalomkurs im Magnetfeld zwingen.





Experimentierhalle von FLASH



Dabei passiert das Entscheidende: Während des Slaloms verlieren die Elektronen Energie in Form von Licht, das durch ein ausgeklügeltes Verfahren zu ultrakurzen Laserblitzen verstärkt wird. Zum einen sind diese Blitze überaus intensiv. Und zum anderen kann ihre Wellenlänge, also ihre „Farbe“, über einen großen Bereich praktisch stufenlos eingestellt werden. Genau das unterscheidet sie von herkömmlichen Lasern. Die nämlich sind nur eingeschränkt durchstimmbare, weil sie im Wesentlichen bei festen Farben strahlen – abhängig davon, welches Material sie zur Lichtverstärkung verwenden.

Erste FEL-Prototypen entstanden in den siebziger und achtziger Jahren. Doch sie funktionierten nur bei relativ großen Wellenlängen. Deshalb dachten die DESY-Forscher Anfang der neunziger Jahre darüber nach, ob sich nicht ein FEL bauen ließe, der kurzwellige Strahlung erzeugt, also VUV- oder XUV- (extrem ultraviolette) Strahlung oder sogar weiches Röntgenlicht. Dieser Laser würde ganz neue Einblicke in die Tiefen von lebenden Zellen, Molekülen und Werkstoffen versprechen. Herkömmliche Laser funktionieren in diesem kurzweligen Bereich nicht.



Gegenüber Speicherringen wie DORIS hätte die neue Anlage gleich mehrere Vorteile: Die gebündelten Blitze würden um Größenordnungen intensiver sein als die Synchrotronstrahlung aus einem Speicherring. Außerdem wären die Blitze mit 10 bis 50 Femtosekunden (billiardstel Sekunden) tausendmal kürzer und könnten Analysen von sehr schnellen Prozessen ermöglichen.

Nicht zuletzt aufgrund dieser Perspektiven entschloss sich DESY 1994 dazu, gemeinsam mit mehr als 50 Instituten aus 13 Ländern eine Pilotanlage zu bauen – die TESLA Test Facility TTF. Sie basierte auf einem 100 Meter langen Linearbeschleuniger mit einem innovativen, supraleitenden Beschleunigerkonzept, der TESLA-Technologie. An der TTF sollte diese Technologie ausgiebig getestet werden – zum einen auf ihre Brauchbarkeit für einen geplanten riesigen Linearbeschleuniger für die Teilchenphysik, zum anderen als Basis für einen VUV-Laser.

In jener Februarnacht des Jahres 2000 gelang dann der Beweis: Das Prinzip des Freie-Elektronen-Lasers funktioniert auch für VUV-Strahlung! In den Folgejahren experimentierten bereits erste Forschergruppen mit der neuen Lichtquelle. Ab 2003 wurde die Maschine ausgebaut: Um noch kürzere Wellenlängen zu erreichen, verlängerten sie die Forscher von 100 auf insgesamt 260 Meter und bauten eine Experimentierhalle mit fünf Messplätzen an ihr Ende. 2005 war FLASH fertig – der Freie-Elektronen-**LASer** in Hamburg. Er sorgte für mehrere Weltrekorde: Erst schaffte FLASH eine Wellenlänge von 13 Nanometern, später sogar 6,5 Nanometer. Bei derart kurzen Wellenlängen sprechen die Experten nicht mehr von VUV- oder XUV-Strahlung, sondern von weicher Röntgenstrahlung.



Das TTF-Team plant den nächsten Run.

### Unerfüllter Traum

Mit TESLA wollten die DESY-Physiker eine 30 Kilometer lange Riesenmaschine nach Hamburg holen

Als die DESY-Physiker und Ingenieure gemeinsam mit ihren internationalen Partnern in den neunziger Jahren die supraleitenden Beschleunigerröhren entwickelten, hatten sie als Ziel eine höchst ehrgeizige Anlage vor Augen: TESLA, einen rund 30 Kilometer langen, schnurgeraden Linearbeschleuniger. TESLA sollte Elektronen und Positronen mit bis dato unerreichten Energien aufeinander feuern und völlig neuartige, bislang unentdeckte Elementarteilchen erzeugen und genauestens studieren – etwa das

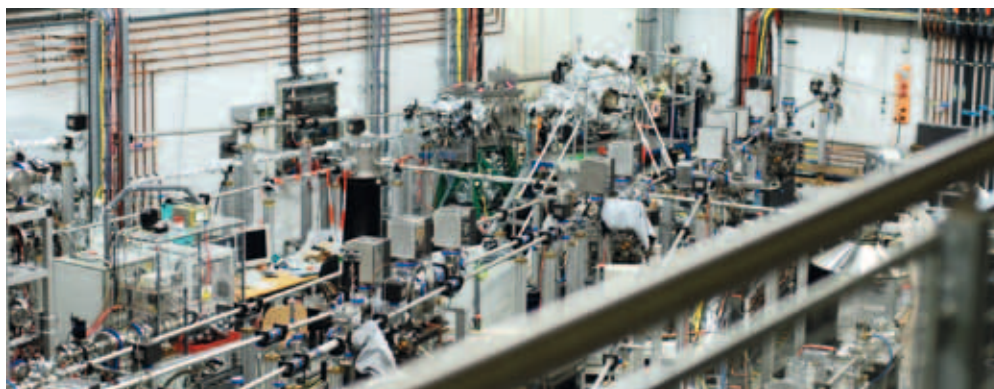
Higgs-Teilchen oder so genannte SUSY-Teilchen. Gleichzeitig sollte TESLA als ungemein starker Röntgenlaser fungieren, um etwa Nanomaterialien und Eiweißmoleküle mit unerreichter Detailtreue zu „durchleuchten“. Das Reizvolle an diesem Konzept: Eine einzige Maschine würde zwei Fliegen mit einer Klappe schlagen. Für die Teilchenphysik wäre TESLA der beste Elektronenbeschleuniger aller Zeiten gewesen, für Materialforscher, Chemiker oder Biologen der stärkste Röntgenlaser der Welt.

# TESLA



Jeder einzelne FLASH-Blitz besitzt eine Leistung von bis zu fünf Gigawatt – rund tausendmal mehr als bei vergleichbaren Lasern. Mittlerweile gelingt es den Experten, diese Leistung auf einen winzigen Fleck mit einem Durchmesser von einem Mikrometer zu bündeln. Um das zu schaffen, müssen die Forscher ihre Anlage extrem gut im Griff haben. So dürfen die Elektronenpakete auf ihrem Zickzackkurs durch den Undulator nicht mehr als einen hundertstel Millimeter von ihrer Sollbahn abweichen. Schon die kleinste Störung kann ausreichen, um den Laser aus dem Takt zu bringen. So bekommen es die FLASH-Experten durchaus mit, wenn morgens gegen acht Uhr in Hamburg die Kaffeemaschinen angehen: Dadurch gibt es kleine Schwankungen im Stromnetz, die die Physiker im FLASH-Kontrollraum ausgleichen müssen.

Seit 2005 läuft FLASH im Routinebetrieb und steht Forschern aus aller Welt zur Verfügung. Die kurzen Wellenlängen der Blitze sind vor allem aus einem Grund interessant: Mit ihnen lassen sich sehr feine Details einer Probe abtasten. Außerdem sind die Pulse so stark, dass eine Messung oft schon nach einem einzigen Blitz im Kasten ist – eine wichtige Voraussetzung, um beispielsweise biologische Proben zu analysieren.



FLASH-Experimentierhalle: Hier herrscht Ordnung im Chaos.

Das Problem: Der Bau von TESLA hätte mehrere Milliarden Euro gekostet, wovon Gastgeber Deutschland etwa die Hälfte hätte tragen müssen. Das aber erschien dem Bundesforschungsministerium als zu kostspielig, zumal es zwei Konkurrenzprojekte in Japan und den USA gab, weshalb es die TESLA-Pläne im Jahr 2003 zwar nicht stoppte, aber bis auf Weiteres vertagte. Es forderte die Teilchenphysiker auf, sich weltweit auf eine Technologie zu einigen, in der dann ein zukünftiger Linear Collider gebaut werden sollte.

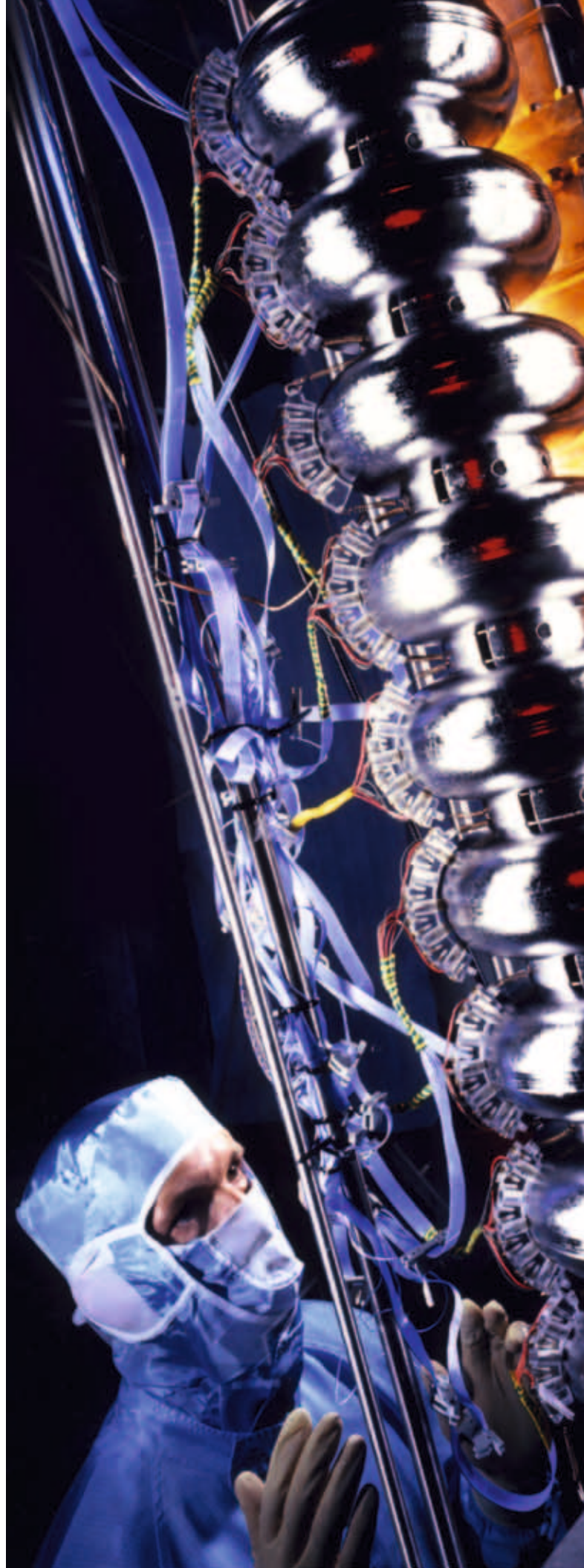
Dennoch war das Projekt alles andere als vergebens: Zum einen stellte das Ministerium zur gleichen Zeit die Weichen für den Bau des europäischen Röntgenlasers European XFEL – eine gut drei Kilometer lange Anlage, die derzeit in Hamburg realisiert wird und die auf der supraleitenden TESLA-Technologie basiert. Zum anderen hat sich die weltweite Teilchenphysikergemeinschaft im Jahre 2004 dafür ausgesprochen, ihr nächstes Großprojekt, den 30 Kilometer langen International Linear Collider ILC ebenfalls mit supraleitenden Beschleunigerröhren auszurüsten – ein beachtlicher Triumph für die Hamburger Forscher. Auch wenn noch nicht klar ist, ob und vor allem wo der ILC gebaut wird: Die TESLA-Pläne würden sich in ihm auf eindrucksvolle Weise verwirklichen.



Doch auch viele andere Disziplinen profitieren von FLASH: Physiker untersuchen mit dem Superlaser einzelne Nanoteilchen und schaffen damit wichtige Grundlagen für die Nanotechnologie. Astrophysiker können mit Hilfe der Röntgenblitze Materie analysieren, die man eigentlich nur im Weltall findet – etwa hochgeladene Eisen-Ionen, wie sie in der Sonnenatmosphäre vorkommen. Mit so genannten Pump-and-Probe-Experimenten beobachten andere Forscher den Ablauf chemischer Reaktionen oder das Schmelzen von Oberflächen. Dazu ist in der Messhalle ein anderer, „konventioneller“ Laser aufgebaut. Er erzeugt kurze Pulse sichtbaren Lichts und gibt damit den Startschuss für die jeweilige Reaktion. Während sie abläuft, beobachtet FLASH das mikroskopische Spektakel mit seinen kurzen Blitzen aus weichem Röntgenlicht.

Das Interesse der Forschungsgemeinde ist enorm: Bis heute haben mehr als 300 Fachleute aus 18 Ländern ihre Proben im hochintensiven FLASH-Licht studiert. Doch längst nicht jeder Wissenschaftler, der mit den intensiven Röntgenblitzen arbeiten möchte, kommt zum Zuge. Denn FLASH ist – durchaus zum Stolz seiner Entwickler – total überbucht. Außerdem ist die Anlage der Prototyp für einen noch größeren, mehr als drei Kilometer langen Laser, der derzeit in Hamburg gebaut wird – der europäische Röntgenlaser European XFEL.

Niob-Resonator





## Kalt und schnell

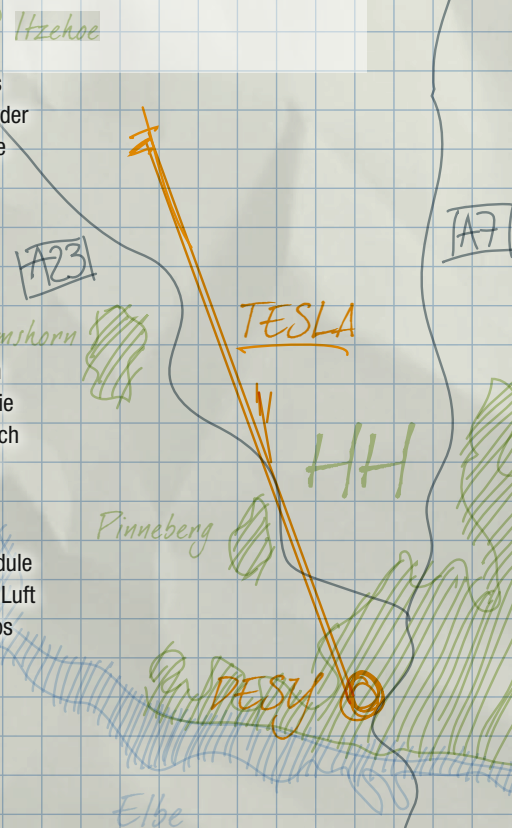
Mit der TESLA-Technologie entwickelt DESY ein innovatives Beschleunigerkonzept

Die Schlüsselkomponenten von FLASH sind supraleitende Beschleunigungsröhren, im Fachjargon Resonatoren genannt. Sie wurden seit Anfang der neunziger Jahre bei DESY als zukunftsweisende Beschleunigertechnologie stetig weiterentwickelt – in enger Zusammenarbeit mit der Industrie und vielen Partnerinstituten aus dem In- und Ausland.

Herkömmliche Resonatoren bestehen aus Kupfer. Das Funktionsprinzip: Starke Sender erzeugen intensive elektromagnetische Wellen, deren Frequenz im Radiobereich liegt. Diese starken Wellen werden in die Resonatoren geleitet – meterlange, speziell geformte Kupferröhren, die in den Beschleuniger eingesetzt sind. Die Röhren sind so geformt, dass die Radiowellen quasi optimal in sie hineinpassen. Fliegen jetzt die zu beschleunigenden Teilchen – zum Beispiel Elektronen – in den Resonator hinein, werden sie bildlich gesprochen von einem Kamm der Radiowelle erfasst. Auf diesem Kamm „reiten“ die Elektronen dann wie Surfer auf der Atlantikwelle davon und bekommen einen gehörigen Schubs mit auf den Weg. Das Problem mit diesen herkömmlichen Kupfer-Resonatoren: Ähnlich wie ein Stromkabel aus Kupfer zeigen sie einen elektrischen Widerstand, verbunden mit signifikanten elektrischen Verlusten – die man dann auch über eine exorbitante Stromrechnung zu spüren bekommt.

Anders bei der TESLA-Technologie: Hier bestehen die Resonatoren aus Niob-Metall. Kühlt man dieses Niob auf rund minus 271 Grad Celsius ab, wird es supraleitend: Es verliert seinen elektrischen Widerstand und leitet den Strom völlig verlustfrei. Dadurch kann fast die gesamte eingespeiste Leistung auf die Elektronen übertragen werden. Die Vorteile: Zum einen lassen sich Stromkosten sparen. Zum anderen helfen die supraleitenden Resonatoren, die Elektronen zu feinen, hochpräzisen Bündeln zu schnüren und viele Elektronenpakete in schneller Folge zu beschleunigen. Und das ist sowohl für eine Teilchenphysik-Maschine als auch für XUV- und Röntgenlaser ein wichtiges Plus. Für ersteren lassen sich besonders hohe Kollisionsraten der beschleunigten Elektronen und Positronen erzielen, für letztere haarscharf gebündelte Strahlungsblitze.

Allerdings ist die dahinter steckende Technik anspruchsvoll: So müssen die supraleitenden Niob-Röhren durchgängig mit flüssigem Helium auf minus 271 Grad gekühlt werden – eine Temperatur ähnlich wie im Weltraum. Damit die Kälte nicht verloren geht, sind die Resonatoren in so genannte Kryostaten verpackt – meterdicke, extrem gut isolierende Metallröhren, die als überdimensionale Thermoskannen fungieren. Heikel ist auch die Fertigung der supraleitenden Resonatoren. Schon ein paar Staubkörnchen auf ihrer Oberfläche würden reichen, um die Supraleitung zusammenbrechen zu lassen und sie damit unbrauchbar zu machen. Deshalb müssen die Beschleunigermodule in einem Reinraum gefertigt und montiert werden. Hier ist die Luft so gut gefiltert, dass sie nur ein Hunderttausendstel des Staubs enthält, der in normaler Stadtluft herumwirbelt.







Alles unter Kontrolle



## Forschen mit FLASH

Katja Honkavaara koordiniert den Betrieb des Rekord-Lasers

Entspannt blickt Katja Honkavaara auf einen der vielen Flachbildschirme im DESY-Kontrollraum. Alle Anzeigen stehen auf grün, die Maschine läuft wie geschmiert. „Heute haben wir einen ruhigen Tag“, sagt die gebürtige Finnin sichtlich zufrieden. Honkavaara ist mit dafür verantwortlich, dass FLASH möglichst reibungsfrei funktioniert und die Wissenschaftler in der Experimentierhalle zuverlässig mit Röntgenblitzen versorgt – und zwar 24 Stunden am Tag und sieben Tage in der Woche. „Um das zu schaffen, fahren wir hier drei Schichten rund um die Uhr.“

Tag und Nacht also sitzen Honkavaara und ihre Kollegen an den Konsolen und sorgen dafür, dass der 260 Meter lange Beschleuniger haarfeine Elektronenpakete auf Trab bringt und in den Undulator-Magneten so positioniert wird, dass hochintensive Laserblitze entstehen. Die Arbeit im Kontrollraum ist alles andere als Routine. Schließlich ist FLASH keine Maschine von der Stange, sondern ein weltweit einzigartiger Prototyp. „Wir können die Maschine nicht einfach einschalten und dann funktioniert sie“, sagt Honkavaara. „Wir müssen die ganze Zeit auf sie aufpassen.“

Denn nicht an allen Tagen läuft alles so rund wie heute. Nicht selten springt eine der Anzeigen auf den Monitoren von grün auf rot, und der Operator muss reagieren und einen der zahlreichen Parameter nachregeln. Und manchmal fällt eine Komponente aus, und Spezialisten müssen ausrücken, um den Mangel möglichst rasch zu beheben.

Als FLASH-Koordinatorin hat Katja Honkavaara immer wieder auch mal Bereitschaftsdienst. „Wenn dann etwas passiert, das die Operateure nicht beheben können, können sie mich Tag und Nacht anrufen.“ Bei Bedarf kann sich die Physikerin von ihrem Heimcomputer aus in das FLASH-Kontrollsystem einklinken und per Ferndiagnose nach dem Fehler fahnden. Wenn das nicht reicht, muss sie ins Auto steigen und zu DESY sausen – manchmal auch mitten in der Nacht.

Spannend wird's auch, wenn Honkavaara und ihre Kollegen so genannte Maschinenstudien betreiben. Dann tüfteln sie systematisch an der Maschine herum oder testen neue Komponenten – mit dem Ziel, noch mehr Licht aus dem Freie-Elektronen-Laser herauszukitzeln. „Schließlich ist FLASH ja auch dazu da, die TESLA-Technologie zu erproben und weiterzuentwickeln“, sagt Honkavaara. „Unsere Erfahrungen werden später auch in den Betrieb des Röntgenlasers European XFEL und die Entwicklung des International Linear Collider einfließen.“

Seit 2000 arbeitet die Finnin bei DESY und hat das FLASH-Projekt Stufe um Stufe wachsen sehen. „Es war jedes Mal aufregend, wenn die Maschine nach einem Ausbau wieder angelaufen ist und man geschaut hat, ob sie so funktioniert wie geplant.“ Bislang hat FLASH die Erwartungen immer erfüllt. Das gilt hoffentlich auch für den nächsten Umbau. Bei ihm sollen weitere Beschleunigermodule in die Maschine eingesetzt werden, um Röntgen-Wellenlängen von weniger als fünf Nanometern zu erreichen. Dann wird im Kontrollraum von Honkavaara und ihren Leuten keine gelassene Ruhe herrschen, sondern jede Menge Aufregung und Action.



Katja  
Honkavaara







09: PETRA III

PETRA III zählt zu den hellsten Speicherringen der Welt

# SUPERLEUCHE FÜR RÖNTGENLICHT





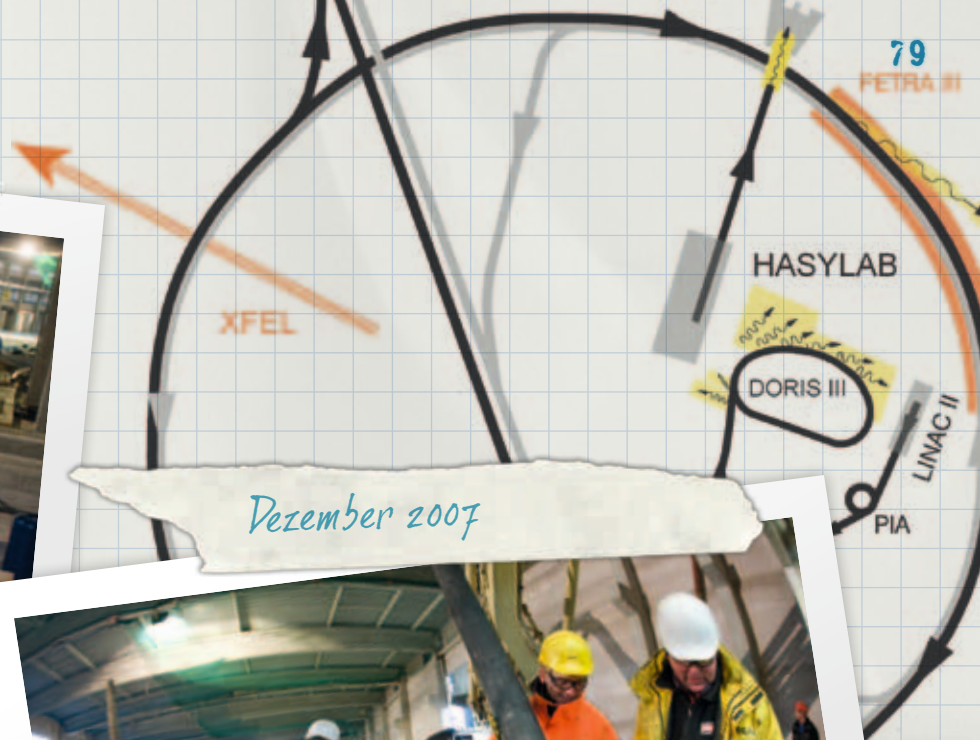
## Superleuchte für Röntgenlicht

PETRA III zählt zu den hellsten Speicherringen der Welt

Die Halle ist riesig. Fast 300 Meter lang, relativ schmal – und von oben gesehen ein bisschen so geformt wie eine Banane. Das Bemerkenswerteste aber findet sich unter den Füßen: Der Boden besteht aus der längste Betonplatte, die jemals aus einem Stück gefertigt wurde. Das wunder-same Bauwerk gehört zum jüngsten, gerade fertig gestellten DESY-Groß-projekt: PETRA III, einer der „hellsten“ Speicherringe der Welt.

Der PETRA-Beschleuniger hat eine bewegte Geschichte hinter sich. Ab 1975 wurde er gebaut, drei Jahre später kreisten die ersten Elektronen in der 2,3 Kilometer großen Anlage – der damals größte Speicherring der Welt. Nachdem das überaus erfolgreiche Experimentierprogramm 1986 abgeschlossen war, bauten die DESY-Experten die Maschine um zu PETRA II – als Vorbeschleuniger für den riesigen HERA-Ring. Als auch das HERA-Programm 2007 endete, war die neue Bestimmung für PETRA schnell gefunden: Seine Ausmaße prädestinierten den Ring für den Einsatz als höchst leistungsfähige Röntgenlampe.





Dezember 2007



Zwar hatten die DESY-Forscher bereits bei PETRA II einige Messstände installiert, mit deren Hilfe sie – quasi nebenbei zum Hauptbetrieb des Beschleunigers – hochintensive Röntgenstrahlung erzeugten. Aber um eine wirklich schlagkräftige, hochmoderne Lichtquelle zu schaffen, brauchte es einen aufwändigen, 225 Millionen Euro teuren Umbau. Die DESY-Experten mussten nicht nur Magnete, Vakuumsystem, Mess- und Regeltechnik sowie Strom- und Kühlwasserversorgung erneuern, sondern sogar ein ganzes Achtel des Rings komplett umgestalten, um dort nach und nach 14 Undulatoren einsetzen zu können. Das sind Spezialmagnete, durch die die schnellen Teilchen hindurchfliegen und dabei ganz besonders starke und gebündelte Synchrotronstrahlung abgeben.

Um Platz für die Versuche zu schaffen, wurde die knapp 300 Meter lange Experimentierhalle mit der überdimensionalen Betonplatte errichtet. In die Halle passen 14 luftleer gepumpte Röhren, die das Röntgenlicht zu speziellen „Hütten“ leiten, in denen dann die eigentlichen Experimente stattfinden – bis zu 30 an der Zahl.





Die wahrscheinlich längste Betonplatte der Welt – zumindest die längste meterdicke und in einem Stück gegossene!

Das Besondere an PETRA III: Für bestimmte Wellenlängen, also „Röntgenfarben“, ist die Anlage der hellste Speicherling der Welt. Bei diesen Wellenlängen leuchtet sie intensiver als sämtliche vergleichbaren Ringe auf der Welt, etwa die Europäische Synchrotronstrahlungsquelle ESRF in Grenoble. Außerdem ist das PETRA-Licht zum Teil deutlich gebündelter als das der Konkurrenz: Die Hamburger Röntgenstrahlen sind bis zu tausendmal feiner als ein menschliches Haar. In einigen Fällen lässt sich die Strahlung auf einen Fleck konzentrieren, der gerade mal ein paar Nanometer groß ist – wichtig etwa, wenn man winzigste Proben oder Probenausschnitte unter die Lupe nehmen möchte.

Um PETRAS Nanostrahlen wirklich gezielt auf eine Probe lenken zu können, mussten die Forscher die Anlage äußerst präzise bauen und justieren. Damit die Aufnahmen nicht „verwackeln“, gilt es zum Beispiel, die Experimentieraufbauten möglichst schwingungsfrei zu halten. Genau diesem Zweck dient die dicke, aus einem Guss gefertigte Betonplatte: Sie dämpft Vibrationen etwa durch Schritte derart effektiv, dass kaum etwas davon bei den Experimenten ankommt.

Was haben die Forscher mit PETRA III alles vor? Biologen möchten Eiweißmoleküle viel detaillierter als bislang untersuchen. Dazu muss man die Eiweiße als Kristalle züchten – oftmals ein höchst mühsames Unterfangen. Je stärker nun der Röntgenstrahl ist, den man auf die Probe lenkt, umso kleiner darf der Biokristall sein, den die Forscher züchten müssen. Mit dem hellen Licht von PETRA III werden die Fachleute etwa des Europäischen Laboratoriums für Molekularbiologie EMBL in einer eigens errichteten Forschungsanlage auch jene Eiweiße detailliert studieren können, die sich nur widerwillig zu Kristallen zusammenschließen. Auf der Agenda stehen vor allem biologische Riesmoleküle wie die „Eiweißfabrik“ Ribosom sowie Proteine, die im Muskel für Bewegung sorgen. Mit ihren Versuchen trachten die Forscher auch danach, Grundlagen für neuartige Medikamente zu legen.



Drei Tage lang waren die Betonarbeiter rund um die Uhr im Einsatz.



# „Weltweit unschlagbar“

## Wie sieht die Anlage aus, die Sie in England aufgebaut haben und nun leiten?

**Gerhard Materlik:** Der Speicherring heißt Diamond Light Source und ist die nationale britische Synchrotronstrahlungsquelle. Der Ring wird mit einer Elektronenenergie von 3 GeV betrieben, hat einen Umfang von 562 Metern und ist dafür optimiert, Röntgenstrahlen mit Wellenlängen im Bereich von 0,1 Nanometern zu erzeugen. Denn dieser Bereich ist für zahlreiche Strukturuntersuchungen enorm wichtig, um zum Beispiel die genaue atomare Struktur eines Proteins oder Virus zu enträtseln. Außerdem hat Diamond eine sehr kleine Emittanz, also eine sehr hohe Leuchtdichte, die auf einen sehr kleinen Fleck konzentriert werden kann. Im Januar 2007 haben wir die Anlage erstmals in Betrieb genommen und bauen sie seitdem kontinuierlich aus.

## Wenn man Diamond mit PETRA III vergleicht – wo liegen die Unterschiede?

Mit einem Umfang von 2,3 Kilometern ist PETRA III ein gutes Stück größer als unser Speicherring. Und mit seiner Elektronenenergie von 6 GeV ist PETRA III in der Lage, deutlich kurzwelligeres Röntgenlicht zu erzeugen. Außerdem haben sich die DESY-Physiker zum Ziel genommen, eine noch kleinere Emittanz zu schaffen; sie soll etwa halb so groß sein wie bei uns. Das ist durchaus eine Herausforderung: Will man eine derart geringe Emittanz im Experiment umsetzen, muss man unter anderem dafür sorgen, dass der Fußboden, auf dem die Anlage steht, extrem stabil und schwingungsfrei ist. Jede noch so kleine Vibration im Boden überträgt sich auf die Stabilität der Röntgenstrahlen. Aber ich bin mir sicher, dass meine Kollegen in Hamburg bei der Konstruktion von PETRA III alles Nötige berücksichtigt haben und ihr Ziel letztlich erreichen werden.

Bis 2001 arbeitete **Gerhard Materlik** am HASYLAB, mehrere Jahre leitete er das Labor und hat unter anderem auch die FEL-Aktivitäten bei DESY initiiert. Dann baute er in England eine neue, hochmoderne Röntgenquelle auf – und schaut nun mit Interesse nach Hamburg, wo seit kurzem PETRA III steht.



## Wird PETRA III Experimente in Angriff nehmen können, die man anderswo nicht oder nicht so gut machen kann?

Gerade bei Experimenten, für die man sehr kurzwellige Röntgenstrahlung benötigt, hat PETRA III seine Stärken. Bei diesen Experimenten geht es zum Beispiel darum, mechanische Spannungen im Inneren von Materialien zu untersuchen. Da kurzwelliges Röntgenlicht außerdem von Materie nicht so stark absorbiert wird, lassen sich damit auch relativ dicke Proben gut studieren. Also: Bei der Erzeugung sehr kleiner Wellenlängen ist PETRA III weltweit unschlagbar. Will man dagegen zum Beispiel Biomoleküle untersuchen, ist eine Anlage wie Diamond mit Sicherheit mindestens gleichwertig.



Diamond Light Source





Experiment in der PETRA III-Halle





DESYs längste Fassade

Andere Forscher haben es auf unbelebte Objekte abgesehen – auf Steine. So lassen sich mit der Röntgenlupe mikroskopisch kleine Diamanten ins Visier nehmen, die in manchen Gesteinen eingelagert sind. Der Clou: Die Diamanten, einst geformt in großer Tiefe, fungieren als eine Art Archiv und verraten faszinierende Details über die Extrembedingungen, die im Erdmantel herrschen.

Experten vom GKSS-Forschungszentrum Geesthacht möchten die Qualität von Schweißnähten prüfen, Ermüdungserscheinungen von Werkstücken untersuchen und neuartige Metalllegierungen inspizieren, wie sie für die Autos der Zukunft entworfen werden. Sie profitieren davon, dass PETRA III nicht nur ausgesprochen helle, sondern auch sehr „harte“, also kurzwellige Röntgenstrahlung liefert. Diese vermag deutlich tiefer in metallische Werkstoffe einzudringen als „weicheres“ Röntgenlicht, das den Nachteil besitzt, an der Oberfläche von Stahl oder Eisen regelrecht abzublitzen. Mit Hilfe des PETRA-Lichts kann man also tiefer als bislang in die Materialien hineinschauen. Dabei lassen sich dann winzigste, unerwünschte Blasen oder Poren erkennen, die die Haltbarkeit der Leichtbauteile mindern.

Am 16. April 2009 war es dann soweit: Um Punkt 10:14 Uhr kreisten die ersten Teilchenpakete in PETRA III. Das erste Licht lieferte der Ring drei Monate später, am 17. Juli. Und ab 2010 steht die Hamburger Superlampe für den Routinebetrieb parat – und zwar für Forscherteams nicht nur aus Deutschland, sondern aus aller Welt.









## 10: European XFEL

In der Metropolregion Hamburg entsteht der stärkste Röntgenlaser der Welt



FREIER FLUG  
FÜR FREIE  
ELEKTRONEN





## Freier Flug für freie Elektronen

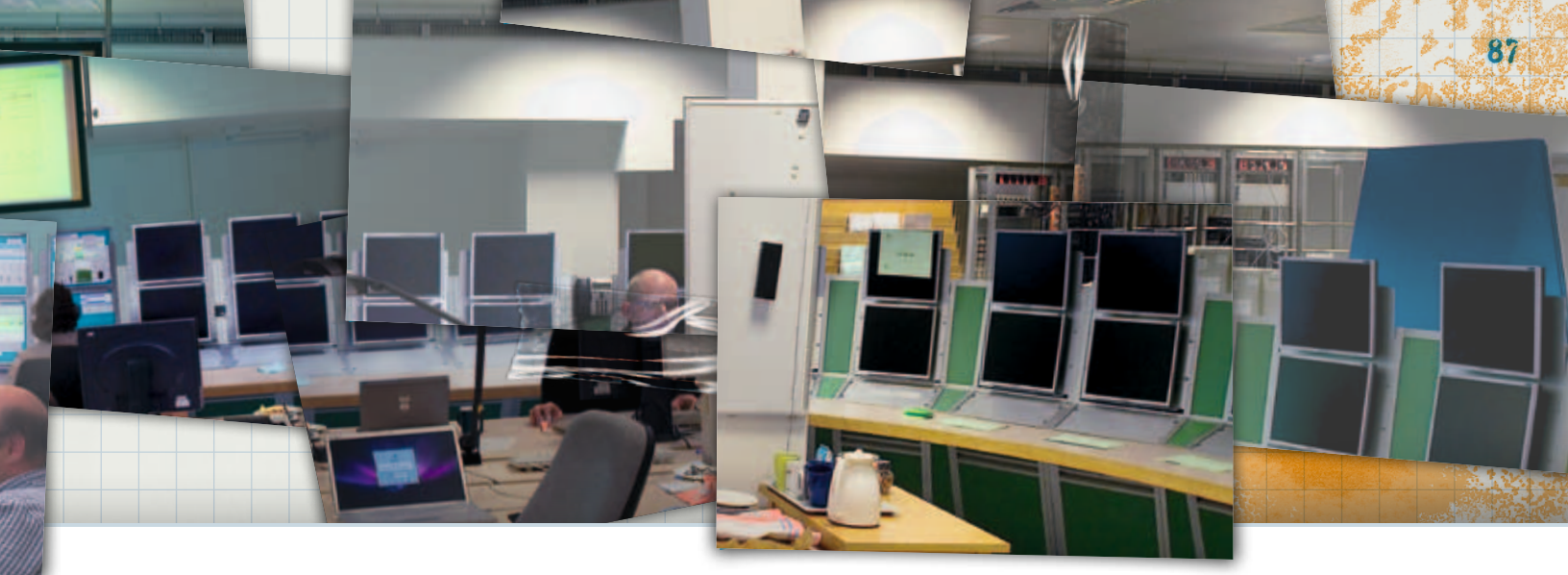
In der Metropolregion Hamburg entsteht der stärkste Röntgenlaser der Welt

„Das, was hier entsteht, ist Weltspitze!“ Bundesforschungsministerin Annette Schavan zeigte sich sichtlich beeindruckt, als sie am 5. Juni 2007 den Startschuss für den Bau einer der größten Wissenschaftsmaschinen Europas gab: Ab 2014 soll der europäische Röntgenlaser European XFEL in der Metropolregion Hamburg das stärkste Röntgenlicht der Welt erzeugen und damit eine völlig neue Klasse von Experimenten ermöglichen.

Basis des Freie-Elektronen-Lasers ist ein knapp zwei Kilometer langer Elektronenbeschleuniger, eingebaut in einen unterirdischen Betontunnel. Er beginnt beim DESY-Gelände in Hamburg-Bahrenfeld, verläuft in Richtung Nordwest und endet in einem Gewerbegebiet gleich hinter der Landesgrenze zu Schleswig-Holstein. Dort, in der Stadt Schenefeld, entsteht der Forschungscampus des European XFEL. Ebenso wie sein „kleiner Bruder“ FLASH basiert der Beschleuniger auf der supraleitenden TESLA-Technologie.







Die Idee für den European XFEL wurde in den neunziger Jahren geboren. Zunächst war er als Bestandteil des TESLA-Projekts gedacht – eine 30 Kilometer lange „Kombi“-Maschine. Sie sollte den weltweit größten Elektronen-Positronen-Beschleuniger für die Teilchenphysik mit dem leistungsfähigsten Röntgenlaser aller Zeiten verbinden. Nicht zuletzt aus Kostengründen wurde das Projekt 2003 geteilt: Mittlerweile ist die Teilchenphysik-Maschine in dem internationalen ILC-Projekt aufgegangen – ein neuer Riesenbeschleuniger, an dessen Plänen derzeit überall auf dem Globus gearbeitet wird. Der Röntgenlaser hingegen entsteht als europäisches Unterfangen in Hamburg.

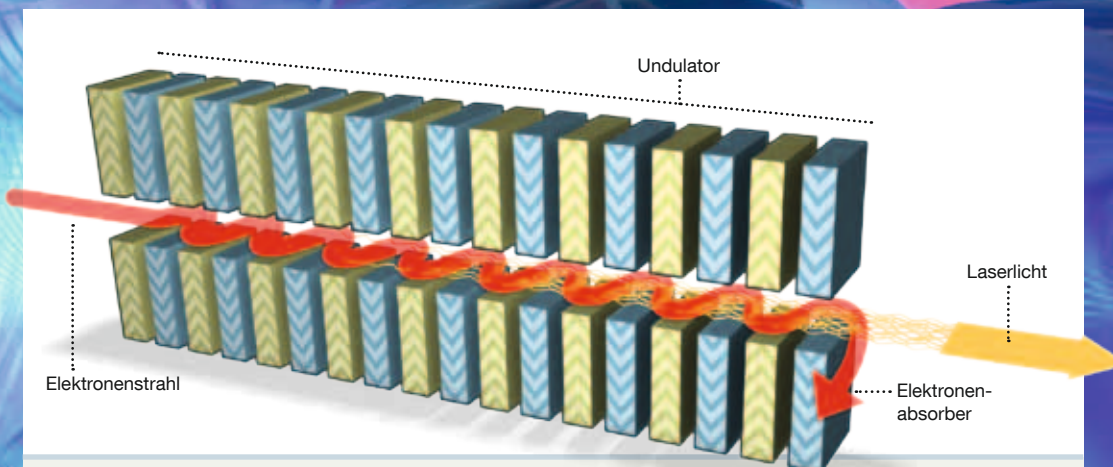
Wie funktioniert der European XFEL? Ein supraleitender, fast zwei Kilometer langer Beschleuniger bringt licht-schnelle Elektronen auf hohe Energien. Dann jagen die Elektronen durch Undulatoren – lange Spezialmagneten, in denen die Teilchen Energie in Form von extrem starken Röntgenblitzen verlieren. Diese sind bis zu eine Milliarde Mal intensiver als bei Speicherringen, den heute stärksten Röntgenquellen. Die Wellenlänge der Blitze kann variiert werden – die größte beträgt sechs, die kleinste 0,1 Nanometer. Damit lassen sich selbst feinste, atomare Details einer Probe erkennen.

Außerdem sind die Blitze deutlich kürzer als eine billionstel Sekunde – ideal, um schnelle Prozesse wie den Ablauf einer chemischen Reaktion zu analysieren. Nicht zuletzt haben die Blitze die Eigenschaften von Laserlicht. Das ermöglicht im Prinzip die Aufnahme von Hologrammen, also dreidimensionalen Bildern.

Von dem Superlaser sollen Grundlagenforscher der verschiedensten Fachdisziplinen profitieren. So wollen Molekularbiologen detaillierte Bilder von einzelnen Eiweißmolekülen aufnehmen. Die Ergebnisse sollen beim gezielten Design von Medikamenten helfen. Astrophysiker dürften neue Details darüber erfahren, wie Materie im Inneren von Sternen aussieht. Geoforscher haben vor, künstliche Schockwellen durch Gesteinsproben zu jagen und mit dem starken Röntgenlicht des European XFEL analysieren. Ihr Ziel: Sie möchten die im Erdkern herrschenden, gewaltigen Druckverhältnisse simulieren und herausfinden, was sich im Inneren unseres Planeten abspielt. Chemiker schließlich hoffen, den Ablauf chemischer Reaktionen regelrecht filmen zu können und dabei in Zeitlupe zu erkennen, wie einzelne Atome miteinander reagieren. Mit diesem Wissen können beispielsweise effizientere Produktionsverfahren für die Industrie entwickelt werden.







### Elektronen auf Slalomkurs

Dass man mit einem Freie-Elektronen-Laser überhaupt Röntgenstrahlung erzeugen kann, beruht auf einem ausgefeilten Trick – der „Self-Amplified Spontaneous Emission“, kurz SASE. Das Prinzip: Ein Linearbeschleuniger bringt winzige Elektronenpäckchen auf hohe Energien. Jedes Päckchen enthält rund zehn Milliarden Teilchen. Am Ende des Beschleunigers fliegt das Päckchen in einen rund 200 Meter langen Spezialmagneten. Dieser Undulator bringt das Elektronenpaket ins Schlingern und zwingt dadurch jedes einzelne Elektron, Röntgenlicht auszusenden. Da dieses Licht ein wenig schneller ist als die Elektronen, holt es die vor ihm fliegenden Teilchen ein.

Beim Vorbeifliegen wirkt das Röntgenlicht auf die Elektronen ein: Einige Teilchen werden beschleunigt, andere abgebremst. Als Folge davon ordnen sich die Elektronen nach und nach zu vielen dünnen Scheibchen. Am Ende des Undulators ist die Scheibchenstruktur voll ausgebildet.

Das Entscheidende: Sämtliche Elektronen in einer Scheibe strahlen im Gleichtakt, ein sich selbst verstärkender Effekt. Dadurch entstehen extrem intensive Laserblitze – die stärksten Röntgenstrahlen der Welt.

Damit der SASE-Effekt zustande kommt, braucht es eine Voraussetzung: Der Elektronenstrahl muss von extrem hoher Qualität sein. Jeweils zehn Milliarden Elektronen sind zu 50 Mikrometer kleinen Paketen zusammengefasst und müssen möglichst die gleiche Energie und Flugrichtung haben. Einen derartigen Elektronenstrahl kann ein supraleitender Linearbeschleuniger wie der des European XFEL besonders effektiv erzeugen. Auch FLASH basiert auf dem SASE-Prinzip – allerdings für größere Wellenlängen, also für UV-Strahlung und weiches Röntgenlicht.



Wie der Name schon sagt: Der europäische Röntgenlaser ist kein deutsches Unterfangen, sondern ein internationales Großprojekt. Beteiligt sind neben der Bundesrepublik 13 weitere Nationen, darunter Frankreich, Großbritannien und die Schweiz, aber auch Russland und China. Zwar wurde das Projekt maßgeblich von DESY initiiert und entwickelt. Doch gebaut und betrieben wird der Röntgenlaser von einer eigens gegründeten Gesellschaft, der European XFEL GmbH. Die Kosten liegen bei rund einer Milliarde Euro. Deutschland zahlt gut die Hälfte, vor allem der Bund, aber auch die Bundesländer Hamburg und Schleswig-Holstein. Der Rest kommt von den ausländischen Partnern. DESY koordiniert den Bau des Beschleunigers.

Aber: Die Konkurrenz schläft nicht. Japan und die USA sind dabei, ähnlich große Röntgenlaser zu bauen und schon in Betrieb zu nehmen. Sie basieren allerdings nicht auf einem supraleitenden Beschleuniger und können nur 120 Röntgenblitze pro Sekunde abfeuern. Der European XFEL hingegen bringt es auf 30 000 Blitze in jeder Sekunde – für viele Experimente ein entscheidender Vorteil. Außerdem können mehrere Messplätze parallel mit Röntgenstrahlung versorgt werden.

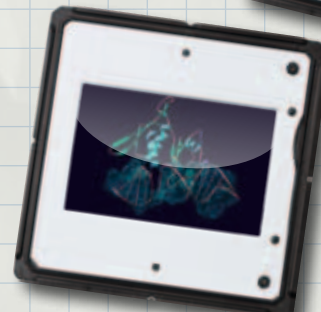
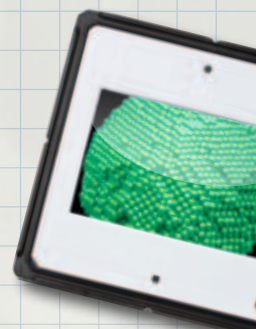


## Molekulares Kino

Wie filmt man eine chemische Reaktion?

Um den Ablauf einer chemischen Reaktion möglichst genau verfolgen zu können, jonglieren die Forscher heute mit unvorstellbar winzigen Zeitspannen – mit Femtosekunden. Eine Femtosekunde ist der milliardste Teil einer Sekunde. In diesem Tempo nämlich gehen zwei Moleküle eine chemische Bindung ein oder lösen sie wieder auf. Als „Kamera“ fungiert dabei ein ultraschneller Laser, der in der Lage ist, Momentaufnahmen mit Belichtungszeiten im Femtosekunden-Bereich zu machen. Das Prinzip: Ein erster Laserblitz löst die fotochemische Reaktion aus, ein zweiter blitzt sie kurz darauf, ähnlich wie eine Radarfalle den zu eiligen Autofahrer blitzt. Der zweite Blitz löst zu unterschiedlichen Zeitpunkten aus. Eine Serie solcher Schnappschüsse ergibt eine regelrechte Diashow des Reaktionsablaufs.

Der europäische Röntgenlaser kann diese Diashows aus dem Mikrokosmos mit unerreichter Detailtreue aufnehmen. Ein einzelner Laserblitz besitzt eine derart hohe Leuchtstärke, dass er die reagierenden Moleküle bis auf jedes Atom genau abbilden kann. Damit ermöglicht es der European XFEL, den Verlauf chemischer Reaktionen genauestens zu verfolgen und zu verstehen. Die Resultate könnten dann beispielsweise in der Optoelektronik sowie in Brennstoff- oder Solarzellen ihre Anwendung finden oder auch für die Entwicklung neuer Abgaskatalysatoren im Auto nützlich sein.





## Physiker mit Managerblut

Massimo Altarelli ist der Projektleiter des europäischen Röntgenlasers



Massimo  
Altarelli

Massimo Altarelli blickt aus seinem Bürofenster auf einen grauen, tristen Hamburger Himmel. Aus seiner Heimat ist er besseres Wetter gewohnt – Altarelli stammt aus Italien. Dennoch hat er gute Laune, denn: „Meine Aufgabe hier ist extrem spannend!“ Der Physiker leitet den Röntgenlaser European XFEL, eines der derzeit größten Wissenschaftsprojekte in Europa.

Ein Job, für den ausgewiesene Managerqualitäten vonnöten sind. Immerhin soll eine völlig neuartige Hightech-Maschine auf die Beine gestellt werden – pünktlich und innerhalb des Budgets. Und: Es geht darum, die Interessen von Forschern und Behörden aus immerhin 14 Nationen unter einen Hut zu bekommen.

Doch Altarelli hat Erfahrung mit der Organisation eines internationalen Großprojekts. In den achtziger und neunziger Jahren baute er als wissenschaftlicher Direktor die Europäische Synchrotronstrahlungsquelle ESRF in Grenoble mit auf – einer der leuchtstärksten Speicherringe der Welt, an dem 18 europäische Staaten beteiligt sind. „Damals haben wir die Anlage mitten auf der grünen Wiese errichtet“, erinnert sich Altarelli. „Heute ist die ESRF ein weltweit angesehenes Labor.“

Als sich abzeichnete, dass mit dem European XFEL eine neue, spektakuläre Wissenschaftsmaschine entstehen soll, wurde der Italiener schnell neugierig. „Auf dem Gebiet der Lichtquellen ist der European XFEL das größte und vielversprechendste Projekt in Europa und vielleicht sogar auf der Welt“, sagt Massimo Altarelli. Schon bei der ESRF habe er es genossen, die internationale Zusammenarbeit mitzugestalten. „Hier in Hamburg habe ich die Gelegenheit gesehen, diese Erfahrung zu wiederholen.“

2005 trat er seinen Posten als Projektleiter des European XFEL an. Seitdem hält Altarelli unter anderem Kontakt zu den künftigen wissenschaftlichen Nutzern des Röntgenlasers, aber auch zu Öffentlichkeit und Politik. „Wenn man eine Milliarde Euro für ein Forschungsgerät ausgibt, muss man die Leute auch von dessen Nutzen überzeugen“, weiß Altarelli. „Aber das mache ich gern. Ich versuche, meine Begeisterung auf die Menschen zu übertragen.“

Der European XFEL, sagt er, verbinde zwei große Errungenschaften der Physik: zum einen die Nutzung der Röntgenstrahlung. Mit ihr lässt sich herausfinden, wie im Detail die Atome in einem Material angeordnet sind – wichtig, um die Eigenschaften dieses Materials von Grund auf zu verstehen. Zum anderen ultrakurze Lichtblitze mit Lasereigenschaften, mit denen sich ultraschnelle Prozesse beobachten lassen. „Der European XFEL vereint diese beiden Forschungswerkzeuge“, freut sich Altarelli. „Damit werden wir in der Lage sein, den atomaren Aufbau der Materie zu analysieren und gleichzeitig zu sehen, wie sich die Atome bewegen und was sie tun.“

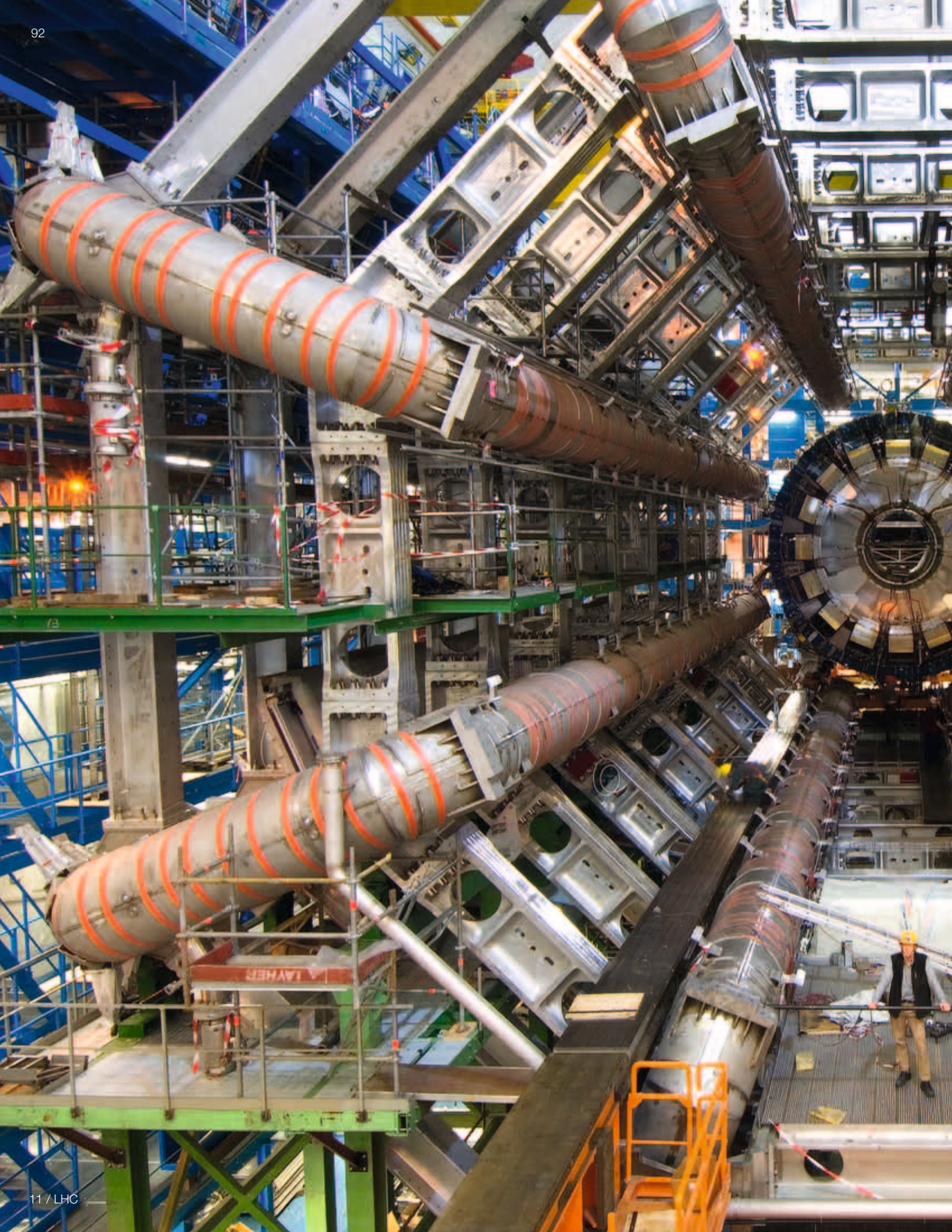
Aus heutiger Sicht sei noch gar nicht genau abzuschätzen, was sich mit dem European XFEL alles anfangen lassen wird. „Es werden bestimmt Experimente möglich sein, an die wir heute noch nicht einmal denken.“ Nimmt man angesichts dieser Perspektiven sogar das manchmal trübe Hamburger Wetter in Kauf? Altarelli blickt aus dem Fenster und lacht. „Man kann eben nicht alles haben.“ In Italien scheinere zwar häufiger die Sonne als in Norddeutschland. „Aber die interessante Aufgabe hier kompensiert das!“





Beschleunigerkontrollraum









11: LHC

DESY-Physiker experimentieren am LHC, dem weltweit größten Beschleuniger

# TEILCHEN- EXKURSION NACH GENÈVE



# Teilchen-Exkursion nach Genf

DESY-Physiker experimentieren am LHC, dem weltweit größten Beschleuniger

Auch wenn es nur ein Stockwerk ist, braucht der Fahrstuhl fast eine Minute. Dann, 100 Meter tief unter der Erde, öffnet sich die Tür. Ein paar Schritte durch einen Gang, und unvermittelt steht man in einer Halle von den Ausmaßen einer Kathedrale – vor sich ein bürohausgroßer Klotz, vollgestopft mit Abertausenden hochsensibeln Sensoren. Es ist CMS, einer der Detektoren am LHC in Genf, dem größten Beschleuniger der Welt. Mehr als 2000 Physiker aus aller Welt haben den Riesendetektor konstruiert und zusammengebaut – darunter auch rund drei Dutzend Experten von DESY.

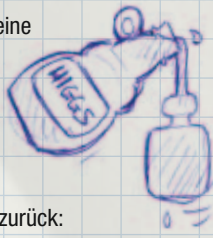
Der Large Hadron Collider ist der leistungsstärkste Beschleuniger aller Zeiten. Er ist in einen 27 Kilometer langen Ringtunnel am Europäischen Teilchenforschungszentrum CERN eingebaut. Bis zum Jahr 2000 beherbergte dieser Tunnel eine andere Teilchenschleuder namens LEP. Doch während LEP Elektronen und Positronen aufeinander feuerte, beschleunigt der LHC Protonen (Wasserstoffkerne). Da Protonen fast 2000-mal schwerer sind als Elektronen, ist die Wucht der Frontkollisionen viel höher – und damit auch die Chance, unbekannte Elementarteilchen zu erzeugen.

## Susy, Higgs und kosmische Ursuppe

Was der LHC herausfinden könnte

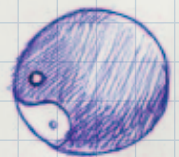
### Ursache der Masse

Warum besitzen die elementaren Bausteine der Materie wie die Quarks überhaupt Masse? Die gängige Theorie der Teilchenphysik, das Standardmodell, sagt dazu die Existenz eines neuen Teilchens voraus, Higgs genannt. Die Idee geht auf den Schotten Peter Higgs zurück: Demnach ist das All von einem Feld durchsetzt, das bildlich gesprochen wie ein Sirup wirkt und allen anderen Teilchen einen Widerstand bietet. Dieser Widerstand macht sich dann als Masse bemerkbar. Wenn der LHC das Higgs entdeckt, wäre diese These bewiesen.



### Dunkle Materie

Nur etwa fünf Prozent des Alls bestehen aus Materie. Der Rest setzt sich aus dunkler, also nicht sichtbarer Materie sowie einer geheimnisvollen dunklen Energie zusammen. Hinter der dunklen Materie, vermuten nicht wenige Theoretiker, könnten so genannte SUSY-Teilchen stecken; SUSY steht für Supersymmetrie. Falls der LHC solche SUSY-Teilchen aufspürt, wäre nicht nur Licht in das Rätsel der dunklen Materie gebracht. Gleichzeitig hätten die Forscher damit ihr physikalisches Weltbild vereinfacht: Die Supersymmetrie nämlich würde zwei bislang getrennte Säulen in der Physik – die Teilchen und die Kräfte – unter einen gemeinsamen theoretischen Hut bringen.



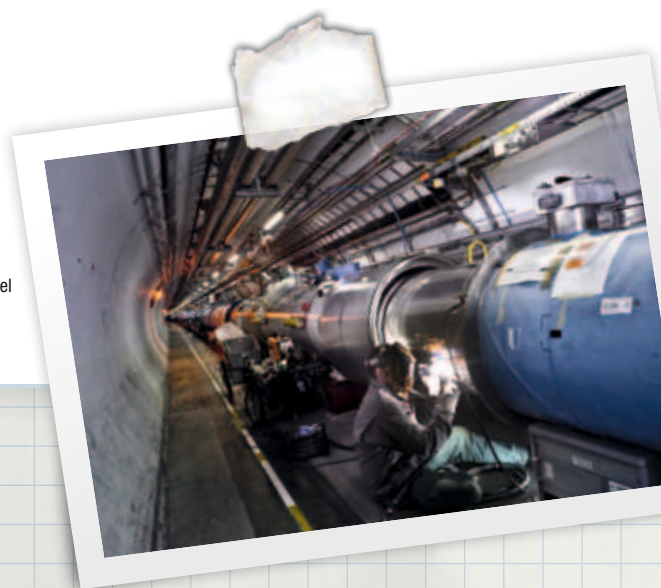




Eingebaut ist der LHC in eine Betonröhre ähnlich einem U-Bahn-Tunnel. Darin stecken zwei luftleer gepumpte, wenige Zentimeter dicke Edelstahlrohre, in denen viele Milliarden Protonen kreisen. Sie sind zu Schwärmen zusammengefasst; die eine Hälfte fliegt rechts, die andere links herum. In der Kurve gehalten werden die Protonen von superstarken Magneten. Diese Magnete sind supraleitend und müssen durch flüssiges Helium auf rund minus 270 Grad Celsius gekühlt werden. Dafür hat das CERN den leistungsfähigsten Kühlschrank der Welt gebaut.

An vier Stellen des 27-Kilometer-Rings lassen die Physiker die Protonen frontal aufeinander prallen. Dass man mit Hilfe dieser Kollisionen neue Teilchen erzeugen kann, ist einer genialen Erkenntnis von Albert Einstein zu verdanken: Masse ( $m$ ) kann in Energie ( $E$ ) umgewandelt werden und umgekehrt – das besagt Einsteins berühmte Formel  $E=mc^2$ . Der LHC pumpt soviel Bewegungsenergie in die Protonen wie kein Beschleuniger vor ihm. Prallen die Protonen dann zusammen, verwandelt sich ein Großteil ihrer Bewegungsenergie in Masse: Neue, schwere und bis dato unbekannte Teilchen werden geboren.

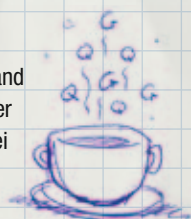
Blick in den LHC-Tunnel



### Kosmische Ursuppe

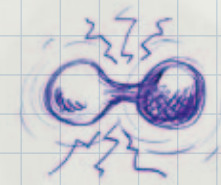
Sekundenbruchteile nach dem Urknall bestand das All aus einer extrem heißen Suppe, in der auch Quarks und ihre Klebeteilchen – die bei DESY entdeckten Gluonen – schwammen. Der LHC soll dieses Quark-Gluon-Plasma nachkochen und detailliert untersuchen.

Dazu wird der LHC Bleikerne statt Protonen aufeinander schießen. Ein Detektor namens ALICE soll das Geschehen analysieren. Die Herausforderung: Bei Blei-Kollisionen entstehen Zehntausende neuer Teilchen – viel mehr als bei den Protonen-Experimenten. ALICE versucht, möglichst viele dieser Teilchen aufzuschnappen.



### Geheimnisvolle Antimaterie

Dass es im Universum lauter Materie gibt, aber kaum Antimaterie, ist den Physikern seit Jahrzehnten ein Rätsel. Der LHC soll das Geheimnis lüften, indem er neue, markante Unterschiede im Verhalten von Materie und Antimaterie findet. Der Detektor LHCb ist hinter speziellen Teilchenexoten her, die der LHC wie am Fließband produzieren wird: die so genannten B-Mesonen. Ihr Zerfall soll klären helfen, warum alle Antimaterie aus unserem Universum verschwand und etwas Materie übrig blieb.







CMS-Kontrollraum bei DESY

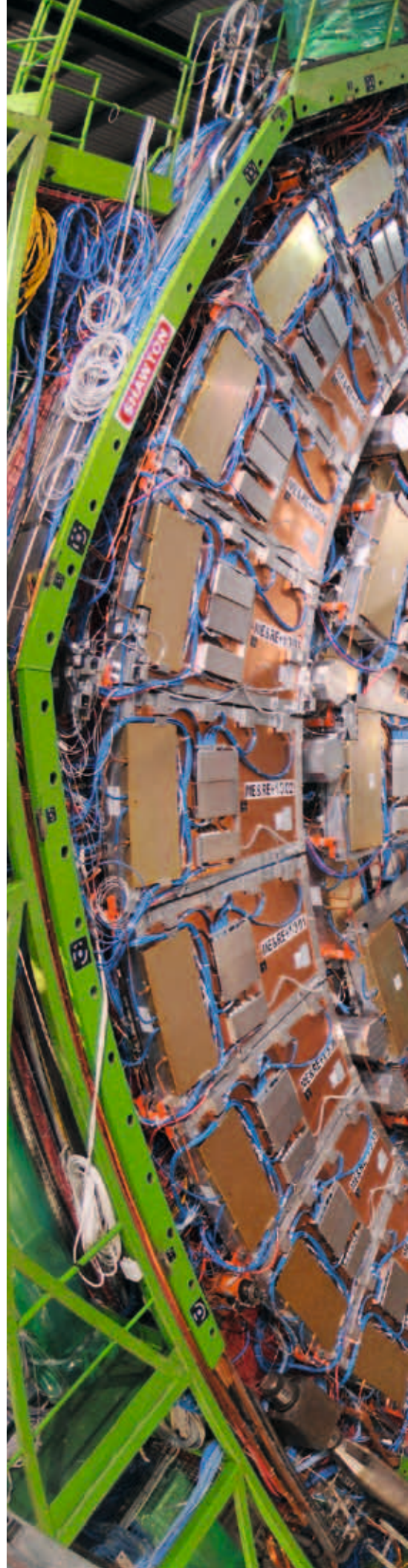
Um diese Prozesse möglichst detailliert zu beobachten, stehen an den vier Kollisionsstellen riesige Detektoren. Insgesamt mehr als 9000 Experten sind an diesen Megaexperimenten beteiligt. Außer am CMS arbeiten DESY-Forscher an einer zweiten „Teilchenkamera“ mit: ATLAS, 25 Meter hoch wie breit und 46 Meter lang – der größte Detektor am LHC.

Sowohl ATLAS als auch CMS dürfen als die technologisch anspruchsvollsten Wissenschaftsgeräte gelten, die je gebaut wurden. Zum Teil basiert ihre Messtechnik auf neuen, kaum erprobten Methoden. Beispielsweise stecken im Zentrum des CMS-Detektors mehr als 200 Quadratmeter an hochreinen Silizium-Sensoren, verbunden durch ein Labyrinth von Tausenden Spezialkabeln. Sie haben die Aufgabe, die Spuren der bei der Kollision entstandenen Teilchen möglichst präzise zu vermessen.

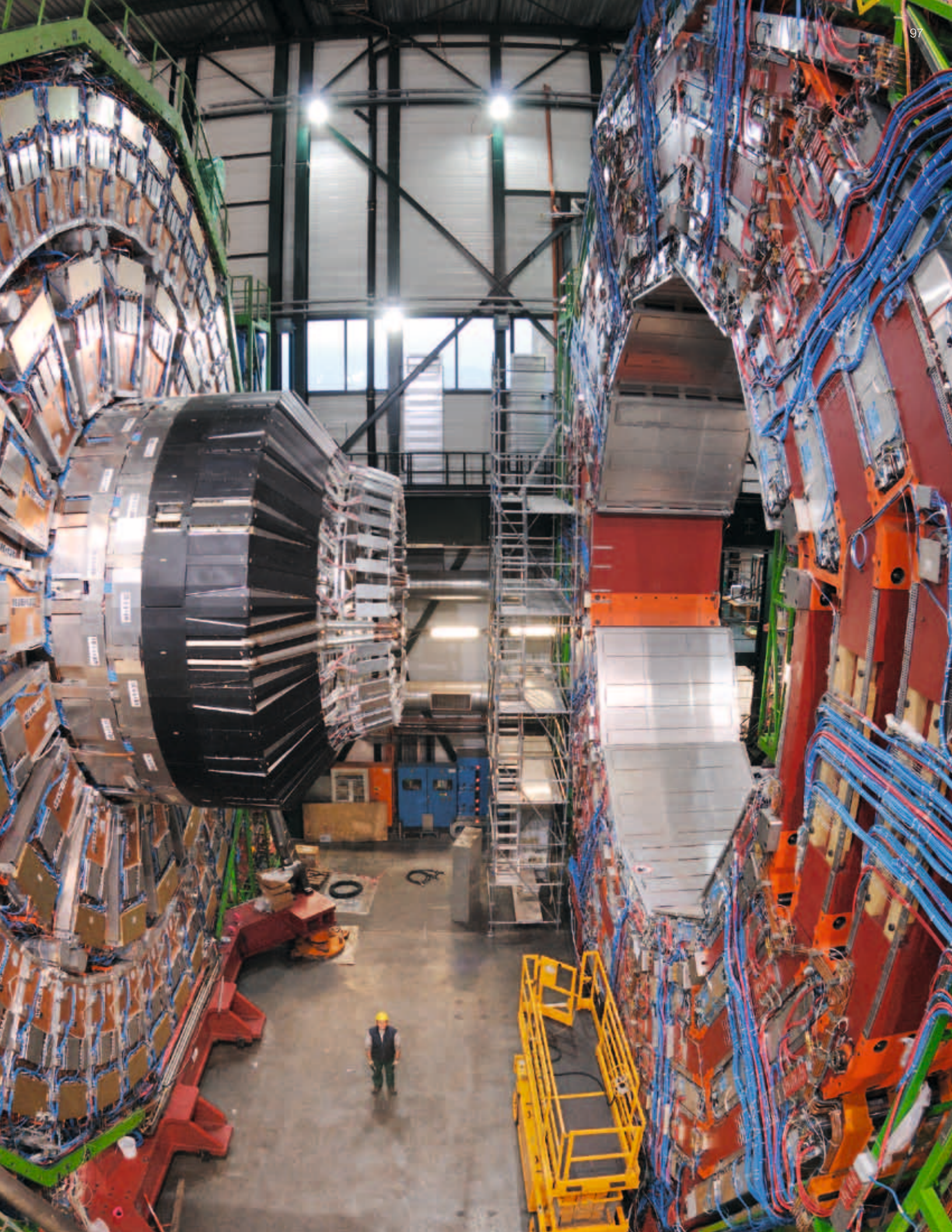
Jeder Detektor produziert enorme Datenmengen – pro Tag soviel wie der Inhalt von rund 30 000 CDs. Um diese Daten verarbeiten zu können, haben die Experten ein völlig neues Computerkonzept entworfen, das GRID. Dabei werden Dutzende von Rechnerzentren in aller Welt intelligent zusammengeschaltet, wodurch sie für geballte Rechenpower sorgen.



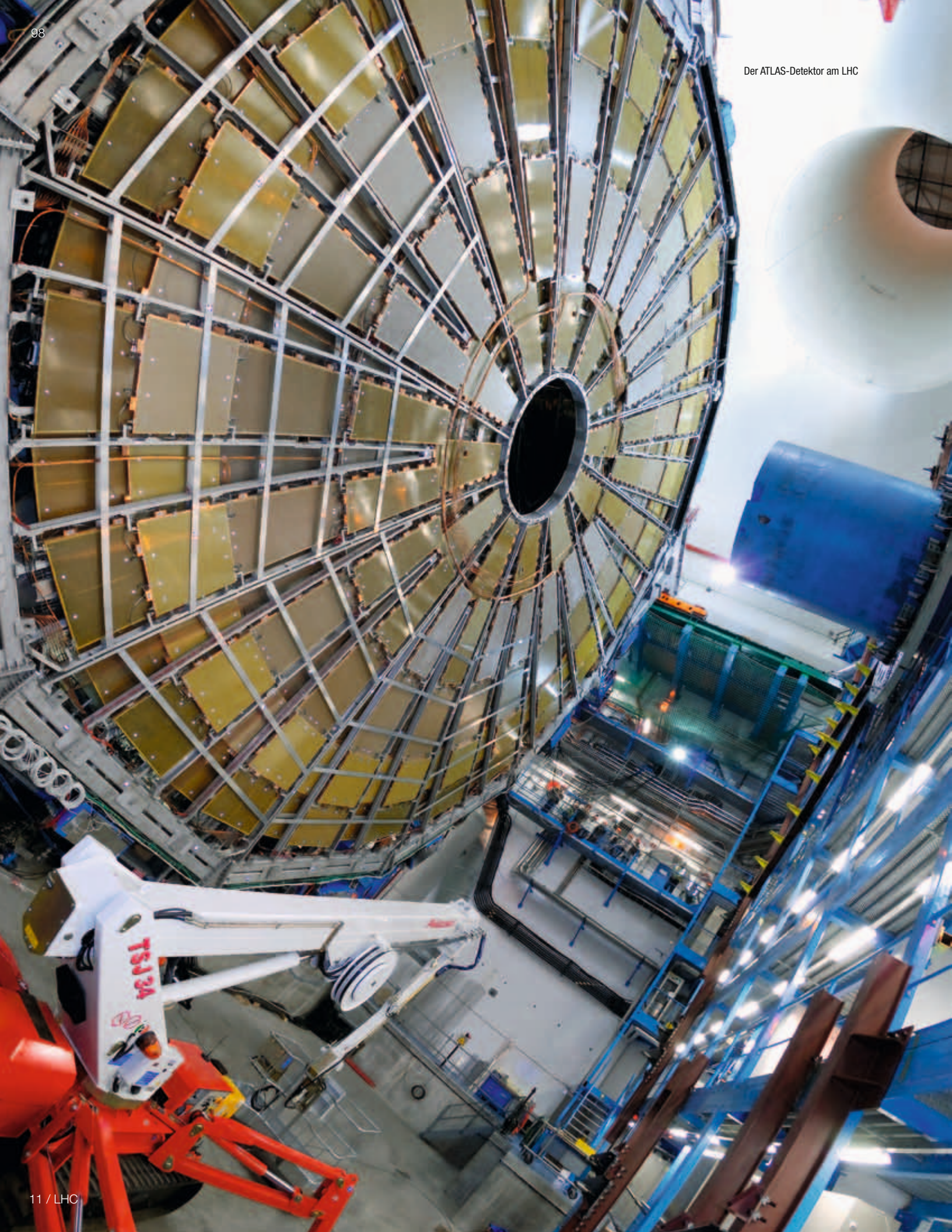
Der CMS-Detektor am LHC













# Teamwork am Giganten

## Was genau machen Sie und Ihre DESY-Kollegen in Genf?

**Klaus Mönig:** Wir engagieren uns vor allem am sogenannten Trigger und in der Software-Entwicklung für ATLAS. Aber wir sind auch am Bau des Luminositätsdetektors beteiligt, er ist eines der vielen Teilsysteme von ATLAS. Er steht 240 Meter vom eigentlichen Detektor entfernt und misst die Trefferrate, mit der die Protonen kollidieren. Außerdem leisten wir Entwicklungsarbeit für eine Umrüstung von ATLAS, die ab etwa 2015 vorgesehen ist und mit dem geplanten Ausbau des LHC zum „Super-LHC“ notwendig wird. Bei diesem Super-LHC will man die Trefferrate der Protonen noch einmal deutlich steigern. Und das macht ganz neue Komponenten für den ATLAS-Detektor nötig, die wir mit entwickeln.

## Wie viele DESY-Forscher machen bei ATLAS mit?

Es sind derzeit 24 promovierte Physiker und 14 Doktoranden, die den Hauptteil ihrer Arbeitszeit in das ATLAS-Projekt investieren. Unter anderem können wir dabei unsere Erfahrungen einbringen, die wir mit dem DESY-Beschleuniger HERA und seinen Detektoren gesammelt haben. Außerdem betreibt DESY eines der Rechenzentren für das GRID, also für die spätere Analyse der Messwerte.



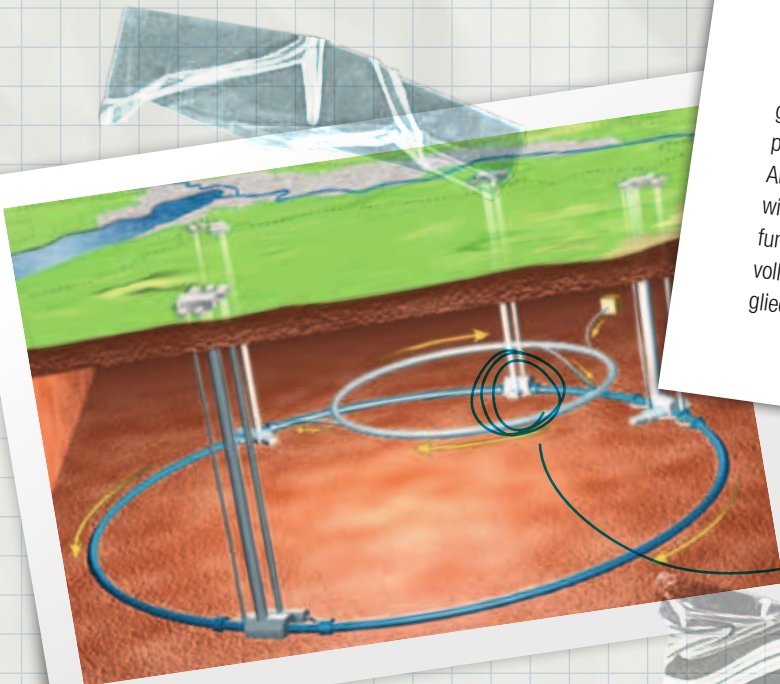
**KLAUS MÖNIG** AUS ZEUTHEN IST EINER DER DESY-EXPERTEN, DIE AM ATLAS-DETEKTOR IN GENF MITARBEITEN.

## Verbringen Sie die meiste Zeit in Genf, oder können Sie auch von Deutschland aus aktiv sein?

Inzwischen kann man extrem viel von DESY aus machen. Letztlich sitzt man sowieso etwa 90 Prozent der Zeit am Rechner. Und bei der Qualität, die die Computernetze heute haben, lässt sich die Arbeit sehr gut von außen machen. Dennoch sind stets vier oder fünf DESY-Forscher in Genf, weil man für einige Arbeiten doch vor Ort sein muss. Die anderen kommen dann regelmäßig zu Arbeitstreffen ans CERN.

## Das ATLAS-Team arbeitet bereits seit Mitte der neunziger Jahre an dem Detektor. Die DESY-Forscher sind erst 2005 dazugestoßen, also relativ spät. War Ihr Engagement von Anfang an willkommen oder mussten Sie sich Ihren Stellenwert in diesem mehr als 2000 Forscher großen Team erst erarbeiten?

Beides. Ein Experiment wie ATLAS ist extrem komplex, und da kann man zusätzliche Expertise immer gebrauchen. Gerade bei Arbeiten am Trigger und an der Software fehlte es noch an Manpower, und deswegen wurde DESY mit offenen Armen empfangen. Dennoch: Zu Beginn mussten wir uns erst mal hocharbeiten. Aber inzwischen funktioniert das sehr gut, und heute sind wir ein voll integriertes ATLAS-Mitglied mit Gruppenmitgliedern in verantwortungsvollen Positionen.









12: ILC

Der Zukunftsbeschleuniger ILC wird auf innovativer DESY-Technologie basieren

# HEISSE PLÄNE, KALTE ENTSCHEIDUNG



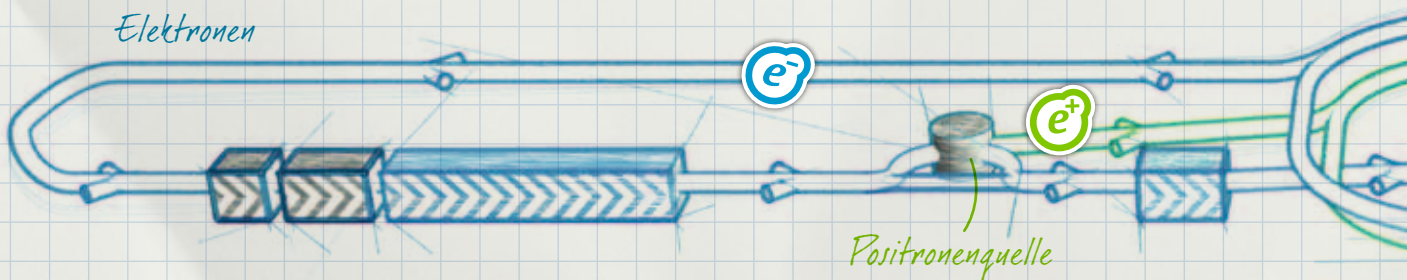


# Heiße Pläne, kalte Entscheidung

Der Zukunftsbeschleuniger ILC wird auf innovativer DESY-Technologie basieren

20. August 2004, Peking. Auf einer Physikkonferenz wird eine Entscheidung verkündet, die in Hamburg für Freude und Genugtuung sorgt: Der International Linear Collider ILC, ein für die Zukunft geplanter internationaler Riesenbeschleuniger, soll auf Basis der supraleitenden TESLA-Technologie gebaut werden – eine Technologie, die maßgeblich bei DESY entwickelt wurde.

Die Geschichte begann bereits in den frühen neunziger Jahren. Damals fingen überall auf der Welt Physiker an, über ein neues Beschleunigerkonzept nachzudenken. Kein Ring mehr wie bislang üblich, sondern eine schnurgerade Rennstrecke für Elektronen und Positronen. Linear Collider, so heißt das Konzept. Bei ihm soll die Wucht des Zusammenpralls bis zu fünf Mal größer sein als beim dahin leistungsstärksten Elektronenbeschleuniger, dem LEP in Genf.



## Gerade statt krumm

Was den ILC von anderen Beschleunigern unterscheidet

Bislang waren große Teilchenbeschleuniger in der Regel kreisförmig – so wie die Ringe PETRA und HERA in Hamburg. Mit dem ILC gehen die Physiker nun einen anderen Weg: Er ist nicht rund, sondern schnurgerade. Auf den ersten Blick erscheint das eher als Nachteil. Denn im Gegensatz zu einem Ring können die Teilchen bei einer geraden Rennstrecke die Beschleunigungsröhren nicht zigtausend Mal durchlaufen und dabei immer einen Schub nach vorn bekommen, sondern nur ein einziges Mal. Dafür aber – und das ist der wesentliche Vorteil – gibt es beim ILC keinerlei Verluste durch Synchrotronstrahlung, die die Elektronen in den Kurven eines Kreisbeschleunigers zwangsläufig erleiden.

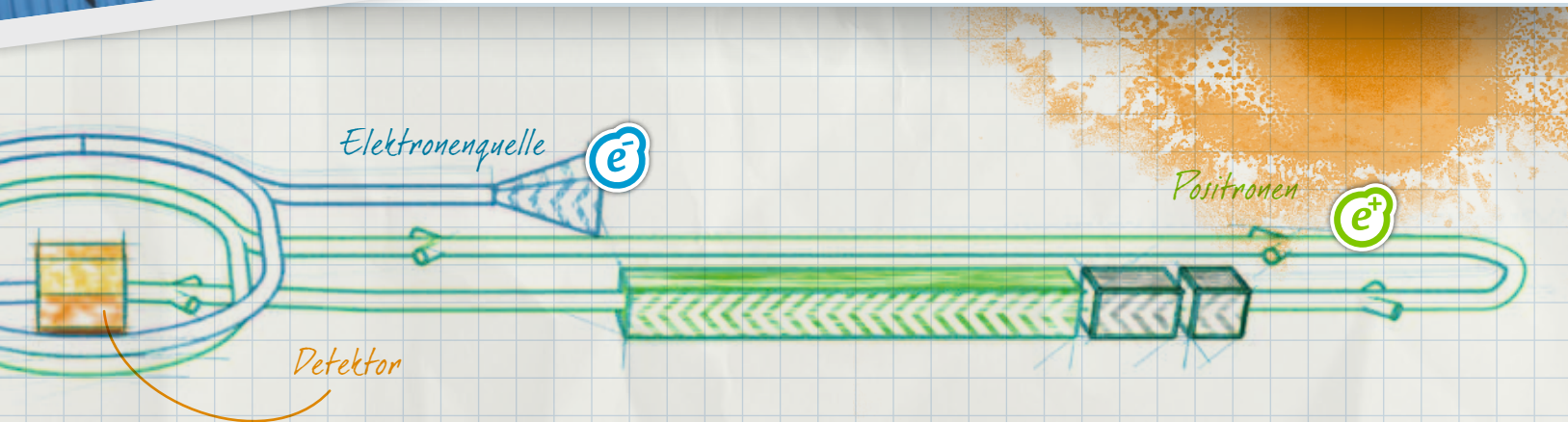
Die Folge: Mit seinen extrem leistungsstarken supraleitenden Beschleunigungsröhren wird der ILC Elektronen und Positronen mit einer Energie von zunächst 500 Gigaelektronenvolt aufeinander schießen – immerhin das Zweieinhalbfache des alten Rekordhalters, des 27 Kilometer großen LEP-Ringes in Genf. Auch der ILC ist ein Gigant: In einem 30 Kilometer langen Tunnel stehen sich zwei Beschleuniger gegenüber – einer für die Elektronen, der andere für die Positronen. In der Mitte prallen die extrem gebündelten Teilchenpakete mit voller Fahrt aufeinander – und zwar 14 000 Mal pro Sekunde. Hier stehen auch die riesigen ILC-Detektoren. Sie beobachten, welche neuen, womöglich unbekannt





2001 fasste die internationale Gemeinde der Teilchenforscher den Beschluss, das Konzept des International Linear Colliders wirklich umsetzen zu wollen – als höchst sinnvolle Ergänzung zum LHC in Genf. Nur: In welcher Bauart man den rund 30 Kilometer langen Riesen am besten auslegen sollte, war noch umstritten. Vor allem Amerikaner und Japaner setzten auf die sogenannte warme Technologie: Hier bestehen die Metallröhren, in denen die Teilchen beim Hindurchfliegen mit starken elektromagnetischen Wellen auf Trab gebracht werden, aus Kupfer. Sie funktionieren zwar bei Zimmertemperatur, zeigen aber einen deutlichen elektrischen Widerstand. Das führt zu Energieverlusten und damit zu einer hohen Stromrechnung.

Anders bei den supraleitenden Beschleunigungsrohren aus Niob-Metall, die DESY gemeinsam mit der Industrie und diversen in- und ausländischen Instituten unter dem Projektnamen TESLA entwickelt hat. Zwar muss das Niob mit flüssigem Helium auf etwa minus 270 Grad Celsius gekühlt werden; die Fachwelt spricht von einer „kalten Technologie“. Bei diesen ultrafrostigen Temperaturen aber setzt die Supraleitung ein. Dann können Ströme praktisch ohne Widerstand durch die Röhren fließen. Diese zeigen dadurch kaum Verluste und arbeiten höchst effizient.



Materiebausteine bei den Kollisionen entstehen. In einer weiteren Ausbaustufe ist angedacht, die Maschine bis auf 50 Kilometer zu verlängern. Damit ließe sich die Kollisionsenergie glatt verdoppeln – von 500 Gigaelektronenvolt auf ein Teraelektronenvolt.

Der ILC soll einige der spannendsten Rätsel der Forschung lösen helfen: Wie kommen die Bausteine der Welt zu ihrer Masse? Wie hängen Materie und Kräfte zusammen? Und was steckt hinter der dunklen Materie? Bei der Beantwortung dieser Fragen wird sich der ILC ideal mit einem anderen Großbeschleuniger ergänzen, dem LHC in Genf. Dieser nämlich feuert Protonen aufeinander,

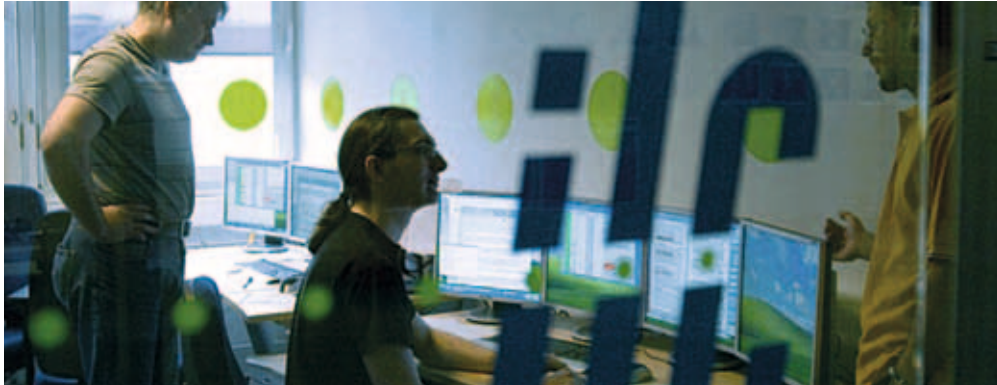
nicht Elektronen und Protonen. Zwar ist beim Zusammenprall zweier Protonen deutlich mehr Energie im Spiel als bei der Kollision von Elektron und Positron. Dafür aber lassen sich die Stoßereignisse beim ILC wesentlich präziser auswerten als die Prozesse in Genf. Das Resultat wäre eine Arbeitsteilung: Der LHC ist eine Entdeckungsmaschine mit der Aufgabe, SUSY-Teilchen und Higgs-Partikel überhaupt erst aufzuspüren. Der ILC hingegen fungiert als Präzisionsinstrument, das die exotischen Teilchen äußerst genau unter die Lupe nimmt – eine unabdingbare Voraussetzung dafür, neue Physiktheorien wirklich auf Herz und Nieren prüfen zu können.





Supraleitende Beschleunigungsröhren sind das Herzstück des ILC.



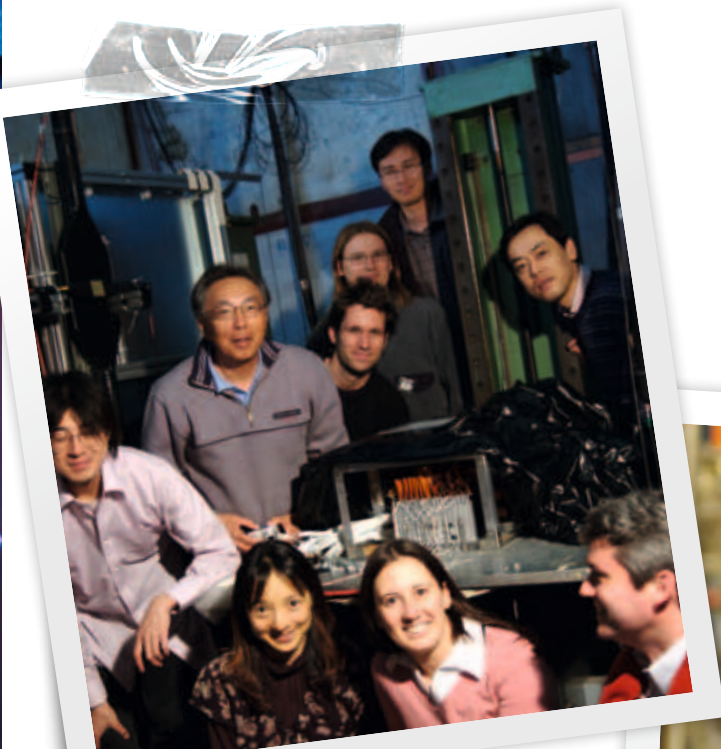


Von DESY aus können Forscher auch Tests in den USA steuern.

Doch welches Konzept ist unterm Strich das bessere – warm oder kalt? Um das zu klären, setzte das International Committee for Future Accelerators im Sommer 2003 ein Expertengremium ein. Das Rennen galt als völlig offen, bis das Gremium im August 2004 in Peking sein Urteil verkündete: Der ILC solle kalt werden, nicht warm. Ein kalter Beschleuniger würde weniger Energie verbrauchen als ein warmer, würde zuverlässiger funktionieren und hätte mit dem European XFEL einen wichtigen Prototyp, so die Jury.

Die Enttäuschung bei den Befürwortern der warmen Technologie währte nur kurz. Rasch freundeten sie sich mit der kalten Technologie an und klinkten sich in die Arbeiten ein. Heute ist der ILC ein globales Unterfangen, obwohl noch gar nicht klar ist, wo er gebaut werden wird: Mehr als 2000 Forscher aus über 300 Instituten und gut zwei Dutzend Ländern sind an dem Multi-Milliarden-Projekt beteiligt. An nahezu allen großen Beschleunigerzentren der Welt laufen die Vorbereitungen auf Hochtouren: An Testständen in Chicago, Hamburg und dem japanischen Tsukuba arbeiten die Physiker daran, die Technik zu perfektionieren und die Baupläne für den neuen Superbeschleuniger bis ins letzte Detail auszufeilen.

Ende des Jahres 2012, wenn die ersten Ergebnisse vom LHC vorliegen dürften, plant die ILC-Gemeinschaft die Veröffentlichung des Technischen Designreports. Er soll als Grundlage dienen, um das Projekt Geldgebern und möglichen Standortbewerbern vorzulegen. Bis dahin werden die DESY-Forscher die Beschleunigertechnologie verfeinern und die Montageprozesse optimieren – wobei ihnen der Bau des European XFEL Erfahrungswerte aus erster Hand liefert. Außerdem engagieren sie sich im zentralen ILC-Management und bei der Entwicklung der Detektoren für den neuen Superbeschleuniger, die höhere Anforderungen an Präzision und Verlässlichkeit stellen als je zuvor.





# „Wir brauchen den ILC!“

VON 1999 BIS 2009 LEITETE  
**ALBRECHT WAGNER** DAS  
 FORSCHUNGSZENTRUM  
 DESY - UND BRACHTE DAS  
 ILC-PROJEKT MIT AUF  
 DEN WEG.

## Welche Rolle spielt DESY bei der Entwicklung des Zukunftsbeschleunigers ILC?

**Albrecht Wagner:** Das Herz des ILC ist die supraleitende TESLA-Technologie. Hier bildete DESY seit den frühen neunziger Jahren einen Kristallisationspunkt, in dem das gesamte Weltwissen über supraleitende Beschleuniger zusammenfloss. Mit diesem geballten Wissen war es möglich, schnelle und beeindruckende Fortschritte zu erzielen. Genau das hat im Jahr 2004 dazu geführt, dass die Technologieentscheidung beim ILC auf die TESLA-Technologie fiel. Seitdem führt kein Weg mehr an DESY vorbei – zumal es in Hamburg mit FLASH und dem europäischen Röntgenlaser European XFEL zwei Anlagen gibt, die auch auf supraleitender Technologie basieren. Dadurch können wir wertvolle Erfahrungen sammeln, was Bau und Betrieb der Beschleunigungsrohren anbelangt, aber auch die Zusammenarbeit mit der Industrie. Damit ist DESY immer einen Schritt weiter als die anderen Labors auf der Welt.



## Wo der ILC eines Tages stehen wird, ist noch nicht entschieden. Was ist, wenn er nicht in Hamburg gebaut wird, sondern woanders?

Spitzenforschung lässt sich durchaus auch ohne eigenen Beschleuniger betreiben. Astronomen, die mit Satellitenteleskopen arbeiten, haben ihr Forschungsinstrument ja auch nicht vor der Haustür, sondern im Weltraum. Dass diese verteilte Wissenschaft gut funktionieren kann, haben Astronomie und Weltraumforschung bewiesen. Wichtig ist allerdings, dass man an seinem Ort eine kritische Masse an klugen Köpfen hat, die das Feld vorantreiben. Diese Kultur wollen wir bei DESY auch künftig aufrecht erhalten.

Hinzu kommt, dass sich Beschleuniger und Detektoren mittlerweile mit schnellen Datenleitungen aus der Ferne bedienen lassen. Das machen wir bereits heute bei den LHC-Detektoren in Genf und auch bei den ILC-Testexperimenten, die am Fermilab bei Chicago, bei DESY und am CERN stattfinden. Man muss also nicht vor Ort sein, um mit der Maschine zu experimentieren. Auf so ein globales Beschleuniger-Netzwerk wird es auch beim ILC hinauslaufen. Damit kann man zu Hause stark bleiben, auch wenn der Beschleuniger woanders steht.

## Ist das ILC-Projekt auf einem guten Weg?

Die Fortschritte sind wirklich stetig und beachtlich. Derzeit arbeiten die Partner an den konkreten Bauplänen und entwickeln die Maschine bis ins kleinste Detail weiter – auch in Hinblick auf eine Kostenoptimierung. Der Schwerpunkt liegt dabei auf der Weiterentwicklung der supraleitenden Beschleunigungsrohren. Die Entscheidung, wann und wo der ILC gebaut wird, dürfte aber erst fallen, wenn der LHC in Genf die ersten Resultate geliefert hat. Doch die internationale Gemeinde der Teilchenphysiker sagt ganz klar: Egal, welche Beobachtungen wir mit dem LHC machen werden – wir brauchen den ILC!











13: DESY

Hunderte von Fachleuten sorgen dafür, dass die DESY-Infrastruktur stimmt

# DIE KRÄFTE HINTER DEN KULISSEN





## Die Kräfte hinter den Kulissen

Hunderte von Fachleuten sorgen dafür, dass die DESY-Infrastruktur stimmt

Im Dezember 1959 wurde DESY gegründet, um Spitzenforschung zu betreiben – zunächst in der Teilchenphysik, später dann auch als Zentrum für Röntgenquellen. Doch wirklich erfolgreich können Wissenschaftler nur dann agieren, wenn der Rahmen stimmt und die Infrastruktur funktioniert. Zu dieser Infrastruktur gehört eine Menge: von der Verwaltung über Werkstätten und Computerezentren bis hin zu Bibliothek und Kantine.

DESY ist mit seinen Beschleunigern stets an die Grenze des technologisch Machbaren vorgestoßen. Die Komponenten, die man für den Bau der Anlagen braucht, sind oft nicht „von der Stange“ zu bekommen, sondern müssen eigens entwickelt und gebaut werden.

Viele dieser Sonderanfertigungen konstruieren die DESY-Experten in Eigenregie. Dabei finden sie wertvolle Unterstützung in den hauseigenen Werkstätten: Das Servicezentrum Elektronik hilft bei der Entwicklung hochspezieller elektronischer Mess- und Steuergeräte, die man sowohl für die Teilchenphysik als auch für die Röntgenquellen benötigt.





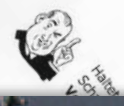
Das Servicezentrum Mechanik ist auf die Herstellung feinmechanischer Bauteile spezialisiert, wobei es an den Werkbänken fast immer auf allerhöchste Präzision ankommt. Werkstätten wie auch Verwaltung bieten jungen Leuten die Möglichkeit, spannende, hochqualifizierte Ausbildungen in ganz unterschiedlichen gewerblich-technischen Berufen zu absolvieren.

Mit dem PC auf dem Schreibtisch ist es bei den meisten DESY-Forschern nicht getan. Für ihre Analysen und Simulationen brauchen sie die geballte Rechenpower von Supercomputern und Parallelrechnern. Dass diese Maschinen stets schnell und zuverlässig arbeiten, darum kümmert sich die IT-Gruppe bei DESY. Besonderes Augenmerk liegt auf der innovativen GRID-Technologie – einer neuen Rechnerarchitektur, die man für die umfangreichen Datenanalysen der LHC-Messwerte benötigt.

Einiges tut DESY auch für die Außenwirkung: So nehmen jedes Jahr um die 8000 Interessierte an den Besucherführungen teil. Regelmäßig gibt es allgemeinverständliche Vorträge und Tage der offenen Tür. Das Science Café lädt zur lockeren Plauderstunde über wissenschaftliche Themen. Und dem Schülerlabor physik.begreifen gelingt es höchst erfolgreich, Kinder und Jugendliche für die Physik zu begeistern.



...den ist immer größer  
Der Zeiger zeigt ungefähr  
100x12



...offener Rezipient

Luftdruck im Behälter sinkt, wenn  
die Luft herauspumpt. Dadurch  
drückt die Luft im Ballon weiter  
und wenn der Ballon  
nicht mehr ausreicht platzt



Warum?

Der Luftdruck  
nach unten  
man unten  
dass See nie  
Glas kann



### Spaß statt Pauken

physik.begreifen, das Schülerlabor bei DESY

1996. Helmut Krech, damals Verwaltungsdirektor, hat eine zündende Idee: ein Labor bei DESY, in dem Schülerinnen und Schüler spielerisch experimentieren können und dadurch Vorbehalte gegenüber der angeblich so drögen Physik überwinden. physik.begreifen, so der Name des Schülerlabors, erlebt heute einen ungeheuren Andrang – sowohl in Hamburg als auch seit 2004 in Zeuthen.

Als Erweiterung des Angebots kam 2001 das Radioaktivitätslabor dazu. Neunt- und Zehntklässler checken, ob bestimmte Salze radioaktiv sind und wie sich die unterschiedlichen Strahlungsarten wirkungsvoll abschirmen lassen. An die Oberstufe wendet sich seit 2005 das Quantenlabor. Hier lassen sich Quantenphänomene untersuchen, die sich unseren Alltagserfahrungen entziehen. Zurzeit baut das physik.begreifen-Team um Uta Langenbuch zwei neue Labore auf. Die Themen: „Teilchen und Felder“ sowie „Magnetismus“.

„Wir sind das älteste Schülerlabor in der Helmholtz-Gemeinschaft“, berichtet DESY-Fortbildungsbeauftragte Uta Langenbuch. „Angefangen haben wir 1996 mit einem leeren Büro und einer Menge Ideen. Für uns war es wichtig, Experimente anzubieten, bei denen man kein Vorwissen aus der Schule mitbringen muss.“ So entstand zunächst das Vakuumlabor. Kids ab der 4. Klasse können zum Beispiel Luftballons oder Schokoküsse unter einer Vakuumglocke zum Platzen bringen. Seit 2004 bietet das Schülerlabor auch Fortbildungen für Erzieher und Grundschullehrkräfte an. Hier werden auch Experimente ausprobiert, die im eigenen Unterricht eingesetzt werden können.

„Mit unseren Experimenten interessieren wir selbst Schülerinnen und Schüler, die eigentlich sagen: Physik kann ich nicht und mag ich nicht.“ Die Folge: Die meisten verlassen die DESY-Labore höchst begeistert. Langenbuch: „Nicht selten hören wir den Spruch: Soviel Physik, wie ich heute gelernt habe, habe ich in meiner ganzen Schulzeit nicht gelernt!“

Mittlerweile kommen jährlich mehr als 7500 Schüler in die Labore in Hamburg und Zeuthen. „Der Andrang ist so groß, dass wir längst nicht jede Anfrage bedienen können“, erzählt Uta Langenbuch. „Wer nicht innerhalb von zwei Stunden anruft, nachdem wir die Termine für das nächste Halbjahr freigegeben haben, bekommt leider keinen Platz mehr!“



Stellt bitte sofort die Pumpe aus  
Luftballon platzt. Achtet darauf  
keine Gummistückchen in  
gelangen. Bringt alle Luftballons  
zum Mülleimer.

Luftballon wird immer  
Nach einer Zeit platzt

Warum?  
Alles kann sich die  
kleinsten Teilchen  
Diese Teilchen  
den Gegenstand  
brauchen sie  
der Gegenstand  
sich im Behälter  
sind keine Teilchen  
somit haben  
im Luftballon  
sich aus



vier Händen kräftig fest  
ht, nehmt Klebeband.  
kann sehr laut sein!

Warum?

Als keine Luft mehr im Glas war  
war egal welche Form die Gegenstände  
haben weil es keinen Luftdruck mehr  
gab, aber als die Luft wieder im  
Glas war ist die Luft schnell an der  
Spitze der Kugel vorbei geströmt  
dabei hat der Federdruck die  
Luft nicht so weit entweichen und  
kiesle dadurch beim Fall.

Luft wird die Luft ent-  
Die Luft von außen  
sich durch die Folie  
zu drängen. Dadurch  
es die Folie ins  
der weil man die  
der Auslassseite  
die Folie es  
nicht aus. Und zerplatzt













#### Herausgeber

Deutsches Elektronen-Synchrotron DESY  
Ein Forschungszentrum der Helmholtz-Gemeinschaft

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

Standort Zeuthen: Platanenallee 6, 15738 Zeuthen  
Tel.: +49 33762 77-0, Fax: +49 33762 77-413  
desyinfo.zeuthen@desy.de

#### Text

Frank Grotelüschen

#### Redaktion

Barbara Warmbein, Ute Wilhelmsen,  
Thomas Zoufal, Ilka Flegel

#### Konzept und Layout

www.form-one.de

#### Fotos und Grafiken

Frank Bierstedt, Meine | Hardy Brackmann, Hamburg |  
chrysti, flickr.com | Peter Ginter, Lohmar | Marc  
Hermann, Berlin | Rüdiger Nehmzow, Düsseldorf | David  
Parker, Science Photo Library, London | Dominik  
Reipka, Hamburg | Reimo Schaaf, Schönwalde | Christian  
Schmid, Hamburg | Manfred Schulze-Alex, Hamburg | Eric  
Shambroom, Hamburg | Heike Thum-Schmielau, Hamburg  
CERN | DESY | Diamond Light Source Ltd. | form one,  
Hamburg | Getty Images | Kontor B3, Hamburg |  
Max-Planck-Arbeitsgruppen für Strukturelle Molekular-  
biologie, Hamburg | Option Z, Thomas Pletttau, Frankfurt

#### Redaktionsschluss

September 2009

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



HELMHOLTZ  
| GEMEINSCHAFT

Deutsches Elektronen-Synchrotron  
Ein Forschungszentrum der Helmholtz-Gemeinschaft

www.helmholtz.de





Deutsches Elektronen-Synchrotron  
Ein Forschungszentrum der Helmholtz-Gemeinschaft

Notkestraße 85  
22607 Hamburg

Tel: +49 40 8998-0  
Fax: +49 40 8998-3282

[desyinfo@desy.de](mailto:desyinfo@desy.de)  
[www.desy.de](http://www.desy.de)