



# DESY kompakt 2010.

Highlights  
und Jahresbericht

Beschleuniger | Forschung mit Photonen | Teilchenphysik

Deutsches Elektronen-Synchrotron  
Ein Forschungszentrum der Helmholtz-Gemeinschaft



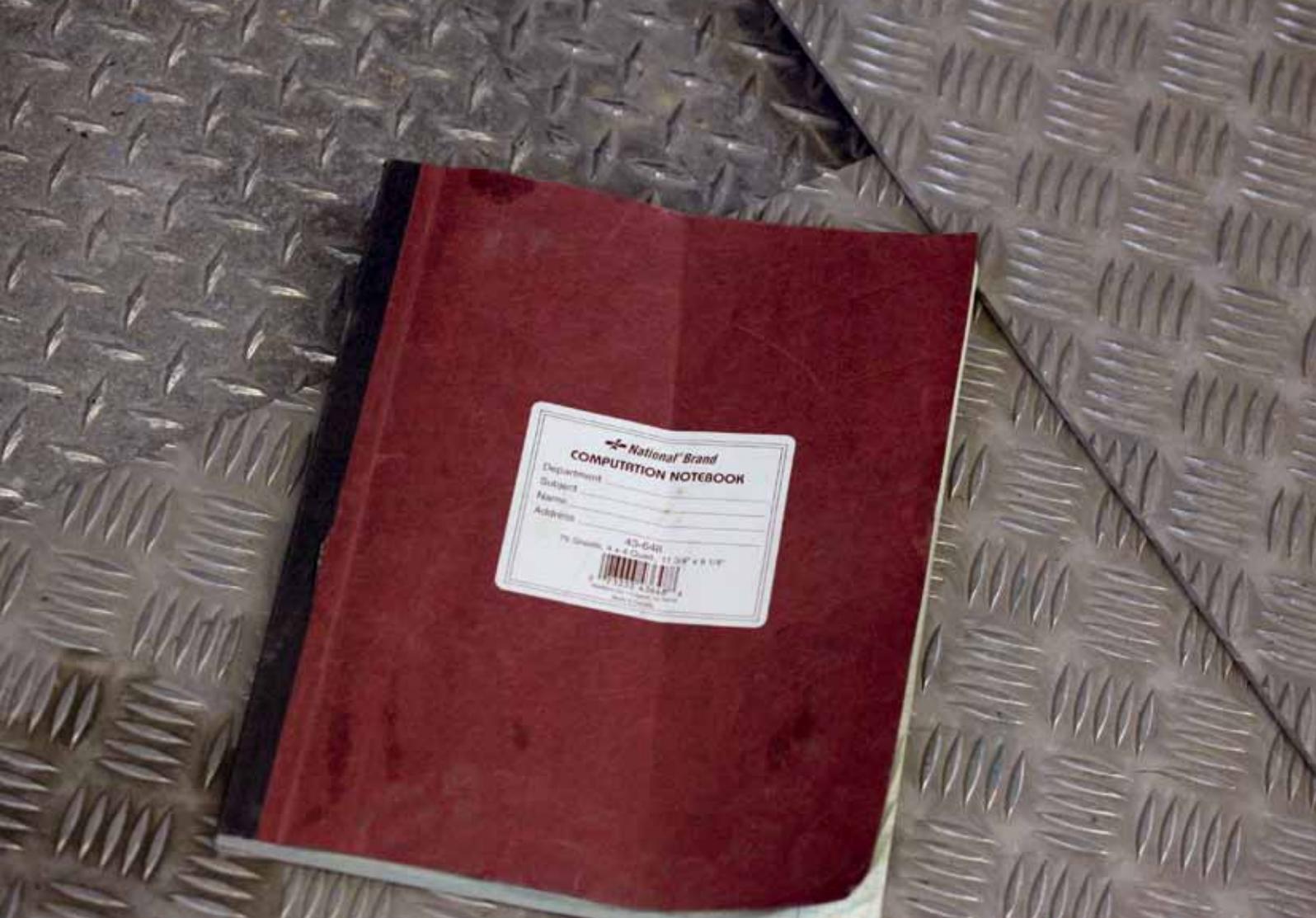




# DESY kompakt 2010.

Highlights und  
Jahresbericht





## Inhalt.

>	Vorwort	4
>	Beschleuniger	6
>	Forschung mit Photonen	26
>	Teilchen- und Astroteilchenphysik	44
>	Administration	62
>	Anhang	76

# Das Jahr 2010 bei DESY.

## Vorwort des Direktoriumsvorsitzenden

Mit dem vorliegenden Jahresbericht „DESY kompakt“ möchten wir Ihnen einen anschaulichen und eindrucksvollen Überblick über unsere Forschung bei DESY bieten. „DESY kompakt“ ist nicht als nüchterne Bilanz oder Chronik im Sinne eines Jahresberichts zu sehen, sondern soll neben den wichtigsten Statistiken und Zahlen die Glanzlichter, das Außergewöhnliche und das Besondere in kompakter und prägnanter Weise hervorheben. „DESY kompakt“ baut auf den einzelnen Jahresberichten der drei DESY-Forschungsbereiche auf.

Das Jahr 2010 war für DESY ein ereignisreiches Jahr: Die Synchrotronstrahlungsquelle PETRAIII nahm den routinemäßigen Nutzerbetrieb auf und hat als brillianteste Röntgenstrahlungsquelle der Welt die letzten ihrer ehrgeizigen Designparameter erreicht. Mit der Freie-Elektronen-Laser-Anlage FLASH verfügen wir bereits seit Jahren über ein Großgerät der Spitzenklasse, das nun mit dem Erreichen des „Wasserfensters“ bei Wellenlängen von 4,2 nm besonders spannende Möglichkeiten für die Röntgenmikroskopie bietet, um biologische Proben in wässriger Lösung zu untersuchen. Mit FLASHII beginnen wir den dringend benötigten Ausbau, nachdem wir uns mit diesem Projektvorschlag in einem Helmholtz-internen Wettbewerb gegen harte Konkurrenz erfolgreich durchgesetzt haben.

Der europäische Röntgenlaser European XFEL ist im zweiten Jahr seines Baus. Ich gehe davon aus, dass wir 2014 die ersten Röntgenblitze „sehen“ werden und anschließend der Nutzerbetrieb zügig beginnen kann.

Mit dem Center for Free-Electron Laser Science (CFEL) haben wir in einer institutionsübergreifenden Kooperation mit der Universität Hamburg und der Max-Planck-Gesellschaft eine ideale Forschungsplattform geschaffen, die große Strahlwirkung auf die besten Wissenschaftler der Welt ausübt. Mit den letzten beiden Berufungen, die das CFEL-Leitungsteam komplettieren, konnten wir erneut Spitzenwissenschaftler nach Hamburg locken.

Seit Ende März 2010 kollidieren die Teilchen routinemäßig im Large Hadron Collider (LHC) beim Forschungszentrum CERN in Genf – bei den höchsten Energien, die jemals in einem Beschleuniger erzeugt wurden. Mit unserer Beteiligung an den

beiden großen LHC-Experimenten sind wir an vorderster Front dabei, wenn die Auswertungen der Kollisionsdaten uns die Kunde vom Universum kurz nach dem Urknall übermitteln. Einen Eindruck, wie interessant die ersten Ergebnisse des LHC sind, konnte sich die internationale Fachwelt im Sommer 2010 verschaffen, als DESY Veranstalter einer hochrangigen internationalen Konferenz zur Physik am LHC war.

Besonders erfreulich war der Zuschlag der renommierten Alexander von Humboldt-Professur für DESY und die Universität Hamburg. Mit Prof. Brian Foster konnten wir einen weltweit angesehenen Teilchenphysiker der Universität Oxford gewinnen. Seine Forschungsinteressen, an neuartigen Beschleunigertechnologien zu arbeiten, passen in idealer Weise zu unserer Helmholtz-weit gestarteten Initiative zur Beschleunigerforschung.

An unserem Standort Zeuthen soll ein neuer Schwerpunkt in der Astroteilchenphysik entstehen. Wir arbeiten zusammen mit unseren Kollegen vom Max-Planck-Institut für Kernphysik in Heidelberg an der Realisierung des CTA-Experiments, einer neuartigen Teleskopanordnung zur Messung hochenergetischer Gammastrahlung aus dem frühen Universum. CTA ergänzt optimal das Neutrinoobservatorium IceCube am Südpol.

Seit Jahrzehnten arbeiten die Universität Hamburg und DESY erfolgreich zusammen. Gemeinsam sind wir ein starkes Gespann. Mit der neuen Partnerschaft PIER soll unsere Zusammenarbeit auf zukunftssträchtigen Schlüsselfeldern auf eine neue strategische Grundlage gestellt werden. Es ist unsere Vision, in den kommenden Jahren den Campus Hamburg-Bahrenfeld zu einem interdisziplinären Wissensumfeld zu entwickeln, das hochattraktiv und stimulierend für den wissenschaftlichen Nachwuchs und die besten Akteure aus aller Welt ist. ●



Helmut Dosch  
Vorsitzender des DESY-Direktoriums

**Deutsches Elektronen-Synch**



**Physikalische Institute  
der Universität Hamburg**

**Europäisches Laboratorium  
für Molekularbiologie**

**Max-Planck-Gesellschaft  
zur Förderung der Wissenschaften e. V.**

**GKSS - Forschungszentrum  
Geesthacht GmbH**





## Beschleuniger.

>	Beschleuniger – Die DESY-Aktivitäten im Überblick	8
>	DESY und DORIS	10
>	Synchrotronstrahlungsquelle PETRA III	12
>	Freie-Elektronen-Laser in Hamburg FLASH	14
>	Freie-Elektronen-Röntgenlaser European XFEL	16
>	Neue Konzepte für Freie-Elektronen-Laser	18
>	Spezielle Elektronenquellen bei DESY	20
>	REGAE – Relativistic Electron Gun for Atomic Explorations	22
>	Beschleuniger-Ideenmarkt	24

# Beschleuniger.

## Die DESY-Beschleunigeranlagen im Überblick

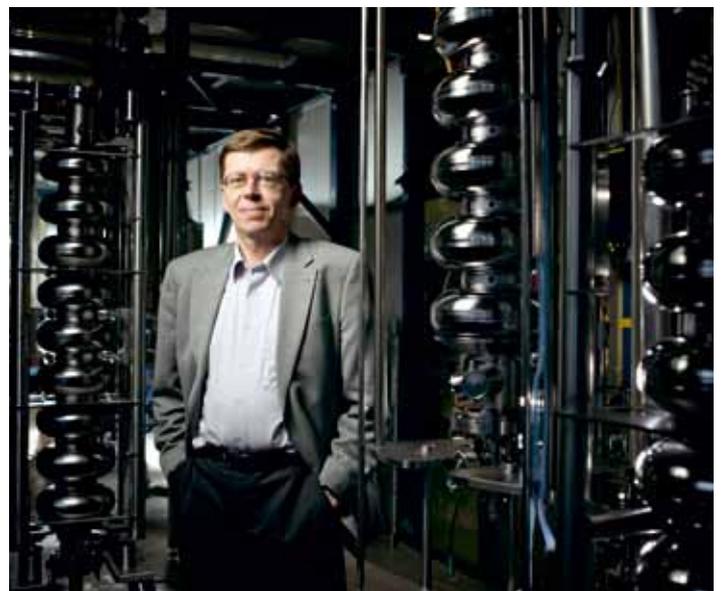
Beschleuniger spielen eine wichtige Rolle bei der Lösung fundamentaler Fragen in der Physik und anderen Naturwissenschaften. Sie bilden die Grundlage für die Forschung mit Photonen und die Teilchenphysik. Im Bereich Beschleunigerbau, -betrieb und -forschung war das Jahr 2010 bei DESY durch vielfältige Aktivitäten und große Erfolge geprägt. Die umgebaute Speicherringanlage PETRA III nahm den Routinebetrieb für die Synchrotronstrahlungsnutzer auf. Der Freie-Elektronen-Laser FLASH zeigte bei der Wiederaufnahme des Betriebs nach größeren Ausbaumaßnahmen eine spektakuläre Leistungsfähigkeit. Der Bau des Beschleunigerkomplexes für den europäischen Röntgenlaser European XFEL nahm deutlich Fahrt auf. Zudem wurden neue, spannende Aktivitäten begonnen, welche die Kompetenz und Kreativität von DESY in der Beschleunigerforschung und -entwicklung unterstreichen.

Nachdem im Frühjahr 2009 zum ersten Mal ein Strahl in PETRA III gespeichert wurde, konnte die Anlage 2010 ihr volles Potenzial für die Nutzer der weltweit brilliantesten Röntgenstrahlung beweisen. Alle Nominalparameter wie Strahlstrom, Emittanz und Submikrometer-Orbitstabilität wurden erreicht. Die Verfügbarkeit der Anlage lag 2010 bereits bei über 90 %, ein sehr guter Wert für diese frühe Phase des Routinebetriebs. Der zuverlässige Betrieb der Vorbeschleuniger war hierfür eine wichtige Voraussetzung. In dieser Zeit begannen die Planungen und Entwurfsarbeiten für den Ausbau von PETRA III mit weiteren Photonenstrahlführungen im Jahr 2013. Parallel zum Betrieb von PETRA III lief auch der Routinebetrieb des Speicherrings DORIS für eine große Zahl von Synchrotronstrahlungsnutzern. Gleichzeitig erfolgten erste Vorbereitungen, um das Gas-Target-Experiment OLYMPUS im DORIS-Speicherring zu installieren.

Während der mehrere Monate andauernden planmäßigen Betriebsunterbrechung beim Freie-Elektronen-Laser (FEL) FLASH zwischen Herbst 2009 und Frühjahr 2010 wurde die Anlage in erheblichem Umfang erweitert und umgebaut. Ein siebtes Beschleunigermodul mit acht supraleitenden Resonatoren erlaubt nun die Erhöhung der Elektronenstrahlenergie von 1,0 auf 1,2 GeV. Ein neues, ebenfalls supraleitendes Modul, das bei Fermilab

in Zusammenarbeit mit DESY gebaut wurde und bei der dreifachen Frequenz des Linearbeschleunigers (dritte Harmonische bei 3,9 GHz) betrieben wird, verbessert die Strahldynamik und die Möglichkeiten der Teilchenpaket-Kompression. Im Injektorbereich wurde die zuvor erfolgreich beim Photoinjektor-Teststand PITS in Zeuthen getestete, verbesserte Photokathoden-Hochfrequenzelektronenquelle eingebaut, die einen deutlich reduzierten Dunkelstrom aufweist. Zusätzlich zu diesen größeren und kleineren Verbesserungen an der Anlage wurde die FEL-Seeding-Strecke sFLASH eingebaut, ein Projekt, das zusammen mit der Universität Hamburg als federführendem Kooperationspartner durchgeführt wird.

Nach der technischen Inbetriebnahme konnte FLASH schnell von den Verbesserungen profitieren: Im Mai 2010 zeigten Messungen der Eigenschaften des Elektronenstrahlpakets sehr deutlich, dass das neue System der dritten Harmonischen wie geplant perfekt funktioniert. Im Juni wurde mit 1,207 GeV eine



Reinhard Brinkmann umgeben von supraleitenden neunzelligen Resonatoren

Strahlenergie sogar jenseits des Entwurfsziels erreicht. Diese Grenze konnte mit 1,25 GeV im September noch weiter nach oben geschoben werden, womit eine Wellenlänge der FEL-Strahlung von 4,12 nm erreicht wurde. Diese liegt innerhalb des so genannten Wasserfensters, das für die Untersuchung biologischer Proben von sehr großer Bedeutung ist. Neben diesen neuen Rekordwerten erreichte die Anlage 2010 eine exzellente Stabilität und Zuverlässigkeit. Entsprechend erfolgreich war der Nutzerbetrieb. Daneben wurden die Entwurfsarbeiten für die neue Strahlführung (FLASH II) fortgesetzt, mit den Bauarbeiten wird 2011 begonnen.

Die Arbeiten am European-XFEL-Projekt stellen inzwischen die größte Aktivität im DESY-Beschleunigerbereich dar. Die umfangreichen Beiträge von DESY zum Beschleunigerkomplex des European XFEL nehmen zunehmend Form an. Die Aufträge zur industriellen Fertigung der supraleitenden Resonatoren wurden erteilt und weitere große Beschaffungsmaßnahmen begonnen. Die große Halle für die Modul- und Resonator-Testanlage wurde fertiggestellt, die Installation der technischen Einrichtungen läuft. Die Koordination des internationalen Konsortiums der am Bau des European-XFEL-Beschleunigers beteiligten Institute ist eine bedeutende Aufgabe für DESY: Sehr viel Arbeit wurde 2010 in die Spezifikation der technischen Details dieser Beiträge und – in Zusammenarbeit mit den Partnern und der European XFEL GmbH – in die Ausarbeitung der Verträge für diese so genannten „In-Kind“-Beiträge investiert. Im Juli 2010 übernahm Hans Weise nach seiner Berufung zum Leitenden Wissenschaftler im Beschleunigerbereich die Verantwortung für die European-XFEL-Projektleitung bei DESY und die Koordination des Beschleunigerkonsortiums. In Zeuthen wurde die PIZ-Anlage nach dem erfolgreichen Nachweis der für den European XFEL benötigten Injektor-Strahlqualität weiter ausgebaut, die Untersuchungen zur weiteren Optimierung dieses überaus wichtigen Teils der zukünftigen European-XFEL-Anlage wurden fortgesetzt.

Zusätzlich zu diesen großen Beschleunigerprojekten wurden 2010 auch kleinere neue Aktivitäten begonnen. In Zusammen-



arbeit mit der Max-Planck-Gruppe des Center for Free-Electron Laser Science CFEL wurde mit dem Aufbau der REGAE-Anlage (Relativistic Electron Gun for Atomic Explorations), einer Elektronenquelle für zeitaufgelöste Elektronenbeugungsexperimente, im ehemaligen LINAC I-Gebäude begonnen. Die REGAE-Anlage wird Elektronenstrahlpakete von einigen MeV mit ultrakleiner Emittanz und Femtosekunden-Länge erzeugen und zeitabhängige Strukturmessungen mit atomarer Auflösung für bestimmte Arten von Proben ermöglichen – quasi wie ein ultraschnelles Elektronenmikroskop.

Darüber hinaus begannen 2010 zwei weitere sehr spannende Aktivitäten: Im Juni wurde zum ersten Mal ein Beschleuniger-Ideenmarkt bei DESY veranstaltet, um die Entwicklung und den Austausch von Ideen zur Beschleunigerphysik und -technologie zu fördern. Außerdem übernahm DESY eine führende Rolle in einer Beschleunigerinitiative der Helmholtz-Gemeinschaft, um die Beschleunigerforschung als eigenständiges Forschungsprogramm im Forschungsbereich „Struktur der Materie“ in der Helmholtz-Gemeinschaft zu etablieren. Viel Spass beim Lesen! ●

Reinhard Brinkmann  
Direktor des Beschleunigerbereiches

# DESY und DORIS.

## Vorbeschleuniger und Synchrotronstrahlungsquelle

Am 22. März 1985, vor mehr als 25 Jahren, lief zum ersten Mal ein Teilchenstrahl im damals neu aufgebauten Synchrotron DESY II um. Seither ist DESY II die zentrale Anlage im DESY-Beschleunigerverbund, die mit hoher Stabilität und Verfügbarkeit Elektronen oder Positronen für die Speicherringe DORIS und PETRA sowie die Nutzer von Teststrahlen bereitstellt. Der Speicherring DORIS III ist seit Jahrzehnten das zuverlässige Arbeitspferd für die Nutzergemeinschaft der Synchrotronstrahlung bei DESY.

### DESY II

DESY II liefert als Vorbeschleuniger Elektronen- oder Positronenstrahlen für DORIS, PETRA und Teststrahlutzer. Seit PETRA III im so genannten „Top-Up“-Modus, also mit konstant gehaltener Strahlintensität betrieben wird, müssen bei Strahlbetrieb im zeitlichen Abstand von einigen Minuten Teilchen nachgefüllt werden. Da das DESY II-Magnetsystem aus fünf synchronisierten, mit 12,5 Hz oszillierenden Stromkreisen besteht, die nicht innerhalb weniger Sekunden ein- bzw. ausgeschaltet werden können, muss DESY II dazu pausenlos verfügbar sein.

Nachdem vor einigen Jahren die Netzteile aller Hauptmagnetkreise von DESY II erneuert wurden, konnten die zuvor beobachteten Intensitätsschwankungen signifikant reduziert werden. Zudem wird das Synchrotron inzwischen komplett automatisiert betrieben: Der Strahlbedarf wird ermittelt und alle Betriebsparameter werden entsprechend aufgesetzt. Typischerweise erreicht die Anlage heute eine Verfügbarkeit von 99 %. Die Aufgabe von DESY II war und ist es, möglichst still und unauffällig Strahl zu liefern. Diese Anforderung wird erfolgreich und kontinuierlich erfüllt.

Als eine komplett neue Aktivität bei DESY wurden im vergangenen Jahr erste Tests für ein „Beam-Dump“-Experiment namens HIPS (Hidden Particle Search) durchgeführt. Hierzu wurde der Teilchenstrahl parasitär zum Routinebetrieb auf ein im DESY-Tunnel befindliches Target mit einem direkt dahinter aufgebauten Detektor gelenkt. Mit diesem Experiment kehrt die experimentelle Teilchenphysikforschung nach einigen Jahrzehnten an das DESY-Synchrotron zurück.



Abbildung 1

Der erste Teilchenbeschleuniger bei DESY, das Synchrotron mit 100 m Durchmesser, im Jahr 1965



Abbildung 2

Blick in den DESY-Tunnel, DESY II ist auf der rechten Seite.

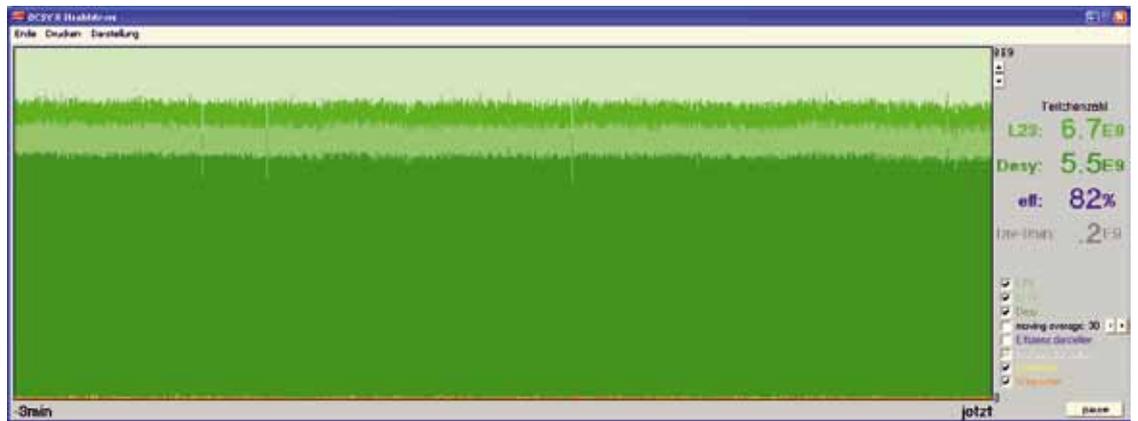


Abbildung 3

Strahlintensität in DESY II als Funktion der Zeit für eine typische Situation heute. Die Strahlintensität in DESY II (dunkelgrün) folgt der vom LINAC II gelieferten Intensität (hellgrün) ohne Aussetzer.

### Nutzerbetrieb DORIS III

In der ersten Jahreshälfte 2010 wurde der Betrieb der Synchrotronstrahlungsquelle DORIS III durch einige technische Probleme der Anlage beeinträchtigt, was die Nutzung der Synchrotronstrahlung einschränkte. Insbesondere der Bruch eines Einkoppelfensters einer Beschleunigungsstruktur führte zu einer längeren Unterbrechung und in der Folge über längere Zeit zu einer schlechteren Lebensdauer der Teilchenstrahlen.

Die Unterbrechungen des Betriebs in der ersten Jahreshälfte konnten durch den Verzicht auf ursprünglich geplante Wartungszeiten teilweise wieder kompensiert werden, und in der zweiten Jahreshälfte verlief der Betrieb wie in den Vorjahren wieder sehr zuverlässig. Insgesamt war allerdings die Strahlverfügbarkeit im Jahresmittel mit 84,1 %, entsprechend 4600 Stunden Nutzerbetrieb, für DESY-Verhältnisse ungewöhnlich niedrig.

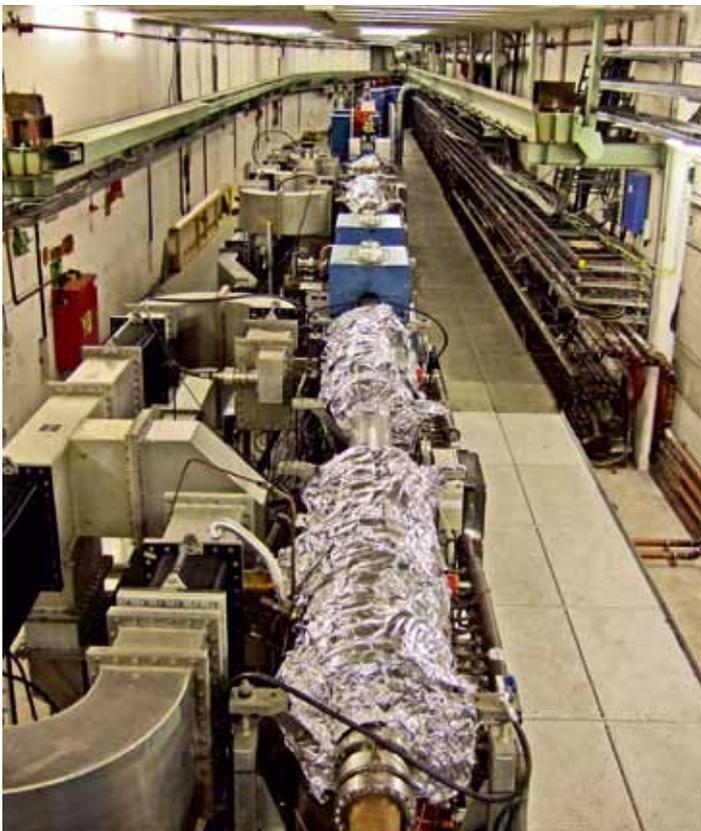


Abbildung 4

Das gerade Stück bei DORIS vor der Betriebspause im Winter 2010/11. Die beiden Beschleunigerstrukturen am ehemaligen Standort des ARGUS-Experiments wurden um 25m versetzt, um Platz für das OLYMPUS-Experiment zu schaffen.

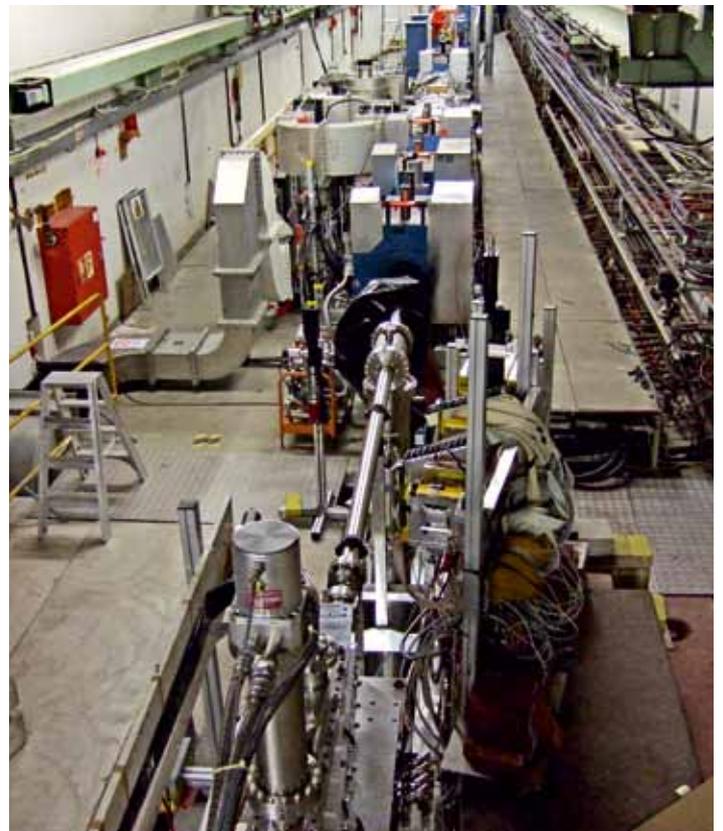


Abbildung 5

Im Vordergrund befindet sich die OLYMPUS-Targetkammer. Dahinter ist neben dem Strahlrohr ein Detektortestaufbau zu sehen. Bis Sommer 2011 sollen an dieser Stelle große Detektorkomponenten von OLYMPUS installiert werden.

# Synchrotronstrahlungsquelle PETRA III.

## Inbetriebnahme und Nutzerbetrieb

Das wichtigste Ziel für die neue Synchrotronstrahlungsquelle PETRA III bei DESY in Hamburg im Jahr 2010 war das Erreichen der nominalen Betriebsparameter bei zuverlässigem Betrieb während der ersten Nutzung der Anlage durch externe Nutzer.

### Inbetriebnahme von PETRA III

PETRA III erreichte mit Beginn der Inbetriebnahme eine Teilchenenergie von 6 GeV. Der Teilchenstrom von 100 mA konnte im Nutzerbetrieb für zwei verschiedene Teilchenpaketverteilungen erzielt werden. Allerdings gibt es beim Betrieb mit 40 Teilchenpaketen, dem so genannten 40-Bunch-Modus, zurzeit noch technische Schwierigkeiten, so dass die Anlage im Nutzerbetrieb in der Regel mit 80 mA betrieben wird.

Tabelle 1: Designparameter von PETRA III

Parameter	
Energie (GeV)	6
Teilchenstrom (mA)	100
Zahl der Strahlpakete	40 / 960
Horizontale Emittanz (nm rad)	1
Vertikale Emittanz (pm rad)	10
Orbitstabilität an den Undulatoren:	
horizontal	10 $\mu\text{m}$
vertikal	0,5 $\mu\text{m}$
Zahl der Undulatoren	14

Bereits kurz nach der Inbetriebnahme konnte nachgewiesen werden, dass die gemessene horizontale Emittanz tatsächlich 1 nmrad beträgt und PETRA III damit die kleinste Emittanz aller in Betrieb befindlichen Lichtquellen besitzt. Die Messungen der Beschleunigerparameter sowie Beobachtungen der Nutzer legen nahe, dass der Wert der vertikalen Emittanz in der Nähe des Designwertes der Maschine liegt. Auch die Strahlagestabilität erfüllt die Vorgaben. In Abbildung 1 ist die vertikale Strahlagestabilität für eine „geknickte“ Undulatorsektion (Undulatoren Nr. 8 und 9) und für eine „nicht geknickte“ Undulatorsektion (Undulator Nr. 10) wiedergegeben. Die Abbildung zeigt deutlich, dass die geforderte Stabilität über einen Zeitraum von mehr als 50 Stunden garantiert werden kann, was den angestrebten Zeitraum von 20 Stunden deutlich übertrifft.

### Der erste Nutzerbetrieb

Während der zweiten Jahreshälfte 2010 gab es bei PETRA III zum ersten Mal einen regulären Nutzerbetrieb. Auf Grundlage einer externen Begutachtung der eingereichten Projekte wurde Strahlzeit an den Undulatoren PU8, PU9 und PU10 vergeben.

Um eine hohe Strahlqualität für die Nutzer zu garantieren, wird die Anlage im „Top-Up“-Modus betrieben, also mit konstant gehaltener Strahlintensität. Dieser Betriebsmodus bedingt ein häufiges Injizieren von Teilchenstrahlen in die Maschine (etwa alle drei Minuten), um den Strahlstrom innerhalb eines Prozents konstant zu halten. Das sichert eine nahezu konstante Wärmebelastung für die Komponenten der Anlage wie auch der Experimente, was wiederum für eine hohe Strahlorbit-Stabilität

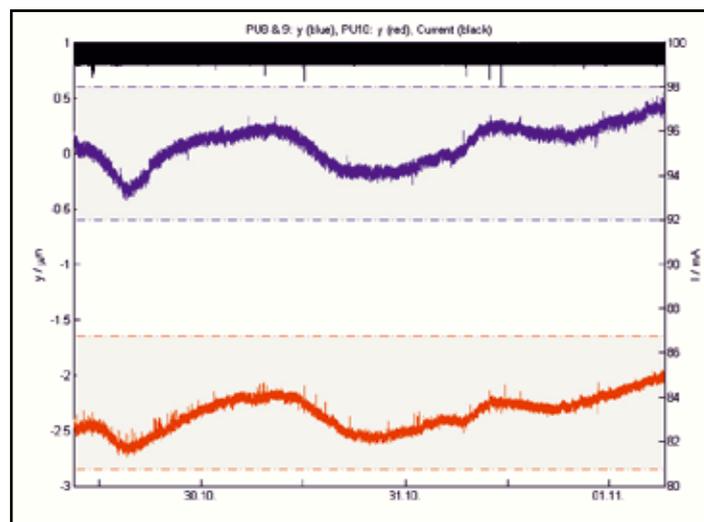


Abbildung 1

Vertikale Orbitstabilität an zwei verschiedenen Undulator-Positionen über einen Zeitraum von mehr als 50 Stunden. Die eingefärbten Bereiche geben die Grenze für tolerierte Orbitabweichungen von  $\pm 5 \mu\text{m}$  wieder.



unerlässlich ist. Hard- wie Software, die wichtig für den „Top-Up“-Modus sind, wurden während des ersten Halbjahrs 2010 verbessert, um einen zuverlässigen Betrieb in der zweiten Jahreshälfte zu gewährleisten. Abbildung 2 zeigt den Strahlstrom über einen Zeitraum von 24 Stunden, konstant gehalten durch den „Top-Up“-Modus.

Eine wichtige Anforderung an PETRA III ist eine möglichst hohe Verfügbarkeit der Anlage während des Nutzerbetriebs. Die Verfügbarkeit zu Beginn des Nutzerbetriebs war niedrig, konnte aber im Verlauf des Jahres verbessert werden und erreichte am Ende akzeptable Werte von 95 %.

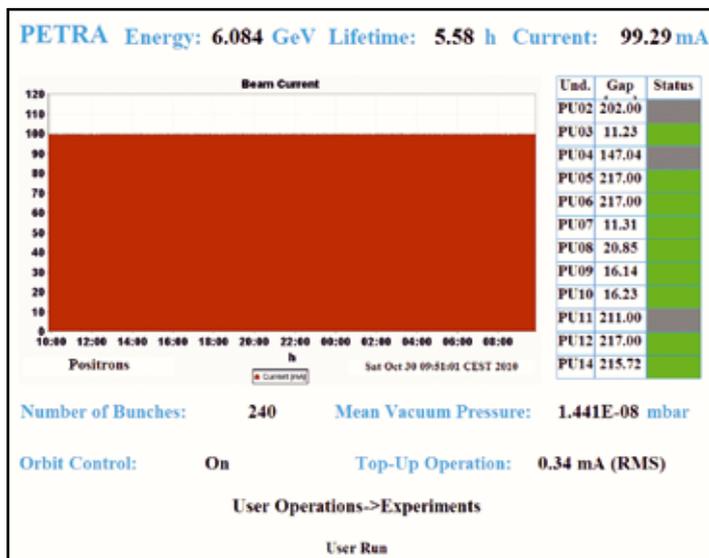


Abbildung 2

„Top-Up“-Modus bei 100 mA und 240 Teilchenpaketen im Oktober 2010

### Ausbau von PETRA III

Seit 2007 werden Ausbauszenarien entwickelt, um die Zahl der Messplätze an PETRA III zu erhöhen. Der Ausbau wird angesichts der Tatsache, dass das Betriebsende von DORIS für Ende 2012 geplant ist, noch bedeutsamer. Nach Festlegung einer magnet-optischen Auslegung des Ausbaus wurde 2010 damit begonnen, die benötigten die Komponenten zu spezifizieren und zu entwerfen. Um die Designarbeit angesichts des engen Zeitplans zu erleichtern, sollen soweit möglich bekannte Elemente wiederverwendet werden. Die neuen Messplätze sollen in zwei neuen Hallen untergebracht werden, die beidseitig an die im Jahr 2009 gebaute Experimentierhalle angrenzen. Der Beginn der Umbauarbeiten ist für Herbst 2012 vorgesehen. Die Wiederinbetriebnahme der Anlage soll in der zweiten Jahreshälfte 2013 stattfinden.



Abbildung 3

Erste offizielle Nutzer (vom GSI Helmholtz-Zentrum für Schwerionenforschung in Darmstadt) bereiten ein Experiment an der Strahlführung P08 vor.

# Freie-Elektronen-Laser in Hamburg FLASH.

## Erfolgreicher Wiederanlauf

Nach umfangreichen Ausbaumaßnahmen während einer fünfmonatigen Betriebspause startete der Wiederanlauf des Freie-Elektronen-Lasers FLASH planmäßig im Februar 2010.

### Neuerungen bei FLASH

Ein siebtes Beschleunigermodul erhöht jetzt die Elektronenstrahlenergie von 1 auf 1,2 GeV. Das neue supraleitende Modul ist ein Prototyp für den europäischen Röntgenlaser European XFEL. Fermilab trägt mit dem 3,9-GHz-Modul zur Erweiterung von FLASH bei. Es ist direkt hinter dem ersten Beschleunigermodul installiert und enthält vier supraleitende Resonatoren, die den longitudinalen Phasenraum des Elektronenstrahls linearisieren. Das erlaubt eine wesentlich effizientere Komprimierung der Elektronenpakete. Das neu in FLASH eingebaute Seeding-Experiment sFLASH hat zum Ziel, den SASE-Prozess der selbstverstärkten spontanen Emission mit einem externen Strahlungspuls zu initiieren. Man verspricht sich davon einen sehr viel stabileren FEL-Strahlungspuls hinsichtlich Frequenz und Ankunftszeit, als es mit dem derzeitigen SASE-Prozess möglich ist. Das Gelingen des Experiments ist auch für den Ausbau der Anlage zu FLASHII von Bedeutung.

Alle Hochfrequenzstationen wurden auf den neuesten Stand gebracht und drei Stationen komplett erneuert. Die Wiederholrate der Pulse wurde von 5 auf 10 Hz erhöht. Die neue Elektronenquelle wurde erstmals mit einem speziellen Trockeneisverfahren gereinigt. Der Dunkelstrom ist jetzt um den Faktor 10 reduziert, was einen Betrieb von 800 µs bei 10 Hz mit voller Pulslänge erst möglich macht. Instrumentierung und Diagnose des FEL-Strahls wurden rundum erneuert. Zum Beispiel erlauben jetzt Online-Spektrometer, das Spektrum der FEL-Strahlung permanent zu überwachen.

### Laserlicht im Wasserfenster

Ende Mai 2010 wurden zum ersten Mal Elektronen auf die Rekordenergie von 1,2 GeV beschleunigt. Eine Woche später wurde weltweit erstmals Laserstrahlung bei einer Wellenlänge von 4,5 nm – nur knapp vor dem so genannten Wasserfenster – erzeugt. Das Wasserfenster ist der spektrale Bereich unterhalb von 4,3 nm zwischen den K-Kanten von Kohlenstoff und Sauerstoff. Dieser Wellenlängenbereich eignet sich besonders für die Untersuchung organischer Proben, weil die einfallende Laserstrahlung sehr viel stärker von Kohlenstoff absorbiert wird als von Sauerstoff. Eine weitere Optimierung des Beschleunigers brachte im September 2010 schließlich den Erfolg: Bei einer Energie von 1,25 GeV konnte – bei hohen Pulsenergien um 100 µJ und mehr – eine Wellenlänge von 4,1 nm und damit das Wasserfenster erreicht werden.



Abbildung 1

Das 3,9-GHz-Modul (rot) ist direkt hinter dem ersten Beschleunigermodul (gelb) installiert.

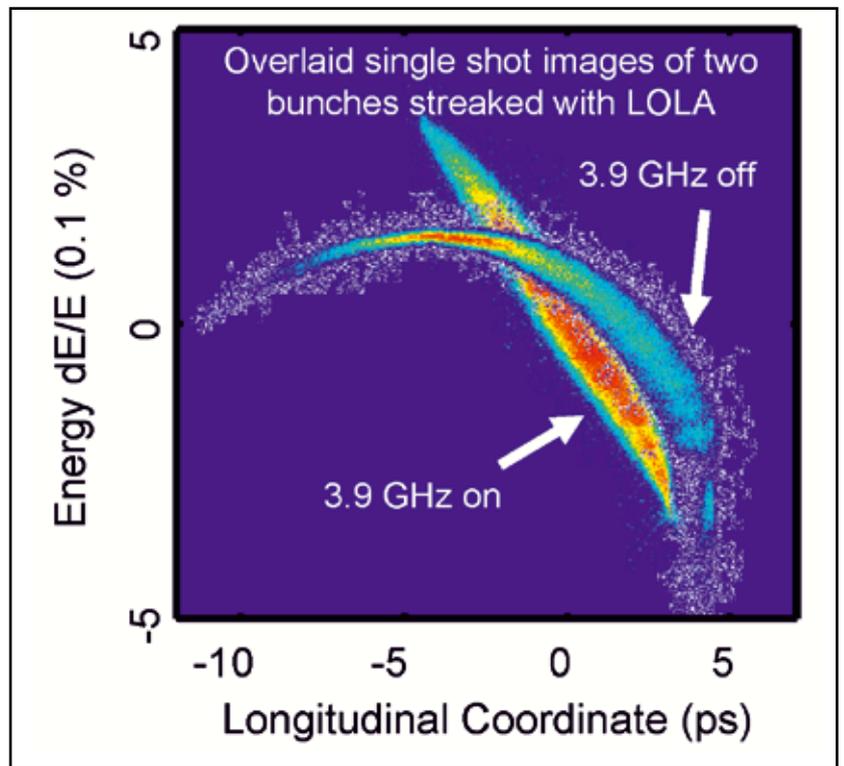


Abbildung 2

Verteilung der Elektronen im longitudinalen Phasenraum mit an- und abgeschaltetem 3,9-GHz-Modul. Die lineare Verteilung führt zu einer homogenen Kompression der Elektronenpulse.

Schon kurz nach der Inbetriebnahme des neuen 3,9-GHz-Moduls bestätigte sich die Erwartung, dass damit signifikant mehr Photonen pro Puls im FEL-Strahl erzeugt werden können. Pulsenergien von bis zu  $300\mu\text{J}$  mit mehr als  $10^{13}$  Photonen pro Puls wurden bereits gemessen. Abbildung 2 zeigt eine Messung des Phasenraums mit LOLA – einer Art Kamera für Elektronenpulse mit Femtosekunden-Auflösung (20 fs rms) – in der einen und hoher Energieauflösung ( $1,4 \cdot 10^{-4}$ ) in der anderen Koordinate. Mit korrekt eingestellter Phase und Amplitude wird der Elektronenpuls gleichmäßig komprimiert, so dass viel mehr Elektronen bei der Erzeugung der FEL-Strahlung am Verstärkungsprozess teilhaben. Im Allgemeinen werden höhere Pulsenergien bei höherer Ladung erzeugt, kürzere Pulse bei geringerer Ladung.

Zur Erzeugung von sehr kurzen Pulsen muss eine Feinjustierung von Ladung und Kompressionsparameter erfolgen. Bisher konnten Pulse mit einer Dauer unter 50 fs sicher erzeugt und den Experimenten zur Verfügung gestellt werden. Deshalb sind nun Experimente zur Erzeugung und direkten Messung der FEL-Pulse bis zu einer Dauer von einigen wenigen Femtosekunden geplant.

Auch das neue Synchronisationssystem hat weitere Fortschritte gemacht. Ziel ist es, mit Hilfe einer sehr genauen Messung der Ankunftszeit des Elektronenstrahls und von ultrastabilen Faserlasern ein Feedback zur Stabilisierung der Ankunftszeit auf kürzere Werte als die Dauer des FEL-Pulses zu realisieren. Erreicht wurden bereits eine Auflösung von 5 fs und eine außergewöhnliche Stabilität von 20 fs (rms) nach etwa 20 Pulsen im Pulszug. Das System wird bereits von Nutzern getestet.

## Testanlage für einen Linearcollider

Neben der Nutzung von FLASH im Rahmen der Forschung mit Photonen bietet die Anlage einzigartige Möglichkeiten, um die Strahlbeschleunigung und andere Betriebsbedingungen der supraleitenden Hochfrequenztechnologie zu studieren, beispielsweise für einen künftigen Linearcollider. Ein internationales Team hat seit 2009 an FLASH ein Programm mit langen Hochfrequenzpulsen und hohen Strahlströmen durchgeführt, das eine der wichtigsten Aktivitäten in der Linearcollider-Gemeinschaft darstellt.

Das 9mA-Experiment lotet den Betrieb des Linearbeschleunigers an den Grenzen der Technologie aus und fordert die Maschine oberhalb dessen, was die Photonennutzer normalerweise vom FLASH-Betrieb fordern. Das Programm untersucht Fragen der Hochfrequenzkontrolle, -stabilität, -leistungsreserve und den Betrieb nahe an der sogenannten „Quench“-Grenze der Resonatoren – alles wichtige Aspekte beim zukünftigen Bau eines Linearcolliders. Im Jahr 2010 wurden Studien vorbereitet, die für Februar 2011 geplant sind. Diese Studien sind ebenso für den zukünftigen Betrieb des European XFEL von großer Relevanz.

# Freie-Elektronen-Röntgenlaser European XFEL.

## Bau des Beschleunigerkomplexes

Der europäische Röntgenlaser European XFEL basiert auf der supraleitenden Beschleunigertechnologie, die in den 1990er Jahren von der TESLA Collaboration entwickelt wurde. Entsprechend dem SASE-Prozess der selbstverstärkten spontanen Emission wird der Freie-Elektronen-Röntgenlaser höchst brillante Photonenstrahlen im Wellenlängenbereich um 0,1 nm erzeugen. Die supraleitende Technologie und das SASE-Prinzip wurden bei niedrigeren Elektronenstrahlenergien und längeren Wellenlängen erfolgreich an der FLASH-Anlage bei DESY demonstriert.

Das im technischen Designreport für den europäischen Röntgenlaser beschriebene Szenario basiert auf einer Elektronenstrahlenergie von 17,5 GeV. Ferner enthält es relativ konservative Annahmen für die Elektronenstrahlparameter: eine Emittanz von 1,4 mmrad und eine Ladung des Teilchenpaketes von 1 nC. Aufwändige Computersimulationen bestätigen, dass der European XFEL mit ausreichend Sicherheitsreserven bei einer Wellenlänge von 0,1 nm betrieben werden kann. Die Messung von Strahlemittanzen unter 1 mmrad bei PITZ, dem Photoinjektor-Teststand in Zeuthen, sowie die erfolgreiche Inbetriebnahme des Freie-Elektronen-Röntgenlasers LCLS in Stanford, USA, unterstreichen die Aussagekraft der Simulationen und stellen eine Reduzierung der technisch-physikalischen Sicherheitsreserven in Aussicht.

Die besseren Elektronenstrahleigenschaften ermöglichen es, die ursprünglich vorgesehenen Lichteigenschaften bei geringeren Elektronenenergien zu erreichen (und damit durch eine Verkürzung des Linearbeschleunigers Kosten einzusparen) oder kürzere Wellenlängen zu erzeugen. Neue Simulationen zeigen, dass beides bei einer Strahlenergie von 14 GeV erreicht werden kann. Das European-XFEL-Projektteam bei DESY hat somit vorgeschlagen, den Linearbeschleuniger um 20 Beschleunigermodule zu kürzen, falls die finanziellen Mittel für den Vollausbau auf 17,5 GeV nicht zur Verfügung gestellt werden können. Die Genehmigung zur Beschaffung der nunmehr 80 Module wurde vom European XFEL Council mit der Auflage erteilt, die Option auf Installation von 20 weiteren Modulen in allen Ausschreibungen nach Möglichkeit beizubehalten.

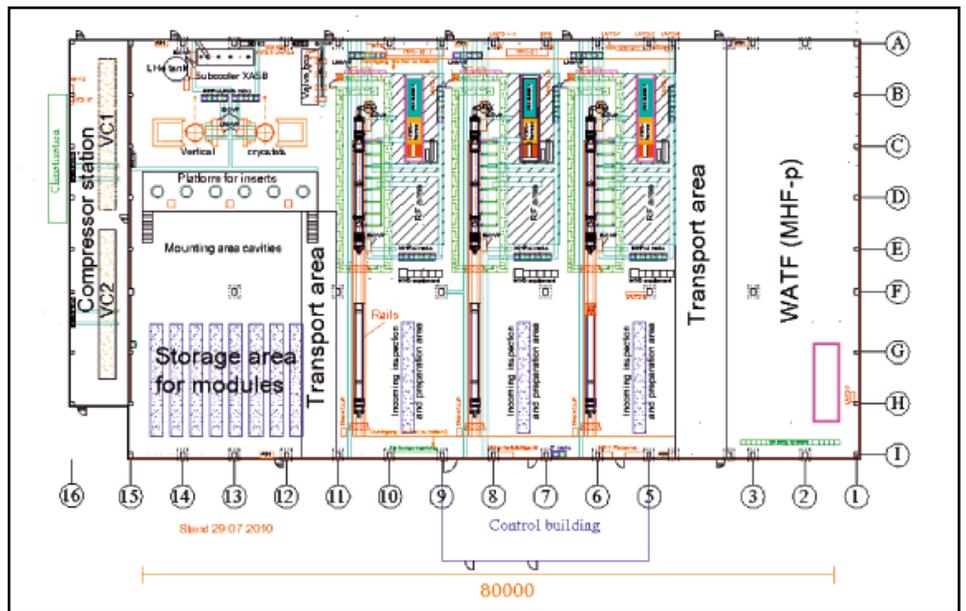
Der Beschleunigerkomplex des European XFEL wird unter der Leitung von DESY durch ein internationales Konsortium (Accelerator Consortium) aus 16 Instituten errichtet. Ein Projektteam um den Accelerator Consortium Coordinator koordiniert alle Aktivitäten innerhalb der Arbeitspakete und Institute. Die auf-



Abbildung 1

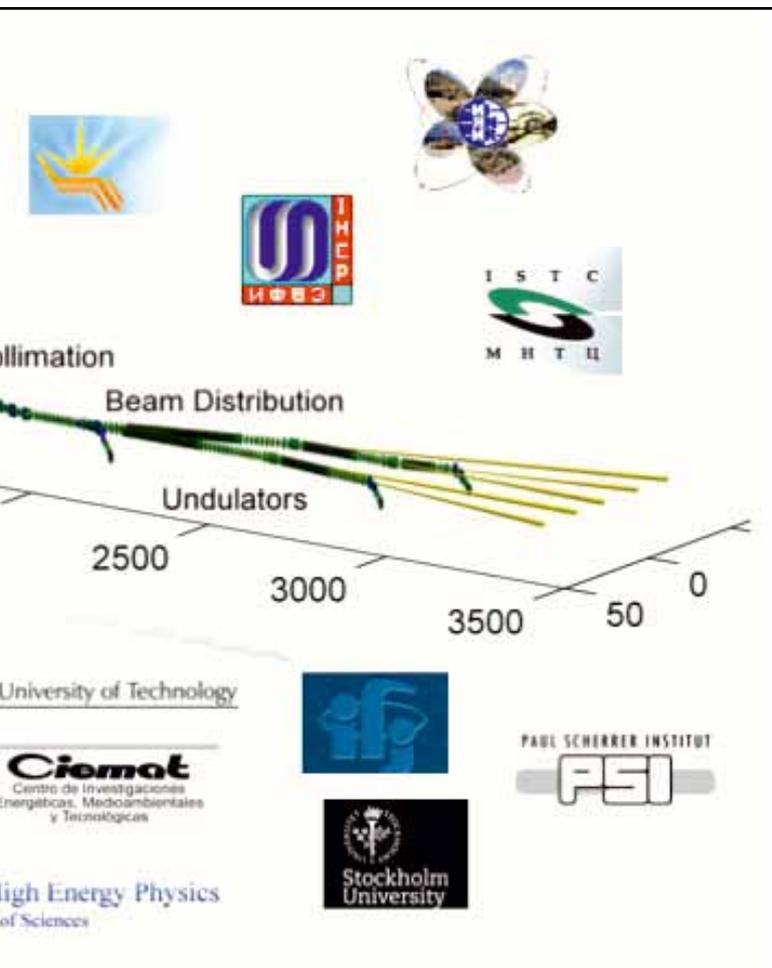
Insgesamt 16 Institutionen tragen zum Bau des Beschleunigers für den European XFEL bei.

Abbildung 2  
 Layout der neuen  
 Beschleunigermodul-  
 Testanlage AMTF  
 bei DESY



wändigsten Komponenten, die supraleitenden Module, werden von DESY, CEA Saclay, LAL Orsay, INFN Milano, IPJ Swierk, CIEMAT Madrid und BINP Novosibirsk beigetragen. Die anderen Institute beteiligen sich an den übrigen – immerhin insgesamt 3000 m langen – Elektronenstrahlröhren und Untersystemen.

Bei DESY wird eine neue Testumgebung für die Beschleunigerkavitäten und fertigen Module erstellt. Diese Testanlage (Accelerator Module Test Facility AMTF) besteht aus zwei vertikalen Kryostaten für die Tests der Kavitäten und drei Testständen für Beschleunigermodule. Zusätzlich ist ein Bereich für die Montage und den Test von Hohlleitern vorgesehen. Die große Halle wurde im Mai 2010 fertiggestellt. Zurzeit läuft der Einbau der Infrastruktur. Der Testbetrieb wird Ende 2011 beginnen.



Inzwischen hat DESY einen Auftrag für die Fertigung und Oberflächenbehandlung von 300 supraleitenden Kavitäten vergeben. Die erste Lieferung wird Anfang 2012 erwartet, die gesamte Produktionszeit wird zwei Jahre betragen. Das Rohmaterial für diese Produktion wird von DESY beschafft. Für diese rund 22000 Einzelteile aus Niob hat DESY eine spezielle Eingangs- und Qualitätskontrolle sowie ein eindeutiges Identifikationssystem aufgesetzt.

Die Beschaffung von Komponenten für die Kryogenik, der Modul-Kryostate und von 22 Klystrons wurde im Herbst 2010 in Angriff genommen. Die Arbeiten an den Anlagen zur Erzeugung und Verteilung des kalten Heliums schreiten gut voran, und DESY wird in Kürze den Auftrag zum Umbau und zur Ausrüstung der HERA-Kälteanlage für die Helium-Versorgung des European-XFEL-Linearbeschleunigers vergeben.

# Neue Konzepte für Freie-Elektronen-Laser.

## Verbesserung der Leistungsfähigkeit von FEL-Anlagen

Die hervorragende Elektronenstrahlqualität, die von modernen Linearbeschleunigern für FEL-Anlagen erreicht wird, macht die Erzeugung von Röntgenstrahlung bei zwei oder mehr Wellenlängen in aufeinanderfolgenden Undulatorstrecken vorstellbar. So sah der ursprüngliche Entwurf des European XFEL bereits die Erzeugung harter und weicher Röntgenstrahlung durch denselben Elektronenpaketzug in verschiedenen Undulatoren vor. Weitere Ideen zu Erhöhung der Leistungsfähigkeit von FEL-Anlagen sind ein neuartiges „Self-Seeding“-Prinzip zur Verbesserung der typischerweise geringen longitudinalen Kohärenz der SASE-FEL-Strahlung sowie die Nutzung der longitudinalen Raumladungsinstabilität zur Erzeugung von Vakuum-Ultraviolett- und Röntgenstrahlung.

### Röntgenstrahlung in aufeinanderfolgenden Undulatorstrecken

Bei kleiner Elektronenstrahlemittanz und der daraus resultierenden kurzen „gain length“ der Undulatoren ist die Erzeugung von Röntgenstrahlung unterschiedlicher Wellenlänge in einem Undulator denkbar, der aus mehreren Sektionen mit unterschiedlichem K-Parameter besteht. In diesem Fall würde aber ein Elektronenpaket, das etwa in der ersten Sektion Röntgenstrahlung erzeugt hat und deshalb eine vergrößerte Energieunschärfe aufweist, in den nachfolgenden Undulatorsektionen nur noch mit verringerter Effizienz Strahlung erzeugen können. Hier wird ein einfaches Schema beschrieben, nach dem durch gezieltes Anregen einer Betatronschwingung einzelner Strahlpakete eines Strahlpaketzuges aus den Linearbeschleunigern von FLASH oder European XFEL erreicht werden kann, dass diese Strahlpakete nur in einer ganz bestimmten Sektion Laserstrahlung erzeugen.

Abbildung 1 zeigt das Prinzip der Schwingungsanregung durch einen schnellen Kicker und der Bahnkorrektur durch eine Gleichstrom-Korrekturspule. In einem Zwei-Wellenlängen-Szenario würde ein Strahlpaket, das ohne Kick in den ersten Undulator auf der Strahlachse eintritt und dort Strahlung erzeugt, von der Korrekturspule vor dem zweiten Undulator abgelenkt und deshalb dort keine Strahlung erzeugen. Umgekehrt wird ein Strahlpaket, das vor dem ersten Undulator durch einen Kick angeregt wird, erst den zweiten Undulator auf der Achse passieren und dort Laserstrahlung erzeugen.

### „Self-Seeding“-Prinzip

Kürzlich wurde ein neuartiges „Self-Seeding“-Prinzip zur Verbesserung der typischerweise geringen longitudinalen Kohärenz der SASE-FEL-Strahlung vorgeschlagen, deren Ursprung im Schrotrauschen liegt, aus dem heraus der SASE-Prozess der selbstverstärkten spontanen Emission startet. Das Konzept basiert auf einem speziellen Bragg-Monochromator, der im Transmissionsmodus betrieben wird. Im einfachsten Fall, der in Abbildung 2 dargestellt ist, bedarf es nur eines Eingangs- und eines Ausgangsundulators, zwischen denen sich der Monochromator befindet. Es bietet sich an, diesen Aufbau durch Hinzufügen weiterer Undulatoren und Monochromatoren zu erweitern und zu verbessern.

Eine solche Kaskade von Verstärkern und Monochromatoren zeichnet sich durch hohe spektrale Reinheit der erzeugten FEL-Strahlung und geringe Wärmebelastung der Bragg-Kristalle aus und wäre von großem Nutzen für den European XFEL. Die Leistung der FEL-Strahlung kann durch „Tapern“ des Magnetfeldes der Undulatoren noch weiter gesteigert werden. Durch

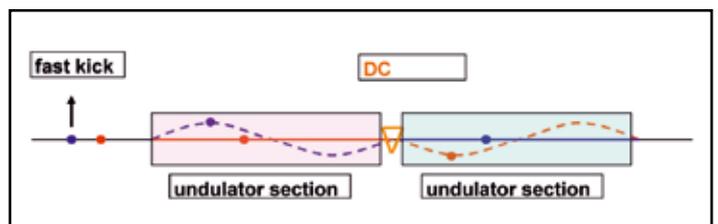


Abbildung 1

Prinzip der Ablenkung individueller Strahlpakete in einem Strahlpaketzug

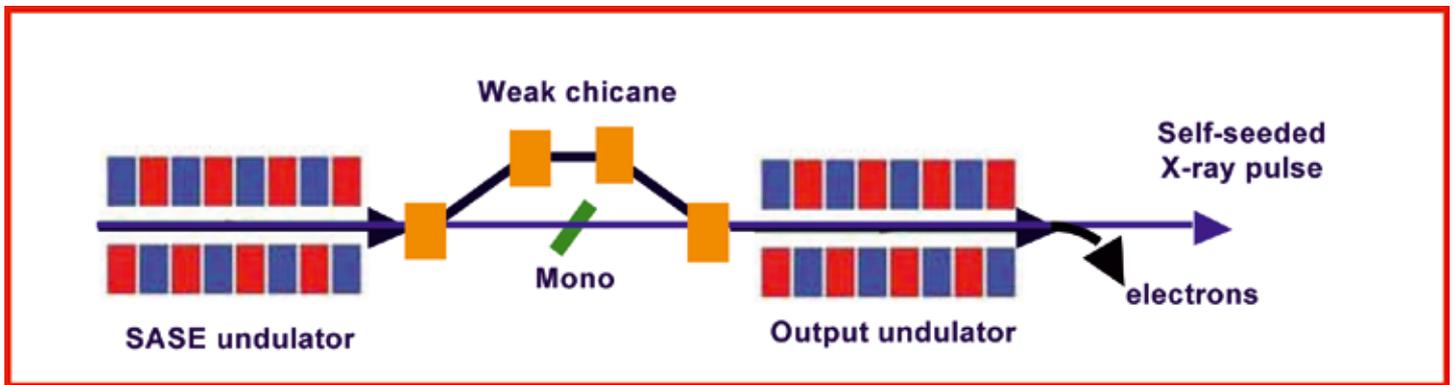


Abbildung 2

Einfaches „Self-Seeding“-Schema mit zwei Undulatoren und einem Monochromator

die Kombination des kaskadierten „Self-Seeding“ mit entsprechend veränderten Magnetfeldern eines Undulators mit variablem Spalt kann der European XFEL zu einer kohärenten Strahlungsquelle im harten Röntgenbereich mit bisher beispiellosen Eigenschaften werden, wie z.B. vollständiger longitudinaler und transversaler Kohärenz und einer Spitzenbrillanz, welche die der LCLS-Röntgenlaseranlage um drei Größenordnungen übertrifft.

Die erwartete Spitzenleistung der erzeugten harten Röntgenstrahlen liegt im TW-Bereich, die mittlere Leistung im kW-Bereich. Die vorgeschlagene Strahlungsquelle kann Forschungsgebiete wie das Abbilden einzelner Biomoleküle, aber auch die inelastische und resonante Streuung an Kernen revolutionieren. Die Erweiterung wäre extrem kompakt und preiswert. Sie könnte während der Inbetriebnahmephase des European XFEL schnell realisiert werden und schon zu Beginn der Nutzerphase ein weites Feld neuer Anwendungen eröffnen. Eine Machbarkeitsstudie mit einem Anwendungsbeispiel an der SASE2-Strahlführung des European XFEL wird derzeit erstellt.

## Longitudinale Raumladungsverstärker

Eine weitere neue Idee auf dem Gebiet der FEL-Physik ist die Nutzung der longitudinalen Raumladungsinstabilität zur Erzeugung von Vakuum-Ultraviolett- (VUV-) und Röntgenstrahlung. Diese Instabilität wurde in verschiedenen Beschleunigern im sichtbaren und infraroten Wellenlängenbereich beobachtet. Neuere Untersuchungen haben gezeigt, dass sich dieses Phänomen zur Erzeugung von VUV- und Röntgenstrahlung hoher Leistung nutzen lässt, indem man einer Anordnung von mehreren aufeinanderfolgenden Raumladungsverstärkern (d.h. ein Bunch-Kompressor mit Driftstrecke und Ablenkmagneten) einen kurzen Undulator folgen lässt (Longitudinal Space Charge Amplifier LSCA).

Typischerweise wird der Verstärkungsprozesses durch das Schrotrauschen des Elektronenstrahls angeregt. Der Undulator erzeugt aus der breitbandig verstärkten Dichtemodulation FEL-Strahlung hoher Leistung. Die Bandbreite oder Energieunschärfe der nutzbaren Strahlung ist umgekehrt proportional zur Anzahl der Undulatorperioden. Existierende oder in Planung befindliche FEL zur Erzeugung von Strahlung kurzer Wellenlängen lassen sich leicht und kostengünstig um eine solche LSCA-Anordnung erweitern, die insbesondere auch zur Erzeugung der zweiten Wellenlänge für Pump-Probe-Experimente benutzt werden kann.

Es besteht auch die Möglichkeit, Attosekunden-Pulse im VUV- und Röntgenbereich zu erzeugen. Für einige Nutzerexperimente ist die relativ große Bandbreite von Interesse, die sich mit einem LSCA realisieren lässt. Dank des breitbandigen und zuverlässigen Verstärkungsprozesses kann ein von einem Laser-Plasma-Beschleuniger getriebener LSCA zu einer interessanten Alternative zu einem SASE-FEL werden.

# Spezielle Elektronenquellen bei DESY.

## PITZ, der Photoinjektor-Teststand in Zeuthen

Die Aktivitäten bei PITZ, dem Photoinjektor-Teststand in Zeuthen, waren im Jahr 2010 geprägt vom Einbau neuer Komponenten. In der zweiten Jahreshälfte stand die Inbetriebnahme neuer Diagnoseelemente und die Nutzung der erweiterten Anlage im Vordergrund.

Ende 2009 wurde die damalige PITZ-Elektronenquelle nach Hamburg transportiert, um dort die Elektronenquelle von FLASH zu ersetzen. Dank der verbesserten Eigenschaften dieser PITZ-Elektronenquelle, insbesondere der signifikant niedrigeren Dunkelstromemission, wird der Strahlbetrieb von FLASH in den zukünftigen Betriebsperioden deutlich erleichtert. Im Frühjahr 2010 wurde dann eine neue Elektronenquelle – eine Kopie des vorher benutzten Typs – bei PITZ eingebaut. Zusätzlich wurden der Nachbeschleuniger („Booster“) ersetzt und weitere neue Strahldiagnosekomponenten installiert, was die PITZ-Anlage ihrer Vervollständigung (Ausbaustufe PITZ 2) einen großen Schritt näherbrachte.

Der Photoinjektor funktioniert wie folgt: In der Elektronenquelle wird durch Bestrahlung einer  $\text{Cs}_2\text{Te}$ -Kathode mit einem geeigneten UV-Laserstrahl ein Elektronenstrahl erzeugt (Photoeffekt), der durch ein hochfrequentes Spannungsfeld auf mehr als 6 MeV beschleunigt wird. Die neue Elektronenquelle wurde bei einer Wiederholrate von 10 Hz und einer Hochfrequenz-Pulslänge von 700  $\mu\text{s}$  bis zur maximalen Klystron-Ausgangsleistung von 6,25 MW konditioniert. Bei dieser Leistung wird sie inzwischen regulär betrieben. Durch die Nutzung eines neuartigen Richtkopplers konnte eine deutliche Verbesserung der Phasenstabilität des Hochfrequenzsystems erreicht werden. Dank des neuen Nachbeschleunigers (Abbildung 1), der den Elektronenstrahl auf etwa 25 MeV beschleunigt und erstmalig auch die Beschleunigung von langen Elektronenstrahl-Pulszügen erlaubt, soll die Strahlqualität (Emittanz) im weiteren Strahlverlauf nahezu erhalten bleiben.

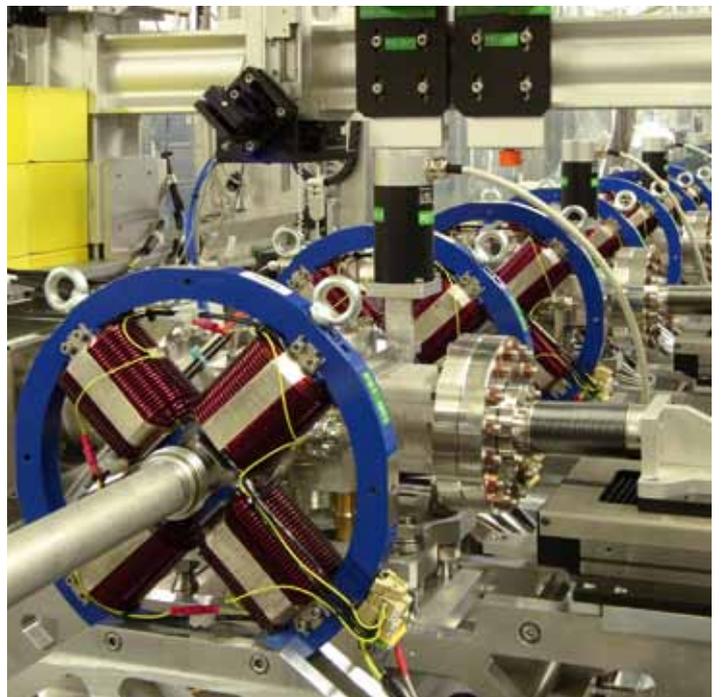
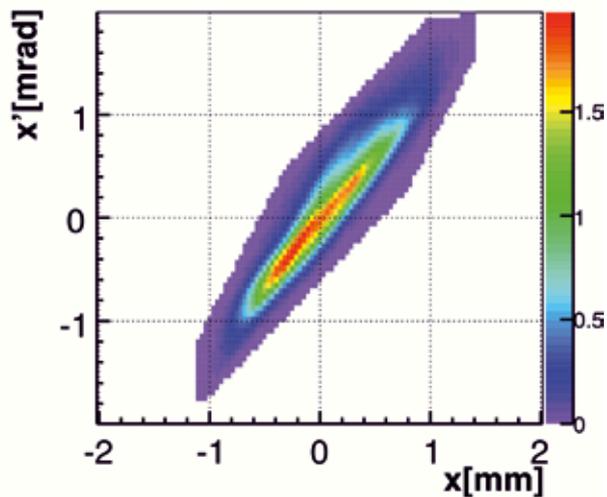


Abbildung 1

Der neue Nachbeschleuniger vor der Installation bei PITZ

Abbildung 2

Blick auf das Tomographiemodul (rechts) und  
Rekonstruktion eines mit dem Tomographiemodul  
gemessenen Phasenraumes (links)



Zusätzlich zur Entwicklung der projizierten Emittanz des gesamten Elektronenpaketes entlang des Strahlweges konnten erste Messungen der transversalen Emittanz von Teilen einzelner Elektronenpakete durchgeführt werden. Dazu wird der Booster im so genannten „Off-Crest“-Modus betrieben, um eine Korrelation zwischen Energie und Position im Elektronenpaket zu provozieren, d.h. jedes Teilstück bekommt eine leicht unterschiedliche Energie. Die Ergebnisse dieser „Slice“-Emittanz-Messungen, die bei verschiedenen Ladungen durchgeführt wurden, erscheinen in Hinblick auf den zukünftigen Betrieb des European XFEL bei kleineren Ladungen sehr vielversprechend.

Ein weiteres wichtiges Element des Ausbaus der PITZ-Diagnose-sektion war der Einbau des Phasenraum-Tomographiemoduls. Das Modul besteht aus einer Anordnung von Quadrupol-Magneten und Leuchtschirmen (zur Messung der Elektronenstrahlgröße) und erlaubt, unabhängig von der Ladung der Elektronenpakete, die simultane Messung der  $x$ - $x'$ - und  $y$ - $y'$ -Phasenräume des Elektronenstrahls. Somit sind zusätzliche, unabhängige Emittanzmessungen möglich. Die Inbetriebnahme des Moduls erfolgte im Herbst 2010. Die ersten Messanalysen sind nun verfügbar, siehe auch Abbildung 2.

Um die Elektronenstrahlqualität weiter verbessern zu können, wurde im Jahr 2010 auch ein BMBF-Projekt gestartet. Ziel des Projekts ist die Entwicklung eines Lasersystems zur Erzeugung ellipsoider Laserpulse, das im Jahr 2012 bei PITZ eingebaut werden soll.

# REGAE – Relativistic Electron Gun for Atomic Explorations.

## Ein neuer kleiner Beschleuniger bei DESY

REGAE ist eine Elektronenquelle für zeitaufgelöste Diffraktionsexperimente, die derzeit bei DESY in Zusammenarbeit mit der Max-Planck-Gesellschaft und der Universität Hamburg im Rahmen des Center for Free-Electron Laser Science (CFEL) gebaut wird.

Bei Diffraktionsexperimenten werden Elektronen auf Proben gelenkt, anschließend wird aus der Analyse der Streubilder die innere Struktur des Probenmaterials aufgeklärt. Diese Methode ist mit der Transmissions-Elektronenmikroskopie vergleichbar, bei der anstelle einer mathematischen Auswertung ein optisches System genutzt wird, um ein Bild des Probenmaterials zu erhalten.

Zeitaufgelöste Experimente werden als „Pump-Probe“-Experimente durchgeführt, d.h. die Probe wird angeregt, z.B. mit Hilfe eines Laserpulses, und eine Reihe von Diffraktionsbildern wird in definierten Zeitabständen aufgezeichnet. Für diese Art von Experimenten müssen die Elektronenpakete im Vergleich zu der geforderten zeitlichen Auflösung kurz sein, d.h. im Längensäquivalent von 10 bis 100fs. Der Streuquerschnitt von Elektronen ist, abhängig von der Energie, zwischen vier und sechs Größenordnungen höher als der von kurzwelligen Photonen, denn bei Elektronen ist nicht nur die leicht polarisierbare Wolke aus Valenzelektronen am Streuvorgang beteiligt, wie dies bei Photonen der Fall ist. Der Streuvorgang wird dominiert durch die hohe Ladungsdichte des Kerns und kernnaher Elektronen. Elektronen stellen daher exzellente Proben für Studien an Materialien dar, die nur wenige Streuzentren enthalten, beispielsweise Materialien auf der Nanoskala und isolierte Moleküle in der Gasphase. Wegen des sehr kleinen Streuvolumens können diese Systeme mittels Strukturanalysen mit Röntgenstrahlung nur schwer untersucht werden. REGAE bietet damit einen komplementären Zugang zur strukturellen Dynamik von Stoffen.

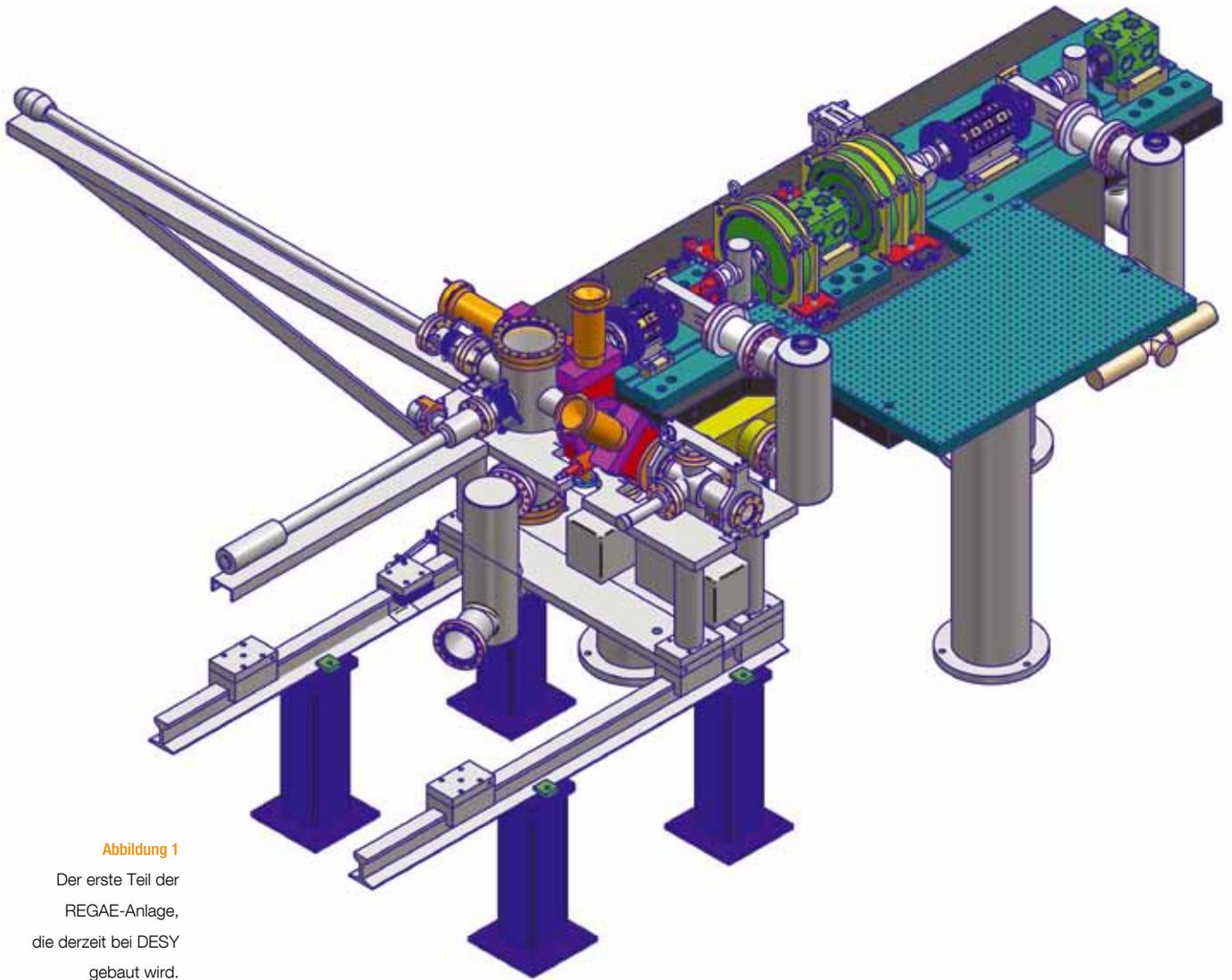
Ein anderer wichtiger Aspekt ist die durch die Bestrahlung induzierte Störung der Materialprobe. Elektronenpakete mit nur  $10^7$  Elektronen sind hinsichtlich des totalen gestreuten Flusses mit Photonenpulsen von  $10^{11}$  bis  $10^{12}$  Röntgenphotonen vergleichbar. Während bei Bestrahlung mit Photonen unter typischen Fokussierbedingungen die Probe zerstört wird, bleibt diese bei Elektronen auf Grund der kleineren Teilchenzahl und anderer Störmechanismen weitgehend unbeeinflusst. In diesem Sinne sind Untersuchungen mit Elektronen auch bei voller Intensität zerstörungsfrei.

Eine der größten Herausforderungen bei der Entwicklung von REGAE ist die Kohärenz der Quelle. Die transversale Kohärenz

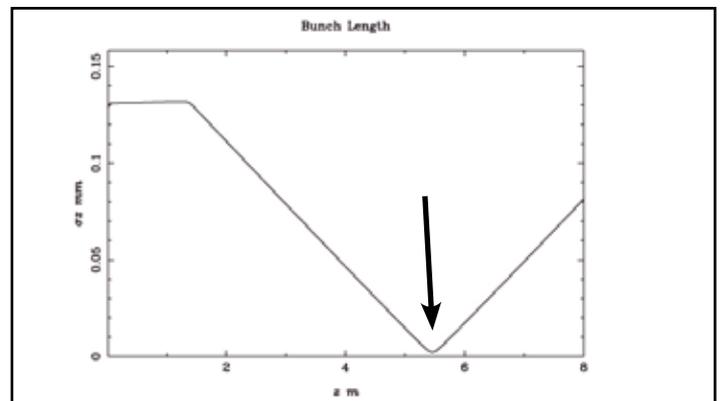
sollte mindestens dreimal größer sein als die Längenskala, die aufgelöst werden soll. Für typische Festkörper muss die Kohärenzlänge daher mindestens 3 nm betragen, während für Studien von Proteinen Kohärenzlängen von bis zu 30 nm nötig sind. Dies entspricht Emittanzen von  $5 \cdot 10^{-3} \mu\text{m}$  bei einer Strahlgröße von 0,4 mm. Die geforderte Emittanz ist daher 200-mal kleiner als typische Elektronenstrahlparameter von FEL-Anlagen. Glücklicherweise gestatten es die für Diffraktionsexperimente geforderten Ladungsdichten im Vergleich zu typischen FEL-Parametern, mit sehr viel niedrigeren Ladungen zu arbeiten (d.h. weniger als 1 pC, im Vergleich zu  $\sim 1$  nC in typischen FEL-Anlagen).

Die Erzeugung der geforderten kleinen Emittanzen sowie der kurzen Paketlängen und die für die Pump-Probe-Experimente erforderliche Stabilität sind die großen Herausforderungen des Projektes. Die direkt hinter dem Kathodenwechselsystem angeordnete  $1\frac{1}{2}$ -zellige S-Band-Kavität (RF gun) in Abbildung 1 bildet die eigentliche Elektronenquelle. Der Elektronenstrahl wird transversal durch Solenoide fokussiert, bevor er in die so genannte „Buncher“-Kavität eintritt. Diese Kavität durchläuft er im Nulldurchgang des Feldes, so dass er in der nachfolgenden Driftstrecke auf Grund des aufgeprägten Geschwindigkeitsunterschiedes longitudinal zusammenläuft. Nachfolgend werden eine nicht dargestellte Probenkammer und ein Detektorsystem installiert. Ein Simulationsbeispiel für die Entwicklung der Paketlänge in dieser Konfiguration zeigt Abbildung 2. Es wurden  $5 \cdot 10^5$  Elektronen gestartet und eine Kohärenzlänge von  $\sim 30$  nm in der Nähe des longitudinalen Fokus erzielt.

Die REGAE-Anlage wird im ehemaligen LINAC I-Gebäude in direkter Nachbarschaft zum DESY-Synchrotron errichtet. Nach dem Abbau von LINAC I in den 1990er Jahren wurde das Gebäude als Lagerplatz genutzt. Mittlerweile wurden alle Räume renoviert und die Infrastruktur, wie elektrische Verteilung und Belüftung, usw., wurde erneuert. Die Installation von Maschinenkomponenten inklusive Kontrollen, Interlock und HF-Systeme ist weit vorangeschritten und der Photokathodenlaser ist bereits in Betrieb. Nach der Installation der Kavitäten im Februar 2011 kann mit dem Konditionieren und der Inbetriebnahme begonnen werden, so dass erste Strahlen in der ersten Jahreshälfte 2011 zu erwartet sind.



**Abbildung 1**  
 Der erste Teil der  
 REGAE-Anlage,  
 die derzeit bei DESY  
 gebaut wird.



**Abbildung 2**  
 In der Driftstrecke hinter der Buncher-Kavität – bei etwa 1,5m – verringert sich die Bunchlänge auf ein Minimum von rund 7 fs, bevor sie wieder ansteigt. Die Targetkammer wird im longitudinalen Fokus aufgebaut.

# Beschleuniger-Ideenmarkt.

## Brainstorming für neue Ideen

Die Entwicklung und der Bau von Beschleunigern haben bei DESY eine langjährige und erfolgreiche Tradition. Besonders die Entwicklung neuer Konzepte ist für die langfristige Zukunft des Labors ausgesprochen wichtig. Der Beschleuniger-Ideenmarkt wurde ins Leben gerufen, um allen Mitarbeitern und Gästen bei DESY ein Forum zu bieten, auf dem im weitesten Sinne mit Beschleunigern zusammenhängende neue Konzepte, Vorschläge und Ideen in offener und informeller Atmosphäre präsentiert und diskutiert werden können.

Der erste Ideenmarkt fand im Juni 2010 statt, ein weiterer folgte im November. Die Dauer betrug jeweils anderthalb Tage. Beide Veranstaltungen waren sehr erfolgreich. Das Spektrum der 36 jeweils zehninütigen Beiträge, die im Juni präsentiert wurden, reichte von Verbesserungsvorschlägen für existierende Beschleunigerkomponenten, wie z.B. Strahlmonitore, über einen Vorschlag, die seit 2007 nicht in Betrieb befindliche Hadron-Elektron-Ring-Anlage HERA als Synchrotronstrahlungsquelle zu betreiben, bis hin zu einem Vorschlag zum Bau eines Myon-colliders im HERA-Tunnel.

Nach dem ersten Ideenmarkt wurden Möglichkeiten untersucht, verschiedene dieser Vorschläge zu realisieren. Beim zweiten Ideenmarkt im November wurden neben 13 Folgebeiträgen zu diesen Aktivitäten weitere 15 neue Beiträge präsentiert. Beide Veranstaltungen übertrafen bei weitem die Erwartungen der Organisatoren. Die Veranstaltungszeit wurde bestens genutzt, und lebhafte Diskussionen setzten sich bis spät in den Abend beim gemeinsamen Abendessen fort.

Eine Reihe von Vorschlägen beschäftigte sich mit Beschleunigeranlagen für die Teilchenforschung, wie z.B. Higgs-, Tau- oder Z-Fabriken, die Nutzung des Elektronenstrahls des European XFEL für Detektortests oder polarisierte Elektronen- und Protonenstrahlen bei HERA. Gegenstand anderer Vorschläge waren Anwendungen für die Forschung mit Photonen sowie beschleunigerphysikalische Herausforderungen, wie Laser-Plasma-beschleunigung, Weiterentwicklung der supraleitenden Technologie, Strahl-diagnose und auch neue Betriebsmoden von existierenden und zukünftigen Beschleunigern wie FLASH und European XFEL. Der nächste Ideenmarkt wird im September 2011 stattfinden.

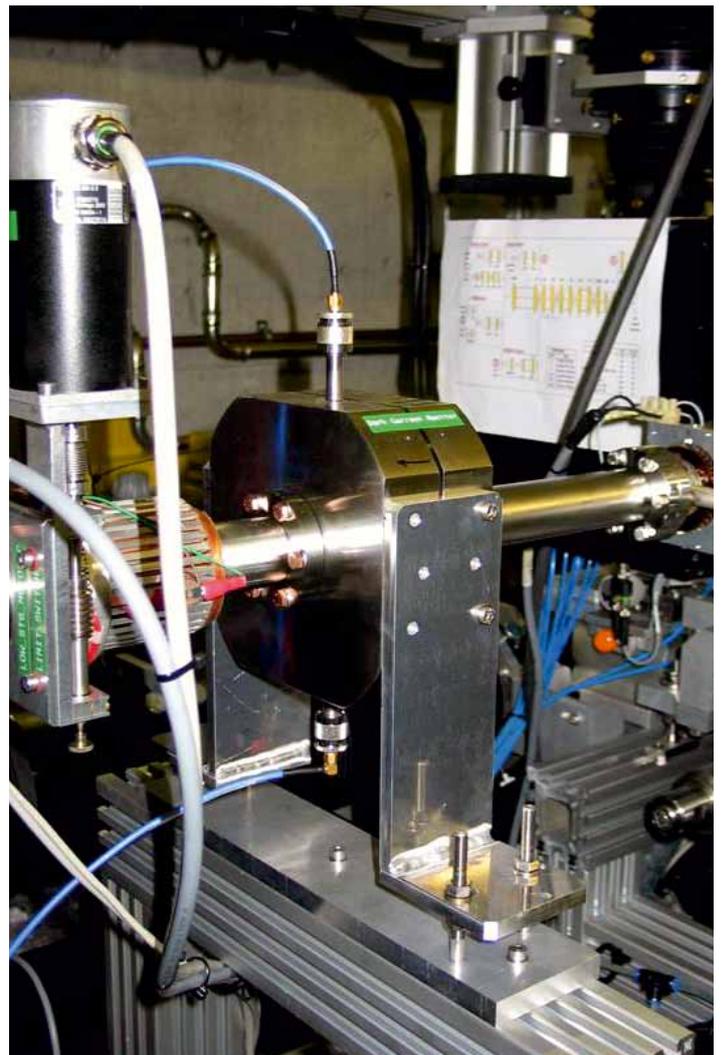


Abbildung 1

Ein neuer Dunkelstrommonitor, der bereits bei PITZ getestet wurde.

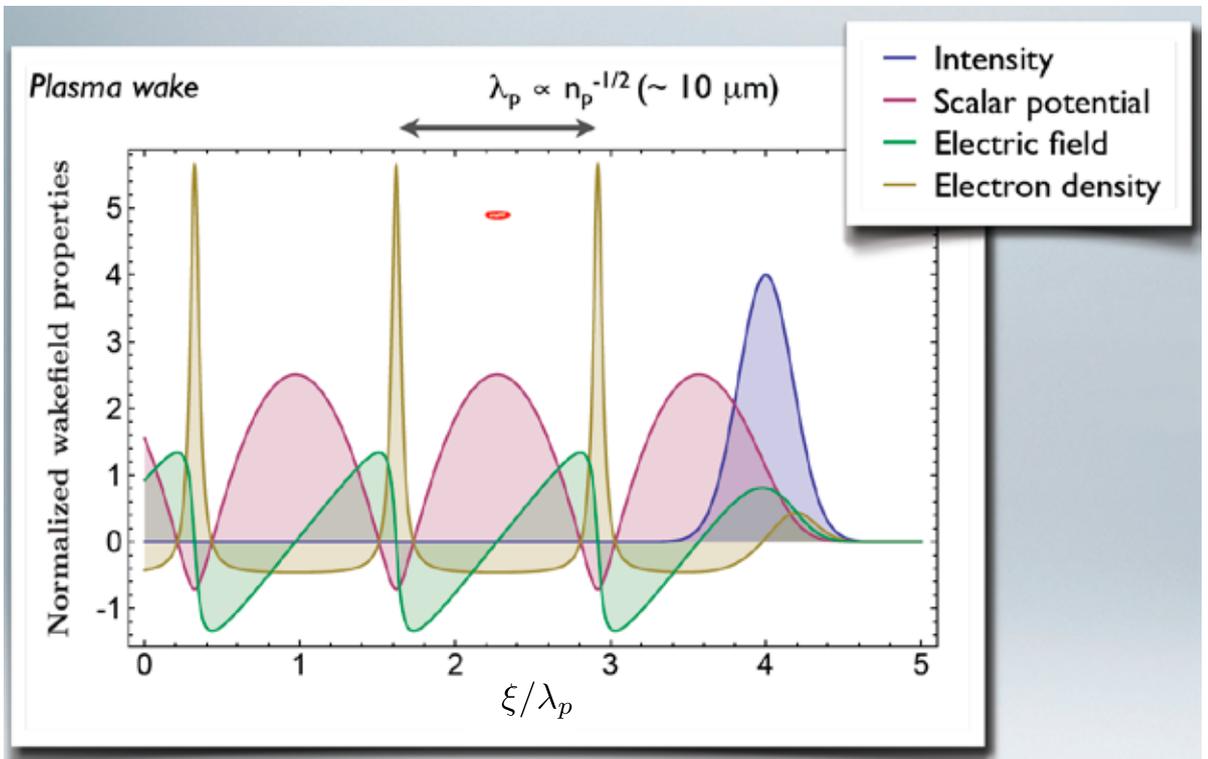


Abbildung 2

Durch Ladungsdichtemodulation entstehen im Plasma sehr hohe elektrische Felder, die zur Beschleunigung genutzt werden können (mit freundlicher Genehmigung von Jens Osterhoff).

Mehrere Vorschläge und Konzepte aus dem Ideenmarkt sind auch in die Initiative zur Gründung eines Accelerator Research and Development Program (ARD) innerhalb der Helmholtz-Gemeinschaft eingeflossen. Diese Initiative wurde von sechs Helmholtz-Zentren ins Leben gerufen, die alle selber Beschleunigeranlagen betreiben. Die ARD-Forschungsschwerpunkte umfassen supraleitende Technologie, neuartige Teilchenquellen,

Femtosekunden-Strahlen und Wechselwirkung mit Lasern, neue Konzepte für Kreisbeschleuniger und Plasmabeschleunigung. Mit dem ARD-Programm wird die Beschleunigerphysik und -technologie im Rahmen einer Portfolio-Erweiterung in der Helmholtz-Gemeinschaft als eigenständiges Forschungsprogramm etabliert. Mit einer Entscheidung des Helmholtz-Senats über den Förderantrag wird im Frühjahr 2011 gerechnet.

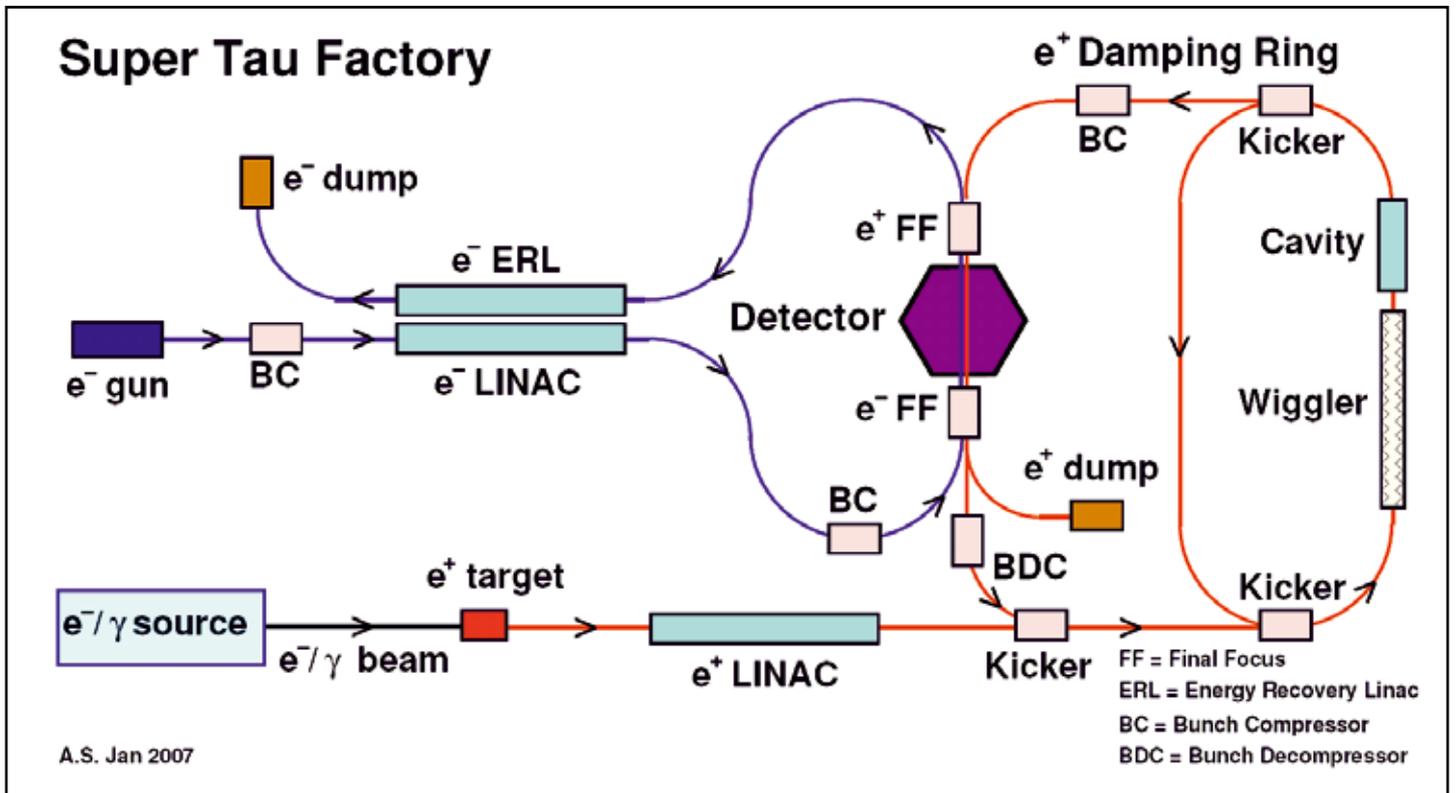
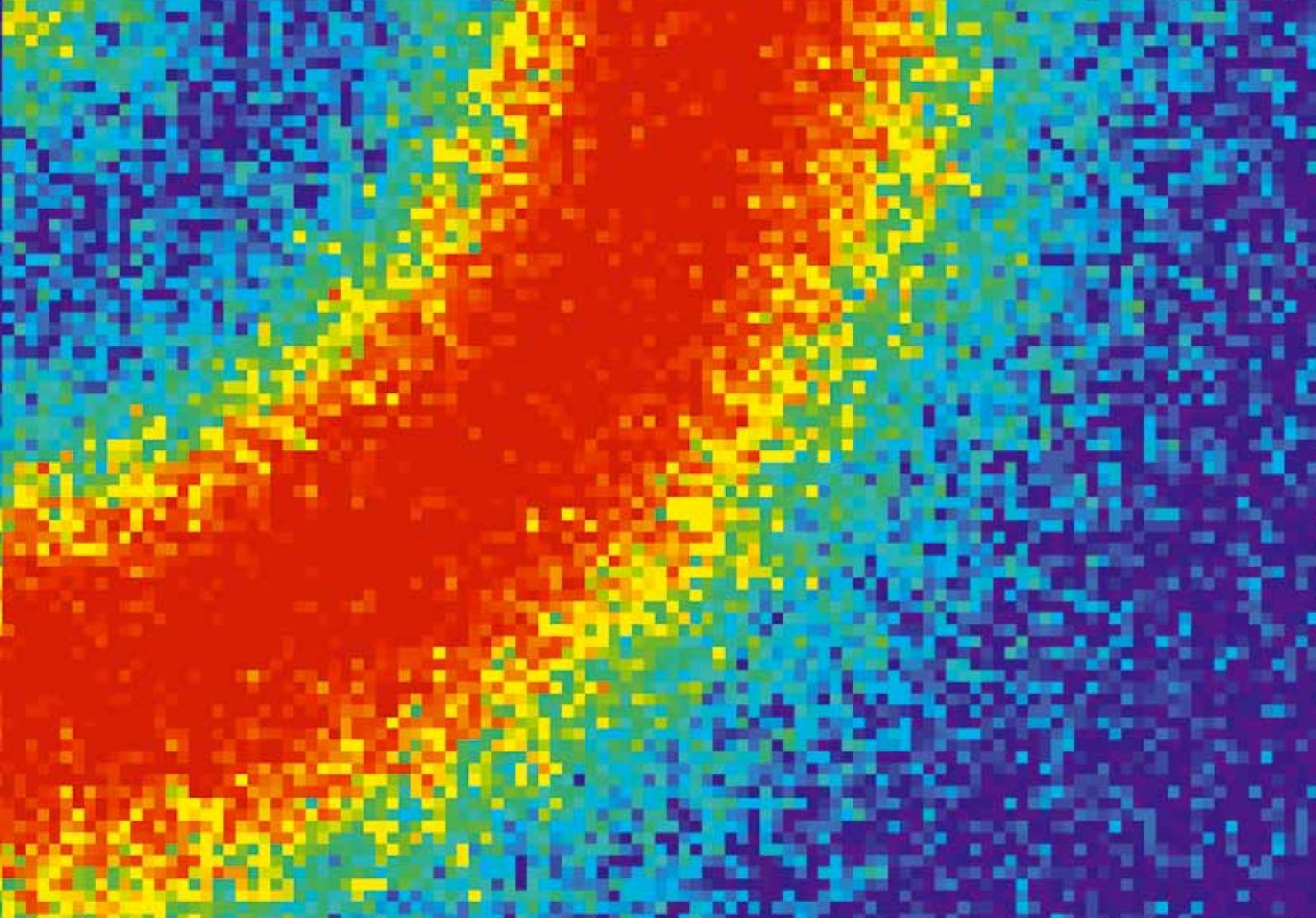


Abbildung 3

Studie eines Linearcolliderszenarios für eine Super-Tau-Fabrik (mit freundlicher Genehmigung von Andre Schöning)





## Forschung mit Photonen.

>	Forschung mit Photonen – Die DESY-Aktivitäten im Überblick	28
>	Forschung bei FLASH	30
>	Forschung bei DORIS III	32
>	Forschung bei PETRA III	34
>	Forschungsplattformen – Center for Free-Electron Laser Science CFEL	36
>	Forschungsplattformen – Nano- und Materialwissenschaften Tür an Tür	38
>	Forschungsplattformen – Molekularbiologie auf dem DESY-Campus	40
>	Neue Technologien und Entwicklungen	42

# Forschung mit Photonen.

## Die DESY-Aktivitäten im Überblick

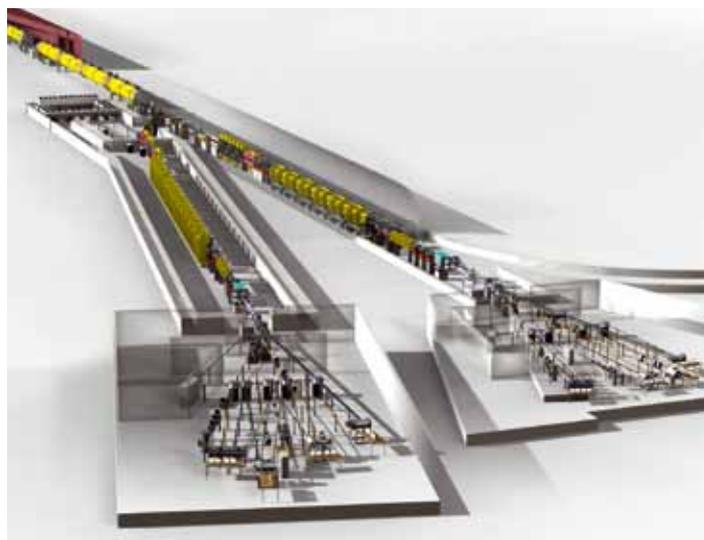
Die Photonenquellen DORIS III, FLASH, PETRA III und zukünftig der European XFEL bilden die Werkzeuge für Strukturuntersuchungen in ganz unterschiedlichen Bereichen der Naturwissenschaft bei DESY. Diese reichen von Physik, Chemie, Biologie und Geowissenschaften bis hin zu Materialwissenschaften, Ingenieurwissenschaften und der Umweltforschung. Für das Feld der Forschung mit Photonen bei DESY war das Jahr 2010 von besonderer Bedeutung.

Das wichtigste Ereignis war der offizielle Start des Messbetriebs bei PETRA III. Nach dem erfolgreichen Abschluss der Projektphase und nach dreieinhalb Jahren für Bau und Testbetrieb stehen die weltweit einzigartigen Eigenschaften dieser neuen Photonenquelle bei DESY nun offiziell den Nutzern an drei Strahlführungen zur Verfügung. Der Aufbau weiterer Messplätze an insgesamt 14 Strahlführungen wird im Wesentlichen 2011 abgeschlossen sein. Der größte Teil der an PETRA III verfügbaren Strahlzeit wird – wie auch bei DORIS III und FLASH – externen Nutzern, die hauptsächlich von Universitäten, aber auch von außeruniversitären Forschungseinrichtungen und aus der Industrie kommen, nach einer Begutachtung durch externe Experten zur Verfügung gestellt.

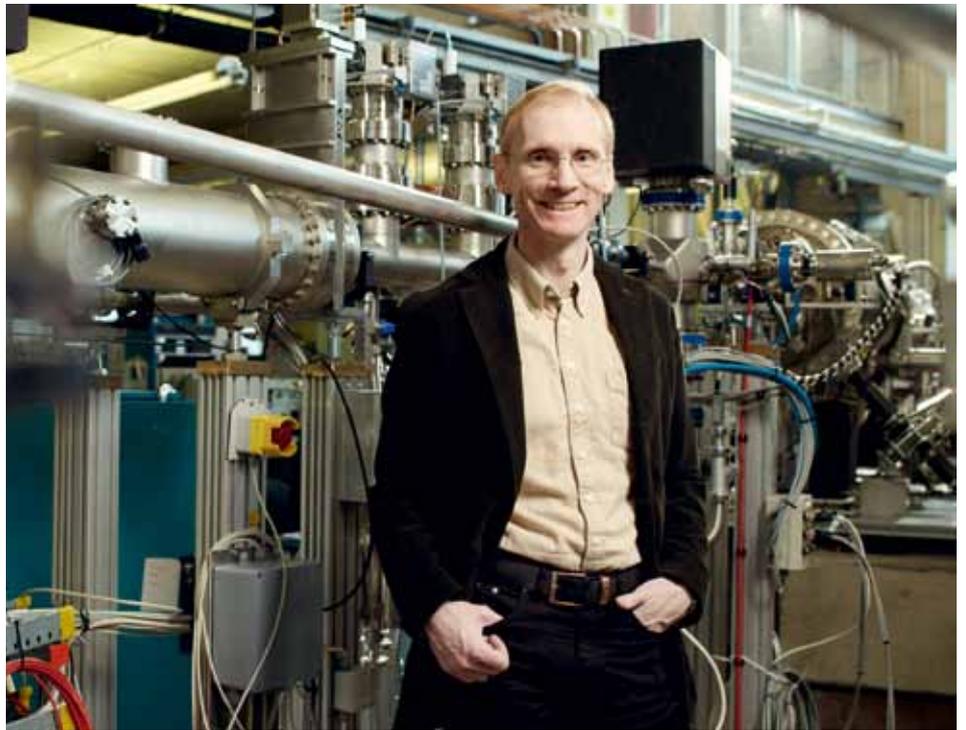
Im Jahr 2010 konnte eine sehr wichtige Entscheidung für die Zukunft der Forschung mit Photonen bei DESY getroffen werden: Die von DESY und HZB gemeinsam vorgeschlagene Erweiterung des Freie-Elektronen-Lasers FLASH wurde unter dem Namen FLASH II vom Senat der Helmholtz-Gemeinschaft und von den Zuwendungsgebern genehmigt. Der Elektronenstrahl aus dem FLASH-Beschleuniger soll nach Umsetzung der Ausbaumaßnahme auf zwei Freie-Elektronen-Laser-Undulatorstrecken verteilt werden, so dass in zwei Experimentierhallen quasi simultan bei unterschiedlichen Wellenlängen gemessen werden kann.

Bei FLASH II soll aus diesem Grund ein Undulator mit variablem Magnetabstand verwendet werden, der in einem zweiten, separaten Tunnel aufgebaut wird. Die geplante FLASH II-Experimentierhalle wird Platz für mindestens fünf Experimentierstationen bieten. Neben dem SASE-Modus – der selbstverstärkten spontanen Emission – sind auch HHG-Seeding (High Harmonic Generation) und ggf. andere Seeding-Betriebsmodi vorgesehen. Die dafür notwendige Laserentwicklung wird in Zusammenarbeit mit dem Helmholtz-Institut Jena durchgeführt.

Trotz steigender Nachfrage nach Messzeit und regelmäßiger Überbuchung der Messplätze durch die externe Nutzerschaft



Der geplante Ausbau des Freie-Elektronen-Lasers FLASH bei DESY: rechts die bestehende FLASH-Anlage, links die geplante zweite Undulatorstrecke FLASH II



hat DESY entschieden, DORIS III, eine Synchrotronstrahlungsquelle der zweiten Generation, Ende 2012 abzuschalten und die Messmöglichkeiten bei PETRA III entsprechend zu erweitern. Ein wesentlicher Grund dafür ist die Kostenersparnis beim Betrieb nur eines Speicherrings.

DORIS III bietet nach wie vor eine Reihe wichtiger Messmethoden, wie beispielsweise XAFS (X-ray absorption fine structure), die derzeit nicht bei PETRA III vorhanden sind. Um den Nutzern solche erfolgreichen Anwendungen auch nach Abschaltung von DORIS III weiterhin anbieten zu können, soll die Experimentierinfrastruktur bei PETRA III entsprechend erweitert werden.

Geplant ist in einer ersten Phase der Bau zweier zusätzlicher Experimentierhallen im Norden und Osten der PETRA III-Anlage. Insgesamt lassen sich auf diese Weise zwölf neue Experimentierstationen realisieren, von denen einige mit Undulatoren ausgestattet und in Kooperation mit internationalen Partnern gebaut werden. Die detaillierte Planung dieses Erweiterungsprojektes hat bereits begonnen.

In den vergangenen Jahren wurde der Anteil der Eigenforschung von DESY im Bereich der Forschung mit Photonen deutlich verstärkt. Dies zeigt sich an dem fortschreitenden Aufbau des Center for Free-Electron Laser Science (CFEL), an der Schaffung neuer Forschungsthemen sowie insbesondere an der Zahl von Veröffentlichungen in hochrangigen Zeitschriften. Auch die fruchtbare Zusammenarbeit mit den Außenstellen renommierter Institutionen auf dem DESY-Campus (wie z.B. den Außenstellen von EMBL, HZG, der Universität Hamburg und der MPG) schafft ein stimulierendes Umfeld für neue Forschungsaktivitäten. ●



Das DESY-Gelände mit den Strahlungsquellen PETRA III, FLASH und DORIS III. Die Baustelle für das neue CFEL-Gebäude befindet sich links neben der kreisbogenförmigen Experimentierhalle von PETRA III (September 2010).

Edgar Weckert,  
Direktor für den Bereich Forschung mit Photonen

# Forschung bei FLASH.

## Lasen im Wasserfenster

Beim Freie-Elektronen-Laser FLASH ist neben wichtigen anlagetechnischen Änderungen, wie einer definierten Kompression der Elektronenpakete und der Integration des „Seeding“-Experiments, besonders der Einbau eines weiteren Beschleunigermoduls erwähnenswert, das in Folge eine höhere Endenergie der Elektronen ermöglicht. Ende Mai 2010 konnten so erstmals Elektronen bis auf 1,2 GeV und im September, nach weiteren Optimierungen des Beschleunigers, sogar auf 1,25 GeV beschleunigt werden. Dies ermöglichte es, intensive FEL-Pulse mit einer Wellenlänge von 4,1 nm zu erzeugen, d.h. mit einer Energie, die höher als die K-Absorptionskante von Kohlenstoff ist und im so genannten Wasserfenster liegt. Dadurch werden bei FLASH erstmals Untersuchungen von organischer Materie in wässriger Lösung möglich, da Wasser für diese Wellenlängen relativ transparent ist.

FLASH läuft nach dem Umbau deutlich stabiler, und die Länge der FEL-Pulse kann nun erstmals in einem Bereich von 30 bis 150 fs variiert werden. Für längere Photonenpulse wurden Rekordenergien von bis zu 300  $\mu\text{J}$  gemessen. Anfang September 2010 begann wieder der reguläre Nutzerbetrieb, mit mehr als 350 Messschichten (eine Schicht entspricht 12 Stunden) für die bereits Ende 2009 begutachteten Projekte (28 Experimente mit insgesamt über 100 Nutzern). Schon die ersten Experimente profitierten von der höheren Durchschnittsenergie der Photonenpulse und der verbesserten Stabilität und Verlässlichkeit der Maschine.

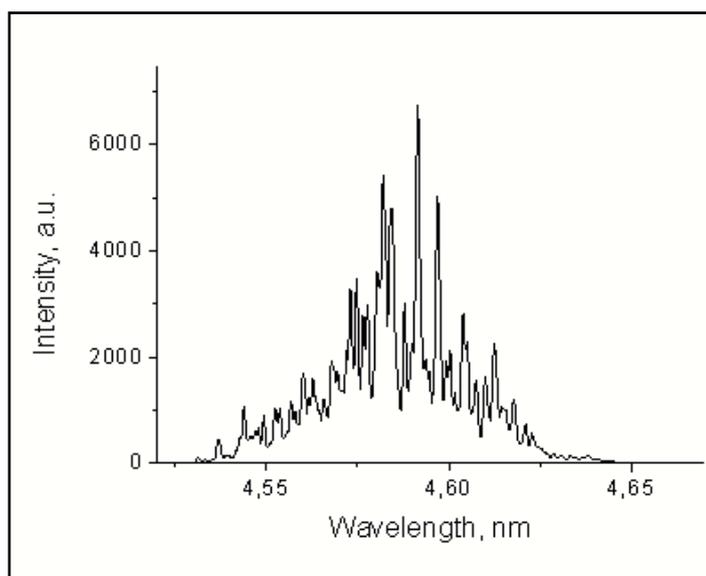


Abbildung 1

Spektrale Verteilung eines einzelnen FEL-Pulses. Die Wellenlänge von 4,6 nm wurde mit hoher Auflösung mit Hilfe des PG2-Spektrometers bei FLASH gemessen.

Als beispielhaftes Experiment 2010 gelten die Einzelpulsaufnahmen von magnetischen Domänen: Dabei konnten magnetische Beugungsbilder eines Co/Pt-Mehrschichtsystems mithilfe eines einzigen, 30 fs langen Pulses von FLASH zerstörungsfrei aufgenommen werden. Der zeitliche Bereich von Femtosekunden ist besonders interessant, weil hier elementare magnetische Prozesse wie auch lokale Spin-Anregungen (Spin-Flip) oder Kopplungen an das Elektronensystem ablaufen.

Für die Messungen der resonanten magnetischen Beugung an der Co- $M_{2/3}$ -Absorptionskante wurden FLASH-Pulse von 20,8 nm (59 eV) genutzt. Ihre Pulsdauer betrug 30 fs und pro Puls trafen  $2 \cdot 10^{11}$  Photonen, entsprechend einer Pulsleistung von  $4 \text{ mJ/cm}^2$ , innerhalb des Spots von  $250 \mu\text{m}$  auf die Probe. Verschiedene Messungen an demselben Co/Pt-Mehrschichtsystem, aber auch bei höheren Pulsleistungen, wurden im Abstand von 10 s durchgeführt und analysiert. Dabei zeigte sich, dass mit Pulsleistungen von bis zu  $4 \text{ mJ/cm}^2$  zerstörungsfrei magnetische Beugungsbilder aufgenommen werden können, wohingegen oberhalb dieses Schwellenwertes die magnetischen Eigenschaften des Systems dauerhaft verändert werden. Diese Methode ist vielversprechend, insbesondere im Hinblick auf die Messungen schneller magnetischer Schaltprozesse sowie der Materie-Licht-Wechselwirkung.

### Originalveröffentlichung:

“Single-pulse resonant magnetic scattering using a soft x-ray free-electron laser”, *Phys. Rev. B* 81, 100401 (R) (2010).

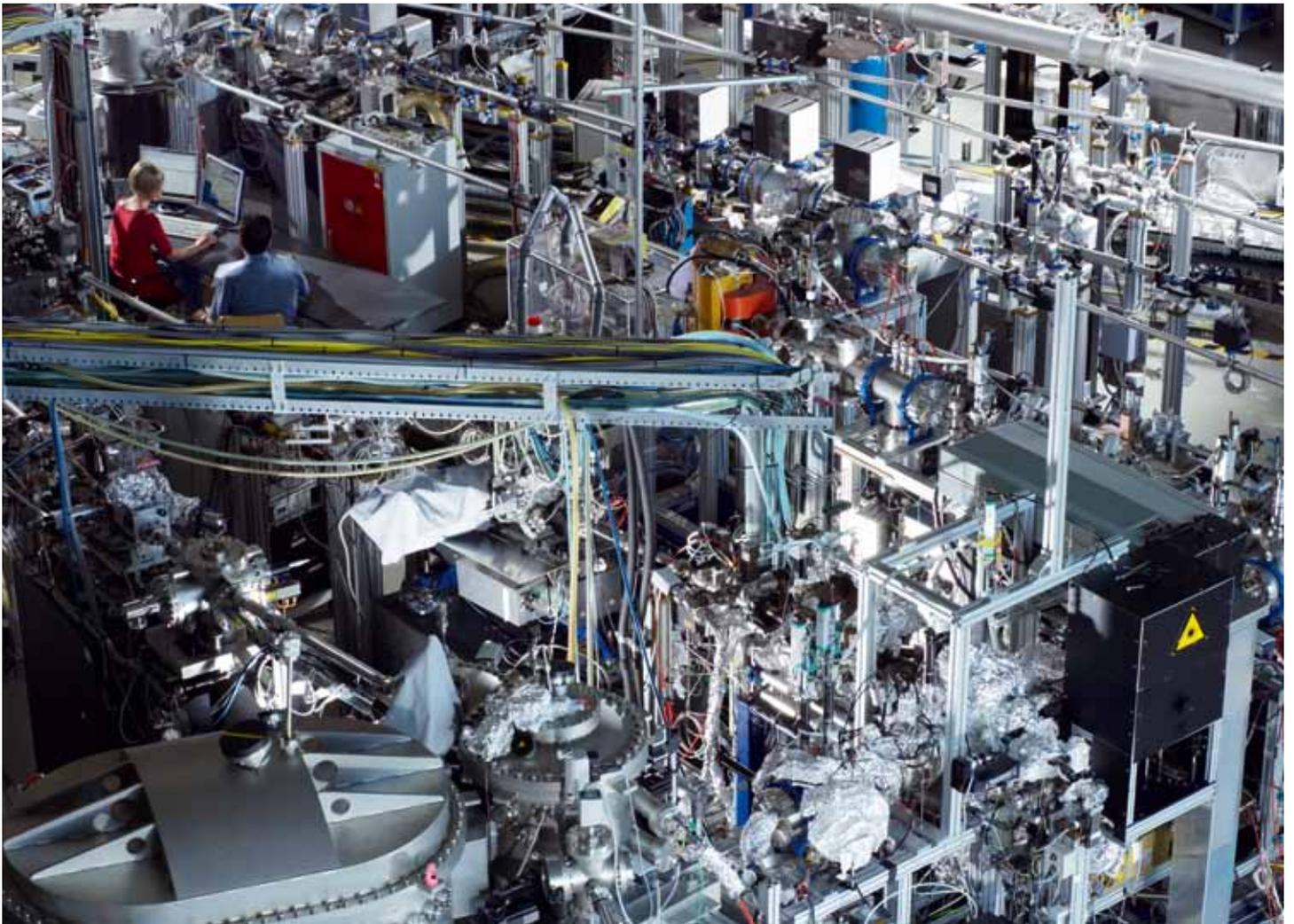


Abbildung 2

Blick in die FLASH-Experimentierhalle

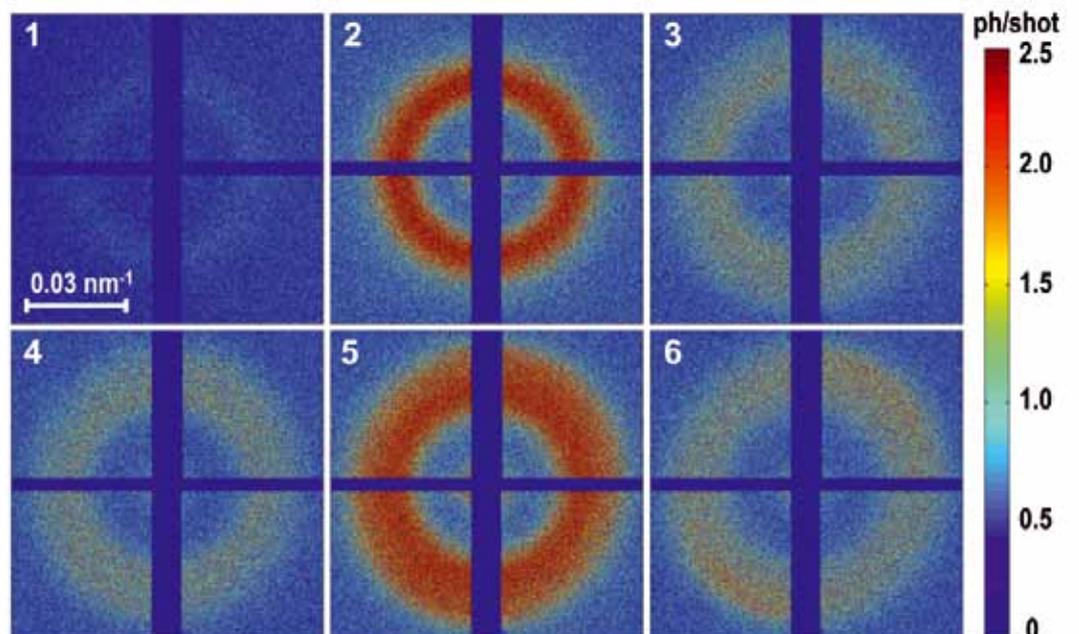


Abbildung 3

Sechs magnetische Beugungsbilder eines Co/Pt-Mehrschichtsystems, die mithilfe von (direkt aufeinanderfolgenden) 30 fs langen Pulsen von FLASH aufgenommen wurden.

Im Jahr 2010 erreichte die Gesamtzahl der Anträge für Experimente an DORIS III einen neuen Rekordwert: 261 neue Projekte wurden genehmigt (ohne die Strahlführungen von EMBL und MPG mitzuzählen), darunter 204 Projekte der Kategorie I (Zeitraum 1 Jahr) und 57 der Kategorie II (Zeitraum 2 Jahre). 13 Projekte betrafen eine kombinierte Nutzung von DORIS- und PETRA-Messplätzen.

Wegen des für Ende 2012 geplanten Betriebsendes von DORIS III und der geplanten Erweiterung von PETRA III wurden keine weiteren Modifikationen zur Verbesserung der Strahlführungen und der Experimentierinfrastruktur mehr vorgenommen. Allerdings wurden alle Anstrengungen unternommen, um weiterhin einen reibungslosen Betrieb der Experimente sicherzustellen. Beispielhaft für die regen Forschungsaktivitäten der Nutzer bei DORIS III stehen die beiden folgenden Experimente.

### Nanoelektronik

Elektroniken auf der Basis von Kohlenstoff-Nanoröhrchen sind dank ihrer hohen Leitfähigkeit eine vielversprechende Alternative zur konventionellen siliziumbasierten Elektronik. Ihre Integration in echte Schaltkreise stellt allerdings noch eine große Herausforderung dar, weil die Qualität elektrischer Kontakte auf der Nanoskala stark von den chemischen Prozessen bei der Bildung dieser Kontakte abhängt. Voraussetzung für eine echte Kohlenstoff-Nanoelektronik ist daher die Entwicklung reproduzierbarer, stabiler ohmscher Verbindungen zwischen den Kohlenstoff-Nanomaterialien und den Kontaktelektroden. Das Auffinden geeigneter Metalle für die Elektroden ist hier also entscheidend.

Anhand von Photoemissionsexperimenten mit einer Photonenenergie von 3,5 keV im Röntgenbereich an der Strahlführung BW2 bei DORIS III konnte die Grenzflächenbildung zwischen Rhodium und Kohlenstoff-Nanoröhrchen untersucht werden. In Kombination mit hochaufgelöster Elektronenmikroskopie zeigen die Ergebnisse dieser Studie die Nukleation des Rhodiums. Der Vergleich mit theoretischen Berechnungen führt zu dem Schluss, dass Rhodium eine starke Wechselwirkung mit den Nanoröhrchen aufweist und in der Kontaktbildungsphase weniger empfindlich gegenüber Sauerstoff ist als andere Metalle. Dies macht Rhodium zu einem idealen Kandidaten für derartige Nanokontakte.

#### Originalveröffentlichung:

“Study of the Interface between Rhodium and Carbon Nanotubes”  
ACS Nano 4, 1680 – 1686 (2010).

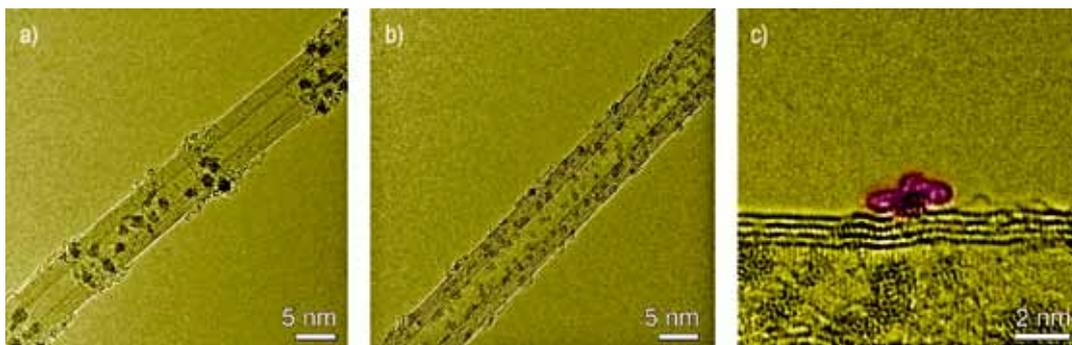


Abbildung 1

Transmissions-elektronenmikroskopische Aufnahme von Rhodium auf Kohlenstoff-Nanoröhrchen: (a) unbehandelt und (b) mit einem Sauerstoff-Plasma behandelt. (c) Detailaufnahme von kleinen fullerenartigen Anlagerungen an Rhodium auf der Oberfläche der Kohlenstoff-Nanoröhrchen.



Abbildung 2  
DORIS III-  
Experimentierhalle

## Biosensoren

Das zweite Forschungsbeispiel an DORIS III befasst sich mit Biosensoren. In jüngster Zeit sind auf dem Gebiet der Erforschung elektronischer Schaltkreise, die auf organischen Materialien basieren, erhebliche Fortschritte bezüglich Leistung und Anwendbarkeit erzielt worden. Vor diesem Hintergrund sind Biosensoren besonders interessant: Organische Materialien stellen eine kompatible, atoxische Umgebung für lebende Zellen wie Neuronen dar und können somit als empfindliche Sensoren für biologische Anwendungen eingesetzt werden. Damit solche Sensoren allerdings störungsfrei in einer biologisch relevanten, also meist wässrigen Umgebung arbeiten können, müssen wassertaugliche organische Produkte entwickelt werden, die nicht mit der umgebenden ionischen Lösung chemisch reagieren.

Ein exzellentes organisches Material dafür ist Pentazen, das aber wegen seiner Reaktivität in Wasser nur eine kurze Lebensdauer aufweist. Die Lösung des Problems wurde darin gefunden, Pentazen in eine 50 nm dünne Schicht Tetratetrakontan (TTC,  $C_{44}H_{90}$ ) einzukapseln, die im Vakuum aufgebracht wird. Die Anwendbarkeit dieser Methode hängt sehr stark von der Qualität der aufgetragenen Schicht ab. Dazu wurden an der Strahlleitung W1 bei DORIS III Diffraktionsexperimente an verschiedenen

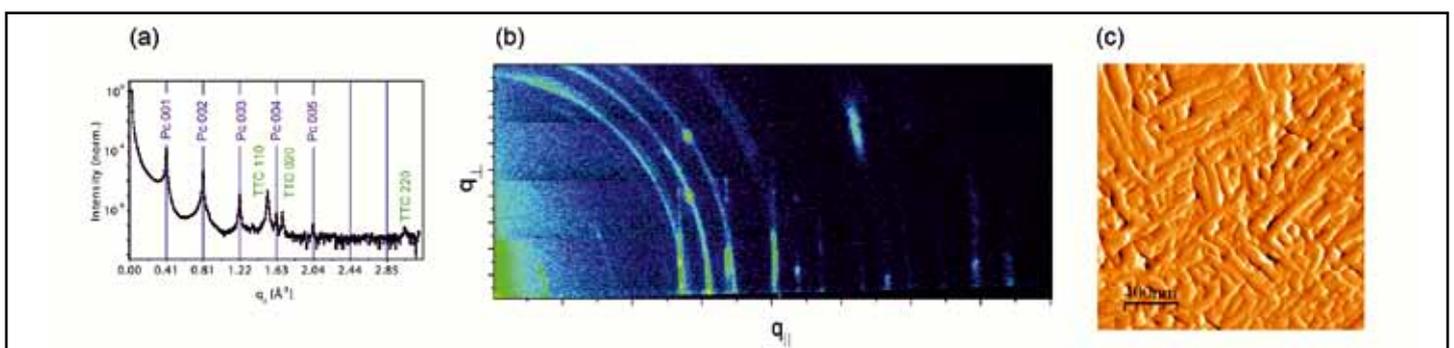
Proben durchgeführt, bei denen die TTC-Schicht unter unterschiedlichen Bedingungen auf Pentazen aufgebracht wurde. Die Messergebnisse ermöglichten es, die optimalen Präparationsbedingungen zu identifizieren, um die höchste Homogenität, Dichte und Orientierung der TTC-Schicht zu erreichen. Besonders wichtig ist, dass das Pentazen während dieses Prozesses nicht verändert und seine Struktur nicht gestört wird.

### Originalveröffentlichung:

“Pentacene Thin-Film Transistors Encapsulated by a Thin Alkane Layer Operated in an Aqueous Ionic Environment”, *Advanced Materials* 22, 4350–4354 (2010). *Letters* 105, 116401 (2010).

Abbildung 3

(a) Röntgenreflektionskurven und (b) gemessene Röntgenbeugungsmuster sowie (c) rasterkraftmikroskopische Abbildung (AFM) der TTC/Pentazen-Sandwich-Proben.



# Forschung bei PETRA III.

## Messzeiten für erste Nutzer

Die Projektphase von PETRA III ist nach dreieinhalb Jahren für Bau und Testbetrieb nunmehr abgeschlossen, wobei alle Ziele sowohl im Zeitplan als auch im Finanzrahmen erreicht werden konnten. Seit Betriebsbeginn im März 2010 läuft der Speicherring PETRA III im „Top-Up“-Modus, zuletzt mit einem gespeicherten Strom von 100 mA, dem angestrebten Betriebswert der Anlage. Dank des Orbit-Feedbacksystems kann die Strahlstabilität auf einer Skala von wenigen 100 nm über Tage gewährleistet werden. Damit wurden alle für den Nutzerbetrieb geplanten Maschinenparameter erreicht.

Alle Strahlführungen von PETRA III sind mit Undulatoren ausgestattet. Durch sehr sorgfältige Justierung ist es gelungen, die Feldkorrekturen der Undulatoren so zu optimieren, dass die zur Einstellung der Photonenenergie notwendigen Änderungen der Undulator-Magnetabstände keinerlei Auswirkungen auf den Betrieb des Speicherrings und auf andere Experimente haben.

Bis Anfang 2011 wurden 11 Strahlführungen mit 14 Instrumenten in Betrieb genommen, davon haben drei (P08, P09 und P10) den regulären Nutzerbetrieb mit insgesamt 150 einzelnen Nutzern im Jahr 2010 erfolgreich aufgenommen. An fünf weiteren Strahlführungen wurden in der Zwischenzeit erste Testexperimente mit externen und internen Nutzern durchgeführt. Alle verbleibenden Strahlführungen haben inzwischen mit der Inbetriebnahme begonnen.

In der ersten Veröffentlichung von Forschungsergebnissen an PETRA III werden Röntgenbeugungsexperimente an dünnen PbSe-Filmen auf einer 100 nm dicken PbTe-Pufferschicht beschrieben, die wiederum auf ein CdTe-Substrat aufgebracht wurde. Diese Experimente wurden an der neuen Strahlführung P08 durchgeführt. Die Charakterisierung der Verteilung von Versetzungen in solchen heteroepitaktischen Systemen spielt eine wichtige Rolle bei der Prozessoptimierung von Halbleitern. Hervorgerufen werden die Versetzungen durch die unterschiedlichen Gitterkonstanten von Film und Substrat, die bei sehr unterschiedlichen Werten sogar zu einer Beeinträchtigung der Leitfähigkeit führen können.

Die gemessenen Datenpunkte (Reciprocal Space Maps, RSM) zeigen die Position des Maximums der CdTe-Bragg-Kurve bei einer Röntgenenergie von 8994 eV sowie die Position des PbSe-Maximums. Sie beweisen, dass der PbSe-Film keine

Verspannungen aufweist. Somit muss eine plastische Relaxation stattgefunden haben. Hier hat sich also das Gitter durch Bildung von Versetzungen an die Unterlage angepasst. Die Auswertung der Messergebnisse ergab, dass Versetzungen vorhanden sind, deren mittlerer Abstand 10,5 nm beträgt, wobei die zugrundeliegende Gaußverteilung eine Halbwertsbreite von 0,81 nm besitzt. Computersimulationen dieses Systems liefern nahezu identische Werte und konnten durch die Experimente bei PETRA III verifiziert werden.

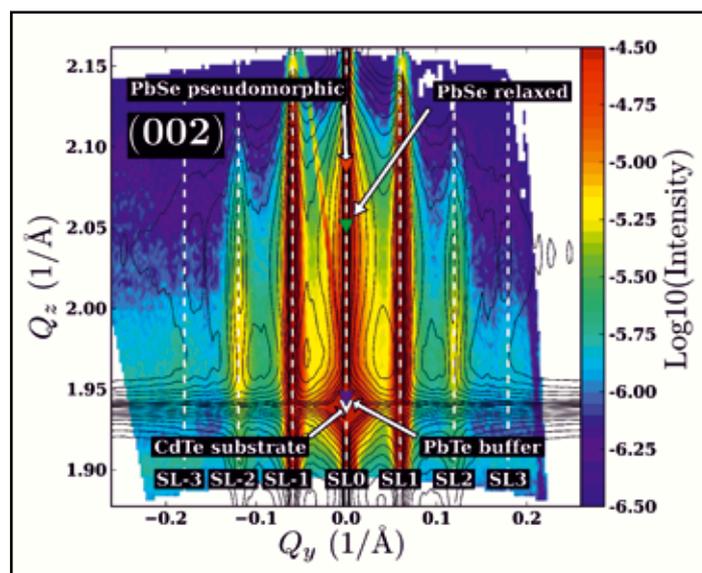


Abbildung 1

Die linke und rechte Abbildung zeigen die entlang verschiedener Gitterebenen (002) und (115) gemessenen Datenpunkte um die Position des Maximums der CdTe-Reflexionskurve. Die Messwerte sind durch eine farbige Legende gekennzeichnet, während die schwarzen Konturlinien die Simulationsdaten kennzeichnen. Ihnen liegt eine Gaußverteilung der mittleren Abstände mit einer Halbwertsbreite von 0,81 nm zugrunde.

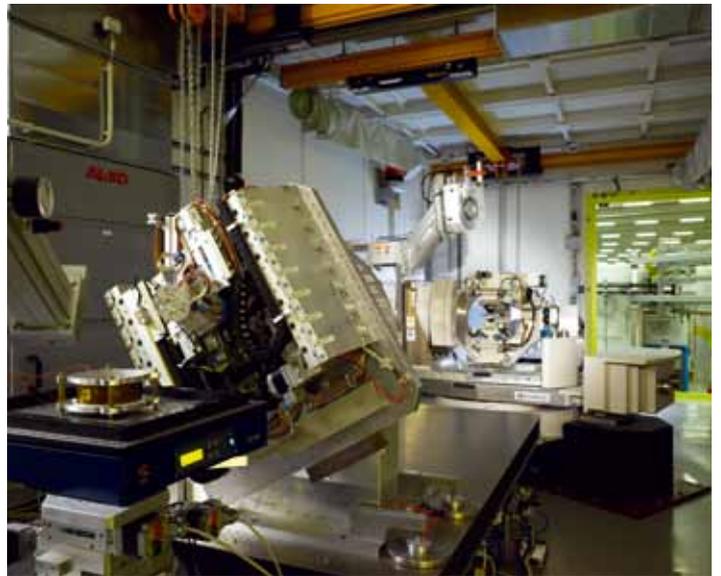
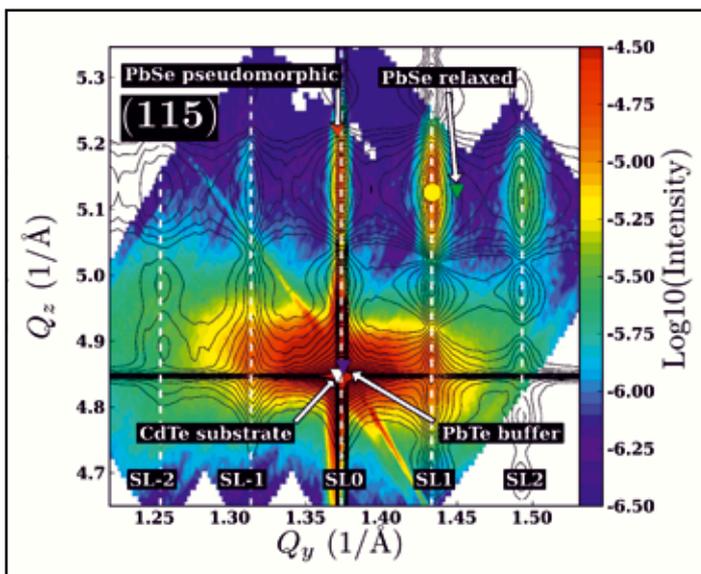
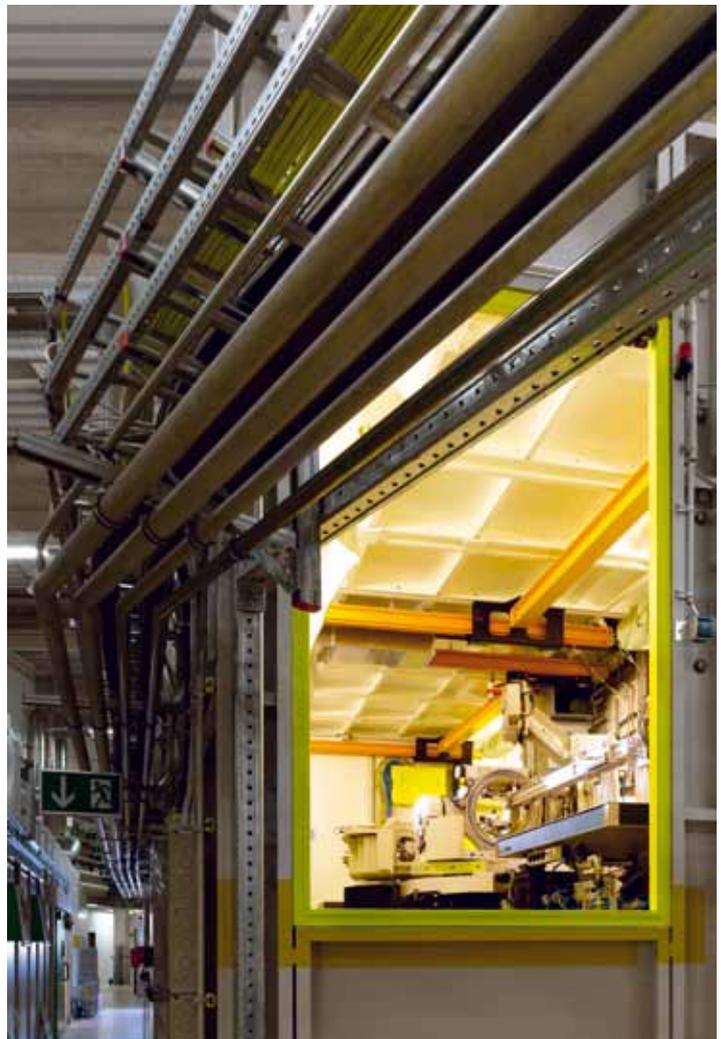


Abbildung 2 und 3  
Messplatz in der  
Experimentierhalle von  
PETRAIII



**Originalveröffentlichung:**

“Analysis of periodic dislocation networks using x-ray diffraction and extended finite element modeling”, Appl. Phys. Lett. 96, 131905 (2010).

# Forschungsplattformen.

## Center for Free-Electron Laser Science (CFEL)

Das Center for Free-Electron Laser Science (CFEL) konzentriert sich auf die Forschung an und mit speziellen Freie-Elektronen-Lasern wie FLASH, LCLS und in Zukunft dem European XFEL. CFEL ist eine Kooperation von DESY, der Max-Planck-Gesellschaft (MPG) und der Universität Hamburg. Forscherinnen und Forscher aus unterschiedlichen Disziplinen treffen sich unter dem Dach des CFEL, um in einem anregenden Umfeld von Interdisziplinarität und Internationalität die sich ergebenden Synergien zu nutzen. Die drei Partnerinstitutionen vereinen ihre Kompetenzen zur Erforschung struktureller Änderungen von Atomen, Molekülen, kondensierter Materie, Schmelzen oder biologischen Systemen auf extrem kurzen Zeitskalen und leisten damit einen wichtigen Beitrag zur Erforschung dynamischer Prozesse.

CFEL ist in den letzten Monaten auf mehr als 100 Wissenschaftler angewachsen, zuzüglich zwölf technischer und administrativer Angestellter. Dieses Wachstum, insbesondere der Gruppen von H. Chapman, R. Santra, D. Miller und A. Cavalleri, macht deutlich, wie dringend nötig der Umzug der CFEL-Gruppen und -Labore in das im Bau befindliche CFEL-Gebäude ist. Auch für den Aufbau der Gruppe von F. X. Kärtner, der im Januar 2011 seine Arbeit bei DESY aufgenommen hat, wird noch Platz benötigt.

Das Richtfest des CFEL-Neubaus fand wie geplant am 20. Juli 2010 statt, obwohl aufgrund der langen Winterruhe und einem Bauverzug von über fünf Monaten nicht die gesamten Stockwerke des Gebäudes fertiggestellt waren. Mit der Fertigstellung

des Gebäudes ist frühestens im März 2012 zu rechnen. Deshalb müssen auf dem DESY-Campus weitere vorläufige Büro- und Laborräume für alle CFEL-Gruppen geschaffen werden.

Das CFEL-Leitungsteam (Abb. 1) wurde durch die Besetzung der letzten offenen Position mit Franz X. Kärtner vom MIT weiter mit höchster Kompetenz vervollständigt. Kärtners Gruppe „Ultrafast Optics & X-rays“ wird sich mit der Entwicklung und Erforschung von ultraschneller Optik und Röntgenquellen beschäftigen.

Stellvertretend für die zahlreichen Forschungsaktivitäten der CFEL-Gruppen werden hier Messungen vorgestellt, die in internationaler Zusammenarbeit am Freie-Elektronen-Laser FLASH

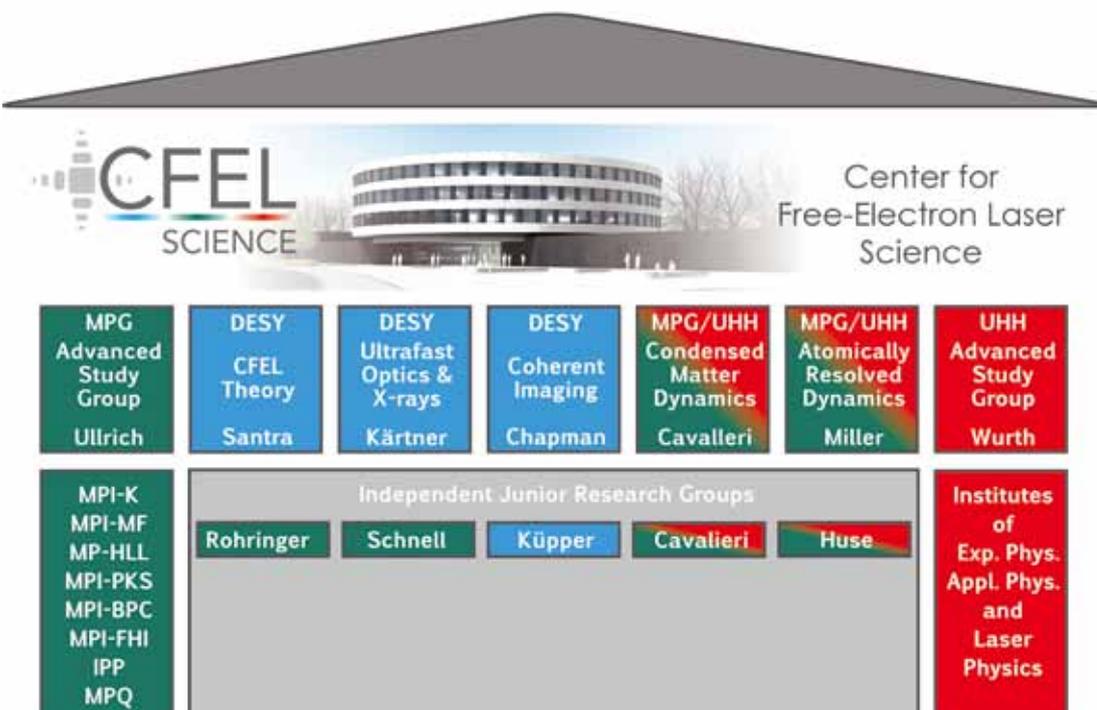


Abbildung 1

CFEL-Organisationsstruktur



Abbildung 2

Luftbild der PETRA III-Experimentierhalle, rechts daneben das CFEL-Gebäude im Bau

durchgeführt wurden. Dabei wurde die grundlegende Frage untersucht, ob ein dreidimensionales Bild von identischen Partikeln aus zweidimensionalen Beugungsbildern rekonstruiert werden kann, die mit unbekannter Orientierung der Partikel aufgenommen wurden. Als Proben für diese so genannte Kryptotomographie dienten einfach elliptisch geformte Nanoteilchen aus Eisenoxid, die durch den FLASH-Photonenstrahl gelenkt wurden. Dabei wurde dieselbe Technik genutzt, die für Einzelpartikel aufnahmen entwickelt wurde.

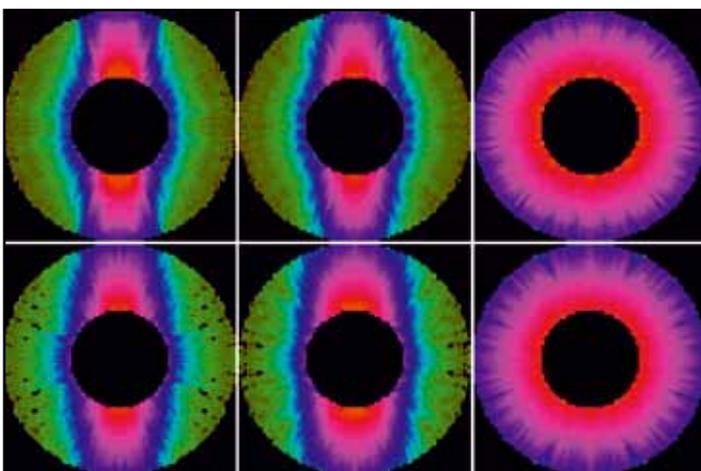


Abbildung 3

Die Abbildung zeigt jeweils zueinander senkrecht stehende Querschnitte des rekonstruierten 3D Beugungsbildes der elliptisch geformten Eisenoxid-Nanoteilchen. Es ist das Ergebnis von zwei unabhängigen Rekonstruktionen.

Die Beugungsbilder der statistisch zufällig verteilten Eisenoxidpartikel wurden bei einer Wellenlänge von 7 nm aufgenommen. Aus den zahlreichen Datensätzen wurden die geeignetsten 50 Einzelaufnahmen für die nachfolgende Rekonstruktion ausgewählt. Die dazu verwendeten Computeralgorithmen basieren auf statistischen Methoden, bei denen man mit einem zufälligen Modell startet und dieses dann Schritt für Schritt optimiert. Eine 3D-Rekonstruktion der einfachen Probenpartikel war in der Tat möglich. Dieser Methodenansatz liefert somit eine vielversprechende Grundlage für zukünftige Untersuchungen komplexerer Strukturen wie z.B. Biomoleküle. Die dabei entwickelte Methodik kam bereits bei den ersten Experimenten mit dem CAMP-Instrument am Röntgenlaser LCLS an biologischen Systemen erfolgreich zum Einsatz.

Weitere Höhepunkte der Forschungstätigkeit von CFEL-Gruppen sind, um nur einige Beispiele zu nennen: die experimentelle Entdeckung von durch Licht induzierter Supraleitung, die zeitabhängige Verfolgung von durch FLASH-Pulse hervorgerufenen chemischen Reaktionen sowie das erstmalige Beobachten eines Phasenübergangs zwischen zwei flüssigen Phasen in Silizium.

#### Originalveröffentlichung:

“Cryptotomography: Reconstructing 3D Fourier Intensities from Randomly Oriented Single-Shot Diffraction Patterns”, *Phys. Rev. Lett.* **104**, 225501 (2010).

# Forschungsplattformen.

## Nano- und Materialwissenschaften Tür an Tür

Um dem wachsenden Bedarf an nanotechnologischen Methoden bei der Forschung mit Photonen an PETRA III und FLASH gerecht zu werden, plant DESY die Errichtung eines Forschungslabors zur Herstellung, Manipulation und Analyse von Materialien und Strukturen auf der Nanoskala: das NanoLab.

Die Außenstelle des Helmholtz-Zentrum Geesthacht (HZG) bei DESY ist an drei Strahlführungen und zahlreichen Projekten an den Lichtquellen DORIS III und PETRA III beteiligt, insbesondere im Bereich der Materialwissenschaften.

### NanoLab

Durch das neue NanoLab bei DESY entsteht die Möglichkeit, Proben in unmittelbarer räumlicher Nähe der Experimente zu präparieren und zu charakterisieren, sowie Probenumgebungen, insbesondere für Experimente unter funktionsrelevanten Bedingungen (z.B. in situ, in operando), in direkter Nachbarschaft zu den Photonenquellen bei DESY vorzubereiten.

Das im NanoLab geplante Portfolio an Synthese- und Analysekapazitäten soll der Eigenforschung und der Forschung von externen Nutzern bei DESY im Bereich der Nanowissenschaften neue Impulse geben und damit die Entwicklung und Entfaltung der vitalen Forschergemeinde stärken. Die städtebauliche Planung des Gebäudekomplexes für das NanoLab, an dem auch das HZG mit einem Gebäudeteil beteiligt sein wird, wurde Ende 2010 begonnen. Der Baubeginn für den ersten Bauabschnitt ist für Frühjahr 2012 geplant.



Abbildung 1

Mikrotomographieaufbau an der Imaging Beamline IBL (P05 an PETRA III). Ein ähnlicher Aufbau wurde bereits an der High Energy Materials Science Beamline HEMS (P07) installiert.

### Helmholtz-Zentrum Geesthacht bei DESY

Im Jahr 2010 wurde das German Engineering Materials Science Centre (GEMS) erfolgreich ins Leben gerufen. Die Außenstelle des HZG bei DESY ist dabei von zentraler Bedeutung und versorgte die Nutzer aus dem Bereich Engineering Materials Science mit hochbrillanter hochenergetischer Synchrotronstrahlung der Speicherringe DORIS III und insbesondere PETRA III.

Es wurde auch damit begonnen, das auf dem DESY-Gelände geplante Engineering Materials Science Centre (EMSC) in einem gemeinsamen Gebäude mit dem DESY-Nanolab vorzubereiten. Ein Großteil der Instrumentierung des EMSC mit Laborröntengeräten und Instrumenten zur Probenvorbereitung wurde bereits erfolgreich in Betrieb genommen.

An der HZG-Strahlführung HARW III bei DORIS III wurden bereits in der Vergangenheit eine Reihe erfolgreicher Experimente durchgeführt. Besonders hervorzuheben ist das neue Abschreck- und Umformdilatometer, das sich als komplexe Probenumgebung einer großen Nachfrage bei den Nutzern erfreut. Es ist ein zentraler Teil des EMSC-Konzepts, das eine komplexe Instrumentierung für In-situ-Experimente vorsieht. Tomographie wurde 2010 wie gewohnt nicht nur an HARW III, sondern auch an der Strahlführung BW2 bei DORIS III angeboten, um einen breiten Energiebereich für unterschiedlichste Materialien vorhalten zu können.

Die High Energy Materials Science Beamline (HEMS) an PETRA III wurde gemeinsam mit Kollegen von DESY erfolgreich in Betrieb genommen. Eine Reihe von ersten Experimenten konnte inzwischen durchgeführt werden. Die auf Mikro- und Nanotomographie spezialisierte Imaging Beamline (IBL) an PETRA III (Abb. 1) stand Ende 2010 unmittelbar vor der Inbetriebnahme, ebenso wie die Strahlführung für Kleinwinkelstreuung BioSAXS des EMBL, an der auch das HZG beteiligt ist.

#### Referenz:

F. Witte et al., 'In vivo corrosion and corrosion protection of magnesium alloy LAE442', *Acta Biomaterialia* 6, 1792-1799 (2010)

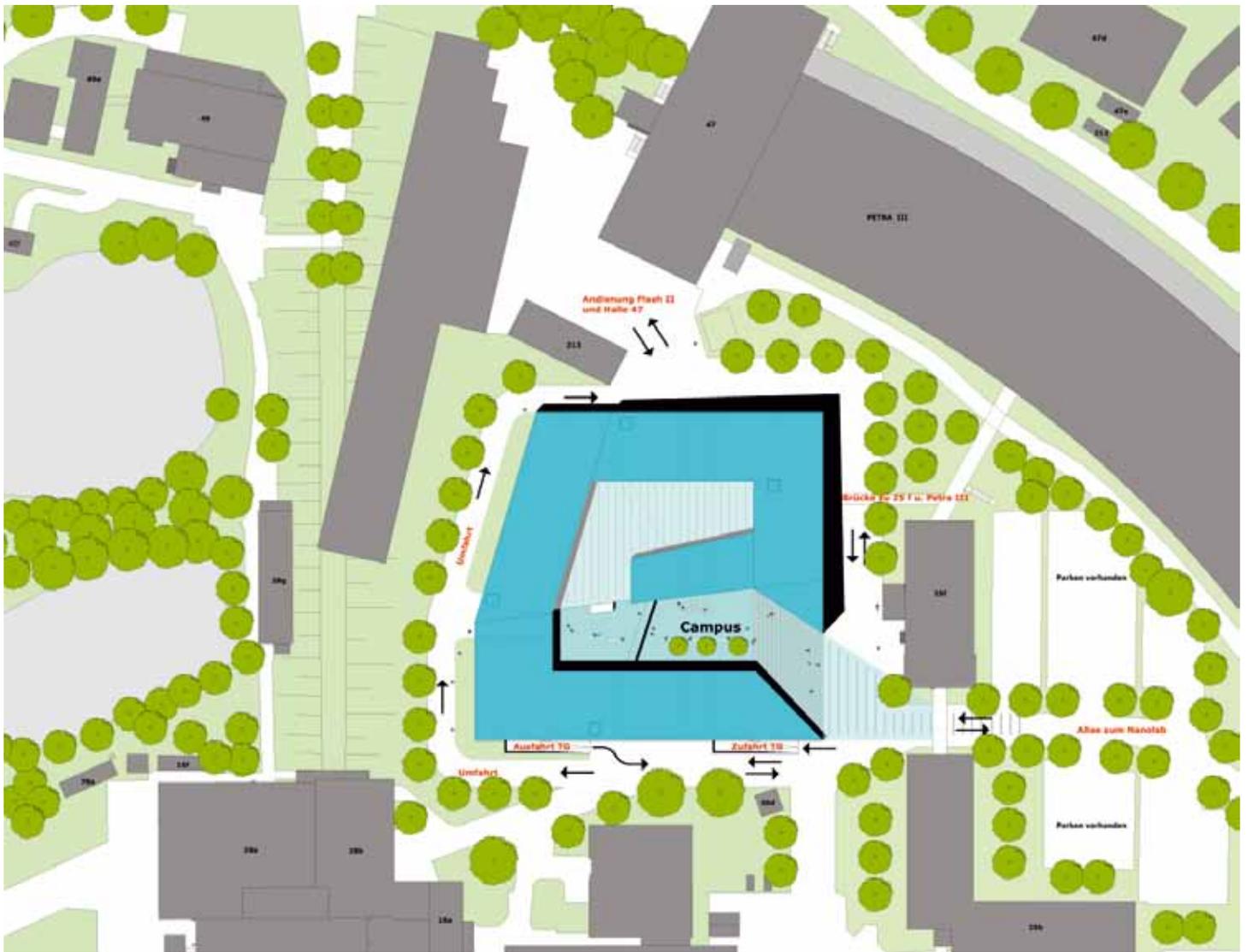


Abbildung 2

Entwurf für das DESY-NanoLab neben dem Gebäude 25f (© planpark Architekten 2010)

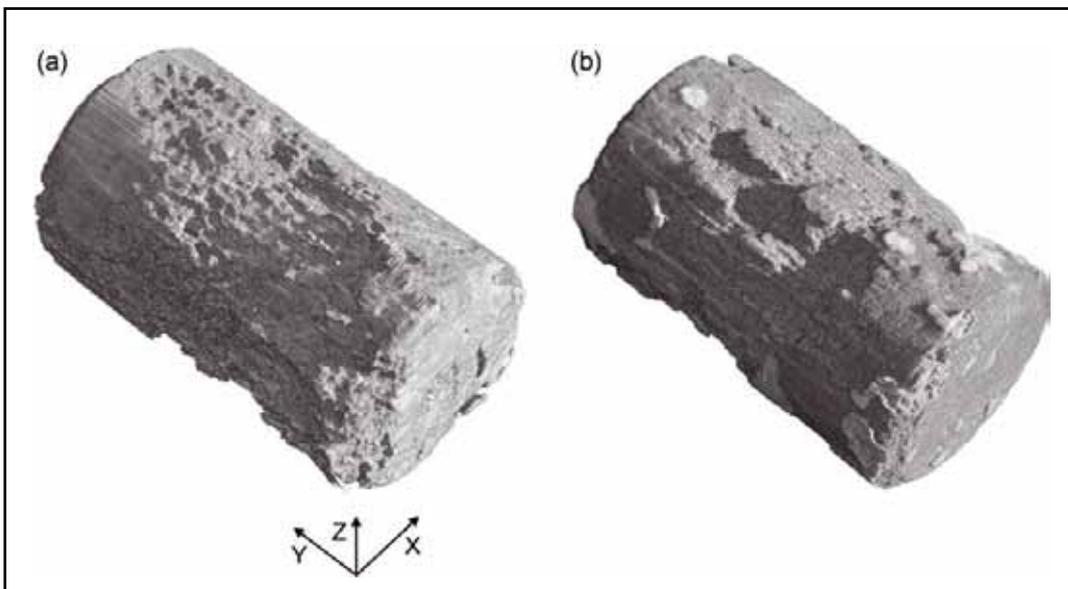


Abbildung 3

HZG-Forschungshighlight: Untersuchung des Korrosionsverhaltens von Magnesium-Implantaten mit Hilfe der synchrotronstrahlungs-basierten Mikrotomographie am HZG-Messplatz HARWI II an DORIS III. Die Beschichtung des Implantatmaterials führt zu unterschiedlichem Korrosionsverhalten, das in den 3D-Messungen quantifiziert werden konnte.

# Forschungsplattformen.

## Molekularbiologie auf dem DESY-Campus

Gemeinsam mit Kooperationspartnern plant DESY die Einrichtung eines Centre for Structural Systems Biology (CSSB) für strukturbiochemische Untersuchungen an den Lichtquellen PETRA III und FLASH.

Die acht Gruppen der Forschungseinheit des Europäischen Laboratoriums für Molekularbiologie (EMBL) bei DESY beschäftigen sich mit Synchrotron-Instrumentierung, Kristallisation, Kleinwinkelstreuung biologischer Proben und der Röntgenstrukturanalyse biologischer Makromoleküle.

Die Arbeitsgruppen für strukturelle Molekularbiologie der Max-Planck-Gesellschaft (MPG-ASMB) nutzen die von DESY bereitgestellten Möglichkeiten für Experimente mit Synchrotronstrahlung zur Untersuchung der Struktur und Funktion biologischer Makromoleküle.

### Centre for Structural Systems Biology (CSSB)

Im Rahmen des bei DESY geplanten interdisziplinären Zentrums CSSB, an dem sich derzeit zehn Universitäten und Forschungseinrichtungen aus dem norddeutschen Raum beteiligen, sollen die Lichtquellen PETRA III und FLASH für strukturbiochemische Untersuchungen genutzt werden. Der Baubeginn wird für 2012 angestrebt.

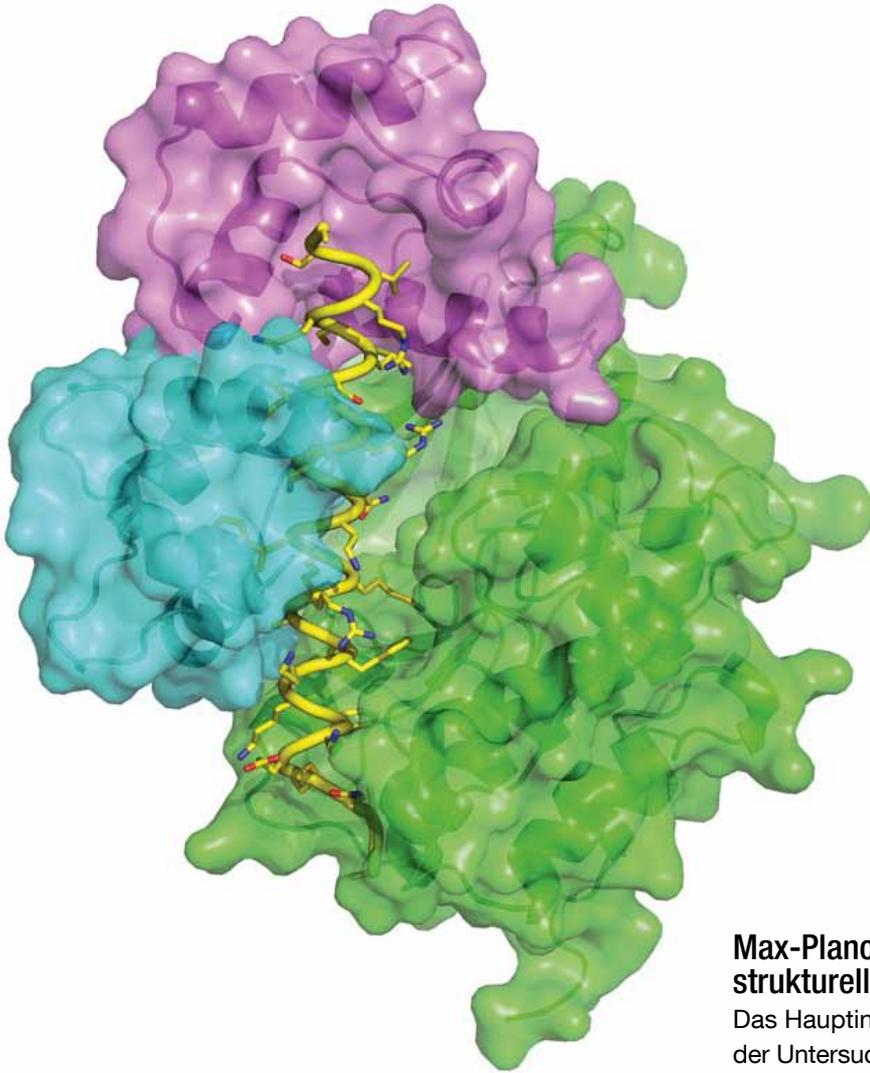
Ziel des CSSB ist die Analyse der molekularen Grundlagen von Infektionen mit hoher räumlicher und zeitlicher Auflösung. Die wissenschaftliche und inhaltliche Koordination des CSSB obliegt einer Taskforce, der Vertreter aller beteiligten Partner angehören (Universität Hamburg, Universitätsklinikum Hamburg-Eppendorf, Heinrich-Pette Institut für Experimentelle Virologie und Immunologie und Bernhard-Nocht-Institut für Tropenmedizin, Hamburg, Helmholtz-Zentrum für Infektionsforschung in Braunschweig, Medizinische Hochschule Hannover, European Molecular Biology Laboratory EMBL, Forschungszentrum Jülich sowie DESY). Weiterhin ist die Einrichtung einer schwedisch-deutschen Nachwuchsgruppe vom Karolinska Institut in Stockholm am CSSB vorgesehen.

Das Bundesforschungsministerium BMBF beteiligt sich mit 36,5 Mio. € an CSSB. Weitere Zuwendungsgeber sind die Bundesländer Hamburg (8,5 Mio. €) und Niedersachsen (5,0 Mio. €). DESY ist für die Koordination des Baus verantwortlich.

### Europäisches Laboratorium für Molekularbiologie (EMBL Hamburg)

Im Fokus der Forschungsanstrengungen der acht Gruppen der Außenstelle des EMBL auf dem DESY-Gelände in Hamburg steht die Entwicklung neuer Geräte zur effektiven Datensammlung an den von EMBL betriebenen Experimentierstationen sowie neuer Software zur automatisierten Interpretation von Synchrotrondaten. Herausragende Ergebnisse der Forschung sind die Softwarepakete ATSAS (Kleinwinkelstreuung) und ARP/wARP (Kristallographie), die weltweit von Tausenden von Wissenschaftlern benutzt werden. Ein Schwerpunkt der biomedizinischen Untersuchungen liegt auf der Tuberkuloseforschung, die zum Teil im Rahmen großer europäischer Konsortien durchgeführt wird, mit dem Ziel, dieses Pathogen als komplettes biologisches System zu verstehen.

EMBL ist Partner des geplanten CSSB und wird mit dem Renommee und der Expertise seiner Wissenschaftler auch weiterhin dazu beitragen, Hamburg zu einem internationalen Exzellenzzentrum in der Strukturbiochemie zu entwickeln. Parallel zu diesen Aktivitäten werden von EMBL Hamburg unter dem Namen EMBL@PETRA III eine Reihe von integrierten Forschungseinrichtungen betrieben und für externe Forschergruppen zur Verfügung gestellt. Derzeitig werden für Anwendungen in der Kleinwinkelstreuung und Röntgenstrukturanalyse biologischer Materialien drei neue Messstationen an PETRA III aufgebaut. Diese werden nach und nach die momentan noch an DORIS III betriebenen Anlagen ersetzen. Sie werden durch eine Einrichtung zur biologischen Probenvorbereitung inklusive automatisierter Kristallisation ergänzt. Weiterhin ist eine leistungsfähige IT-Infrastruktur geplant.



**Abbildung 1**

EMBL-Forschungshighlight: Die dreidimensionale Struktur der Proteinkinase Death Associated Protein Kinase (grün und gelb) im Komplex mit dem Regulatormolekül Calmodulin (violett und blau) wurde mittels Röntgenkristallographie bestimmt (Diego et al., Sci. Signal. 3, ra6 (2010)). Ein detailliertes Verständnis von Strukturen wie dieser ist wichtig, um die biologischen Grundlagen von Krebserkrankungen zu verstehen.

### Max-Planck-Gesellschaft Arbeitsgruppen für strukturelle Molekularbiologie (MPG-ASMB)

Das Hauptinteresse der Arbeitsgruppe Proteindynamik liegt in der Untersuchung enzymatischer Reaktionsmechanismen, die die Grundlage vieler medizinischer und biotechnologischer Anwendungen bilden. Die Arbeitsgruppe Zytoskelett untersucht den Struktur-Funktionszusammenhang von Mikrotubuli und mikrotubuliassoziierten Proteinen, die für die Aufrechterhaltung des intrazellulären Stofftransports wichtig sind und im Falle einer Fehlfunktion zu krankhaften Veränderungen führen können, z.B. zu neurodegenerativen Erkrankungen wie der Alzheimer-Krankheit.

Die Funktionsweise von Enzymen in katalytischen Reaktionen schließt dynamische Änderungen der Konformation ein, deren experimentelle Untersuchung die Aufklärung der Strukturen kurzlebiger Zustände erfordert. Eine Alternative zu zeitlich aufgelösten Verfahren der Proteinkristallographie besteht darin, Reaktionszustände unter Kryo-Bedingungen einzufrieren. Die Anwendung eines derartigen Verfahrens führte erstmals zur Aufklärung der Struktur-Funktionsbeziehungen einer flavinabhängigen Aminoxidase im gesamten Verlauf einer katalytischen Reaktion.



**Abbildung 2**

Ansicht von Gebäude 48e. EMBL betreibt hier in unmittelbarer Nähe zu den Messplätzen an PETRA III Labore zur Vorbereitung von biologischen Proben.

# Neue Technologien und Entwicklungen.

## Optimale Bedingungen für Messplätze bei DESY

DESY entwickelt neuartige Methoden der Strahlungserzeugung sowie neue Technologien für optische Komponenten und Detektoren, um die Bedingungen für die Nutzer der Strahlungsquellen DORIS III, PETRA III und FLASH bei DESY sowie des Röntgenlasers European XFEL zu optimieren.

### Detektoren – der AGIPD-Prototyp

Für den European XFEL entwickelt DESY gemeinsam mit dem Schweizer Paul-Scherrer-Institut (PSI), der Universität Hamburg sowie der Universität Bonn unter dem Projektnamen AGIPD (Adaptive Gain Integrating Pixel Detector) einen neu konzipierten Detektor für ultrakurze Laserlichtblitze im Röntgenbereich. Dieser Hybrid-Pixel-Array-Detektor soll für Messungen am European XFEL genutzt werden, wobei bis zu  $10^4$  Photonen pro Pixel pro Puls gemessen werden können.

Hierfür wurde die „Adaptive-Gain“-Technik entwickelt, bei der die Verstärkung jedes Pixels des Detektors automatisch an die Stärke der erfassten Signale angepasst wird. Für die Entwicklung dieser neuen Technik wurden mehrere Chips entworfen, produziert und getestet. AGIPD-02 ist der erste 16x16-Pixel-Prototypchip mit voller Funktionalität. Kürzlich wurde dieser AGIPD-02-Chip mittels „Bump-Bonding“ mit einem Siliziumsensor verbunden, und das erste Röntgenbild wurde mit voll funktionaler Signalanpassung erfasst.

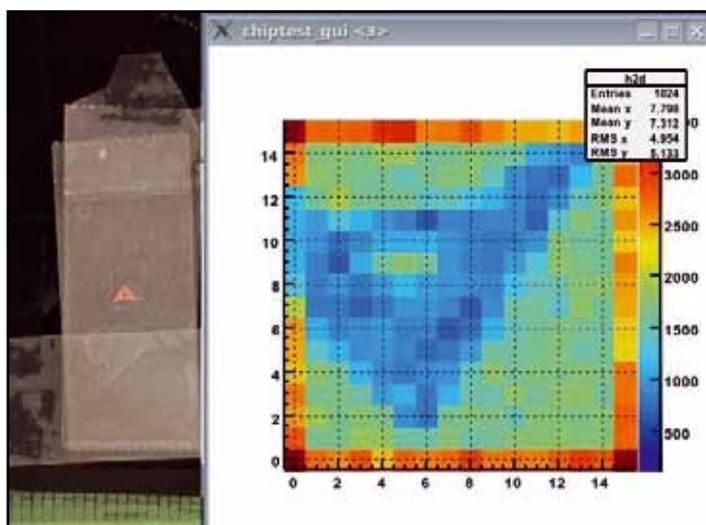


Abbildung 1  
Röntgenbild eines „Kupfer-A“

### Optiken

Die einzigartigen Eigenschaften von Synchrotronstrahlungsquellen wie PETRA III können nur erhalten werden, wenn präzise Methoden zur Befestigung optischer Komponenten zur Verfügung stehen. Für die Halterung von Röntgenspiegeln in Ultrahochvakuumkammern wurde ein neuartiges Bügelhaltesystem entwickelt und zum Patent angemeldet. Das System ist darauf ausgelegt, die hohe Fertigungsgenauigkeit der Spiegel auch nach dem Einbau zu erhalten und den Einfluss der Schwerkraft im Nanometerbereich weitestgehend zu kompensieren.

Hierbei geht es um die Minimierung von Krümmungsfehlern, also darum, die Abweichung der Spiegelform von der vorgegebenen Idealform zu reduzieren. Die Ergebnisse von Finite-Elemente-Rechnungen sowie die am Helmholtz-Zentrum Berlin (HZB) am Institut Nanometeroptik und Technologie gemessenen Eigenschaften von 1 m langen Spiegeln zeigen in der neuen Spiegelhalterung wesentliche kleinere Krümmungsfehler, als sie bei Spiegelunterstützungen an den Bessel-Punkten zu finden sind.

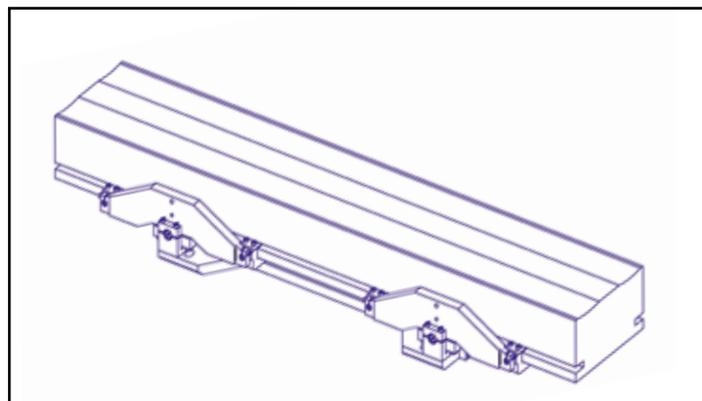


Abbildung 2  
CAD-Zeichnung des neuen Bügelhaltesystems mit montiertem 1 m langem Spiegel

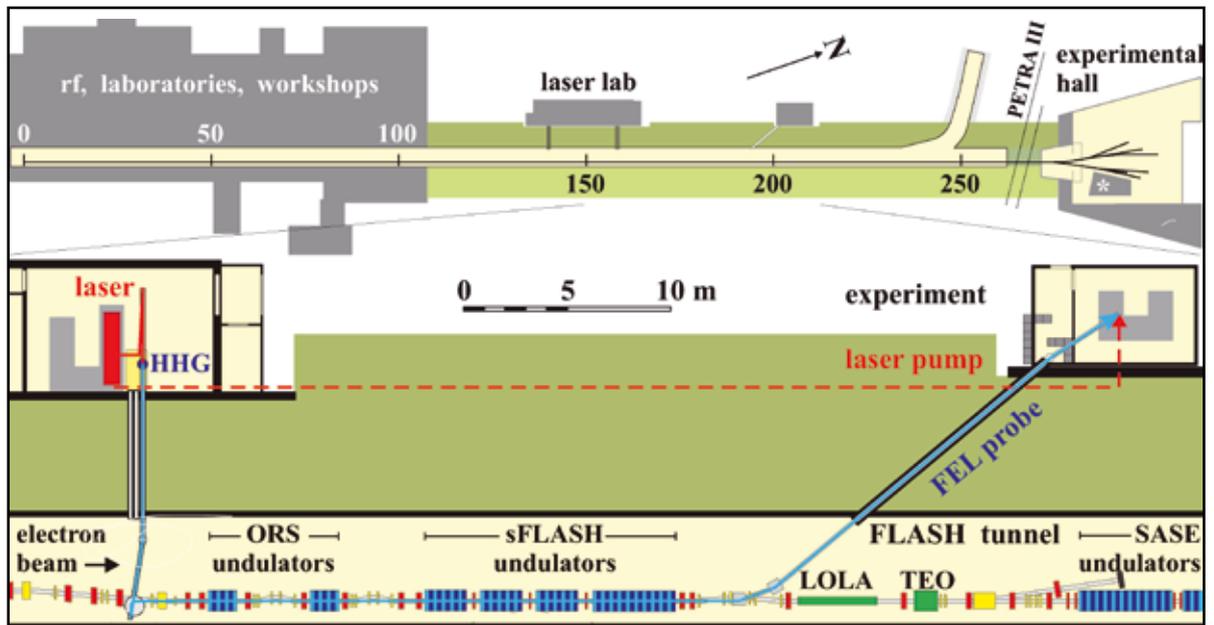


Abbildung 4

Schematische Darstellung des Seeding-Experiments sFLASH am Freielektronen-Laser FLASH

### Inbetriebnahme der Undulatoren bei sFLASH

Mit sFLASH, einer komplexen Erweiterung von FLASH, soll gezeigt werden, dass mittels Licht, das durch so genannte High Harmonic Generation (HHG) eines optischen Lasersystems erzeugt wird, ein direktes Seeding der FEL-Strahlung bei ca. 38nm möglich ist. Das Seeding-Signal wird dabei in segmentierten Undulatoren mit einer Gesamtlänge von insgesamt 10m verstärkt. Vier Undulatoren mit einer Länge von jeweils 2m bzw. 4m wurden im letzten Jahr fertiggestellt, im FLASH-Tunnel installiert und in Betrieb genommen. Bei der aufwändigen magnetischen Vermessung der Undulatoren im Labor konnten ausgezeichnete Ergebnisse für alle relevanten Parameter erzielt werden.

Die Geradheit der Trajektorie ist nur um  $1\ \mu\text{m}$  (rms) größer als die periodische Auslenkung der Elektronen (rund  $6\ \mu\text{m}$ ) und damit nahezu perfekt, insbesondere im Vergleich zur Strahlgröße von etwa  $100\ \mu\text{m}$ . Für den Phasenfehler konnten durch iteratives Abgleichen („Shimmen“) der neuen 2m-Undulatoren Werte von  $1,5^\circ$  (rms) und besser erreicht werden, so dass die Magnet-

strukturen selbst bei der Erzeugung höherer Harmonischer als effiziente Verstärker arbeiten können. Die Kontrollsysteme der einzelnen Undulatoren haben gemeinsamen Zugriff auf die zwischen ihnen liegenden Korrekturspulen und sind zusammen mit den Phasenschiebern vollständig im globalen FLASH-Kontrollsystem integriert. Bei der Inbetriebnahme von sFLASH konnte auf diese Weise auf Antrieb Lasing im SASE-Modus erzielt werden.



Abbildung 3

Detailsicht eines Bügelhalters mit montiertem Spiegel

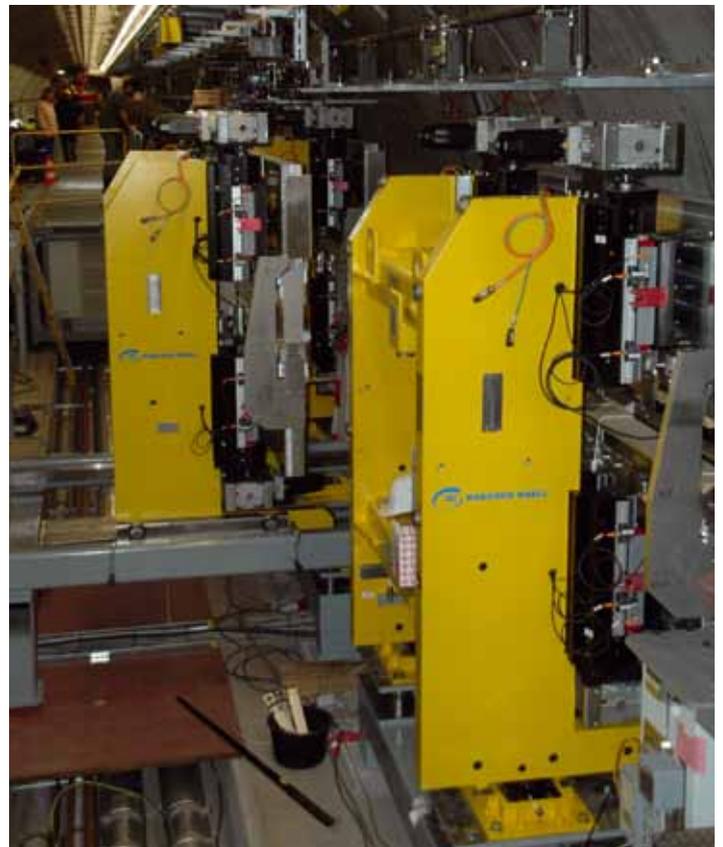


Abbildung 5

Installation der sFLASH-Undulatoren





## Teilchen- und Astroteilchenphysik.

>	Teilchen- und Astroteilchenphysik – Die DESY-Aktivitäten im Überblick	46
>	HERA, Helmholtz-Allianz und LHC	50
>	FuE-Aktivitäten für den ILC	52
>	Theorie	54
>	Astroteilchenphysik	56
>	DESY-Grid-Zentrum	58
>	Programmungebundene Forschung	60

# Teilchen- und Astroteilchenphysik.

Die DESY-Aktivitäten im Überblick



Pressekonferenz anlässlich der Tagung "Physics at the LHC" 2010 in Hamburg

Ziel der Forschung in der Teilchen- und Astroteilchenphysik ist ein umfassendes Verständnis der Materie und Kräfte sowie der Gesetzmäßigkeiten, die die kleinsten elementaren Teilchen im Universum mit den größten Strukturen des Kosmos verknüpfen. Sie umfasst Untersuchungen zum Zusammenspiel von Bausteinen und Kräften der Materie, zu extremen Zuständen kurz nach dem Urknall, zur Evolution und Strukturbildung im Universum, zur Rolle der kosmischen Strahlungen in allen Teilchenarten und Energiebereichen sowie zu Wirkungen von Gravitation und dunkler Materie.

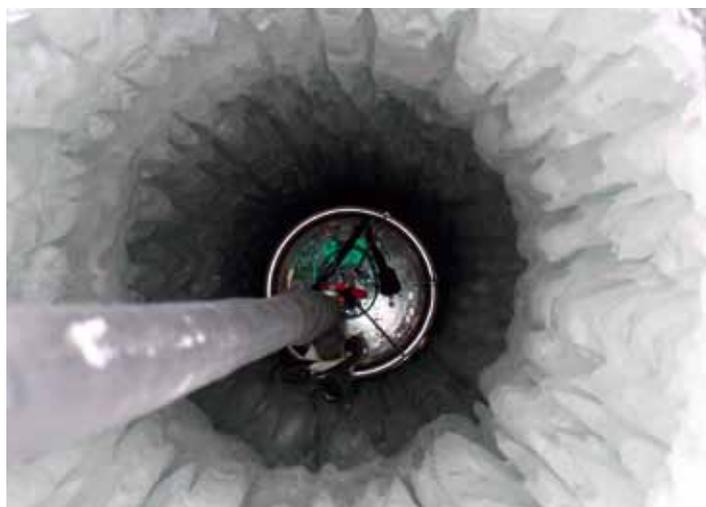
Die Teilchen- und Astroteilchenphysik bei DESY erfolgt in enger Zusammenarbeit mit internationalen Forschergruppen. Die Beschleuniger- und Detektorentwicklung sowie das wissen-

schaftliche Computing bilden dabei wichtige Fundamente. Zunehmend komplexer werdende Rechneranlagen und Datenspeicher sind Voraussetzung für die Auswertung der in den Detektoren generierten Datenmengen. Die Forschungsaktivitäten der Teilchen- wie auch der Astroteilchenphysik sind Teil einer international abgestimmten Strategie, die in den letzten Jahren zu einer globalen Prioritätenliste für künftige wissenschaftliche Projekte geführt hat.

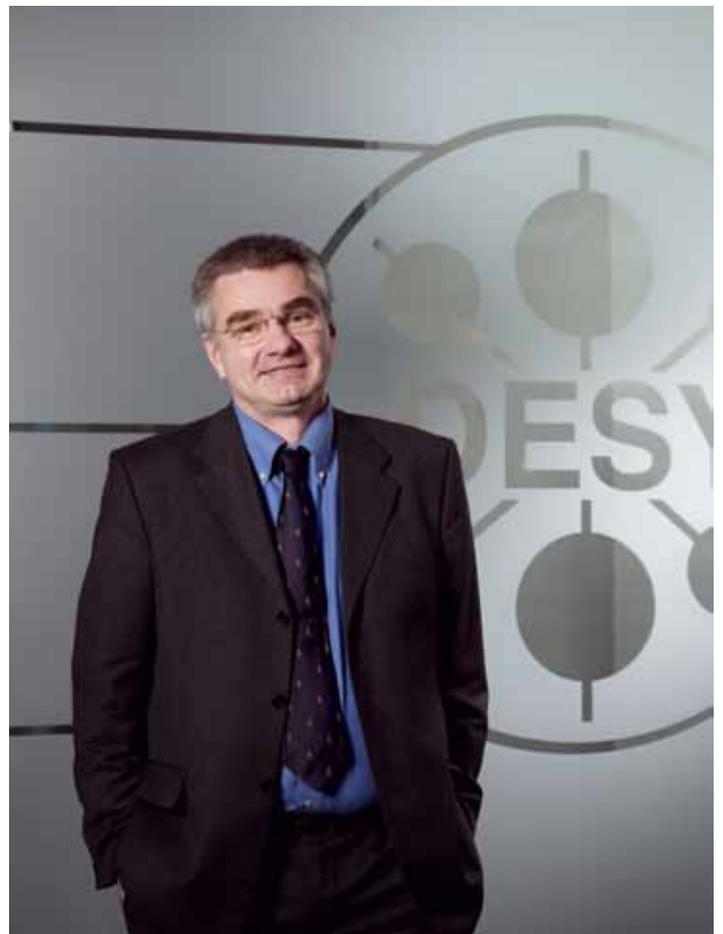
Alle Projekte und wissenschaftlichen Arbeiten in der Teilchen- und Astroteilchenphysik bei DESY im Jahr 2010 verliefen planmäßig und erzielten sehr gute Erfolge. Unbestrittener Höhepunkt der Teilchenphysik war im Berichtszeitraum der erfolgreiche Start des Large Hadron Collider (LHC) beim Forschungszentrum

CERN in Genf Ende März 2010. Seitdem steigt die Luminosität, also die Kollisionsrate der Protonenstrahlen im LHC, stetig an, und die Detektoren registrieren erfolgreich Daten. Mit der Inbetriebnahme des LHC konnten dank des sehr guten Verständnisses der Funktionalität der Experimente sogleich die ersten wissenschaftlichen Publikationen erscheinen. Alle vier LHC-Experimente arbeiteten in kürzester Zeit vielbeachtete Analysen aus, die auf den Daten der aufgezeichneten Kollisionen der ersten Monate basieren. Parallel dazu wurde die experimentübergreifende Analyse der HERA-Daten weiter vorangetrieben. Sie hat zu neuen hochpräzisen Resultaten geführt, die auch für die Interpretation der LHC-Daten wichtige Informationen über die Struktur des Protons liefern. Im Rahmen der Konferenz „Physics at the LHC“, die vom 7. bis 12. Juni 2010 bei DESY in Hamburg stattfand, wurden erste Ergebnisse der LHC-Experimente noch vor den alljährlichen Sommerkonferenzen vorgestellt.

Auch die übrigen Programmt Themen sind wissenschaftlich fortgeschritten. In den nachfolgenden Berichten sind exemplarisch die wesentlichen wissenschaftlichen Ergebnisse aufgeführt. Somit verlief das erste Jahr der LHC-Datennahme für das Tier-2-Zentrum und die National Analysis Facility (NAF) bei DESY außerordentlich erfolgreich. Beide Zentren erfüllten ihre Aufgaben mit großer Zuverlässigkeit und hervorragender Effizienz und stellten den deutschen und internationalen Arbeitsgruppen der LHC-Experimente eine verlässliche Computing-Infrastruktur bereit.



Das letzte digitale optische Modul für den IceCube-Detektor wird ins antarktische Eis hinuntergelassen.



In der Astroteilchenphysik konnte IceCube, das Neutrino teleskop am Südpol, zu dem DESY in Zeuthen ein Viertel der optischen Module sowie einen wesentlichen Teil der Empfangselektronik an der Eisoberfläche beisteuert, Ende 2010 unter Einhaltung des Kosten- und Zeitrahmens fertiggestellt werden. Parallel dazu wurde für das geplante Cherenkov Telescope Array (CTA) eine von der Europäischen Union mitfinanzierte dreijährige Vorbereitungsphase gestartet. CTA soll aus 50 bis 100 Einzelteleskopen bestehen, mit denen die Empfindlichkeit der gegenwärtigen Teleskopanlagen um das Zehnfache übertroffen werden wird. ●

Joachim Mnich  
Direktor für den Bereich Hochenergiephysik und  
Astroteilchenphysik

# HERA, Helmholtz-Allianz und LHC.

Drei wesentliche Schwerpunkte bei DESY

Im Berichtsjahr 2010 wurde die Datenanalyse der HERA-Experimente erfolgreich fortgesetzt. Die Helmholtz-Allianz „Physics at the Terascale“ erreichte Anfang 2010 ihre Halbzeit. Und die ATLAS- und CMS-Gruppen bei DESY beteiligten sich maßgeblich an verschiedenen physikalischen Aspekten und Analysen der beiden LHC-Experimente.

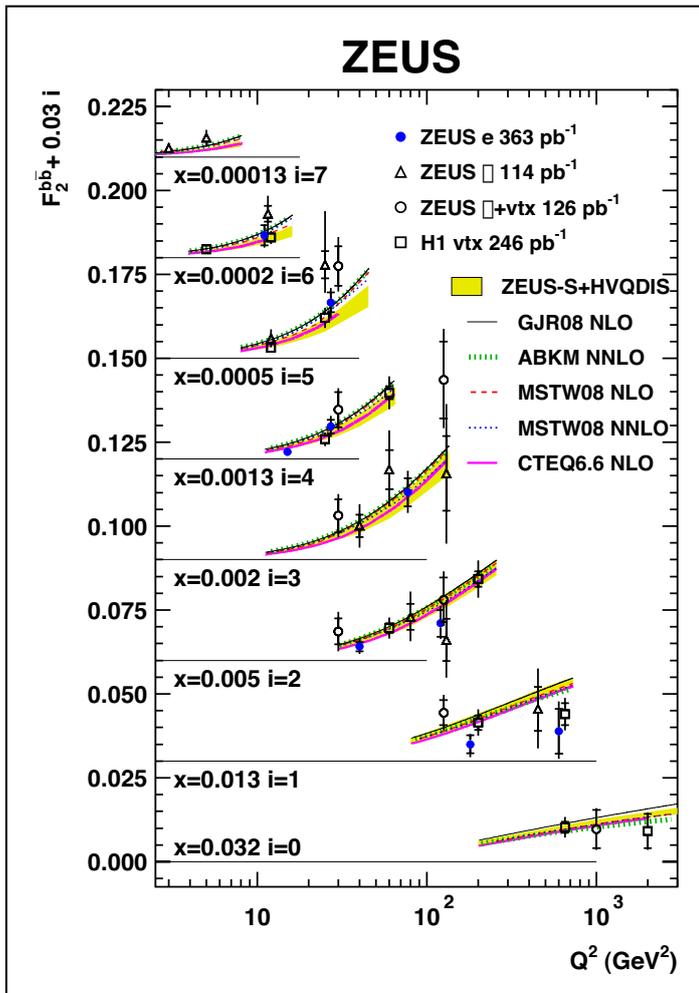


Abbildung 1

Beitrag des Bottom-Quarks zur Strukturfunktion  $F_2$  des Protons aus verschiedenen Datensätzen (Punkte mit Fehlerbalken) im Vergleich zu verschiedenen QCD-Vorhersagen zweiter (NLO) oder partieller dritter (NNLO) Ordnung (Linien und Bänder). Die Messungen sind als Funktion der Photonvirtualität  $Q^2$  für verschiedene Werte der Bjorken-Skalenvariablen  $x$  dargestellt. Alle  $x$ -Werte wurde vertikal versetzt.

## HERA

Die Datenanalyse der HERA-Experimente wurde 2010 erfolgreich fortgesetzt. Die drei HERA-Kollaborationen H1, ZEUS und HERMES kamen auf mehr als 40 Publikationen in internationalen, ISI-referierten Fachzeitschriften. Auf dem „XVIII. International Workshop on Deep-Inelastic Scattering and Related Subjects“ in Florenz im April 2010, der „35th International Conference on High Energy Physics“ in Paris, der SPIN2010 in Jülich sowie auf mehreren anderen Sommerkonferenzen konnte eine Vielzahl neuer Ergebnisse vorgestellt werden.

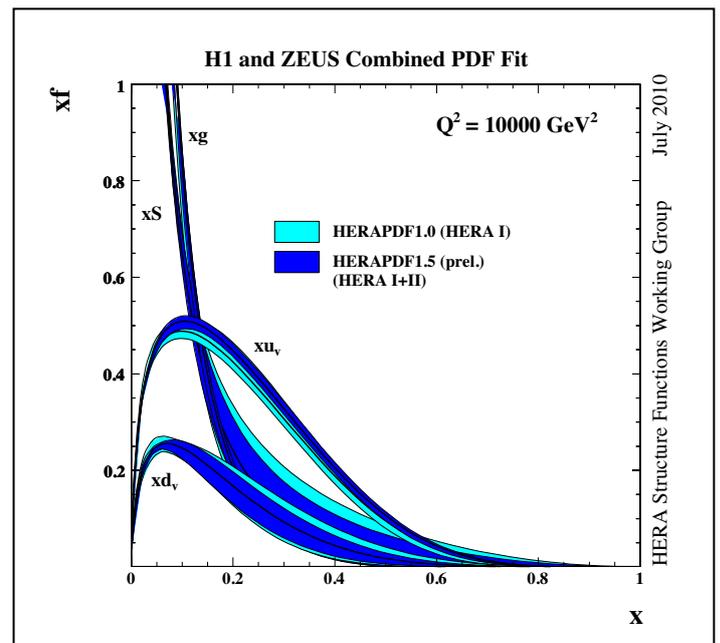


Abbildung 2

Aus den kombinierten HERAII-Daten gewonnene, deutlich präzisere Parton-Verteilungsfunktionen, aufgetragen bei  $Q^2=10000\text{GeV}^2$  – einer für die Wechselwirkungen im LHC typischen Skala.

Die inzwischen veröffentlichten kombinierten HERAI-Daten zu tief unelastischen Streuquerschnitten wurden sofort von verschiedenen Theoriegruppen in ihre globalen QCD-Analysen integriert. Die aus den HERAI-Daten extrahierten Parton-Dichteverteilungen fanden rasch Eingang in die Analysen der LHC-Experimente. Dabei stellt die hohe Präzision der Daten völlig neue Anforderungen an die phänomenologische Interpretation. Diese Analysen werden ergänzt durch ein reichhaltiges Programm von Studien zur Diffraction mittels des Vorwärts-Proton-Spektrometers VFPS bei H1 und zur Produktion von schweren Quarks mittels der mit höchster Präzision kalibrierten Vertex-Detektoren sowohl bei H1 als auch bei ZEUS.

Ein Schwerpunkt der Analysen von HERMES war die Untersuchung der harten exklusiven Elektroproduktion von pseudo-skalaren Mesonen, Vektormesonen und reellen Photonen. Diese Prozesse ermöglichen einen Zugang zu so genannten generalisierten Parton-Verteilungen. Diese erlauben es, ein dreidimensionales Bild des Nukleons zu erhalten, bei dem der longitudinale Impuls der Quarks im Nukleon mit ihrem transversalen Abstand von seinem Zentrum korreliert wird. Mehrere weitere Analysen wurden im Berichtszeitraum abgeschlossen.

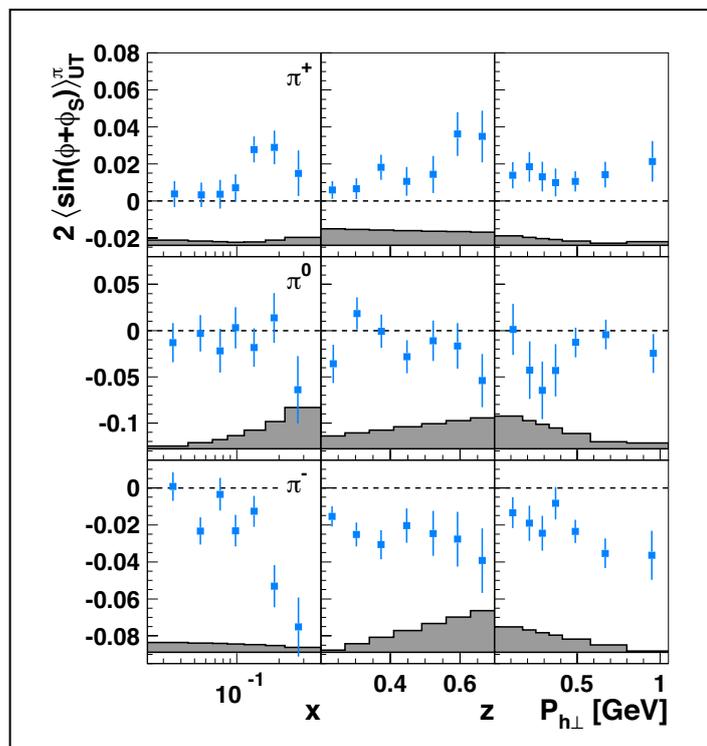


Abbildung 3

Amplituden der Collins-Asymmetrie für Pionen als Funktion des vom getroffenen Quark getragenen longitudinalen Impulsanteils  $x$  des Protons, des vom Pion getragenen Energieanteils  $z$  des virtuellen Photons und des transversalen Impulses des Pions in Bezug zum Impuls des virtuellen Photons.

Zusammenfassend lässt sich sagen, dass sich die HERA-Experimente derzeit auf dem qualitativen Höhepunkt der Datenanalyse befinden und noch für einen Zeitraum von mehreren Jahren Ergebnisse von höchster Qualität liefern werden. Daneben haben auch die intensiven Bemühungen der Experimente um eine langfristige Datensicherung sehr gute Fortschritte gemacht.

## Helmholtz-Allianz

Die Helmholtz-Allianz „Physics at the Terascale“ erreichte mit Beginn des Jahres 2010 ihre Halbzeit. Zweieinhalb Jahre nach dem Start der Allianz sind die Strukturen, wie sie im Helmholtz-Antrag beschrieben werden, weitgehend realisiert. Anfang des Berichtsjahres wurden turnusgemäß die Managementstrukturen der Allianz neu besetzt.

Vorausgegangen war eine Evaluation der Allianz Anfang Dezember 2009 durch ein internationales, hochkarätig besetztes Gremium unter der Leitung von Prof. Dr. Jos Engelen. Das Gremium beurteilte die Arbeit der Allianz als hervorragend und war von dem Erreichten sehr beeindruckt. Darüber hinaus wurde den Zuwendungsgebern dringend empfohlen, Wege zur Fortführung der Allianz über das Jahr 2012 hinaus zu finden. Gemeinsam mit den Partneruniversitäten wird DESY ein Konzept für die Zukunft der Allianz entwickeln und im nächsten Jahr unterbreiten.



In allen vier Arbeitsthemen der Allianz – Analyse, Computing, Detektoren und Beschleuniger – fanden in den vergangenen Monaten vielfältige Aktivitäten statt. Das bei DESY aufgebaute Labor zur Detektorentwicklung wurde fertiggestellt und nahm seine Arbeit auf. Ein wichtiger Teil der Allianz ist das bei DESY angesiedelte Analysezentrum. Die vier Themenbereiche, in denen das Analysezentrum in der nahen Zukunft seine Schwerpunkte setzen wird, wurden intensiv bearbeitet. Auch die Ausbildung von Physikerinnen und Physikern ist ein wichtiger Teil

der Allianz. Im Jahre 2010 wurden deshalb viele Schulen und spezielle Seminare durchgeführt. Nach wie vor sind diese Veranstaltungen außerordentlich gut besucht.



Wissenschaftlich haben Mitglieder der Allianz an der Vorbereitung der Datennahme am LHC, sowohl auf der experimentellen als auch auf der theoretischen Seite, intensiv mitgearbeitet. Die Allianz konnte hier an mehreren Stellen, z.B. durch die Entsendung von Personen ans CERN, durch die Übernahme wichtiger Funktionen helfen.

Im Juni 2010 erhielten DESY und die Universität Hamburg gemeinsam den Zuschlag für eine Humboldt-Professur für Experimentalphysik mit dem Schwerpunkt Beschleuniger für höchste Energien. Der renommierte Forschungspreis geht an Prof. Brian Foster, der zurzeit die Teilchenphysik-Sparte an der Universität Oxford in Großbritannien leitet. Foster und seine Arbeitsgruppe werden bei DESY und an der Universität Hamburg die unter DESY-Federführung entwickelte supraleitende Beschleunigertechnologie für den ILC bis zu höchsten Beschleunigungsfeldern voranbringen. Außerdem wird Foster insbesondere die Entwicklung von neuartigen Beschleunigertechnologien forcieren und beispielsweise Plasmabeschleunigungstechniken auf ihre Eignung für die Teilchenphysik testen. Ein weiteres Tätigkeitsfeld ist die Auswertung der an HERA gewonnenen Daten im Hinblick auf eine Verwendung der Erkenntnisse am LHC.



Professor Brian Foster

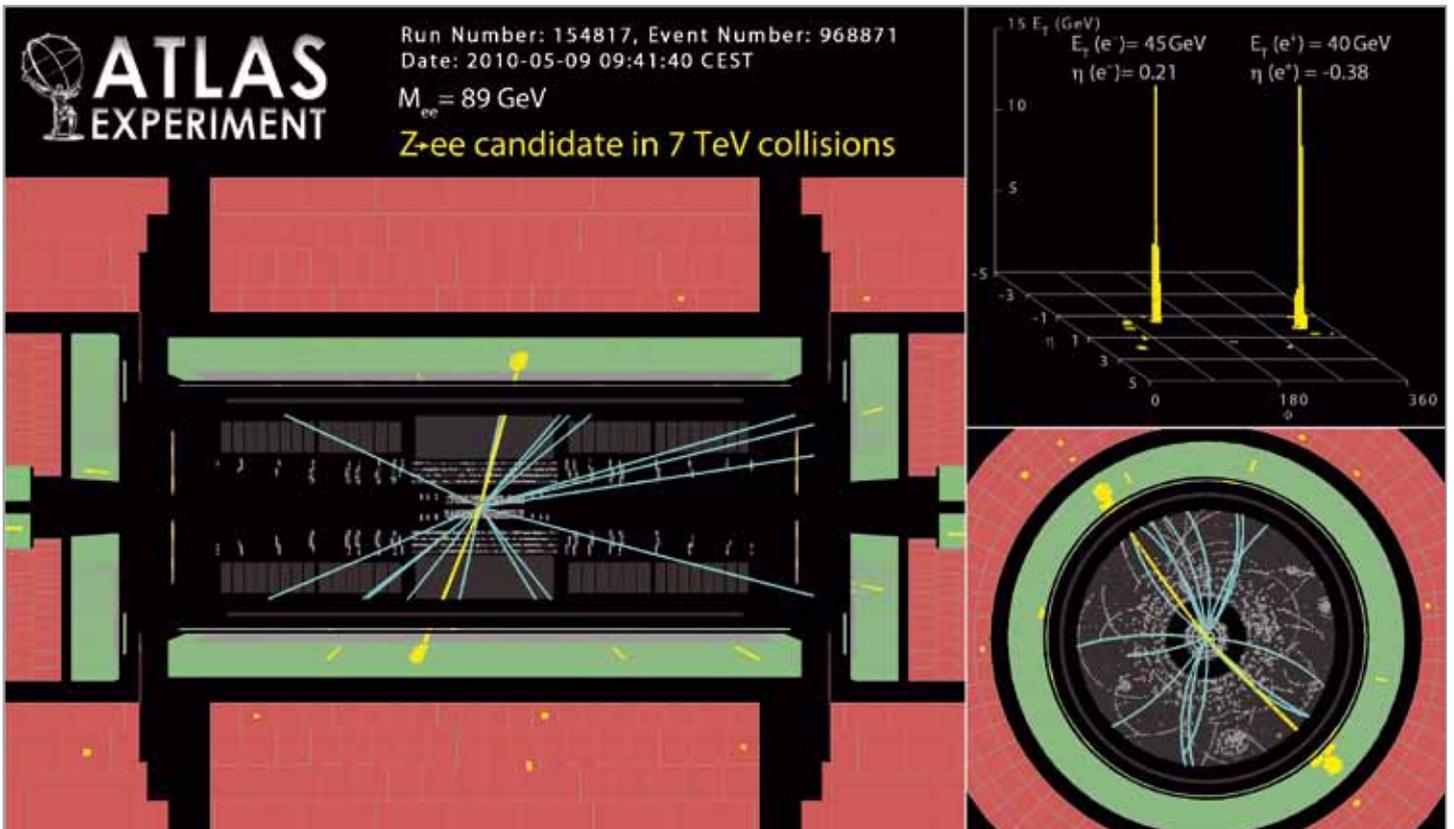


Abbildung 4

Zerfall eines Z-Bosons in ein Elektron-Positron-Paar im ATLAS-Detektor. Die Teilchenspuren erscheinen im linken und unteren Bild auf der rechten Seite als blaue und gelbe Linien (gelb: identifizierte Elektronen). Das obere rechte Bild zeigt die rekonstruierte Energie im Kalorimeter. Die beiden großen gelben Peaks entsprechen den Stellen, an denen die Elektronen aus dem Z-Zerfall ihre Energie abgegeben haben.

## LHC

Die DESY-ATLAS-Gruppe engagiert sich beim ATLAS-Experiment am LHC in mehreren Analysen im Bereich der Standardmodell- und Top-Quark-Physik sowie der Supersymmetrie. Sie ist an mehreren Publikationen beteiligt. Die Gruppe hat die Verantwortung in der Rekonstruktion von Tau-Leptonen übernommen und stellt den stellvertretenden Vorsitzenden des Publikationskomitees sowie einen Koordinator der ATLAS-Monte-Carlo-Gruppe. Ein Gruppenmitglied koordiniert die Top-Quark-Physik unter den deutschen ATLAS-Gruppen sowie die Rekonstruktion der Top-Quarks in ATLAS.

Ein experimenteller Schwerpunkt der Gruppe ist der Trigger. In Zusammenarbeit mit den Universitäten Hamburg und Berlin arbeitet die Gruppe an der Konfiguration und der Überwachung des Triggers. Insbesondere leistet sie wesentliche Beiträge zur Konfiguration der Triggermenüs. DESY beteiligt sich gemeinsam mit der Humboldt-Universität zu Berlin am Bau des Luminositätsdetektors ALFA. Ein Physiker der ATLAS-Gruppe koordiniert die Öffentlichkeitsarbeit für CERN und LHC unter den deutschen LHC-Physikern. Höhepunkt der Berichtsperiode war der Beginn der Datennahme am LHC bei einer Schwerpunktsenergie von 7 TeV.

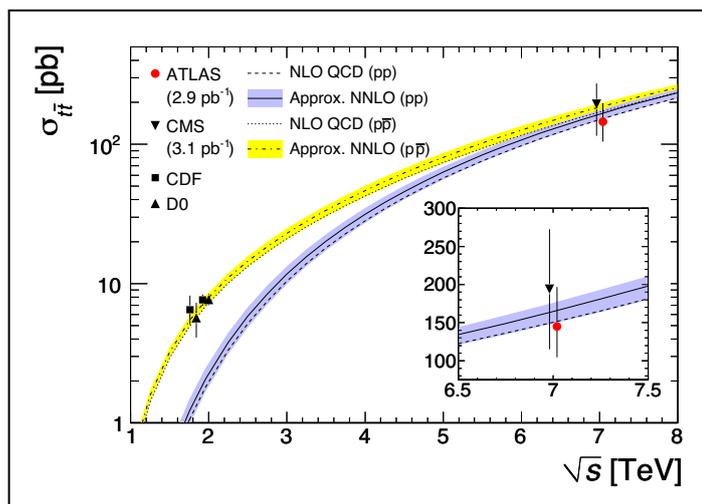


Abbildung 5

Messungen des Wirkungsquerschnitts für Top-Quark-Paare am Tevatron und LHC verglichen mit neuen theoretischen Rechnungen zweiter (NLO) und approximierter dritter (NNLO) Ordnung.

Die DESY-CMS-Gruppe beteiligt sich an vier verschiedenen physikalischen Aspekten des CMS-Experiments: In der Arbeitsgruppe zur Vorwärtsphysik stellt sie den Koordinator und steuert mit dem Betrieb und der Kalibration des CASTOR-Kalorimeters spezielle Daten für entsprechende Analysen bei. In Vorstudien zur Suche nach dem Higgs-Boson wurde nach bekannten Teilchen gesucht und anhand der gemessenen Werte ihrer Eigenschaften die exzellente Funktion des Spurendetektors verifiziert. Die Ergebnisse veröffentlichte die CMS-Kollaboration in einer Performance-Studie. Die Aktivitäten der Top-Quark-Gruppe sind über die Identifizierung von nachfolgenden Bottom-Quark-Zerfällen eng mit denen der Higgs-Gruppe verbunden. Die vierte Analysegruppe beteiligt sich mit ihren Studien an der Suche nach Hinweisen auf supersymmetrischen Teilchen.

Die effiziente Durchführung der Physikanalysen wird durch den erfolgreichen Betrieb des Tier-2-Zentrums und der National Analysis Facility (NAF) bei DESY ermöglicht. Die DESY-CMS-Gruppe stellt innerhalb von CMS den Speicherplatz für vier Analysegruppen – QCD, Top-Quark, Vorwärtsphysik und Jet/Missing-ET-Rekonstruktion – zur Verfügung. Ebenso stellt sie den schnellen Datenzugriff sehr verlässlich sicher. Diese ausgewählten Datensätze sind relevant für Physikanalysen, die vor Ort bei DESY betrieben werden.

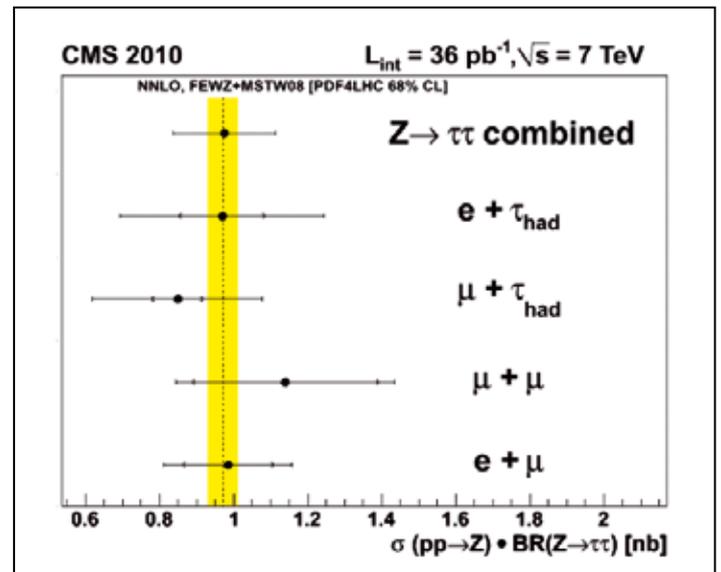


Abbildung 6

Der Wirkungsquerschnitt  $\sigma(\pi\pi \rightarrow Z) \cdot \text{BR}(Z \rightarrow \tau\tau)$ , gemessen in verschiedenen Zerfallskanälen von Tau-Leptonen, sowie der Wert aus dem kombinierten Fit. Ergebnisse aus einer Datenmenge von  $36 \text{ pb}^{-1}$ , aufgenommen mit dem CMS-Detektor bei einer Schwerpunktsenergie von 7 TeV.

Die Zeit der ersten Datennahme verlief für das CMS-Experiment sehr erfolgreich. Die Effizienz der Aufzeichnung lag bei über 90% mit einer sehr guten Datenqualität. Hierzu tragen Mitglieder von DESY an Schlüsselpositionen bei: unter anderem mit der Koordination der Datenqualitätsüberwachung, den täglichen Schichten im CMS Remote Centre bei DESY zur Sicherung der Datenqualität sowie mit dem Betrieb des Beam Condition Monitors, dessen promptes Signal zur Strahlqualität sowohl vom CMS-Experiment als auch von der LHC-Maschine verwendet wird. Mit der Koordination der Kalibrations- und Alignment-Gruppe und den Studien zur Ausrichtung der Sensoren des Spurendetektors legen Mitglieder der CMS-Gruppe den Grundstein für präzise Physikanalysen. Ein Teil der Schichtverpflichtungen von DESY und der Universität Hamburg werden vom DESY CMS Remote Centre aus am Standort Hamburg erfüllt. Alle Nachmittagschichten für die Sicherung der Qualität der rekonstruierten Daten werden lokal in Hamburg durchgeführt.

# FuE-Aktivitäten für den ILC.

## Auslegung der Anlage, Beschleunigungsgradient und Teststrahlexperimente

Seit Jahren laufen weltweit Forschungs- und Entwicklungsarbeiten für einen Elektron-Positron-Linearcollider mit einer Schwerpunktsenergie von zunächst 500 GeV, ausbaubar auf 1 TeV: den International Linear Collider (ILC). Diese Anstrengungen konzentrieren sich gegenwärtig vorrangig auf zwei Aspekte: die Auslegung der Gesamtanlage und die Weiterentwicklung des Beschleunigungsgradienten. Hinzu kommen Teststrahlexperimente bei DESY und CERN, insbesondere für die Entwicklung von Detektorkomponenten.

### ILC

Es zeichnet sich ab, dass auch für den ILC eine Auslegung des Beschleunigers in einem einzelnen Tunnel möglich ist und auf den ursprünglich vorgesehenen Doppeltunnel verzichtet werden kann. Alle beteiligten Regionen (Asien, Amerika und Europa) haben eine Lösung gefunden, die den Sicherheitsanforderungen genügt und gleichzeitig einen effizienten Beschleunigerbetrieb ermöglicht. Ein entsprechender Antrag zur Änderung des Referenzdesigns wurde mittlerweile angenommen.

Die Fortschritte im ILC-Entwicklungsprogramm sind offensichtlich: Das für 2010 avisierte Ziel eines Gradienten von 35 MV/m bei 50 % Erfolgsquote der Produktion wurde übertroffen. Der europäische Röntgenlaser European XFEL kann von diesen Anstrengungen ebenfalls profitieren, da hohe Gradienten jenseits des Entwurfswerts eine Erweiterung der Energereichweite der Anlage ermöglichen würden. Der Freie-Elektronen-Laser in Hamburg FLASH nutzt diese supraleitenden Resonatoren seit Jahren. Für den ILC wurden die im vergangenen Jahr bei einer speziellen Messkampagne (9mA Run) gewonnenen Daten weiter ausgewertet. Gegenwärtig stellen sie weltweit die einzigen Daten dar, bei denen die Resonatoren unter ILC-Betriebsbedingungen überprüft werden.

In diesem Zusammenhang unterstützt DESY auch die Kryomodulentwicklung von KEK in Japan in Kooperation mit Fermilab (USA), INFN Mailand (Italien) und SLAC (USA). Ziel ist der Zusammenbau von acht Resonatoren zu einem Kryomodul, wobei hochwertige Kavitäten und Zusatzbauteile der beteiligten Forschungszentren benutzt werden sollen. DESY lieferte dafür zwei komplette Resonatoren desselben Typs, der auch beim European XFEL verwendet wird. Mitarbeiter von DESY führen zu KEK und beteiligten sich sowohl am Einbau der Fermilab- und DESY-Resonatoren in den Kryostaten als auch an der Inbetriebnahme und dem Testbetrieb mit hoher Leistung. Das so genannte S1-Global-Programm ist mittlerweile erfolgreich abgeschlossen, die Auswertung der aufgenommenen Daten wird nun durchgeführt.

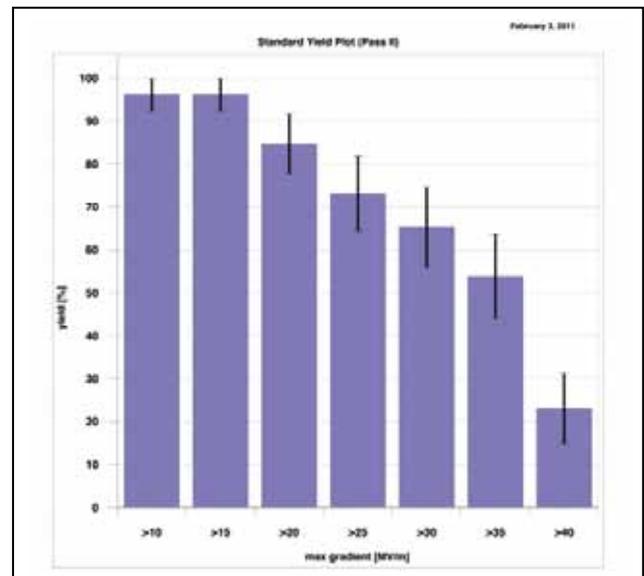


Abbildung 1

Anzahl der produzierten supraleitenden Resonatoren, aufgetragen als Funktion des nach dem zweiten Durchgang maximal erreichten Beschleunigungsgradienten. Die Gesamtanzahl der Resonatoren mit Gradienten oberhalb von 35 MV/m liegt über 50 %.

### DESY-Teststrahlexperimente

DESY betreibt im Rahmen des Betriebs seines Synchrotrons gleichen Namens eine 6 GeV-Lepton-Teststrahlanlage. Interne und externe Gruppen nutzen diese Anlage, die sich zunehmenden Zuspruchs erfreut, um Detektorprototypen und kleinere wissenschaftliche Infrastrukturen zu testen.

So hat zum Beispiel eine Gruppe der ATLAS-Kollaboration die Präzisionsvermessung der Faserdetektoren, den Bau der Triggerdetektoren, die Beschaffung der Photovervielfacher und den Bau der Hochspannungsversorgung übernommen und unter Leitung eines DESY-Physikers im Teststrahl getestet. Gruppen aus Frankreich, Kanada und Japan haben im Berichtsjahr die bei DESY entwickelte Infrastruktur des Silizium-Pixel-Teleskops und der Zeitprojektionskammer (Time Projection Chamber, TPC)



**Abbildung 2**

Mit Hilfe des EUDET-Teleskops im DESY-Teststrahl lässt sich die exakte Position der Elektronen bestimmen.

intensiv genutzt. Das Pixel-Teleskop wurde anschließend sehr erfolgreich am CERN eingesetzt, sowohl für ILC-Entwicklungen als auch für Gruppen von ATLAS.

Neue Räumlichkeiten für die Entwicklung von Detektorkomponenten konnten 2010 im Bereich des ehemaligen HERA-B-Experimentes in Betrieb genommen werden. Diese bieten gute Voraussetzungen für innovative Projekte und Entwicklungen.

### Teststrahlexperimente am CERN

In enger Kooperation mit CERN konnte im Sommer 2010 ein neues Teststrahlexperiment im Rahmen der CALICE-Kollaboration am CERN in Betrieb genommen werden. Basierend auf den in den vergangenen Jahren entwickelten Kalorimeterstrukturen werden dort Studien zu Wolfram-Absorbern in einem Kalorimeter durchgeführt. Diese werden für zukünftige Experimente bei hohen Energien sehr wichtig sein. Das Experiment wurde erfolgreich in Betrieb genommen.

### Kalorimetrie

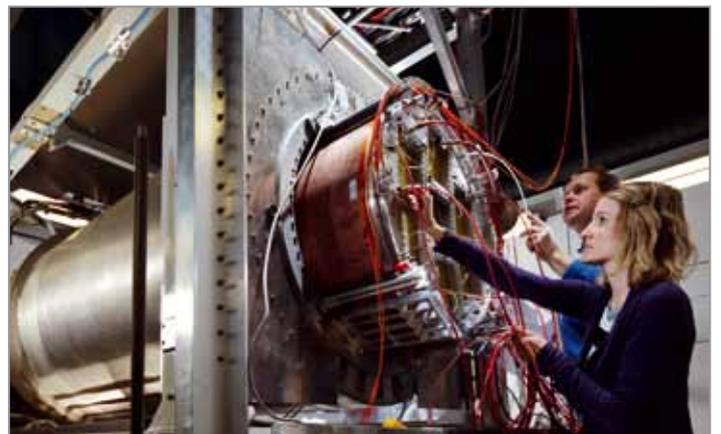
Wichtige Fortschritte konnten im Verständnis extrem strahlenharter Kalorimeter gewonnen werden, die für die Vorwärtsrichtung des ILC von großer Bedeutung sind. In dem Maße, in dem die für einen Linearbeschleuniger entwickelten Technologien reifen, finden sich auch Anwendungen für die Entwicklungen außerhalb des ursprünglichen Zwecks.

So werden am CERN die für den ILC entwickelten Sensoren für Kalorimeter in der Vorwärtsregion als Strahlmonitore erfolgreich eingesetzt, und zwar sowohl am LHC-Beschleuniger als auch im CMS-Experiment. Die im Rahmen von CALICE entwickelte Technologie der auf Silizium basierenden Photovervielfacher und deren Nutzung in der Kalorimetrie finden inzwischen eine breite Anwendung in vielen Gebieten. Bei DESY werden sie für den Einsatz im CMS-Experiment getestet. Zudem finden sie Anwendung in einem von der Europäischen Union geförderten medizinischen Projekt zur bildgebenden Diagnostik. Die im Rahmen des ILC entwickelte Software findet inzwischen auch Anwendungen bei dem BELLEII-Projekt in Japan und bei Teststrahlexperimenten von ATLAS.



**Abbildung 3**

Leistungstest der S1-Global-Resonatoren von DESY bei KEK in Japan im Oktober 2010



**Abbildung 4**

Das TPC-Prototypexperiment am DESY-Teststrahl

Das Forschungsprogramm der DESY-Theorie an den Standorten Hamburg und Zeuthen umfasst die wichtigsten theoretischen Herausforderungen der heutigen Teilchenphysik. Die Forschung ist eng mit den Experimenten bei DESY, am CERN und an anderen Teilchenphysik-Laboratorien in der Welt verknüpft, sie liefert Erklärungen für experimentelle Beobachtungen sowie Vorhersagen für zukünftige Experimente. Die Rechnungen der DESY-Theorie werden sowohl analytisch als auch mit Hilfe von komplexen Höchstleistungsrechnern durchgeführt.

### Collider-Phänomenologie

Ein Schwerpunkt der Forschung in der Arbeitsgruppe Collider-Phänomenologie der DESY-Theorie war der Test von Vorhersagen supersymmetrischer Modelle anhand von elektroschwachen Präzisionsdaten, Ergebnissen aus der Flavour-Physik sowie kosmologischen Daten. Für die experimentell sehr genau gemessenen Massen des Top-Quarks und des W-Bosons konnte gezeigt werden, dass die indirekten Vorhersagen der betrachteten supersymmetrischen Modelle in beeindruckender Weise mit den Messwerten übereinstimmen, was eine Verbesserung gegenüber der Situation im Standardmodell der Teilchenphysik darstellt. Im Bereich der Flavour-Physik an B-Fabriken wurde gezeigt, dass kürzlich bei den Experimenten BaBar und BELLE nachgewiesene Bindungszustände eine Interpretation als 4-Quark-Zustände (Tetraquark) nahelegen. Diese spektakuläre Vorhersage soll nun mit weiteren Daten von BELLE im Detail getestet werden. Die Dynamik der starken Wechselwirkung wurde auch im Bereich der Spinstruktur von Bindungszuständen untersucht. Hierbei wurde insbesondere die transversale Spinstruktur des Pions analysiert.

Die Aktivitäten der Arbeitsgruppe Collider-Phänomenologie sind eng mit denen am Analysezentrum der Helmholtz-Allianz „Physics at the Terascale“ verzahnt. Neben der Zusammenarbeit bei bereits bestehenden Aktivitäten des Analysezentrums, insbesondere im Bereich von Monte-Carlo-Event-Generatoren und Parton-Verteilungen, wurde als neuer Schwerpunkt eine Arbeitsgruppe initiiert, die sich mit globalen Fits in supersymmetrischen Modellen und anderen Modellen der Physik jenseits des Standardmodells beschäftigt.

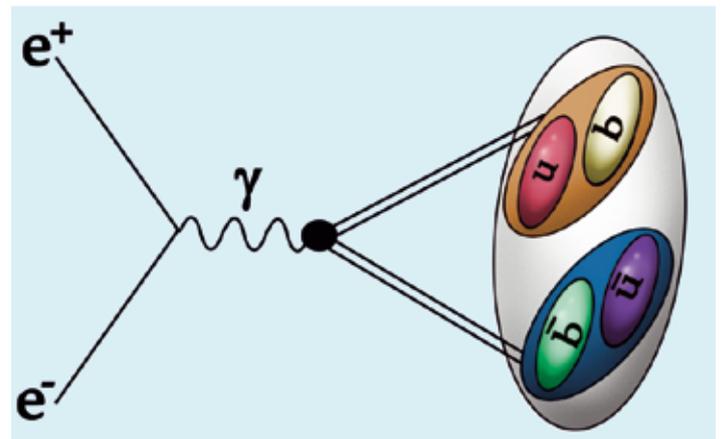


Abbildung 1

Diagramm zur Berechnung der leptonenischen Zerfallsbreite von  $Y_b(10890)$  im Van Royen-Weisskopf-Formalismus

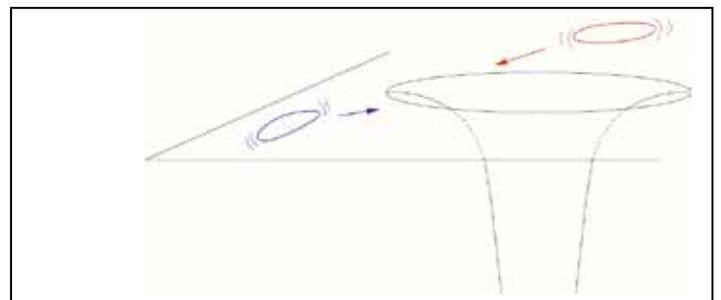
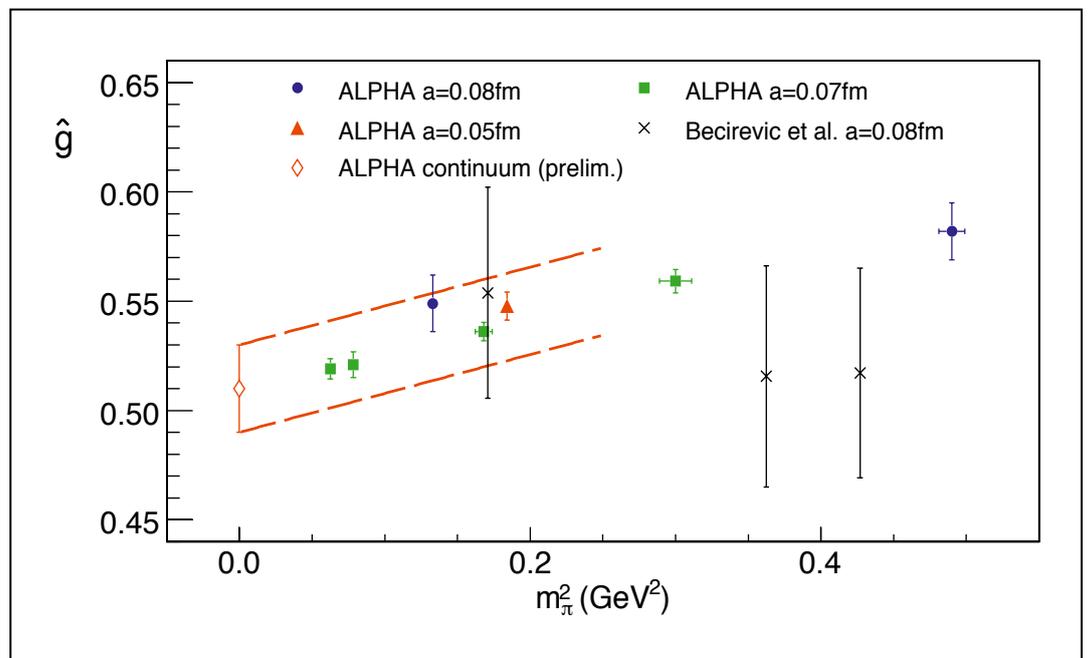


Abbildung 2

Strings in einem gekrümmten Raum verhalten sich deutlich anders als Punktteilchen.

Abbildung 3  
Bestimmung der  $B^* B\pi$ -Kopplung,  $\hat{g}$ , auf dem Gitter.  $\hat{g}$  fließt in die chirale Extrapolation verschiedener hadronischer Matrixelemente in der  $B$ -Physik ein.



## Teilchenkosmologie und Stringtheorie

Arbeitsschwerpunkte in der Teilchenkosmologie bei DESY waren 2010 die quantenfeldtheoretische Berechnung der kosmologischen Materie-Antimaterie-Asymmetrie im Rahmen der Leptogenese, ferner Untersuchungen zu Aspekten der dunklen Materie sowie zur Entwicklung theoretischer Modelle und zur Bestimmung phänomenologischer Schranken für sehr leichte Elementarteilchen (WISPs).

Ein attraktiver Kandidat für eine fundamentale, mit der Quantengravitation konsistente Theorie aller Wechselwirkungen ist die Stringtheorie. Die Arbeitsgruppe Stringtheorie beschäftigte sich im Berichtszeitraum mit verschiedenen Aspekten der AdS/CFT-Korrespondenz. Im Zentrum stand dabei neben der Berechnung von hochenergetischen Streuprozessen bei starker Kopplung vor allem die Quantisierung von geschlossenen Strings in Anti-de-Sitter-Hintergründen.

In den letzten Jahren wurden große Fortschritte bei der Stabilisierung der sechs Extradimensionen der Stringtheorie bei unmessbar kleinen Radien erzielt. Im Rahmen dieses Prozesses der „Modulistabilisierung“ sind die ersten konkreten Modelle zur Realisierung kosmologischer Inflation in der Stringtheorie entwickelt worden. DESY ist an dieser Entwicklung aktiv beteiligt. Im Jahr 2010 startete zusätzlich eine Helmholtz-Nachwuchsgruppe in diesem Forschungskontext, um die Dynamik und statistische Häufigkeit verschiedener Inflationsmodelle in der „Landschaft“ der Vakua der Stringtheorie zu analysieren und zu verstehen, ob die Theorie a priori bestimmte Versionen von Inflation bevorzugt.

## Theorie und Supercomputing in Zeuthen

Auch die Theoriegruppe von DESY in Zeuthen leistet wichtige Beiträge zur experimentellen Forschung an Großbeschleunigern wie Tevatron, HERA, RHIC, LHC, JLAB, EIC, LC u.a.: weltweit erste Berechnungen von 3-Schleifenkorrekturen für die Auswertung der Präzisionsdaten von HERA im masselosen und massiven Fall, Präzisionsbestimmung der starken Kopplungskonstanten auf 3- und 4-Schleifenniveau, Bereitstellung perturbativ-stabiler präziser 3-Schleifen-Parton-Verteilungsfunktionen für LHC und die Astroteilchenphysik und von polarisierten 2-Schleifen-Verteilungen für RHIC.

Die NIC-Gruppe (John von Neumann-Institut für Computing) in Zeuthen befasst sich unter anderem mit der präzisen Bestimmung der Parameter im Quark-Mischungssektor des Standardmodells und der Suche nach Effekten schwerer, noch unbeobachteter Teilchen. Hierfür entwickelte sie hocheffiziente Methoden zur Simulation der starken Wechselwirkung schwerer Quarks. Erstmals ist mit diesen Arbeiten eine komplette Formulierung der Korrekturen erster Ordnung in der Heavy Quark Effective Theory vorhanden, so dass nur noch eine Restunsicherheit im Prozentbereich verbleibt. Die Simulationen der Theorie mit dynamischen leichten Quarks bei realistischen Massen wurden erfolgreich gestartet. Die Analysen der für die Interpretation der Experimente an B-Fabriken und des LHCb-Experiments wichtigen Größen werden auf den entsprechenden Computerclustern in Zeuthen durchgeführt.

# Astroteilchenphysik.

## Kosmische Einsichten dank Neutrinos und Gammastrahlung

Die Astroteilchenphysik ist ein junges, interdisziplinäres Forschungsgebiet an den Schnittstellen von Elementarteilchenphysik, Astrophysik, Astronomie und Kosmologie, das sich in den letzten Jahren rasant entwickelt hat. DESY baut die Astroteilchenphysik in Zeuthen zielstrebig zum Schwerpunktthema des Standortes aus. Bei DESY in Zeuthen werden die Themen Hochenergie-Neutrinoastrophysik mit dem Neutrinoobservatorium IceCube sowie Hochenergie-Gammaastronomie mit den Teleskopen MAGIC, VERITAS und dem in der Vorbereitungsphase befindlichen großen System von Gammateleskopen CTA bearbeitet. In diesem Zusammenhang werden auch neue Technologien und Methoden zum Nachweis kosmischer Teilchen untersucht.

### Hochenergie-Neutrinoastrophysik

IceCube ist ein Neutrinoobservatorium am Südpol. Die IceCube-Kollaboration besteht aus 260 Wissenschaftlern aus 36 Forschungsinstitutionen in acht Ländern. Die Leitinstitution des Projekts ist die University of Wisconsin in Madison, USA. DESY ist der zweitstärkste Partner. Weitere Partner sind die Universitäten RWTH Aachen, Humboldt-Universität zu Berlin, Bochum, Bonn, TU Dortmund, Mainz und Wuppertal sowie das Max-Planck-Institut für Kernphysik in Heidelberg. DESY hat neben einem Viertel der optischen Module einen wesentlichen Teil der Empfangselektronik an der Eisoberfläche beigesteuert. Seit September 2010 betreibt DESY das europäische Tier-1-Zentrum für das Experiment. IceCube wurde am 18. Dezember 2010 unter Einhaltung des Kosten- und Zeitrahmens erfolgreich fertiggestellt.

Die Zeuthener Arbeiten beinhalten ein Multimessenger-Konzept, das u.a. Studien von Korrelationen zwischen den Ankunftsrichtungen von Neutrinos (IceCube) und kosmischen Strahlen (Auger), das Monitoring-Programm bei MAGIC und das Neutrino Target of Opportunity-Programm (NTOO) zwischen

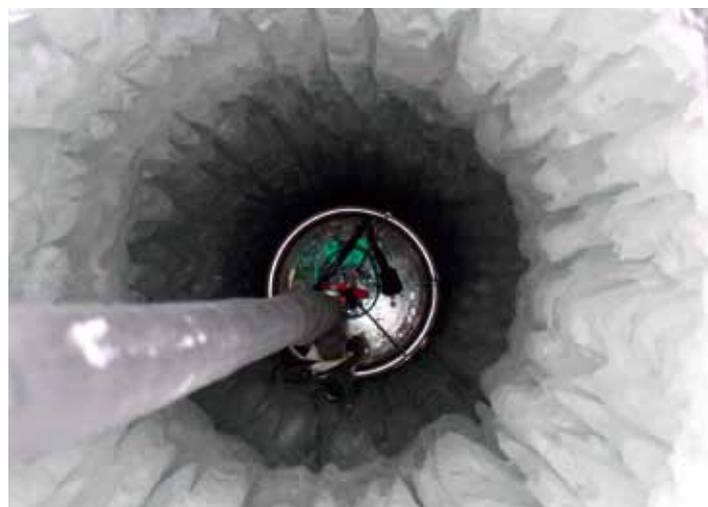


Abbildung 1

Das letzte digitale optische Modul für IceCube wird ins Eis hinuntergelassen.

MAGIC und IceCube umfasst. Einen weiteren Impuls erhielten die Multimessenger-Studien durch eine in Potsdam und Zeuthen angesiedelte Theoriegruppe. Auch bei DESY in Hamburg existiert eine Theoriegruppe, die u.a. auf den Gebieten hochenergetische kosmische Strahlung bzw. Neutrinos und Kosmologie arbeitet.

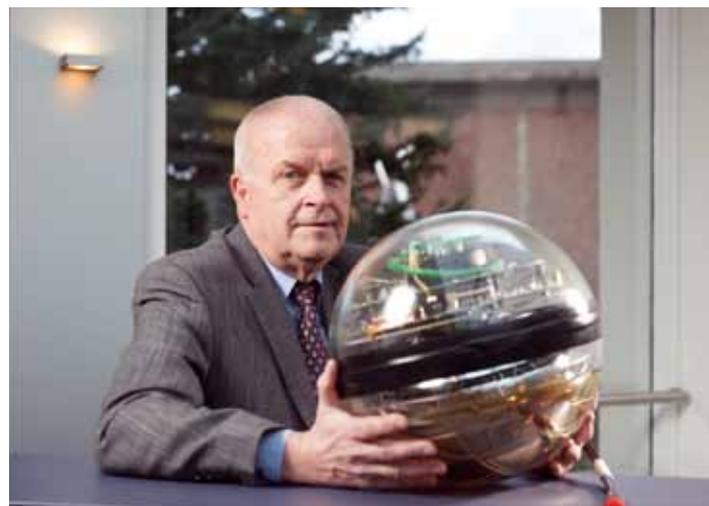


Abbildung 2

Ulrich Gensch, Vertreter des DESY-Direktoriums in Zeuthen

### Hochenergie-Gammaastrophysik

Für das geplante Cherenkov Telescope Array (CTA) wurde im Oktober 2010 eine von der Europäischen Union mitfinanzierte dreijährige Vorbereitungsphase gestartet. CTA soll aus 50 bis 100 Einzelteleskopen bestehen, mit denen die Empfindlichkeit der gegenwärtigen Teleskopanlagen um das Zehnfache übertroffen werden wird. Die CTA-Kollaboration besteht aus über 700 Physikern und Ingenieuren in etwa 150 Gruppen aus 23 Ländern. Die DESY-Gruppe ist eine der stärksten und leistungsfähigsten Gruppen in dem Konsortium. Sie baut Teleskop-Prototypen der 12-Meter-Klasse, arbeitet an Antriebs- und Sicherheitssystemen, bereitet die zentrale und lokale Array-Kontrolle

vor und entwickelt digitale Triggerkonzepte. Mit den Ressourcen von DESY werden umfangreiche Simulationsdaten produziert und der Aufbau eines Datenzentrums vorbereitet. Außerdem werden im Rahmen einer Nachwuchsgruppe Physikanalysen vorbereitet und neue Rekonstruktionsmethoden studiert, die erst durch die Installation vieler Teleskope möglich sind. CTA ist Teil der Roadmap des European Strategy Forum on Research Infrastructures (ESFRI) und eines der sieben künftigen Großprojekte der ASPERA-Roadmap für die europäische Astroteilchenphysik.



Abbildung 3

Das VERITAS-Teleskopsystem im südlichen Arizona, USA. CTA wird aus etwa 20-mal so vielen Teleskopen bestehen.

## Physikalische Ergebnisse

Mit IceCube werden seit 2005 jedes Jahr mit der jeweils installierten Konfiguration Daten genommen. Die IceCube-Daten von etwa 50 TB pro Jahr werden ähnlich wie beim LHC in einer weltweiten Grid-Struktur zur Verfügung gestellt. Bisher wurden etwa  $10^5$  Neutrinos registriert, die überwiegend in der Erdatmosphäre erzeugt wurden, darunter solche mit Energien bis zu 400 TeV (etwa tausendmal höher als die Energien von Neutrinos, die an Beschleunigern erzeugt werden). In der Richtungsverteilung der Myonen aus der kosmischen Strahlung wurde eine auffällige Anisotropie von rund 0,1 % gemessen. Sie könnte wesentliche Informationen zur Ausbreitung oder Erzeugung kosmischer Strahlen in unserer Galaxis liefern. Die Arbeiten zum akustischen Nachweis von Neutrinos in Eis wurden mit drei Publikationen in renommierten Zeitschriften erfolgreich abgeschlossen.

Zwei DESY-Nachwuchsgruppen sowie die Zeuthener Astroteilchentheoriegruppe beteiligen sich an der Analyse der Daten von zwei der weltweit drei großen erdgebundenen Gammateleskope. Die MAGIC-Kollaboration betreibt zwei 17-Meter-Teleskope auf La Palma, die seit 2009 im Stereomodus Daten nehmen. Seit 2009 hat MAGIC sechs neue extragalaktische Quellen entdeckt, darunter die am weitesten entfernten Quellen, die in diesem Energiebereich jemals gemessen wurden. Die DESY-Gruppe hat erfolgreich ein Alarmsystem installiert, mit dem MAGIC zeitnah in Himmelsrichtungen gelenkt wird, aus denen IceCube ein interessantes Neutrinosignal empfangen hat.

Das andere Teleskopsystem, VERITAS, steht in Arizona. Die ab Herbst 2009 vorgenommene Optimierung der Aufstellung der vier Einzelteleskope hat die Sensitivität der Anlage annähernd verdoppelt. Wichtige Ergebnisse im Jahr 2010 waren die Ent-

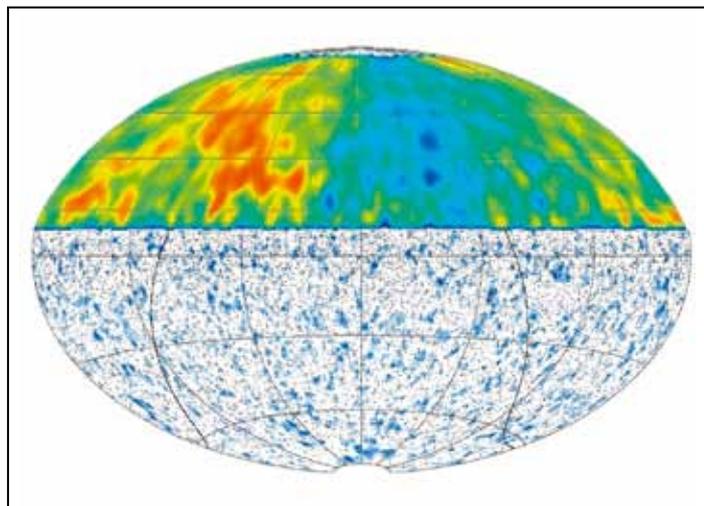


Figure 4

Kombinierte Himmelskarte aus rund 20000 Neutrino-kandidaten von unterhalb des Horizonts und um den Horizont (unterer Teil der Karte) sowie rund einer Milliarde abwärts fliegender Myonen (oberer Teil). Die Strukturen in der Neutrino-karte sind mit statistischen Fluktuationen vereinbar.

deckung von Gammaemission von der Starburstgalaxie M82 (Veröffentlichung in der Fachzeitschrift *Science*), von dem Supernova-Überrest Tycho und dem Pulsarwindnebel G54.1+0.3. Diese Entdeckungen, ebenso wie die von MAGIC, geben wichtige Hinweise auf den Ursprung und die Beschleunigungsmechanismen der kosmischen Strahlung.

Das im sibirischen Tunka-Tal im Herbst 2009 unter Mitautorchaft von DESY-Mitarbeitern fertiggestellte Luftschauer-Feld Tunka-133 hat inzwischen erfolgreich Daten genommen. Im vorläufigen Spektrum der kosmischen Strahlen deuten sich auffällige, interessante Strukturen an.

## Berlin-Brandenburg-Cluster (BBC)

Die durch die gemeinsame Berufung der Universität Potsdam und DESY entstandene Arbeitsgruppe theoretische Astroteilchenphysik hat ihre Arbeit aufgenommen. Dabei ist die direkte Einbindung der Theorie in experimentelle Initiativen wie VERITAS und CTA besonders erfolversprechend. Ein Schwerpunkt der Arbeiten sind Fragestellungen zur Beschleunigung von Teilchen, für die massiv-parallelisierte Simulationsrechnungen durchgeführt werden. Ein anderes wichtiges Thema ist der indirekte Nachweis dunkler Materie über die Emission von Gammastrahlung oder Antiteilchen. Der Aufbau der Gruppe wird aus Mitteln des Berlin-Brandenburg-Clusters (BBC) unterstützt.

## Helmholtz-Allianz zur Astroteilchenphysik

KIT und DESY haben 2010 gemeinsam mit 15 deutschen Universitäten, drei Max-Planck-Instituten und APC Paris sowie KICP Chicago einen Antrag zur Errichtung einer Helmholtz-Allianz für Astroteilchenphysik (HAP) eingereicht. Ziel der Allianz ist es, die Vernetzung der komplementären Exzellenz in der Astroteilchengemeinschaft weiter auszubauen und spezifischen wissenschaftlichen Fragestellungen im Detail nachzugehen.

# DESY-Grid-Zentrum.

Rechen- und Analysezentrum für LHC und IceCube

DESY betreibt standortübergreifend in Hamburg und Zeuthen ein Tier-2-Zentrum, das große Rechen- und Speichersysteme für die LHC-Experimente ATLAS, CMS und LHCb zur Verfügung stellt. Es ist eines der größten unter den global verteilten Zentren des LHC Computing Grid und wird von Forschergruppen auf der ganzen Welt genutzt. Bei DESY in Zeuthen wurde für das IceCube-Experiment ein europäisches Tier-1-Zentrum eingerichtet, das bei der Bearbeitung der Daten eine wichtige Rolle spielt. Zudem beteiligt sich DESY an der nationalen Grid-Initiative NGI-DE. Damit ist DESY weiterhin in die Diskussion zu nationalen IT-Versorgungsstrategien involviert.

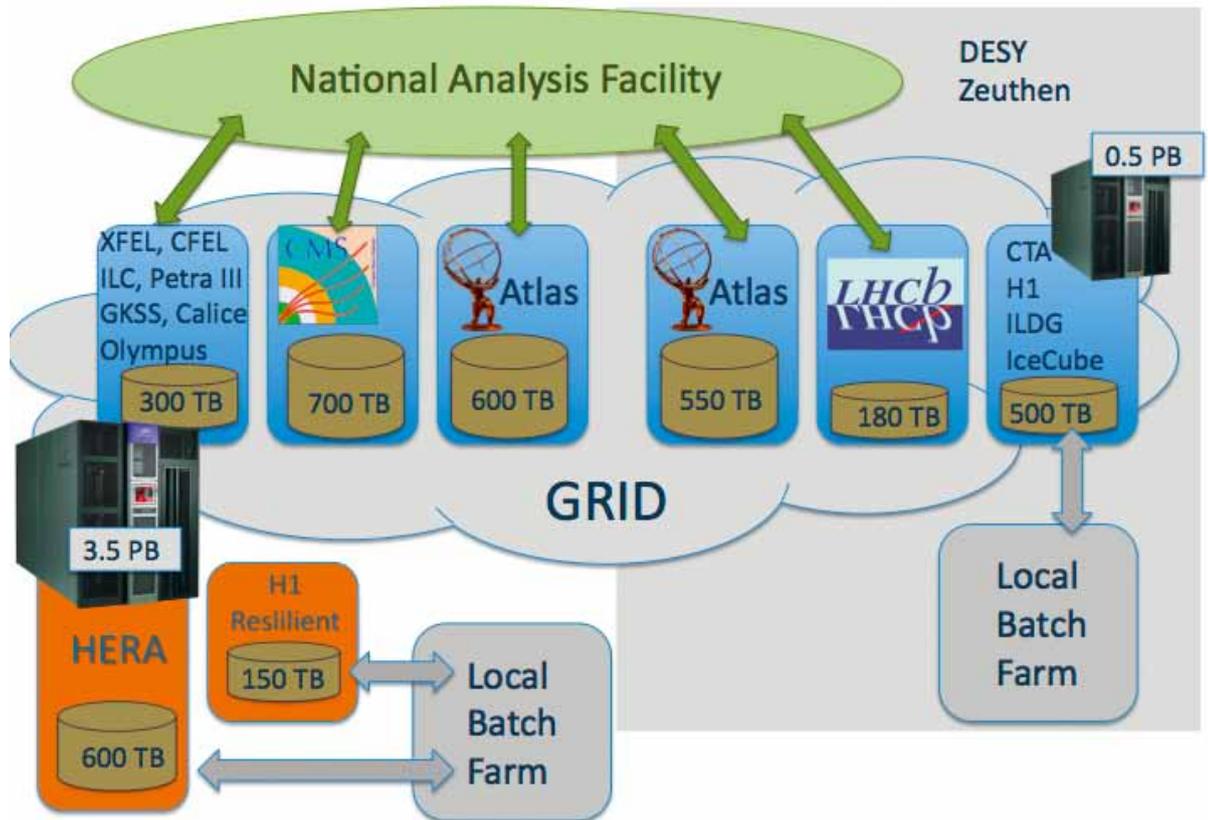


Abbildung 1

Die dCache-Einrichtungen bei DESY im Überblick

## DESY-Tier-2 und NAF für den LHC

Mit der Inbetriebnahme des LHC steht DESY nunmehr mit dem Tier-2-Zentrum bei der Datennahme von ATLAS, CMS und LHCb in einer hohen Verantwortung. Die von DESY im Grid bereitgestellten Ressourcen sind dabei weltweit sichtbar. DESY hat diese Verantwortung 2010 hervorragend wahrgenommen

und hinsichtlich Zuverlässigkeit und Verfügbarkeit der Ressourcen in den Statistiken weltweit Spitzenplätze eingenommen. Der weitere Ausbau der Ressourcen konnte plangemäß erfolgen, im Falle von LHCb mit zusätzlicher Unterstützung des BMBF.

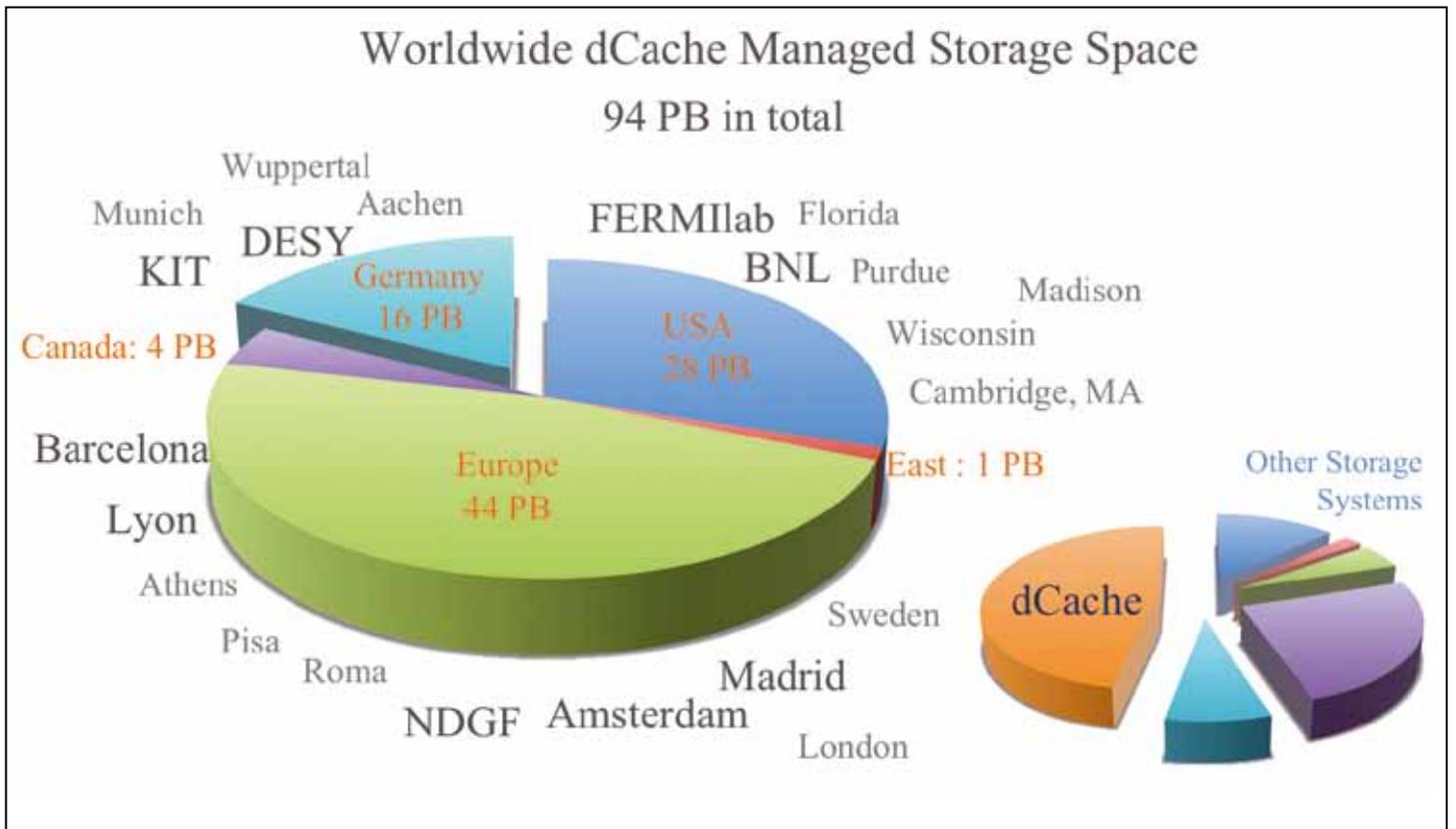


Abbildung 2

Mit dCache verwalteter Speicherplatz für die LHC-Daten weltweit

Die National Analysis Facility (NAF), die mit ebenso großzügiger Unterstützung des BMBF aufgebaut werden konnte, erfreut sich eines wachsenden Zuspruchs, insbesondere durch universitäre Arbeitsgruppen, die nicht in Hamburg ansässig sind. Im Bereich der Physikanalysen der deutschen ATLAS- und CMS-Gruppen spielt die Nutzung der NAF eine herausragende Rolle. Mit der Aufnahme des DESY-Grid-Zentrums in die Kategorie LKII der Programmorientierten Förderung (PoF) der Helmholtz-Gemeinschaft wurde das Zentrum zu einem Großgerät. Für die weitere Finanzierung der Ausbauten und der Erneuerung sind sowohl Haushalts- als auch Ausbauinvestitionsmittel vorgesehen.

### DESY-Tier-1 für IceCube

Für die Datennahme des IceCube-Experiments wurde bei DESY in Zeuthen ein europäisches Tier-1-Zentrum eingerichtet, das eine wichtige Rolle bei der Bearbeitung der Daten spielt. Die IceCube-Daten von etwa 50TB pro Jahr werden ähnlich wie beim LHC in einer weltweiten Grid-Struktur zur Verfügung gestellt. Mit IceCube werden seit 2005 jedes Jahr mit der jeweils installierten Konfiguration Daten genommen. Mit fortschreitender Fertigstellung des Detektors wurden die Daten von Jahr zu Jahr detaillierter, inzwischen führen sie bereits zu ersten konkreten Ergebnissen.

### Neue europäische Grid-Infrastrukturen

Mit Auslaufen des von der Europäischen Union geförderten Grid-Projekts EGEE initiierte die EU durch eine entsprechende Ausschreibung ein neues Vorhaben zum nachhaltigen Betrieb einer europäischen Grid-Infrastruktur. DESY beteiligte sich dabei erfolgreich im Rahmen der Middleware-Entwicklung für die Datenmanagement-Software dCache und im Rahmen der Mitgliedschaft in der Gauß-Allianz an der nationalen Grid-Initiative NGI-DE. Damit ist DESY weiterhin in die Diskussion zu nationalen IT-Versorgungsstrategien involviert, auch mit dem Ziel, die Interessen der deutschen Teilchenphysik, der Astroteilchenphysik und der Forschung mit Photonen zu vertreten.

# Programmungebundene Forschung

ALPS und OLYMPUS

Das ALPS-Experiment bei DESY in Hamburg sucht nach leichten, schwach wechselwirkenden Teilchen (WISPs), deren Existenz einige bisher unverstandene Phänomene der Teilchenphysik und der Kosmologie erklären könnte. Ziel des OLYMPUS-Experiments, das derzeit am Speicherring DORIS aufgebaut wird, ist die präzise Vermessung der elastischen Streuquerschnitte von Elektronen und Positronen an Protonen.

## Das ALPS-Experiment

Licht, das unerwartet durch eine Wand scheint, wäre ein eindeutiger Hinweis auf eine ganz neue Klasse von bisher nur theoretisch vorhergesagten Elementarteilchen. Die Existenz solcher leichten, schwach wechselwirkenden Teilchen (Weakly Interacting Slim Particles, WISPs) könnte bisher unverstandene Phänomene der Teilchenphysik und der Kosmologie erklären. Im Jahr 2009 erreichte das Experiment ALPS (Any Light Particle Search) bei DESY in Hamburg die weltweit größte Empfindlichkeit aller Laborexperimente bei der Suche nach WISPs. Zwar wurde kein WISP gefunden, aber mit den gemachten Erfahrungen und erzielten Resultaten wurden 2010 Voruntersuchungen für eine Erweiterung (ALPS-II) des Experiments mit einer tausendfach höheren Empfindlichkeit begonnen.

ALPS-II soll eine Sensitivität erreichen, die über die Empfindlichkeiten der indirekten WISP-Suche mittels astrophysikalischer Beobachtungen hinausgeht und zugleich erlaubt, einige Vorhersagen zur Existenz von WISPs aus kosmologischen Untersuchungen zu prüfen. Dazu müssen alle drei Komponenten des Experiments deutlich verbessert werden:

- Das neue optische System wird eine viel höhere effektive Laserleistung vor der Wand ermöglichen. Zudem wird ein optischer Resonator hinter der Wand eingebaut, um die Wahrscheinlichkeit der Umwandlung von WISPs in Licht zu vergrößern.
- Mit einem neuen Detektortyp, der auf supraleitender Technologie basiert, soll die Empfindlichkeit beim Aufspüren von „Licht durch die Wand“ erheblich gesteigert werden.
- Statt mit einem HERA-Dipolmagneten wie bei ALPS soll ALPS-II mit über 20 solcher Magnete ausgestattet werden.

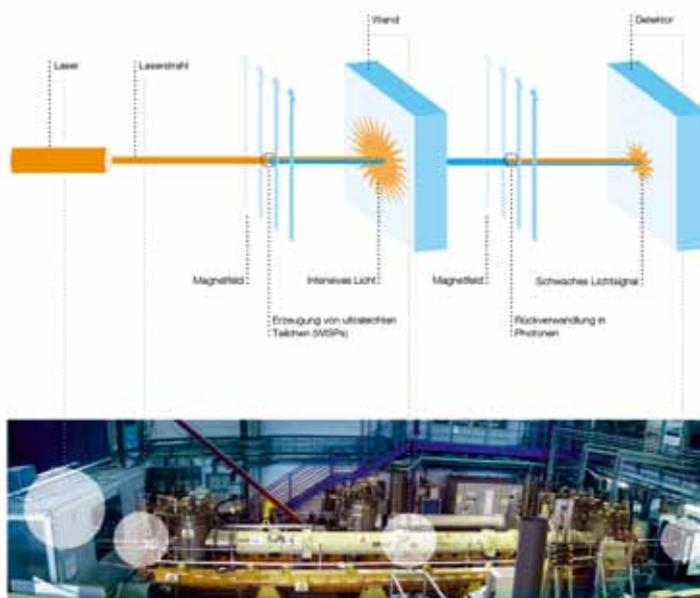
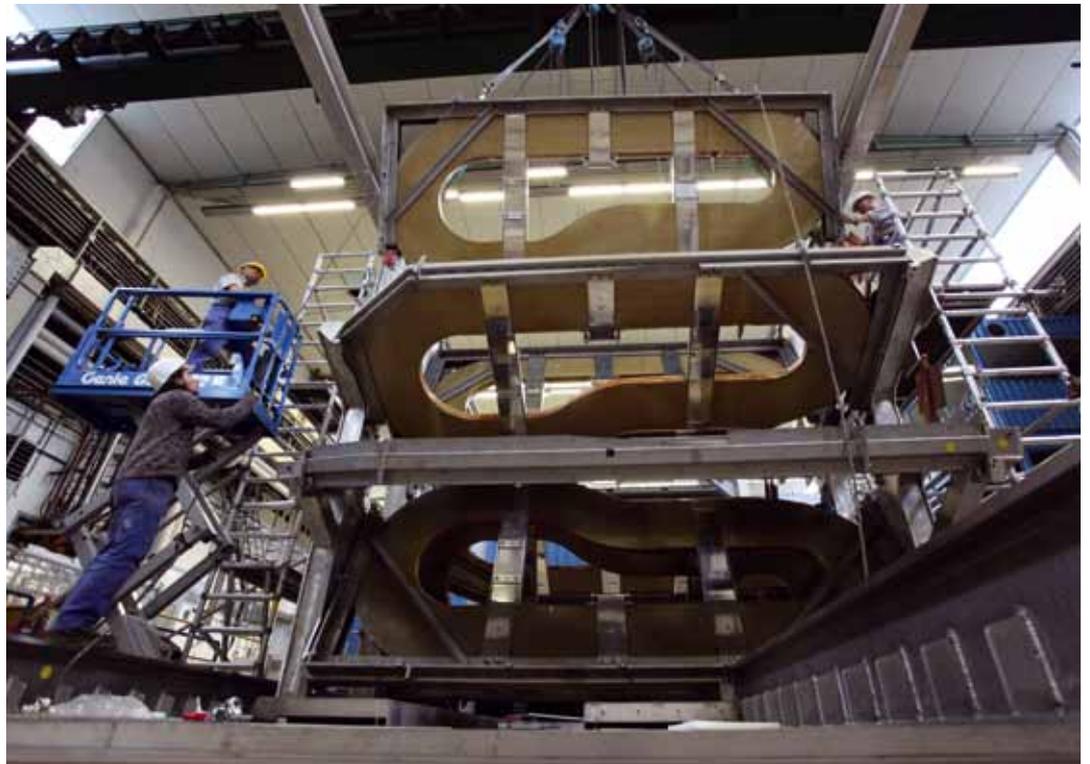


Abbildung 1

Das Prinzip der „Licht-durch-die-Wand“-Messungen

ALPS-II soll in drei Schritten realisiert werden. Schon 2012 könnte in ersten Messungen, die noch keine Magnete benötigen, nach WISP-artigen Photonen gesucht werden. Etwa 2017 würde nach gegenwärtigen Vorstellungen die Datennahme mit dem vollständigen, im Tunnel des ehemaligen HERA-Beschleunigers aufgebauten Experiment stattfinden.

An den Arbeiten zu ALPS-II sind neben DESY und der Universität Hamburg die Sternwarte Bergedorf, das Laser Zentrum Hannover, das Albert-Einstein-Institut in Hannover sowie italienische Gruppen aus Camerino, Genua und Triest beteiligt.



**Abbildung 2**  
Einbau der letzten  
Magnetspule von  
OLYMPUS im  
September 2010



**Abbildung 3**  
Einbau der OLYMPUS-Vakuumkammer in das Strahlrohr von DORIS während der Winterpause 2010/2011

## OLYMPUS bei DORIS

Im Juni 2007 wurde vorgeschlagen, am Speicherring DORIS bei DESY ein Grundlagenexperiment zur Untersuchung des Protons durchzuführen. Ziel des OLYMPUS-Experimentes ist die präzise Vermessung der elastischen Streuquerschnitte von Elektronen und Positronen an Protonen. Die optimale Energie der Leptonen liegt bei ruhenden Protonen, die über ein Gas-Target bereitgestellt werden, bei etwa 2 GeV. DORIS ist hierfür hervorragend geeignet, da die Strahlenergie von 2 GeV ebenso verfügbar ist wie beide Arten von Leptonen.

Eine internationale Kollaboration arbeitet nun daran, den BLAST-Detektor des MIT aus Boston zu modifizieren und bei DESY aufzubauen. Der Detektor soll im Sommer 2011 bei DORIS eingebaut werden, an der Stelle, an der bis 1993 noch der ARGUS-Detektor installiert war. Um diesen Einbau zu ermöglichen, wurde im Winter 2010/11 die künftige Wechselwirkungszone bei DORIS vorbereitet. Hierfür mussten zwei Beschleunigungsstrukturen versetzt und zwei zusätzliche Quadrupole installiert werden. Die Abschirmung des Tunnels wurde erweitert, um dem 6 m langen und rund 10 m breiten Detektor Platz zu bieten.

Während des ganzen Jahres 2010 erfolgten Modifikationen bei DORIS und am Transportweg der Netzgeräte, um eine schnelle Umschaltung zwischen Elektronen und Positronen zu ermöglichen. Eine wesentliche Randbedingung dieser Arbeiten war, dass die Qualität der Synchrotronstrahlung bei DORIS während dieser Umbauarbeiten nicht beeinträchtigt werden durfte. Die Messungen von OLYMPUS sollen innerhalb eines Vierteljahres im Jahr 2012 erfolgen, die übrige Zeit wird DORIS weiterhin als dedizierte Quelle für hochenergetische Synchrotronstrahlung bereitstehen.





## Administration.

- Kooperation, Innovation und Administration – Die DESY-Aktivitäten im Überblick **64**
- Highlights und neue Entwicklungen **66**
- Technologietransfer und Zusammenarbeit mit der Industrie **68**
- Ausbildung und Chancengleichheit **70**
- Personal und Finanzen **72**

# Kooperation, Innovation und Administration.

## Die DESY-Aktivitäten im Überblick



Das Forschungszentrum DESY, die Stanford University mit dem Beschleunigerzentrum SLAC, die Universität Hamburg sowie die Max-Planck-Gesellschaft unterzeichneten am 19. Mai 2010 ein „Memorandum of Understanding“ für die künftige Zusammenarbeit in zwei zukunftssträchtigen Forschungsgebieten: die Forschung mit Röntgenlicht und die weitere Entwicklung von Freie-Elektronen-Lasern. Unterzeichner des Memorandums waren Prof. Helmut Dosch (Vorsitzender des DESY Direktoriums, 3. v. l.), Prof. Martin Stratmann (Vizepräsident der Max-Planck-Gesellschaft, 5. v. l.), Prof. Dieter Lenzen (Präsident der Universität Hamburg, 6. v. l.) und Prof. Persis S. Drell (Direktorin des SLAC National Accelerator Laboratory, 7. v. l.).

Um den Erfolg von DESY als Grundlagenforschungszentrum sicherzustellen, müssen die Aktivitäten des Zentrums national und international in ein breites Kooperationsnetzwerk eingebettet sein. Zudem müssen die Forschungsergebnisse von DESY auch zu Innovationen in der Gesellschaft führen. Die Forschungsaktivitäten und internen administrativen Abläufe des Zentrums optimal zu organisieren, ist dazu unerlässlich – ohne diese wichtigen Unterstützungsaktivitäten könnte DESY seine wissenschaftlichen Ziele nicht erreichen.

DESY agiert seit seiner Gründung eng vernetzt mit nationalen wissenschaftlichen Partnern und hat zudem eine lange Tradition der internationalen Vernetzung. Um die Arbeitsteilung in der Forschung zu steigern, hat das Zentrum erhebliche Anstrengungen unternommen, seinen Kooperationen vor Ort ein neues Format zu geben, insbesondere durch die Verstärkung der Zusammenarbeit mit der Universität Hamburg und anderen unter dem Dach der „Partnership for Innovation, Education and Research“ (PIER). Auf internationaler Ebene sind für die aktuellen Initiativen – Kooperationen mit Russland, Schweden und den USA – qualitative Schritte weiterentwickelt worden.



Um seine Innovationsaktivitäten zu verstärken, treibt DESY vor allem die Verbesserung des Technologietransfers und der Zusammenarbeit mit der Industrie voran. Im Rahmen unterschiedlicher Förderprogramme werden verstärkt Innovationen aus dem Bereich Beschleunigerentwicklung in die Anwendung übertragen. Die Verwendungsoffensive des Bundesministeriums für Bildung und Forschung (BMBF) und die verstärkte Bereitstellung der Synchrotronstrahlung für Nutzer aus der Industrie sind wichtige Meilensteine dieser Entwicklung.

Mit ihrer organisatorischen Breite deckt die Administration von DESY das gesamte Spektrum unterstützender Managementaufgaben einer als private Stiftung organisierten Forschungseinrichtung ab. Im Vordergrund stehen hier die Optimierung interner Abläufe, die Professionalisierung und Internationalisierung der Belegschaft und die verstärkte Unterstützung der nationalen und internationalen Kooperationen vor Ort sowie im nationalen und internationalen Kontext.



Bei der Tagung „Physics at the LHC“ 2010 in Hamburg: Bernd Reinert (Staatsrat der Behörde für Wissenschaft und Forschung in Hamburg), Christian Scherf (Kaufmännischer Direktor von DESY), Dr. Rolf Greve (Behörde für Wissenschaft und Forschung Hamburg) und Prof. Helmut Dosch (Vorsitzender des DESY-Direktoriums) im Gespräch.

Bei allen Aktivitäten des Jahres 2010 waren die außergewöhnliche Motivation und Loyalität der Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter von DESY die Voraussetzung für die erfolgreiche Arbeit des Forschungszentrums. Gerade in einer Zeit der großen Herausforderungen ist dies entscheidend für die erfolgreiche Gestaltung der Zukunft von DESY. ●

Christian Scherf  
Kaufmännischer Direktor

# Highlights und neue Entwicklungen.

## PIER – Partnerschaft mit der Universität Hamburg

Die wissenschaftlichen Kooperationen von DESY sind ein Indikator für die Attraktivität und gleichzeitig ein entscheidender Faktor für den Erfolg des Forschungszentrums. In den vielen multilateralen Forschungsbeziehungen mit anderen universitären Institutionen und Forschungszentren, aber auch im Rahmen von EU- und Industrieprojekten oder anderen Netzwerken, findet ein intensiver fachbezogener Austausch zu den Forschungsthemen von DESY statt, der von grundlegender Bedeutung für die erfolgreiche wissenschaftliche Arbeit des Zentrums ist.

### Partnership for Innovation, Education and Research

Entsprechend bedeutsam ist für DESY die Gründung der Partnership for Innovation, Education and Research (PIER), die im Jahr 2010 juristisch und wissenschaftlich vorbereitet und am 8. Februar 2011 offiziell mit der Unterzeichnung des Kooperationsvertrages gegründet wurde. PIER gibt der bereits seit Jahrzehnten praktizierten Partnerschaft zwischen DESY und der Universität Hamburg (UHH) einen neuen strategischen Rahmen. Die Kooperationsvereinbarung beinhaltet explizit die frühe und enge Einbindung von jungen Wissenschaftlern und Studierenden in Projekte an der vordersten Front der Forschung mit dem Ziel, die Zusammenarbeit von DESY und Universität Hamburg auf vier Forschungsfeldern zu stärken:

- > Teilchen- und Astroteilchenphysik,
- > Nanowissenschaften,
- > Forschung mit Photonen und
- > Infektionsforschung/Strukturbiologie.

Zur operativen Leitung von PIER wurde ein PIER-Vorstand etabliert, in dem die Sprecher der vier PIER-Forschungsfelder sowie die Sprecher für die Graduiertenausbildung von UHH und DESY vertreten sind. Als Entscheidungsgremium für strategische Fragen fungiert die PIER-Kommission, der je vier Mitglieder aus dem DESY-Direktorium und der UHH-Leitung angehören. Als Kontrollgremium wird ein externer Beirat eingerichtet.

Das dem Kooperationsvertrag zugrunde liegende Konzept sieht vor, eine PIER-Geschäftsstelle einzurichten, die zunächst aus einem Geschäftsführer und einer Assistenz bestehen wird. Die Hamburger Behörde für Wissenschaft und Forschung unterstützt die PIER-Geschäftsstelle in den ersten drei Jahren mit je 70 000 €. Die PIER-Geschäftsstelle wird sich konkret um die folgenden sechs Aktionsfelder kümmern.



Abbildung 1

Am 8. Februar 2011 fand in der Landesvertretung der Freien und Hansestadt Hamburg beim Bund in Berlin die feierliche Auftaktveranstaltung zur Vereinbarung der strategischen Partnerschaft PIER, der Partnership for Innovation, Education and Research, zwischen der Universität Hamburg und DESY statt. Auf dem Podium sitzen Dr. Georg Mecke (Airbus Operation GmbH), Prof. Dr. Helmut Dosch (Vorsitzender des DESY-Direktoriums), Katja Weber (radioeins, Berlin), Prof. Dr. Dieter Lenzen (Präsident der Universität Hamburg), Dr. Erika Garutti (Nachwuchsgruppenleiterin bei DESY) und Prof. Dr. Matthias Kleiner (Präsident der Deutschen Forschungsgemeinschaft).

**Nachwuchsförderung:** Zentrale Anlaufstelle sowie Koordinierung der PIER-Graduiertenschule mit eigenem Stipendienprogramm. Für dieses Programm hat die Joachim Herz Stiftung zugesagt, zunächst einen ersten Jahrgang von fünf Stipendiaten mit insgesamt 530 000 € zu finanzieren; das Programm soll dann in den weiteren Jahren fortgeführt werden.

**PIER-Ideenfonds:** Die PIER-Kommission hat beschlossen, im ersten Jahr 200 000 € (zu gleichen Teilen von UHH und DESY getragen) für den Ideenfonds zur Verfügung zu stellen, in den



**Abbildung 2**

Lukrative Zukunftstechnologien aus anwendungsnahen Forschungsergebnissen zur Stärkung der Metropolregion Hamburg an innovative Unternehmen heranzutragen, ist eines der Ziele des PIER-Industrietages.

folgenden Jahren soll dieser Betrag anwachsen. Der PIER-Ideenfonds soll innovative, ungewöhnliche und kreative Ideen für die Forschung fördern und Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftlern ermöglichen, neuartige Forschungsgedanken, -konzepte oder -methoden zu initiieren, weiterzuentwickeln und umzusetzen.



**Kooperationen:** Koordination und Betreuung gemeinsamer Berufungen, Sondierung und Anbahnung von Partnerschaften.

**Kommunikation:** Aufbau und Betreuung eines PIER-Physikkolloquiums, Aufbau einer jährlichen PIER-Sommerschule gemeinsam mit ausländischen Partnern.

**Dialog mit der Gesellschaft:** Um die Öffentlichkeit über die PIER-Aktivitäten zu informieren, wird die Geschäftsstelle gemeinsam mit Partnern aus der Wirtschaft einmal im Jahr das Kolloquium „Grundlagen der Zukunft“ organisieren. Es richtet sich an Vertreter aus Forschung, Politik, Industrie und Medien und stellt aktuelle Entwicklungen von DESY und UHH vor. Ferner beteiligt sich PIER am Science Café DESY, bei dem Schüler und interessierte Bürger zweimal im Monat mit Experten über wissenschaftlich-technische Themen diskutieren, und gibt regelmäßig einen Newsletter heraus, der über das aktuelle Geschehen informiert.

**Wirtschaft und Innovation:** Um lukrative Zukunftstechnologien zu erschließen, trägt PIER anwendungsnahen Forschungsergebnisse an innovative Unternehmen heran. Diesem Zweck dient beispielsweise der PIER-Industrietag, eine jährliche Innovationsplattform für einen engen Dialog mit Industriepartnern aus der Hamburger Metropolregion.

Im Jahr 2011 soll zunächst die Geschäftsstelle etabliert und die PIER-Graduiertenschule entwickelt werden. Auch die Einrichtung des PIER-Ideenfonds und die Förderung erster Projekte hat hohe Priorität bei der operativen Arbeit von PIER.

# Technologietransfer und Zusammenarbeit mit der Industrie.

## Nahtstelle zwischen Wissenschaft und Wirtschaft

Die Grundlagenforschung von DESY bildet die Basis eines nachhaltig innovativen Prozesses, der sich nicht nur in Patentkennzahlen niederschlägt, sondern auch in der Weitergabe von Know-how an Partnerinstitute sowie in gemeinsamen Entwicklungen mit Firmen. Die Entwicklung neuartiger Beschleuniger war und ist ein bedeutender Motor für das Erschließen neuer Felder in der Hochtechnologie. Anwendungsgebiete finden sich z.B. in der Therapie von Krebserkrankungen, bei strukturellen Untersuchungen in der Wirkstoffforschung, bei der Suche nach neuen Materialien in den Nano- und Biowissenschaften oder der Halbleitertechnologie.

### Innovationsmotor Beschleunigerentwicklung

Der Bau leistungsfähiger Beschleunigeranlagen für die Spitzenforschung ist eine enorme technologische Herausforderung. Oft sind die benötigten Geräte und Techniken so anspruchsvoll und einzigartig, dass die Beschleunigerexperten sie zunächst selbst entwickeln und konstruieren müssen. Diese Pionierarbeit leisten die Wissenschaftler, Ingenieure und Techniker von DESY in enger Kooperation mit externen Spezialisten und Industrieunternehmen. Nicht selten führt sie zu wahren Paradigmenwechseln – zum Beispiel in der Elektronik, der Hochfrequenz-, Vakuum- und Kältetechnik sowie dem Betrieb von komplexen supraleitenden Systemen – mit weitreichenden Anwendungsmöglichkeiten auch in anderen Bereichen, wie der Medizin oder Materialforschung.

Die Herausforderung, in Zusammenarbeit mit DESY den Stand der Technik immer weiter voranzutreiben, regt auch die mitwirkenden Industriefirmen zu innovativen Entwicklungsleistungen und dem Erlernen neuer Techniken an, die sie anschließend in andere Bereiche übertragen. So führen die von DESY für die Grundlagenforschung angestoßenen Entwicklungen zu zahlreichen praktisch nutzbaren Innovationen, die der Industrie neue Geschäftsfelder erschließen und zum Teil größere Aufträge auch aus dem Ausland generieren.

### Verwertungsoffensive

Anfang 2011 erhielt DESY bei einer Ausschreibung des Bundesforschungsministeriums BMBF den Zuschlag zur Teilnahme an dem dreijährigen Projekt „Sektorale Verwertung“. Für interne und externe Unterstützung wurden verteilt auf drei Jahre 300 000 € eingeworben. Im Rahmen dieses Projektes wird ein institutsübergreifendes Konzept zur Verwertung entwickelt, um die notwendige kritische Masse für einen erfolgreichen Wissens- und Technologietransfer zu schaffen. Es ist geplant, dies zur Verstärkung des Technologie-Screenings bei DESY zu nutzen.

Der Technologietransfer bei DESY (DESY-TT) bildet die Nahtstelle zwischen Wissenschaft und Wirtschaft und fungiert als Mittler, der den Weg vom Laborergebnis zur wirtschaftlichen Anwendung begleitet und Forscher wie Industriepartner bei der Kommerzialisierung einer Idee unterstützt. DESY-TT arbeitet entlang der gesamten Innovationskette, von der Erfinderberatung über die Bewertung und Verwertung von DESY-Entwicklungen bis zur Betreuung des Patentierungsprozesses. Das Patentmanagement umfasst eine sehr frühzeitige Bewertung, um eine effektive und effiziente Verwertungsstrategie für jede Erfindung zu ermöglichen. Die folgenden Beispiele verdeutlichen den Technologietransfer bei DESY.

### Informationstechnik

Für ein Forschungsinstitut wie DESY ist die Informationstechnik (IT) ein unverzichtbares Werkzeug. DESY entwickelt Elektronik und IT-Technologie, um Spitzenforschung zu ermöglichen und erfolgreich durchzuführen. Hier sind besonders dCache sowie die QPACE-Entwicklung hervorzuheben. Im dCache-Projekt wird Datenmanagementsoftware für Anwendungen im Petabyte-Bereich entwickelt. Die Software wird an fast allen Tier-I-Zentren des LHC und an etwa 40 mittelgroßen Labors eingesetzt.

Der Hochleistungsrechner QPACE (QCD Parallel Computing on the Cell) wurde als energieeffizientester Supercomputer der Welt ausgezeichnet. QPACE führt damit die Green500-Liste an, die globale Rangliste der energieeffizientesten Hochleistungsrechner. Entwickelt wurde QPACE im Rahmen eines staatlich geförderten Forschungsverbands zwischen einem akademischen Konsortium aus Universitäten und Forschungszentren sowie dem deutschen IBM Forschungs- und Entwicklungszentrum in Böblingen.



## Detektorentwicklungen

Die derzeit wichtigsten Entwicklungen im Bereich Detektoren drehen sich um Lösungen für den im Bau befindlichen europäischen Freie-Elektronen-Röntgenlaser European XFEL. Mit Hilfe hochintensiver, ultrakurzer Laserlichtblitze im Röntgenbereich wird es Wissenschaftlern völlig neue Einblicke in die molekulare Welt ermöglichen. Die extreme Zeitstruktur der Röntgenlaserblitze ist eine große Herausforderung für die Entwicklung von Detektoren, die in der Lage sein müssen, die Lichtblitze einzelner Strahlpakete aufzulösen.

Der Bereich Detektoren arbeitet hier u.a. an der Entwicklung des grundlegenden Designs der erforderlichen Mikroelektronik, woraus in Zusammenarbeit mit Industriepartnern eigene Mikrochips entwickelt und gefertigt werden sollen. Im Bereich Detektoren sind die Mehrheit der Projekte Kooperationen mit der Industrie. Wenn DESY eine bestimmte Technik benötigt, wird sie bei DESY allein oder gemeinsam mit Partnern entwickelt.

## Forschung mit Photonen

Bei der Arbeit an den Messplätzen an DESYs Strahlungsquellen DORISIII, PETRAIII und FLASH sowie am European XFEL werden ständig neue Methoden entwickelt, um die spezifischen Problemstellungen zu lösen. Diese Methodenentwicklung birgt ein hohes Innovationspotential und ist daher auch für den Technologietransfer von großem Interesse. Die Forschungsergebnisse können in vielfältiger Weise nützlich sein für die Entwicklung neuer und leistungsfähigerer Produkte und Anwendungen in vielen Branchen.

Beim Aufbau der Messplätze an den Lichtquellen müssen die Wissenschaftler oft Speziallösungen ersinnen, aus denen Entwicklungen oder Erfindungen entstehen, die für Firmen für Lizenzverträge interessant sind. So befindet sich eine Firma,

die Instrumentierung für Synchrotrons herstellt (und bereits Aussteller bei der jährlich bei DESY stattfindenden Industrieausstellung war), mit DESY-TT in Verhandlungen zur Lizenzierung von Herstellung und Vertrieb eines Absorbers für Röntgenstrahlung, der in der DESY-Gruppe FS-PE entwickelt wurde.

## Beschleunigerphysik

Das von DESY in internationaler Zusammenarbeit äußerst erfolgreich durchgeführte FuE-Programm für supraleitende Beschleunigerstrukturen wurde bereits seit Mitte der 1990er Jahre in enger Kooperation mit der Industrie organisiert. Dabei hat sich in Deutschland die Firma Research Instruments (früher ACCEL) als ein weltweit führendes Unternehmen für diese spezielle Technologie entwickelt und etabliert. Das Unternehmen konnte in jüngerer Vergangenheit Aufträge in erheblicher Höhe bei internationalen großen Projekten akquirieren.

Im Zusammenhang mit der Beschleunigerinitiative ARD (Accelerator Research and Development) der Helmholtz-Gemeinschaft ist ferner eine neue Kooperation mit Philips auf dem Gebiet der medizinischen Bildgebung (Mammographie) mit Hilfe von kompakten, laserbasierten Undulatorquellen in Planung.

# Ausbildung und Chancengleichheit.

## Wichtige Missionen von DESY

Die Nachwuchsförderung ist eine wichtige Mission von DESY. Im Jahr 2010 gab es an den beiden DESY-Standorten Hamburg und Zeuthen insgesamt 122 Doktoranden (davon rund 18% Frauen), 165 Postdoktoranden (davon rund 23% Frauen) und 29 junge Gruppenleiter (davon rund 28% Frauen). DESY unterstützt den Nachwuchs mit speziellen Förderprogrammen. Als weitere wichtige Maßnahme wurde im Frühjahr 2010 die Chancengleichheit bei DESY im Personalentwicklungsplan verankert.

## Ausbildung

Mit folgenden Programmen wird der wissenschaftliche Nachwuchs bei DESY gefördert.

**Schüler:** DESY betrieb auch im Jahr 2010 die beiden Schülerlabore „physik.begreifen“ in Hamburg und Zeuthen. Ziel ist es, dank der besonderen Möglichkeiten eines großen Forschungszentrums im Rahmen eines Praktikums bei Schülern das Interesse für die Naturwissenschaften zu wecken. Die Schülerlabore waren auch 2010 sehr gut ausgelastet und wurden im Berichtsjahr von etwa 7900 Schülern (aus Hamburg, Niedersachsen, Schleswig-Holstein, Berlin und Brandenburg) besucht. Daneben betrieb DESY 2010 sehr erfolgreich das Science Café DESY, in dem auf allgemeinverständliche und spannende Art und Weise Themen aus der aktuellen Physik besprochen und Ausflüge in andere Naturwissenschaften unternommen werden.



Abbildung 1

Science Café DESY

**Studenten:** DESY hat sowohl am Standort Hamburg als auch in Zeuthen traditionell eine sehr enge Anbindung an die umliegenden Universitäten und Fachhochschulen. Beispiele dafür sind die wissenschaftlichen Kooperationen oder gemeinsame Berufungen

von DESY-Wissenschaftlern mit Universitäten oder andere besondere Rufe dieser Art, sowie die Vielzahl universitärer Institute auf dem DESY-Campus. Aus diesen Gründen besuchten auch 2010 wieder viele Studenten Lehrveranstaltungen, Kolloquien und Seminare auf dem DESY-Campus und lernten auf diese Weise das wissenschaftliche Leben in einem internationalen Forschungszentrum unmittelbar kennen. Ein großer Anteil dieser Studenten arbeitet später im Rahmen von Diplomarbeiten oder Promotionen an einem der Forschungsgeräte von DESY, nicht selten unter der direkten Betreuung von DESY-Wissenschaftlern.

**Sommerstudentenprogramm:** Ein vielfältiges Sommerstudentenprogramm zieht jährlich Studenten aus aller Welt während der Semesterferien zu DESY nach Hamburg und Zeuthen. Ende Juli 2010 kamen 99 Studenten für einen Zeitraum von acht Wochen zu DESY (82 nach Hamburg, 17 nach Zeuthen), um an dem Sommerstudentenprogramm teilzunehmen. Die meisten von ihnen waren im dritten oder vierten Jahr ihres Physikstudiums. Sie kamen von Universitäten in Algerien, Armenien, Belgien, China, Estland, Dänemark, Deutschland, Finnland, Frankreich, Großbritannien, Irland, Israel, Italien, Litauen, Mexiko, Polen,



Abbildung 2

DESY-Sommerstudenten 2010

Rumänien, Russland, Slowakei, Spanien, Thailand, Türkei, Ukraine und den USA. Ziel des Programms ist es, den Studenten die Möglichkeit zu geben, Leben und Arbeiten in einem großen Forschungszentrum kennenzulernen. Die Sommerstudenten sind in die Forschungsgruppen bei DESY integriert und arbeiten in einem der DESY-Bereiche mit: in der experimentellen Teilchenphysik an HERA und LHC, an den Entwicklungsarbeiten für neue Detektoren und Beschleuniger, in der Forschung mit Photonen im HASYLAB, bei FLASH und PETRA III, im Bereich Beschleuniger, in der Theoriegruppe für die Teilchenphysik sowie in den Bereichen Datenverarbeitung oder Astrophysik.

Parallel zu ihrer Arbeit in den verschiedenen Gruppen nehmen die Studenten an einer Vorlesungsreihe über die Forschung bei DESY teil. Diese beinhaltete auch 2010 wieder ein vielfältiges Themenspektrum mit Einführungen in die Forschung mit Photonen, die experimentelle und theoretische Teilchenphysik sowie die Beschleunigerphysik und Detektorentwicklung. Ergänzend besichtigten die Sommerstudenten verschiedene experimentelle Einrichtungen. Am Ende des Programms fand ein Seminar statt, in dem die Studenten über ihre Arbeit und ihre Erfahrungen bei DESY berichteten.

Darüber hinaus unterstützte DESY im Jahr 2010 weitere externe Sommerstudentenprogramme, wie z.B. die Helmholtz International Summer School Dubna (HISS Dubna) und die Herbstschule in Maria Laach, und bot im Rahmen der Helmholtz-Allianz „Physics at the Terascale“ vielfältige Workshops und Schulen für Studenten an.

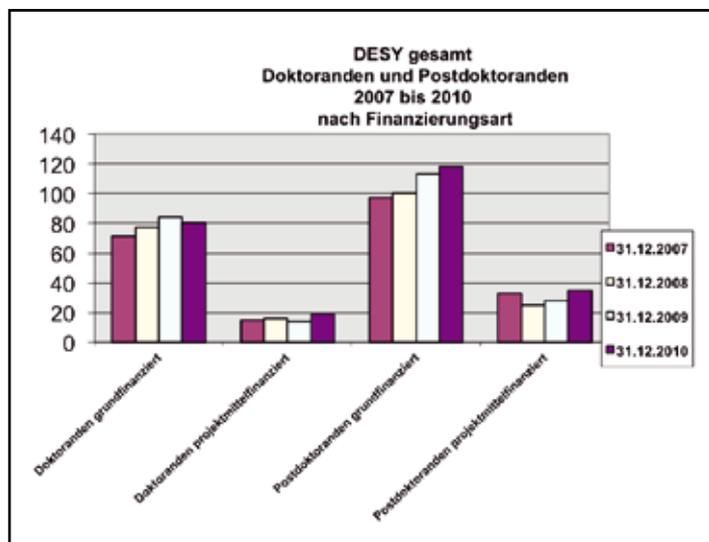


Abbildung 3

Im Bereich der Postdoktoranden bei DESY sind kontinuierlich deutliche Steigerungen zu verzeichnen.

**Nachwuchswissenschaftler:** Eine wesentliche Säule des deutschen Forschungssystems sind die Nachwuchswissenschaftler. DESY unterstützt daher alljährlich ein umfangreiches Programm für Nachwuchswissenschaftler, das DESY-Fellowship-Programm. Die besten Kandidaten für die Fellowships werden von einem Post-Doc-Komitee ausgesucht. Sowohl in der experimentellen

als auch in der theoretischen Teilchenphysik übersteigt die Nachfrage um ein Vielfaches die Anzahl der verfügbaren Fellowships. Die Einstellung erfolgt für zwei Jahre mit der Möglichkeit der Vertragsverlängerung um ein Jahr. Im Rahmen eines Trainee-programms wird jährlich ein Trainee im administrativen Bereich eingestellt, der für Führungsaufgaben geschult wird und entsprechende Weiterbildungen besucht.

**Auszubildende:** DESY unterstützt sehr stark die Ausbildung in Lehrberufen. Im Berichtsjahr bildete DESY insgesamt 118 Lehrlinge in den Berufen Elektroniker, Mechatroniker, Industriemechaniker, Tischler, Fachinformatiker, Industriekaufleute, und Fachangestellte Bibliothek aus. Als Erweiterung des betrieblichen Ausbildungssystems haben im Jahr 2010, in Kooperation mit der Hochschule für Angewandte Wissenschaften (HAW), die ersten beiden Studierenden ihr Maschinenbaustudium bei DESY aufgenommen.



Abbildung 4

Mechanische Ausbildungswerkstatt

## Chancengleichheit

Im Frühjahr 2010 wurde die Chancengleichheit bei DESY im Personalentwicklungsplan verankert. Dieser sieht neben Maßnahmen zu familiengerechten Arbeitszeiten, Teilzeitbeschäftigung und Verlängerung der Laufzeit von befristeten Arbeitsverträgen entsprechend der Elternzeit auch Wiedereinstiegsmaßnahmen und ein spezielles Mentoring-Programm für Frauen vor.

Ferner beschäftigt sich DESY mit dem Aspekt der Kinderbetreuung: Aus dem anfänglichen englischsprachigen betriebseigenen Kindergarten mit einer Halbtagsbetreuung für 30 Kinder (2004) wurde in den Folgejahren ein Hamburger Kindergarten mit einem zehnstündigen Betreuungsangebot für insgesamt 50 Kinder. Ende 2009 wurde angebaut mit dem Ziel einer Verdoppelung der Betreuungskapazität auf 120 Kinder. DESY erstattet die beim Besuch einer dienstlich veranlassten Fortbildungsveranstaltung zusätzlich entstehenden Kinderbetreuungskosten. Auch wird inzwischen bei hausinternen Konferenzen u.ä. eine Betreuung angeboten, zusätzlich steht ein Eltern-Kind-Büro zur Verfügung.

# Personal und Finanzen.

## Die Infrastruktur des Forschungszentrums

Die Abteilungen Allgemeine Dienstleistungen, Personal, Finanzen und Warenwirtschaft in Hamburg und Zeuthen sowie die Rechtsabteilung, die Servicezentren Bauwesen und Technische Sicherheit, die Sozialberatung und die Stabsstellen Technologietransfer, Sicherheit und Umweltschutz, Innenrevision, Betriebsarzt sowie IT-Sicherheit und Datenschutz bilden den Bereich Administration bei DESY.

### Highlights und neue Entwicklungen

Die begleitenden Arbeiten zur Realisierung des European XFEL sind für große Teile der Administration das beherrschende Thema des Jahres 2010 gewesen. In Verbindung mit den im Abschnitt „Neue Infrastrukturen“ beschriebenen Fortschritten beim Bau der Anlage betraf dies auch die dafür notwendigen Beschaffungsverfahren, umfangreiche rechtliche Regelungen und die Planung des Brandschutzes sowie der Anlagen- und Arbeitssicherheit des European XFEL, deren Durchführung DESY im Rahmen des Projektes übernommen hat.

Das Wachstum der im Jahr 2009 gegründeten European XFEL GmbH und die personelle Verstärkung anderer Partner von DESY am Standort Hamburg bewirkten eine deutlich gesteigerte Nachfrage nach technischen und administrativen Dienstleistungen für Externe bei DESY. Aus diesem Anlass wurde das bestehende Konzept zur Erbringung von Serviceleistungen im Bereich der Infrastruktur für die Partner vor Ort überarbeitet und erweitert.

Neben der Planung und Bereitstellung der erforderlichen Ressourcen umfasste dies auch die Aspekte Vertragswesen, Kostenrechnung, Steuern und Controlling. Die flächendeckende

Einführung des elektronischen Beschaffungssystems e.Biss konnte erfolgreich durchgeführt werden. Die dabei erzielten Ergebnisse sind sehr ermutigend, da nicht nur der Anteil der derzeit parallel noch möglichen Bestellungen auf dem Papierweg deutlich abgenommen hat, sondern inzwischen auch ein nennenswerter Teil der Bestellungen direkt über Lieferantenkataloge erfolgt.

Im Jahr 2009 hat DESY eine Bestandsaufnahme der Bedarfe, Ressourcen und Organisation seiner Infrastruktur abgeschlossen. Auf dieser Basis hat die Verwaltung zusammen mit den IT-Gruppen bei DESY 2010 die Voraussetzungen für das ambitionierte und umfassende Projekt „GO.“ zur Optimierung der administrativen Geschäftsprozesse geschaffen. Dadurch sollen ausgewählte Geschäftsprozesse erfasst und analysiert, optimiert sowie elektronisch abgebildet werden. Unterstützend soll innerhalb des Projektes auch ein zentrales Identity and Access Management System eingeführt werden, das durch Abbildung aller Personen und Rollen eine elektronische Prozessführung und die Implementierung eines zentralen elektronischen Employee Self Service Portals unterstützt.

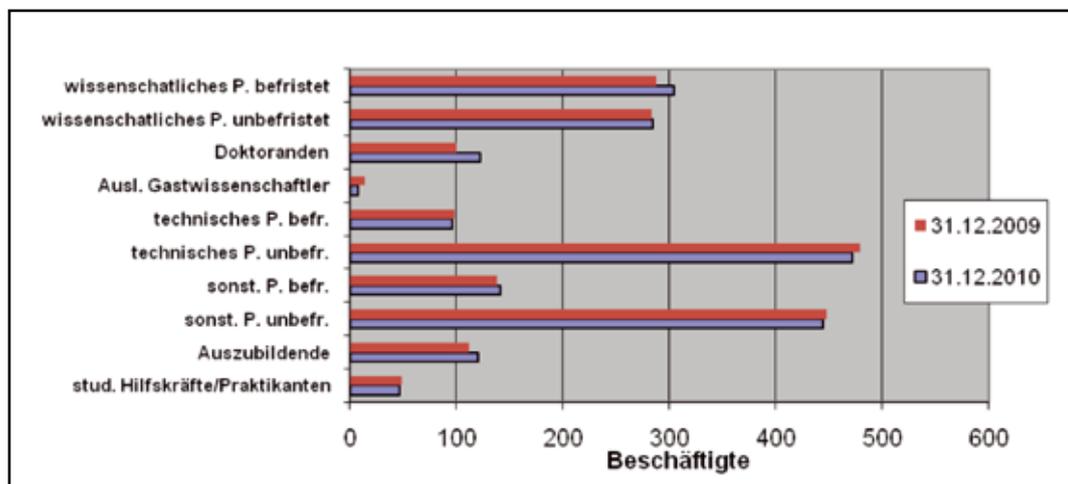


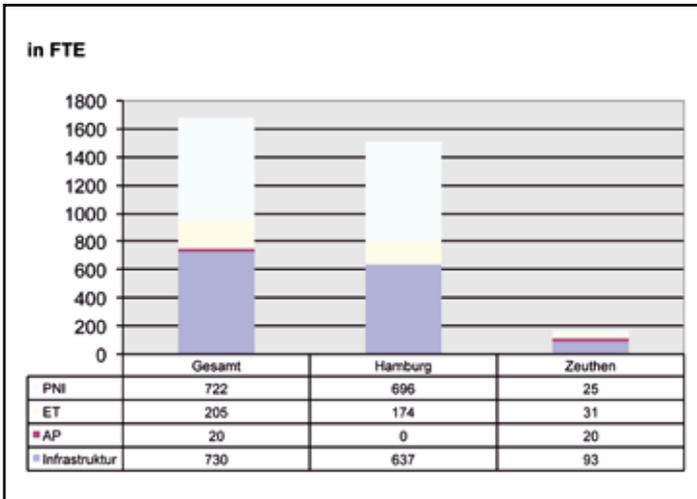
Abbildung 1

Personalbestand von DESY 2010. Die Finanzierung der bei DESY beschäftigten Personen erfolgt zu 92,2 % aus Mitteln der Grundfinanzierung und zu 7,8 % aus Projektmitteln.



Abbildung 2

Einweihung der ersten Tunnelvortriebsmaschine für den European XFEL am 30. Juni 2010 durch Hamburgs Wissenschaftssenatorin Dr. Herlind Gundelach in Anwesenheit von Vertretern von DESY und der European XFEL GmbH.



## Personal

Per 31.12.2010 waren bei DESY an den Standorten Hamburg und Zeuthen zusammen 2038 Personen beschäftigt, was einer Steigerung im Vergleich zum Vorjahresende (31.12.2009) von 1,5 % entspricht. Davon befanden sich 1200 Beschäftigte in einem unbefristeten Arbeitsverhältnis, 838 Beschäftigte waren befristet angestellt. Die Verteilung dieser Zahlen auf verschiedene Mitarbeitergruppen zeigt Abbildung 1.

Betrachtet man die Verteilung der Vollzeitäquivalente (Full-Time Equivalents, FTE) getrennt nach den drei Forschungsprogrammen PNI (Forschung mit Photonen, Neutronen und Ionen), ET (Elementarteilchenphysik) und AP (Astroteilchenphysik), an denen DESY beteiligt ist, so ist für die Bereiche ET und AP zum Stichtag 31.12.2010 (Abbildung 3 und 4) im Vergleich zum Vorjahreszeitpunkt ein Zuwachs zu verzeichnen (ET 6,5 %, AP 82 %), für den Bereich PNI ein Rückgang um 1,9 %. Neben den dargestellten FTE-Zahlen für die Forschungsprogramme sind 2010 im Bereich Infrastruktur und Technologietransfer/Sonderaufgaben (inkl. nichtwissenschaftliche Ausbildung) 779 FTE beschäftigt gewesen. Diese Zahl ist im Vergleich zum Vorjahr (774 FTE) um 0,6 % gestiegen.

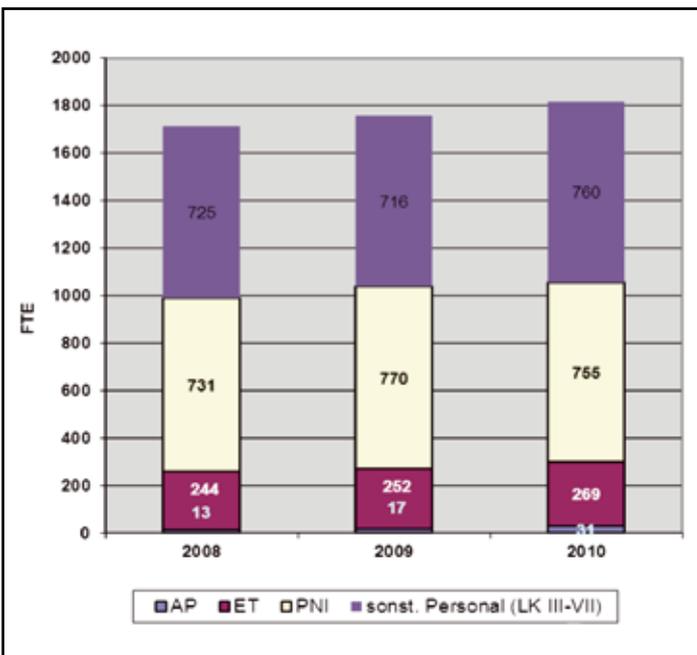


Abbildung 3 und 4

Verteilung der Personaljahre (Full-Time Equivalents (FTE)) bei DESY auf die drei Forschungsprogramme PNI (Forschung mit Photonen), ET (Elementarteilchenphysik), AP (Astroteilchenphysik) und die Infrastruktur.

Oben: Verteilung im Jahr 2010 für DESY gesamt und die beiden DESY-Standorte in Hamburg und in Zeuthen getrennt.

Unten: Personalentwicklung in den Jahren 2008 bis 2010.

## Finanzen

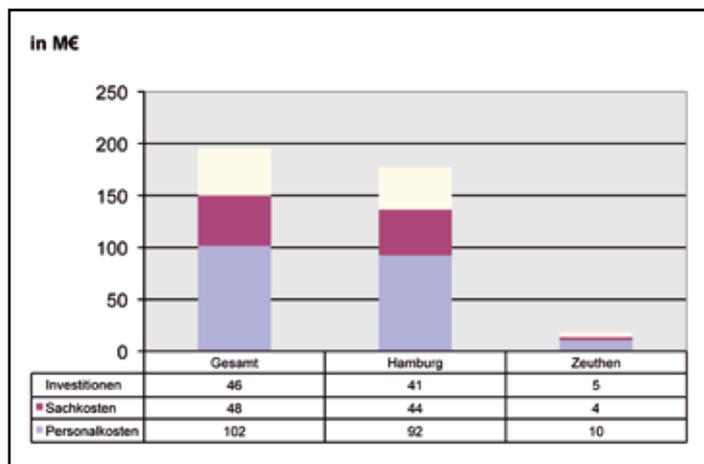


Abbildung 6

Personal- und Sachkosten und Investitionen (inklusive Ausbaurvorhaben > 2,5 ME) der Grundfinanzierung im Jahr 2010 für DESY gesamt und die beiden DESY-Standorte in Hamburg und in Zeuthen getrennt.

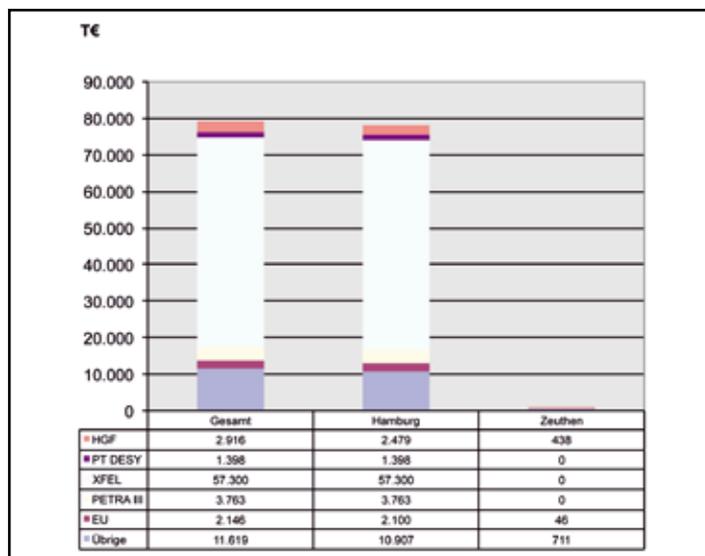


Abbildung 8

Projektmittelerträge differenziert nach den verschiedenen Drittmittelquellen im Jahr 2010 für DESY gesamt und die beiden DESY-Standorte in Hamburg und in Zeuthen getrennt.

	DESY Gesamt T€	Standort Hamburg T€	Standort Zeuthen T€
<b>Elementarteilchenphysik</b>			
LK I			
Personalkosten	13.769	11.597	2.172
Sachkosten	2.119	1.792	327
Abschreibungen	1.167	941	226
Summe direkte Kosten	17.055	14.330	2.725
LK II			
Personalkosten	1.095	1.095	0
Sachkosten	678	677	1
Abschreibungen	325	287	39
Summe direkte Kosten	2.098	2.058	40
<b>Astroteilchenphysik</b>			
LK I			
Personalkosten	1.636	0	1.636
Sachkosten	208	0	208
Abschreibungen	494	0	494
Summe direkte Kosten	2.337	0	2.338
<b>Forschung mit Photonen, Neutronen und Ionen</b>			
LK I			
Personalkosten	5.729	4.321	1.408
Sachkosten	1.578	990	588
Abschreibungen	1.555	498	1.057
Summe direkte Kosten	8.862	5.809	3.053
LK II			
Personalkosten	39.494	39.041	454
Sachkosten	17.684	17.610	74
Abschreibungen	20.006	18.038	1.968
Summe direkte Kosten	77.184	74.689	2.495
<b>Programmungebundene Forschung</b>			
LK I			
Personalkosten	586	586	0
Sachkosten	54	54	0
Abschreibungen	16	16	0
Summe direkte Kosten	656	656	0
<b>Infrastruktur</b>			
LK III – IK VII			
Personalkosten	39.463	35.076	4.387
Sachkosten	25.286	22.866	2.420
Abschreibungen	16.998	15.578	1.420
Summe direkte Kosten	81.747	73.521	8.227
<b>Summe</b>			
Personalkosten	101.771	91.716	10.056
Sachkosten	47.607	43.989	3.618
Abschreibungen	40.561	35.358	5.203
Summe direkte Kosten	189.940	171.063	18.877

Abbildung 7

Grundfinanzierte Kosten bei DESY im Jahr 2010 in den Leistungskategorien der Helmholtz-Gemeinschaft (LK) I – IV bzw. den Infrastrukturkategorien (IK) V – VII in T€.



Abbildung 9

Das aufgestockte Gebäude des Schülerlabors physik.begreifen bei DESY in Hamburg. Die Mittel hierfür wurden vom BMBF im Rahmen des Konjunkturprogramms zur Verfügung gestellt.

Die Aufstockung des Schülerlabors physik.begreifen in Modulbauweise sowie die Erweiterung des Kindergartens wurden im Sommer bzw. Frühherbst 2010 abgeschlossen. Zudem wurden die Sommerferien dazu genutzt, die Cafeteria (Gebäude9) durch eine Erneuerung von Decken, Wänden, Fußböden und Möbeln vollständig zu renovieren. Mit dem Umbau des Gästehauses 3 konnte im September begonnen werden. Die Fertigstellung ist für den Frühsommer 2011 geplant.

Der südlich zur PETRA III-Experimentierhalle angeordnete Erweiterungsbau (Gebäude48e) mit insgesamt 800m<sup>2</sup>, der größtenteils zur Nutzung durch EMBL vorgesehen ist, ist fertiggestellt und von EMBL bereits bezogen. Die Außenanlagen konnten ebenfalls noch vor der Winterperiode abgeschlossen werden. Von September bis November 2010 wurde ein Erweiterungsbau für das Gebäude49a zur gemeinsamen Nutzung für CFEL durch die Universität Hamburg, MPG und DESY auf Basis einer gebrauchten Containeranlage errichtet und an die Nutzer übergeben.

Für die Realisierung der Vorhaben FLASH II und Ausbau PETRA III mit zwei weiteren Hallen im Norden und Osten wurden die Baugrundvoruntersuchungen bereits durchgeführt. Daneben wurde ein beschränkter Architekturwettbewerb für die Außendarstellung des Ensembles aus FLASH I (Altbau), FLASH II und PETRA III (Neubau) Nord durchgeführt.



Abbildung 10

Vorstellung des Architekturbüros Renner Hainke Wirth für den PETRA III-Erweiterungs- und die geplante zweite FLASH-Experimentierhalle.

Das Projekt zur Realisierung der European-XFEL-Bauwerke läuft planmäßig. Die Arbeiten an der Baugrube des Injektorgebäudes wurden fristgemäß beendet, so dass ab Anfang Mai mit dem Hochbau begonnen werden konnte. Die Drainageschicht und die Sandplanung mit Erdungsnetz und Unterbeton sind inzwischen fertiggestellt. Die Schächte XS1 bis XS4 am Osdorfer Born sind ebenfalls fertiggestellt. Die Hilfskonstruktion für die Schildeinfahrt und Schildvortriebsmaschine wurde eingebaut, zur Jahresmitte 2010 wurde mit dem Vortrieb durch die Tunnelbohrmaschine TULA begonnen. Die Schächte XSDU1 und XSDU2 in Schenefeld sind ebenfalls fertiggestellt. Auch in der Experimentierhalle wurde die Betonsole gegossen und mit dem Schildvortrieb für die Tunnel der Experimentstrahlführungen begonnen. Die

Halle der Accelerator Module Test Facility (AMTF, Gebäude72) ist fertiggestellt und in Betrieb genommen worden.



Abbildung 11

Erster Durchstich der Tunnelbohrmaschine für den European XFEL am 3. September 2010

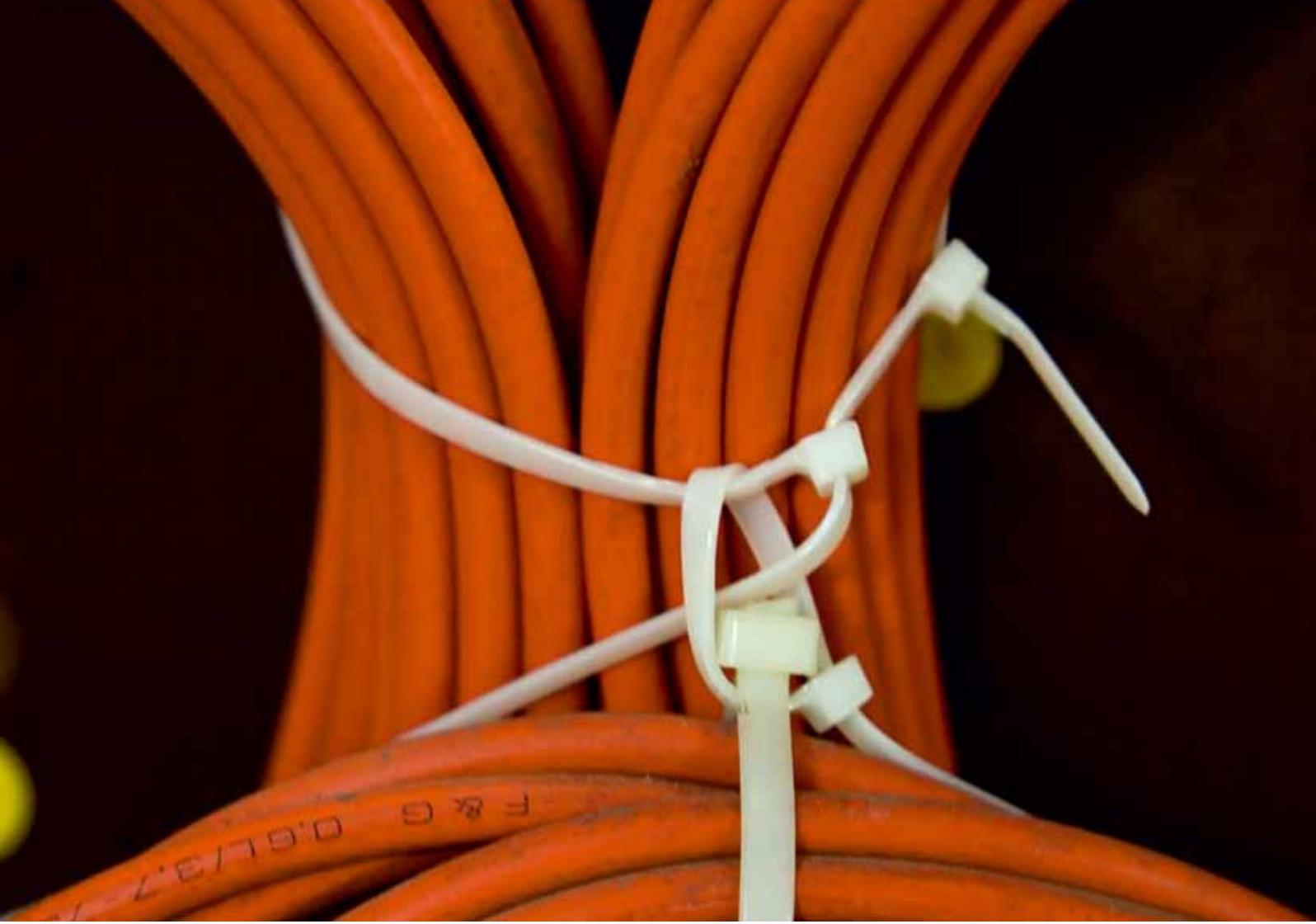
In den nächsten Jahren ist eine umfangreiche Generalsanierung des unterirdischen Leitungsnetzes (Heizung, Wasser, Abwasser) vorgesehen. Dafür wurde im Juni ein Generalplaner für die nächsten vier Jahre bestellt. Die Sanierung soll sukzessive quadrantenweise vollzogen werden. In Abstimmung mit der Universität Hamburg wird zudem eine umfassende Flächen-nutzungsplanung für den Standort Bahrenfeld angestrebt.

	DESY Gesamt T€	Standort Hamburg T€	Standort Zeuthen T€
<b>Einnahmen</b>			
<b>Zuwendung im Rahmen der programmorientierten Förderung</b>	<b>169.727,0</b>	<b>153.285,0</b>	<b>16.442,0</b>
davon Bund	152.754,2	137.956,4	14.797,8
davon Betrieb	132.205,0	120.153,2	12.052,8
davon laufende Investitionen	18.262,2	15.517,2	2.745,0
davon Maßnahmen > 2,5 M€	2.286,0	2.286,0	0,0
davon Länder	16.972,8	15.328,6	1.644,2
davon Betrieb	14.690,0	13.350,8	1.339,2
davon laufende Investitionen	2.028,8	1.723,8	305,0
davon Maßnahmen > 2,5 M€	254,0	254,0	0,0
<b>Sonstige Erträge</b>	<b>119.241,7</b>	<b>116.021,4</b>	<b>3.220,2</b>
davon			
Projektmittel des Bundes u. anteilige Finanzierung der Stadt Hamburg für PETRA III und den European XFEL	3.763,0	3.763,0	0,0
Bund Hamburg	2.223,0	2.223,0	0,0
Projektmittel des Bundes u. anteilige Finanzierung der Länder Hamburg und Schleswig-Holstein - European XFEL Bauphase	57.300,0	57.300,0	0,0
Bund	47.300,0	47.300,0	0,0
Länder	10.000,0	10.000,0	0,0
davon	24.063,3	22.633,3	1.430,0
Selbstbewirtschaftungsmittel aus Vorjahr			
<b>Gesamteinnahmen</b>	<b>288.968,7</b>	<b>269.306,4</b>	<b>19.662,2</b>
<b>Ausgaben</b>			
<b>Personalaufwendungen</b>	<b>110.655,9</b>	<b>99.601,9</b>	<b>11.054,0</b>
<b>Sachaufwendungen</b>	<b>59.435,6</b>	<b>55.326,0</b>	<b>4.109,7</b>
davon			
fremde FuE-Arbeiten	1.352,6	1.211,4	141,2
Repräsentationen	3,1	1,3	1,8
sonstige betriebliche Aufwendungen	58.079,9	54.113,3	3.966,7
<b>Zuschüsse an Dritte</b>	<b>5.823,0</b>	<b>5.243,0</b>	<b>580,0</b>
HGF Impuls- und Vernetzungsfonds	5.823,0	5.243,0	580,0
<b>Aufwand für laufende Investitionen</b>	<b>37.642,4</b>	<b>34.749,2</b>	<b>2.893,2</b>
davon			
Baumaßnahmen < 2,5 M€	3.369,7	2.443,7	926,0
Beschaffungen < 2,5 M€	34.215,1	32.248,0	1.967,2
Fahrzeuge	57,6	57,6	0,0
Ausleihungen	0,0	0,0	0,0
<b>Baumaßnahmen und größere Beschaffungen &gt; 2,5 M€</b>	<b>75.679,3</b>	<b>74.671,8</b>	<b>1.007,5</b>
davon			
auf Projektmittel für Großmaßnahmen PETRA III und European XFEL entfallende Beträge	60.256,3	60.256,3	0,0
<b>Überleitungsposition</b>	<b>-360,8</b>	<b>-358,5</b>	<b>-2,3</b>
(Überleitung von Aufwendungen zu Ausgaben)			
<b>Gesamtausgaben</b>	<b>288.875,4</b>	<b>269.233,4</b>	<b>19.642,1</b>
<b>Kassenmittel (Projektmittel) per 31.12.2010</b>	<b>93,2</b>	<b>73,1</b>	<b>20,2</b>

Abbildung 12

Wirtschaftsplan IST 2010 (ohne ESRF-Mittel) für DESY gesamt und die beiden DESY-Standorte in Hamburg und in Zeuthen getrennt.





## Anhang.

# Beschleuniger bei DESY.

## Die wichtigsten Anlagen

### DESY II

- > Synchrotron für Elektronen bzw. Positronen
- > Vorbeschleuniger für DORIS III und PETRA III, außerdem Erzeugung von Teststrahlen
- > Umfang: 293 m
- > Energie: 450 MeV bis 7 GeV
- > Inbetriebnahme: 1987
- > 3 Messplätze für Teststrahlexperimente

### PIA

- > Akkumulator für Elektronen bzw. Positronen
- > Umfang: 29 m
- > Energie: 450 MeV
- > Inbetriebnahme: 1979

### LINAC II

- > Teilchenquelle und Linearbeschleuniger für Elektronen bzw. Positronen
- > Vorbeschleuniger für DESY II, DORIS III und PETRA III
- > Länge: 70 m
- > Energie: 450 MeV
- > Inbetriebnahme: 1971

### DORIS III

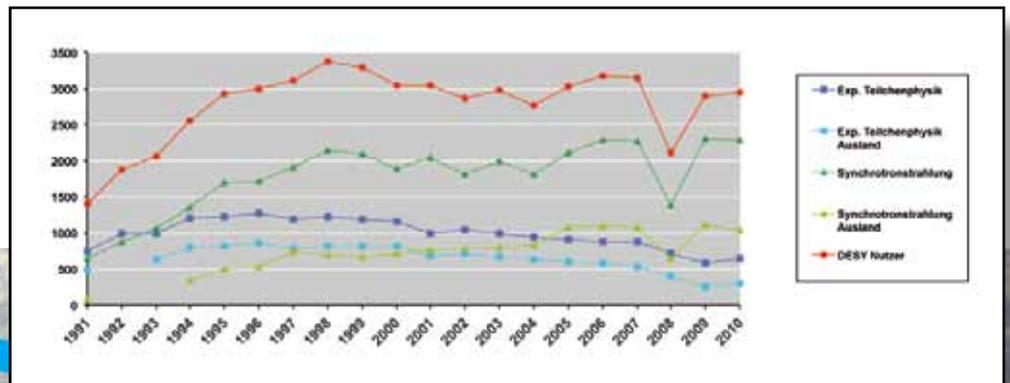
- > Synchrotron für Elektronen bzw. Positronen
- > Quelle für Synchrotronstrahlung
- > Umfang: 289 m
- > Energie: 4,5 GeV
- > Typische Photonenwellenlänge: 0,1 nm
- > Spitzenbrillanz des Lichts\*:  $10^{13}$
- > Inbetriebnahme: 1974
- > 36 Messplätze mit 45 im Wechsel betriebenen Instrumenten

### FLASH

- > Freie-Elektronen-Laser im VUV-Bereich und Prototypanlage für den European XFEL
- > Länge: 260 m
- > Energie: 1,25 GeV
- > Typische Photonenwellenlänge: 4,6 nm
- > Spitzenbrillanz des Lichts\*:  $10^{32}$
- > Inbetriebnahme als Testanlage: 1992
- > Nutzerbetrieb: seit 2005
- > 5 Messplätze

\* Photonen pro (s mrad<sup>2</sup> mm<sup>2</sup> 0,1% BW)

Abbildung 1  
Externe Nutzer der  
DESY-Anlagen



### PITZ

- > Photoinjektor-Teststand bei DESY in Zeuthen
- > Entwicklung und Optimierung von Elektronenquellen für FLASH und European XFEL
- > Länge: 20,6 m
- > Energie: 25 MeV
- > Inbetriebnahme: 2002
- > Normierte transversale Emittanz bei einer Elektronenladung von 1 nC: 0,9 mm mrad

### European XFEL (im Bau)

- > Freie-Elektronen-Laser im Röntgenbereich
- > Linearbeschleuniger von DESY bereitgestellt
- > Länge: ca. 3,4 km
- > Typische Photonenwellenlänge: 0,1 nm
- > Spitzenbrillanz des Lichts\*:  $10^{34}$
- > Beginn der Inbetriebnahme: 2014
- > 10 Messplätze

### REGAE

- > Elektronenquelle für zeitlich aufgelöste Diffraktionsexperimente
- > Länge: unter 10 m
- > Energie: 5 MeV
- > Normierte transversale Emittanz bei einer Elektronenladung von <1 pC: 5 nm mrad



### PETRA III

- > Synchrotron für Elektronen bzw. Positronen
- > Quelle für Synchrotronstrahlung
- > Umfang: 2304 m
- > Energie: 6 GeV
- > Typische Photonenwellenlänge: 0,01 nm
- > Spitzenbrillanz des Lichts\*:  $10^{25}$
- > Inbetriebnahme: 1978
- > 1978-1986: Teilchenphysik
- > 1987-2007 Vorbeschleuniger für HERA
- > seit 2009: weltweit brillantester Speicherring zur Erzeugung von Röntgenstrahlung
- > 14 Messplätze mit bis zu 30 Instrumenten

### Deutsches Elektronen-Synchrotron DESY

Ein Forschungszentrum der Helmholtz-Gemeinschaft

- > Gegründet am 18. Dezember 1959 in Hamburg
- > Standorte: Hamburg und (seit 1992) Zeuthen in Brandenburg
- > Etat: 192 Millionen Euro (Hamburg: 173 Mio. Euro, Zeuthen: 19 Mio. Euro)
- > Finanzierung: 90 % vom Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF) und 10 % von der Stadt Hamburg bzw. dem Land Brandenburg
- > Mitarbeiter: etwa 2000 (davon 10 % in Zeuthen), davon arbeiten rund 650 Wissenschaftler in der Forschung und Entwicklung und im Beschleunigerbetrieb
- > Gastforscher: jährlich über 3000 aus über 40 Nationen
- > Wissenschaftlicher Nachwuchs: etwa 700 Diplomanden, Doktoranden und Postdocs
- > Ausbildung: über 100 junge Menschen in gewerblich-technischen und kaufmännischen Berufen

Außerdem betreibt DESY in Hamburg und Zeuthen seit 2009 das DESY Grid Centre, ein Tier-2-Computerzentrum für die Experimente am Large Hadron Collider (LHC) in Genf. Im Rahmen der National Analysis Facility (NAF) stellt DESY zudem zusätzliche Computerressourcen für die Physikanalyse zur Verfügung. Hinzu kommt ein Tier-1-Zentrum in Zeuthen für die Datennahme des Neutrinoexperimentes IceCube.

PETRA III

## Verwaltungsrat

Vertreter der Bundesrepublik Deutschland:

Dr.-Ing. **B. Vierkorn-Rudolph** (Vorsitzende)  
(Bundesministerium für Bildung und Forschung)

MinR'in **O. Keppler**  
(Bundesministerium für Bildung und Forschung)

MinR **H. J. Hardt**  
(Bundesministerium für Finanzen)

Vertreter der Freien und Hansestadt Hamburg:

LRD Dr. **R. Greve**  
(Behörde für Wissenschaft und Forschung)

ORR Dr. **M. Brüser**  
(Finanzbehörde)

Vertreter des Landes Brandenburg:

MinDirig Dr. **J. Glombik** (Stellvertr. Vorsitzender)  
(Ministerium für Wissenschaft, Forschung und Kultur)

Dr. **C. Menzel**  
(Ministerium der Finanzen)

## Direktorium

Dr. **R. Brinkmann**  
(Bereich Beschleuniger)

Prof. Dr. **H. Dosch**  
(Vorsitzender des DESY-Direktoriums)

Prof. Dr. **J. Mnich**  
(Bereich Hochenergiephysik und Astroteilchenphysik)

**C. Scherf**  
(Bereich Verwaltung)

Prof. Dr. **E. Weckert**  
(Bereich Forschung mit Photonen)

Dr. **U. Gensch**  
(Vertreter des Direktoriums in Zeuthen)

## Wissenschaftlicher Rat (WR)

Dr. **U. Bassler**

CEA-DSM, Gif sur Yvette (FR)

Prof. Dr. **S. Chattopadhyay**

Daresbury Laboratory (UK)

Prof. Dr. **M. Danilov**

ITEP, Moskau (RU)

Dr. J.-P. **Delahaye**

CERN, Genf (CH)

Prof. Dr. **B. Foster**

University of Oxford (UK)

Prof. **J. Hastings**

SLAC National Accelerator Laboratory (USA)

Dr. **N. Holtkamp**

ITER International Team, St. Paul lez Durance (FR)

Prof. **E. Iarocci**

INFN Frascati (IT)

Prof. Dr. **J. Kirz**

Lawrence Berkeley National Laboratory (USA)

Dr. **G. Long**

Argonne National Laboratory (USA)

Prof. Dr. **J. Nordgren**

University of Uppsala (SE)

Prof. Dr. **H. Ott**

Laboratorium für Festkörperphysik, Zürich (CH)

Prof. Dr. **M. Tolan** (Vorsitzender)

Universität Dortmund

Dr. **P. Wells**

CERN, Genf (CH)

Prof. **G. Wormser**

LAL, Orsay (FR)

## Erweiterter Wissenschaftlicher Rat (EWR)

**ECFA:** Prof. Dr. **T. Nakada**

(EPFL, Lausanne, CH & CERN, Genf, CH)

**MAC:** Dr. **L. Rivkin**

(Paul Scherrer Institut, Villigen, CH)

**PRC:** Prof. Dr. **T. Lohse**

(Humboldt Universität Berlin)

**PSC:** Prof. Dr. **C. Norris**

(DIAMOND, CCLRC Rutherford Appleton Laboratory, UK)

**WA:** Dr. **T. Behnke**

(DESY, Hamburg)

**European XFEL:** Prof. **M. Altarelli**

(DESY, Hamburg)

## Wissenschaftlicher Ausschuss (WA)

**K. Balewski** (DESY)  
**F. Beckmann** (GKSS)  
**T. Behnke** (DESY) (Vorsitzender)  
**M. Bieler** (DESY)  
**K. Borras** (DESY)  
**W. Buchmüller** (DESY)  
**W. Drube** (DESY)  
**G. Eckerlin** (DESY)  
**E. Elsen** (DESY)  
**T. Finnern** (DESY)  
**K. Flöttmann** (DESY)  
**H. Franz** (DESY)  
**H. Graafsma** (DESY)  
**I.-M. Gregor** (DESY)  
**G. Grübel** (DESY)  
**V. Gülzow** (DESY)  
**J. Haller** (Univ. Hamburg)  
**A. Hayrapetyan** (Univ. Gießen)  
**K. Honkavaara** (DESY)  
**J. Jung** (DESY)  
**J. Kaminski** (Univ. Bonn)  
**M. Kasemann** (DESY)  
**O. Kind** (Humboldt-Univ. Berlin)  
**K. Krüger** (Univ. Heidelberg)  
**M. Martins** (Univ. Hamburg)  
**K. Mönig** (DESY)  
**T. Naumann** (DESY)  
**D. Nölle** (DESY)  
**K. Rehlich** (DESY)  
**B. Reisert** (MPI München)  
**A. Ringwald** (DESY)  
**K. Rith** (Univ. Erlangen-Nürnberg)  
**M. Roessle** (EMBL)  
**R. Santra** (DESY)  
**F.-P. Schilling** (Univ. Karlsruhe)  
**S. Schlenstedt** (DESY)  
**M. Schmitz** (DESY)  
**V. Schomerus** (DESY)  
**S. Schreiber** (DESY)  
**H. Schulte-Schrepping** (DESY)  
**A. Schwarz** (DESY)  
**J. Spengler** (DESY)  
**M. Tischer** (DESY)  
**T. Tschentscher** (European XFEL)  
**U. Vainio** (DESY)  
**J. Viehhaus** (DESY)  
**M. Vogt** (DESY)  
**D. Wegener** (Univ. Dortmund)  
**P. Wegner** (DESY)

**G. Weiglein** (DESY)  
**H. Weise** (DESY)  
**K. Wittenburg** (DESY)

## Machine Advisory Committee (MAC)

Dr. **H. Braun** (PSI, CH)  
Dr. **M. Eriksson** (Univ. Lund, SE)  
Dr. **J. Filhol** (SOLEIL, FR)  
Dr. **K. Oide** (KEK, JP)  
Dr. **L. Rivkin** (PSI, CH) (Vorsitzender)  
Dr. **M. Ross** (Fermilab, USA)  
Dr. **R. Schmidt** (CERN, CH)  
Dr. **R. Walker** (DIAMOND, UK)

## Physics Research Committee (PRC)

Prof. Dr. **G. Anton** (Univ. Erlangen)  
Dr. **E. Aschenauer** (BNL, USA)  
Prof. Dr. **M. Beneke** (RWTH Aachen)  
Prof. Dr. **P. Buchholz** (Univ. Siegen)  
Dr. **M. Carena** (Fermilab, USA)  
Prof. Dr. **T. Lohse** (HU Berlin) (Vorsitzender)  
Dr. **E. Perez** (CERN, CH)  
Prof. Dr. **G. Quast** (Univ. Karlsruhe)  
Prof. Dr. **N. Saito** (Univ. Kyoto, JP)  
Dr. **J. Timmermans** (Nikhef / CERN)  
Dr. **A. White** (Univ. Texas, USA)  
Dr. **R. Yoshida** (ANL, USA)

## Photon Science Committee (PSC)

Prof. Dr. **J. Bilderback** (Univ. Cornell, USA)  
Prof. Dr. **M. Fröba** (Univ. Hamburg)  
Prof. Dr. **J. Hajdu** (Univ. Uppsala, SE)  
Dr. **R. Horisberger** (PSI Villigen, CH)  
Prof. Dr. **K. Janssens** (Univ. Antwerpen, BE)  
Prof. Dr. **V. Kvardakov** (Kurchatov Moskau, RU)  
Prof. Dr. **C. Norris** (DIAMOND, UK) (Vorsitzender)  
Prof. Dr. **F. Pfeiffer** (TU München)  
Dr. **H. Reichert** (MPI Stuttgart)  
Prof. Dr. **J.-P. Samama** (SOLEIL, FR)  
Dr. **P. Siddons** (BNL, Upton, USA)  
Dr. **S. Techert** (MPI Göttingen)  
Prof. Dr. **E. Weckert** (DESY)  
Prof. Dr. **P. Withers** (Univ. Manchester, UK)  
Dr. **J. Zegenhagen** (ESRF, FR)

## Landesexzellenzinitiative Hamburg, Forschungsgremium

Connecting Particles with the Cosmos

**T. Behnke** (DESY)  
**K. Borras** (DESY)  
**W. Buchmüller** (DESY)  
**L. Covi** (DESY)  
**E. Elsen** (DESY)  
**C. Hagner** (Univ. Hamburg)  
**P. Hauschildt** (Univ. Hamburg)  
**T. Kneiske** (Univ. Hamburg)  
**B. Andreas Kniehl** (Univ. Hamburg)  
**J. Louis** (Univ. Hamburg)  
**J. Mnich** (DESY)  
**C. Niebuhr** (DESY)  
**A. Ringwald** (DESY)  
**P. Schleper** (Univ. Hamburg) (Vorsitzender)  
**V. Schomerus** (DESY)  
**C. Schweigert** (Univ. Hamburg)  
**F. Sefkow** (DESY)  
**G. Sigl** (Univ. Hamburg)  
**G. Weiglein** (DESY)  
**H. Weise** (DESY)  
**G. Wiedemann** (Univ. Hamburg)

## Helmholtz-Allianz, Wissenschaftlicher Beirat

Physics at the Terascale

Dr. **K. Bos** (Nikhef, NL)  
Dr. **J. Brau** (Univ. of Oregon, USA)  
Prof. Dr. **B. Foster** (Bristol Univ., UK)  
Dr. **P. Jenni** (CERN, CH)  
Dr. **D. Schlatter** (CERN, CH)  
Prof. Dr. **B. Spaan** (Univ. Dortmund)  
Prof. Dr. **J. Stirling** (Univ. of Cambridge, UK)  
Prof. Dr. **T. Virdee** (Imperial College, London, UK)  
Prof. Dr. **S. Yamada** (Univ. of Tokyo, JP)

## Komitee für Elementarteilchenphysik (KET)

Prof. Dr. **S. Bethke** (MPI München)  
Prof. Dr. **K. Desch** (Univ. Bonn)  
Prof. Dr. **S. Dittmaier** (MPI München)  
Dr. **M. Hauschild** (CERN, CH)  
Prof. Dr. **W. Hollik** (MPI München)  
Prof. Dr. **K. Jakobs** (Univ. Freiburg)  
Prof. Dr. **T. Lohse** (HU Berlin)  
Prof. Dr. **T. Mannel** (Univ. Siegen)  
Prof. Dr. **J. Mnich** (DESY)  
Prof. Dr. **K. Mönig** (DESY)  
Prof. Dr. **T. Müller** (KIT, Karlsruhe)  
Prof. Dr. **R. Rückl** (Univ. Würzburg)  
Prof. Dr. **D. Schaile** (LMU München)  
Prof. Dr. **B. Spaan** (TU Dortmund) (Vorsitzender)  
Prof. Dr. **U. Uwer** (Univ. Heidelberg)

## John von Neumann-Institut für Computing (NIC), Wissenschaftlicher Rat

Prof. Dr. **K. Albe** (TU Darmstadt)  
Prof. Dr. **K. Binder** (Univ. Mainz)  
Prof. Dr. **S. Blügel** (IFF, FZJ)  
Dr. **St. Güsken** (Postbank Systems AG)  
Dr. **K. Jansen** (DESY)  
Prof. Dr. **J. Kertesz** (Univ. of Budapest, HU)  
Prof. Dr. **E. Laermann** (Univ. Bielefeld)  
Prof. Dr. **R. Lasser** (GSF, Helmholtz Zentrum München)  
Prof. Dr. **G. Münster** (Univ. Münster) (Vorsitzender)  
Prof. Dr. **P. Nielaba** (Univ. Konstanz)  
Prof. Dr. **G. U. Nienhaus** (KIT, Karlsruhe)  
Prof. Dr. **H. Rollnik** (Univ. Bonn)  
Prof. Dr. **J. Wambach** (GSI, Darmstadt)  
Dr. **H. Weiß** (BASF AG)  
Prof. Dr. **D. E. Wolf** (Univ. Duisburg)

**Fotos und Grafiken:**

Volker Breitkopf

CFEL

Christian Charisius, Hamburg

DESY

EMBL

Hans-Peter Hildebrandt

Hermann Jansen

Heiner Müller-Elsner, Agentur-Focus.de

HZG

Rüdiger Nehmzow, Düsseldorf

Dominik Reipka, Hamburg

Renner Hainke Wirth, Architekturbüro

Raimo Schaaf, Hamburg

Eric Shambroom, Hamburg

Der Nachdruck der Abbildungen erfolgt mit freundlicher Genehmigung der Autoren bzw. Fachzeitschriften.

**Danksagung**

Wir danken den Autoren und allen weiteren Personen, die zur Realisierung dieses Jahresberichts beigetragen haben. ●

## Impressum

### **Herausgeber und Kontakt:**

Deutsches Elektronen-Synchrotron DESY  
Ein Forschungszentrum der Helmholtz-Gemeinschaft

### Standort Hamburg:

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

### Standort Zeuthen:

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

[www.desy.de](http://www.desy.de)

ISBN 978-3-935702-57-7

### **Realisierung und Redaktion:**

Ilja Bohnet  
Ilka Flegel, Textlabor, Jena

**Layout:** Britta Liebaug

**Druck:** Hartung Druck + Medien, Hamburg

**Redaktionsschluss:** Juni 2011

### **Anmerkung des Herausgebers:**

Die Verantwortung für den Inhalt der hier veröffentlichten wissenschaftlichen Beiträge tragen in vollem Umfang die Autoren.

Nachdruck, auch auszugsweise, ist nur mit Quellenangabe gestattet.  
Dieser Jahresbericht darf weder verkauft noch wiederverkauft werden.



## Deutsches Elektronen-Synchrotron Ein Forschungszentrum der Helmholtz-Gemeinschaft

In der Helmholtz-Gemeinschaft haben sich 17 naturwissenschaftlich-technische und medizinisch-biologische Forschungszentren zusammengeschlossen. Ihre Aufgabe ist es, langfristige Forschungsziele des Staates und der Gesellschaft zu verfolgen. Die Gemeinschaft strebt nach Erkenntnissen, die dazu beitragen, Lebensgrundlagen des Menschen zu erhalten und zu verbessern. Dazu identifiziert und bearbeitet sie große und drängende Fragen von

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

[www.helmholtz.de](http://www.helmholtz.de)