

International Linear Collider

- Physikalische Motivation
- Internationale Realisierung
- Detektorentwicklung
- Projekte aus der Beschleunigerphysik

Klaus Desch
Freiburg

BMBF Verbundforschung Strategieworkshop - Teilchenphysik
Bonn, 6. Mai 2005



Elektron-Positron-Kollisionen

Elektron-Positron-Kollisionen bei hoher Energie bieten einzigartige Möglichkeiten zur Untersuchung der Struktur der Materie bei hohen Energien bzw. kürzesten Abständen.

Weltweiter Konsens der Teilchenphysiker:

Ein Elektron-Positron-Linearcollider mit Anfangsenergie 500 GeV, ausbaubar auf 1 TeV hat höchste Priorität. Zeitlicher Überlapp mit LHC unbedingt wünschenswert (z.B. ICFA/2004).

Vorteile von Elektron-Positron-Kollisionen:

- genau bekannte und variable Schwerpunktsenergie
- klare Ereignisse (einfacher Anfangszustand)
- polarisierte Strahlen
- moderater Untergrund

Der International Linear Collider ILC

Erste Phase:

Energie 200→500 GeV, variabel
500 fb⁻¹ in den ersten 4 Jahren
Polarisierte Elektronen

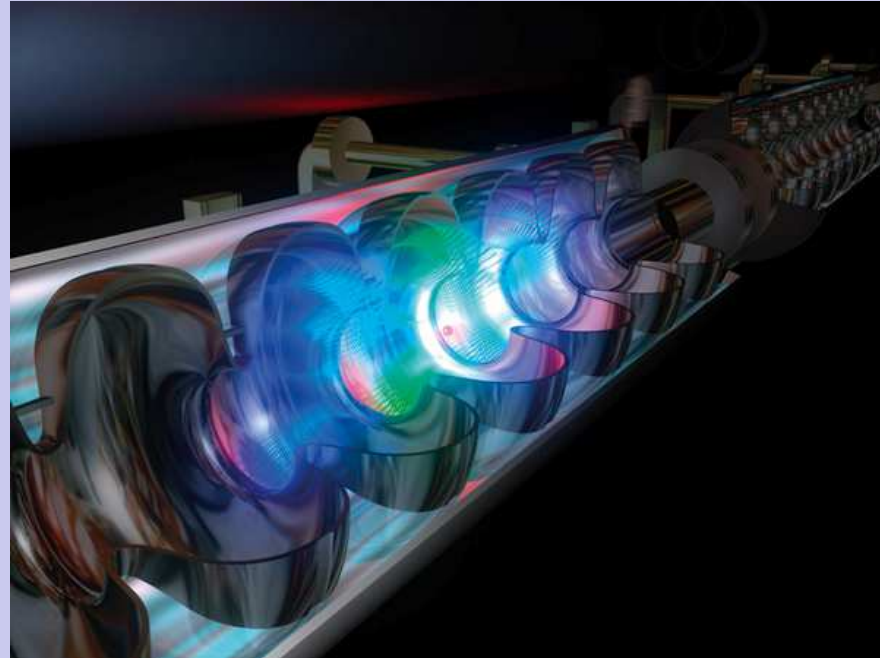
Zweite Phase:

Energie-upgrade auf ~1TeV
1000 fb⁻¹ in 3-4 Jahren

Optionen:

Polarisierte Positronen
Photon-Photon/Photon-Elektron-Kollisionen an zweiter WW-Zone
Giga-Z

ILC basiert auf supraleitender TESLA Beschleuniger-Technologie
(ITRP Aug 2004)

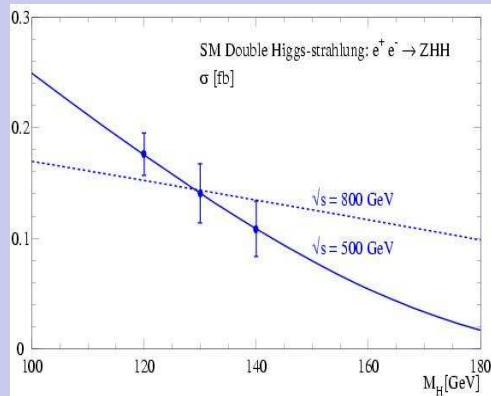


Physikalische Motivation

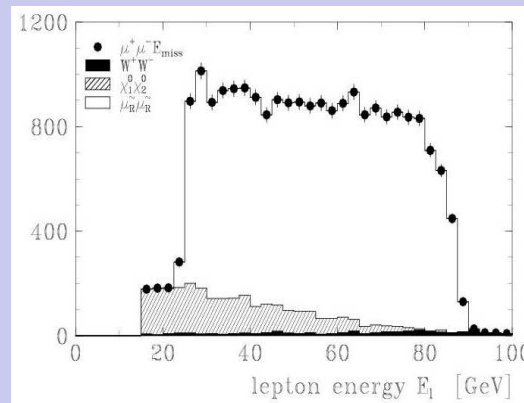
Fundamentale Fragen unseres Verständnisses von Materie, Raum, Zeit und Energie können am ILC studiert werden:

Beispiele:

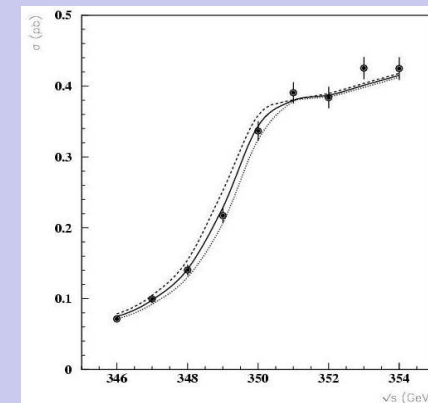
Higgs Mechanismus:
Präzisionsmessungen,
Selbstkopplung



Spektroskopie neuer Teilchen
(z.B. Supersymmetrie)



Top-Quark



- Argumentation unabhängig von den Resultaten des LHC
- LHC und ILC sind komplementär und besitzen grosse Synergie-Effekte
- ILC komplementär zu vielen anderen exp. Ansätzen
(Astrophysik, Teilchenastrophysik, Neutrinos, B-Fabriken, ...)

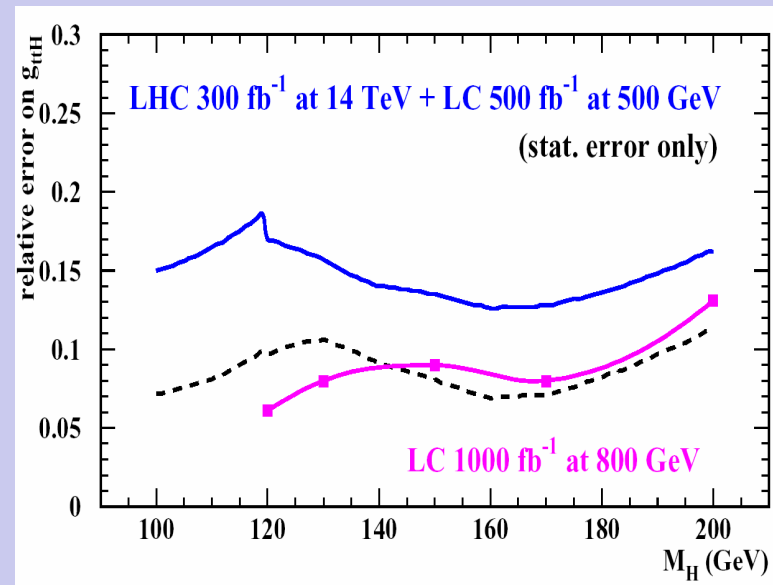
Synergie mit dem LHC

Internationale LHC+ILC Arbeitsgruppe (Theorie+Experimente) hat sich in in den letzten 2 Jahren mit Synergieeffekten beschäftigt.
Bericht: hep-ph/0410364 - starke Beteiligung aus D

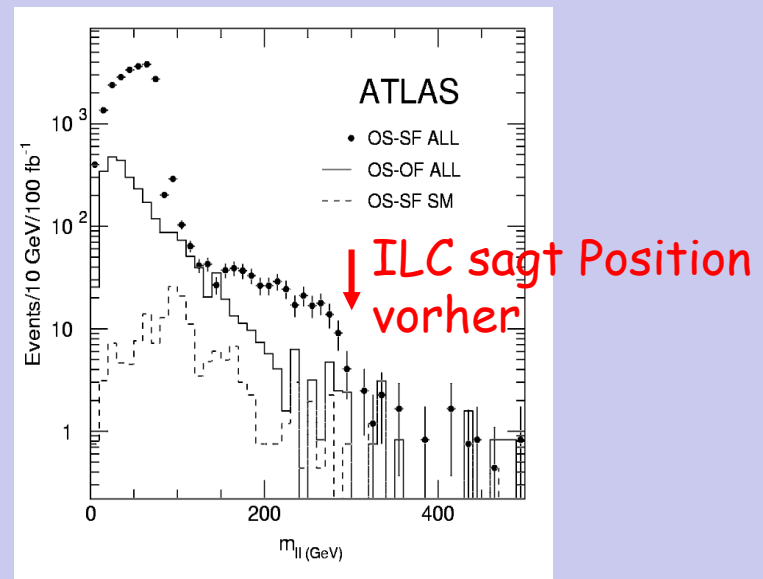
Focus: verbesserte Analyse der LHC Daten durch ILC-Informationen

Beispiele:

Top-Yukawa-Kopplung

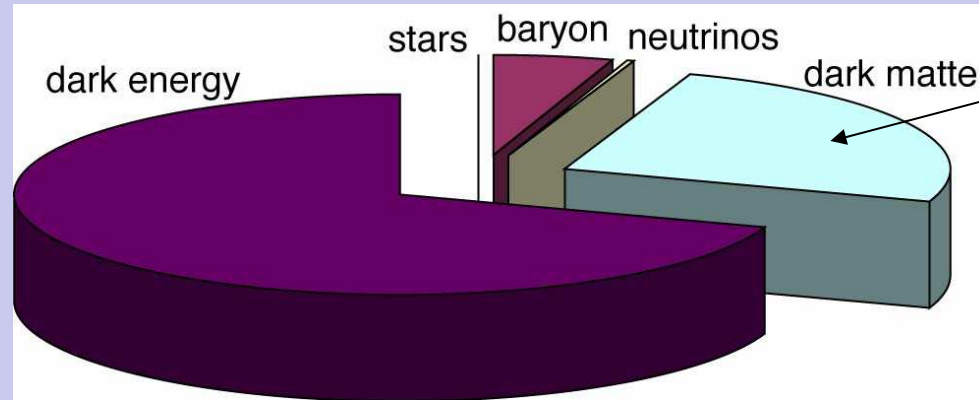


SUSY-Endpunkt-Spektren



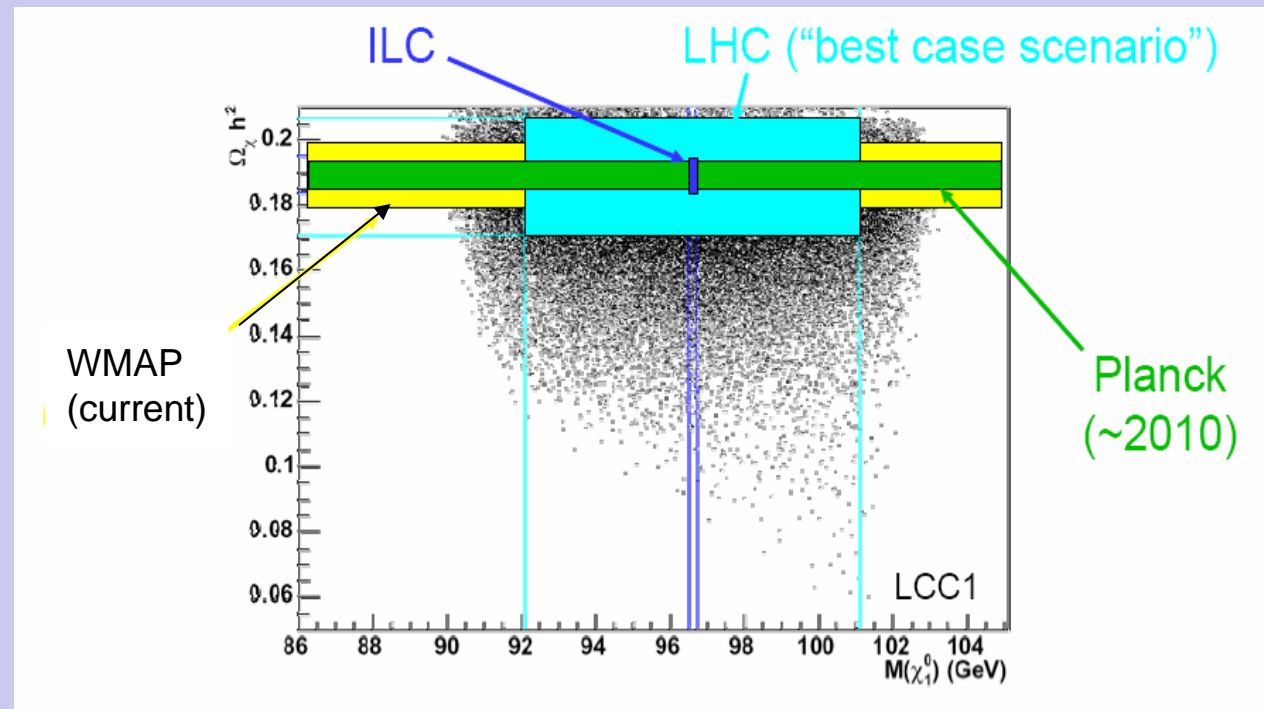
Zusammenspiel mit der Kosmologie

Gesamtenergie des Universums:



kann vielleicht an Beschleunigern produziert und untersucht werden

Ist die DM-Dichte im Universum konsistent mit den Eigenschaften der „Beschleuniger-DM“ ?



Internationale Realisierung

ITRP-Empfehlung (August 2004):

- We recommend that LC be based on super-conducting RF technology.
 - ... we are recommending a technology not a design. We expect that the final design be developed by a team drawn from the combined warm and cold linear collider communities...

ICFA + Labordirektoren nehmen Empfehlung einstimmig an

November 2004: Erster ILC workshop (Maschine) in Japan
- echte Aufbruchstimmung!

März 2005: LCWS05 in Stanford

Barry Barish führt "Global Design Effort"

Barish: Fix $\frac{3}{4}$ of baseline ILC parameters in summer 2005 (Snowmass)

All parameters by end 2005

Costed 'Design Report' by end 2006

'Technical Design Report' in 2008

April 2005: KEK und SLAC treten der "TESLA Technology Collaboration" bei

Internationale Realisierung

Detektorentwicklung ist integraler Bestandteil der ILC-reports
→ F&E und Designstudien jetzt!

LCWS05: Drei Detektorkonzepte (SDC, LDC, GLD) werden studiert

- Alle Konzepte mit Beteiligung aus allen Regionen
- Ziel: Detector Concept Studies mit Kostenschätzung
zeitgleich mit dem 'CDR' der Maschine
- Internationale F&E an Sub-Detektorsystemen

Funding agencies:

Zunehmende Bereitschaft, ILC-Detektor F&E zu fördern.

In Europa:

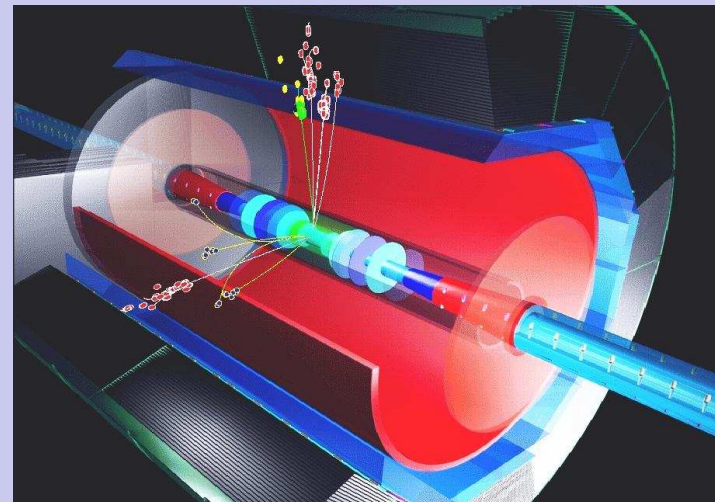
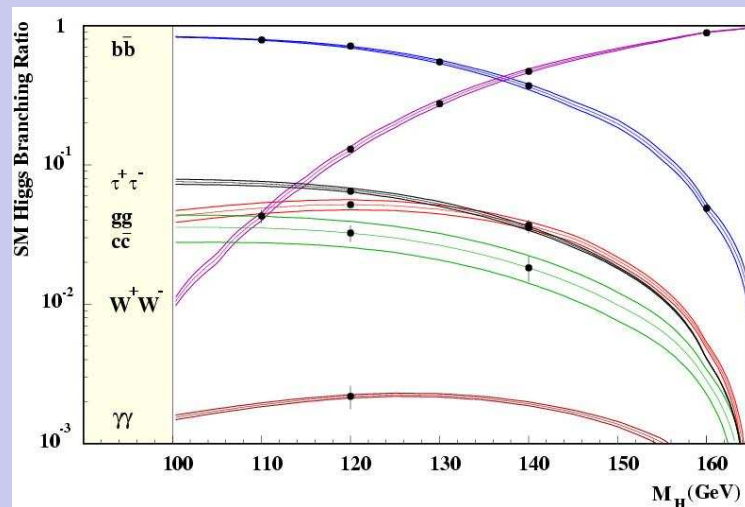
Deutschland, Frankreich, Großbritannien, Italien, Polen, Russland, Spanien,
Schweden, Tschechien, ...

zunehmendes Interesse an deutschen Universitäten!

ILC-Detektor

Präzisionsphysik stellt außerordentliche Anforderungen an den Detektor
(aber andere als an LHC-Detektoren)

Ziel: Minimierung systematischer Fehler - Detektoreffekte dürfen nicht
dominant zum Messfehler beitragen (großes Potential von e^+e^- nutzen!)



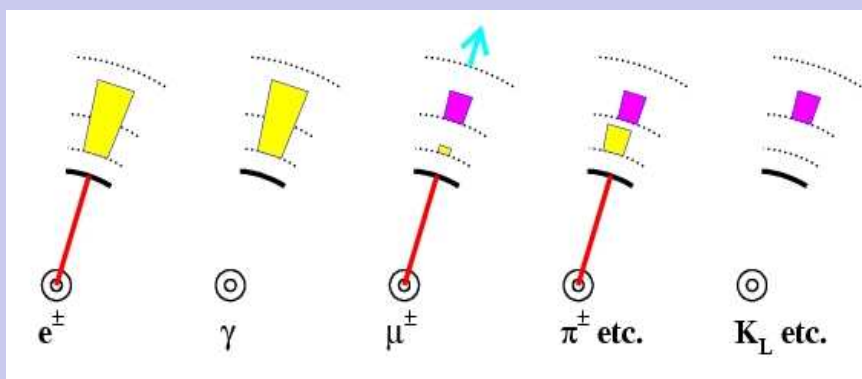
Jetzt: F&E an kritischen Detektorkomponenten!

- Findet statt in internationalen Subdetektor-Kollaborationen

Detektor-Paradigmen

„Particle Flow“ Konzept:

Möglichst exklusive Rekonstruktion aller Teilchenspezies



Optimale Jet-Energieauflösung:

- > Sehr hohe Kalorimeter-Granularität (transv+longit.)
- > Kalorimeter vollst. im B-Feld

Realisierung (kritische Detektorkomponenten):

Hoch-granulares Kalorimeter

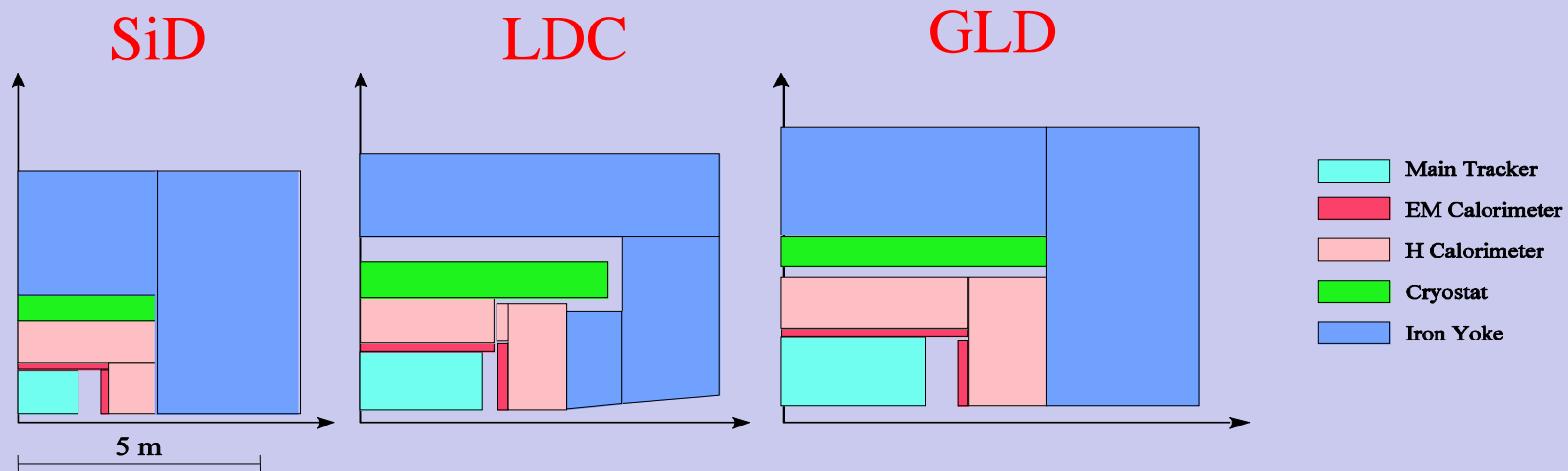
Präziser Spurdetektor im hohen (3-5T) Magnetfeld

Präziser, dünner Vertex-Pixeldetektor nah am Strahlrohr

Hermetizität bis 4 mrad: EM-strahlenhartes Vorwärts-Kalorimeter

Detektor-Konzepte

(Leicht) unterschiedliche Ansätze zur Realisierung des Particle Flow:



Optimierung der Konzepte erfordert sorgfältige Simulation!

- Entwicklung gemeinsamer Software-Umgebungen
- Austausch von Simulationsdaten (GRID!)
- Einheitliche Referenzreaktionen (Physikstudien + Theorie)

Wesentliche Teile der F&E **gemeinsam!**

ILC Detektor-F&E in Deutschland

Deutsche Gruppen an F&E für alle wichtigen Komponenten beteiligt:

Vertexdetektoren: Bonn, DESY, Hamburg, Mannheim, Karlsruhe, MPI München

Spurdetektoren: Aachen, DESY, Freiburg, Hamburg, Karlsruhe, MPI München,
Rostock

Kalorimeter: DESY, Hamburg

Vorwärtskalorimetrie: DESY

Beschleuniger/MDI:

Beam-Monitoring: Karlsruhe

Polarisierte Positronen: Aachen, DESY, HU Berlin

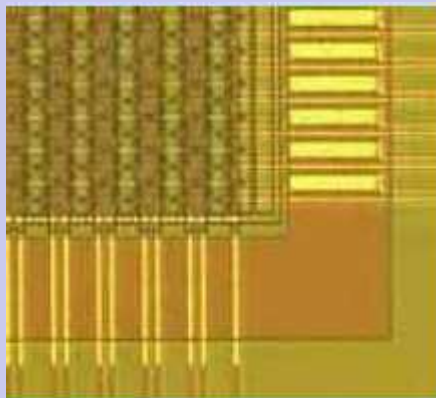
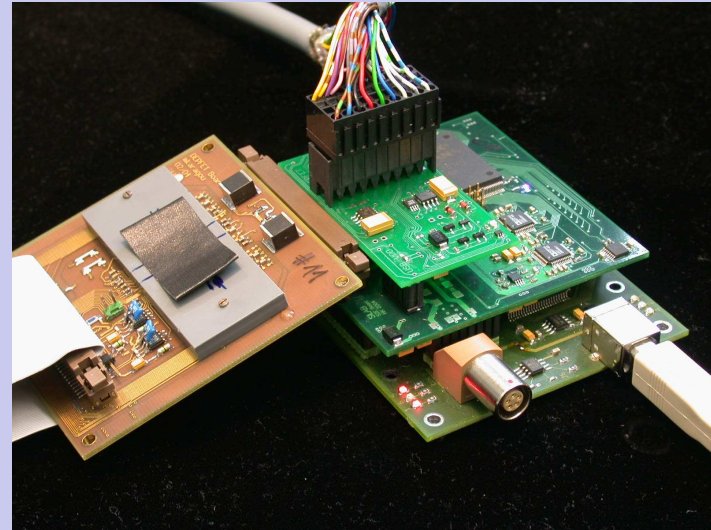
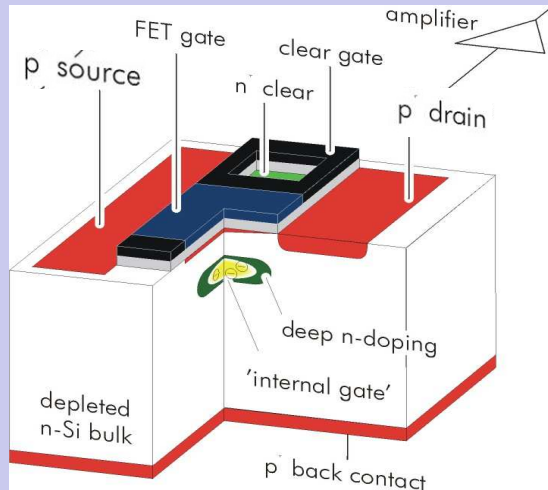
Strahlenergiemessung: DESY

Bunchlängenmessung: Aachen, Hamburg, DESY

Beispiele:

Detektor-Entwicklung: Vertexdetektor

DEPFET (Bonn, Mannheim, MPI München)



64x128 pixel
double metal matrix
(20x30 μm^2 pixels)

Depleted Field Effect Transistor

Integrierter Speicher und Verstärker: niedr. Rauschen

Voll depletierter Sensor: großes S/N

Ladungssammlung durch Drift (nicht durch Diffusion)

Schnelle Auslese (>25 MHz column readout)

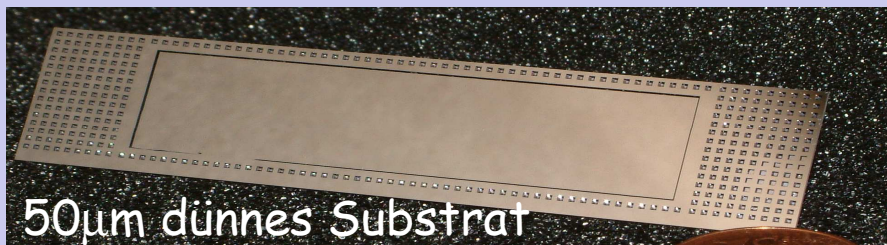
Geringe Leistungsaufnahme (4W für 5 Lagen)

25x25 μm^2 Pixel

Vielversprechender Sensor für ILC Vertex Detektor

Detektor-Entwicklung: Vertexdetektor

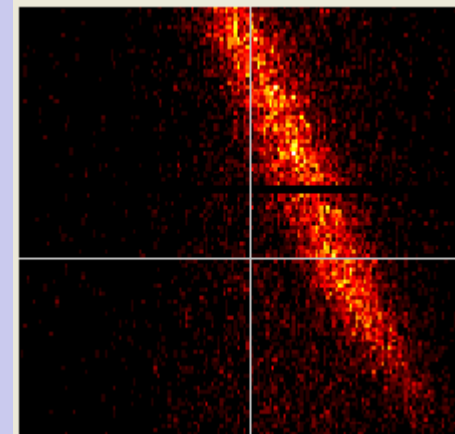
DEPFET (D: Bonn, Mannheim, MPI)



Status:

Prototyp 64x128 Pixel existiert
Testbeam bei DESY Anfang 2005
„Thinning“ auf 50 μ m demonstriert
ASICs für Auslese und Steuerung
Strahlenhärte (ion. Strahlung)
bis 1MRad (5xILC) demonstriert

Nächster Schritt:
o(cm²)-Prototyp mit dünnem
Substrat



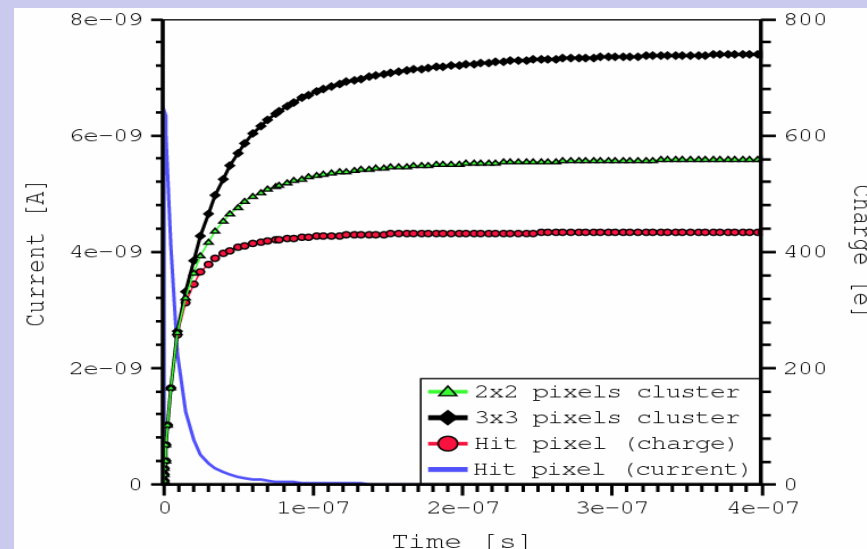
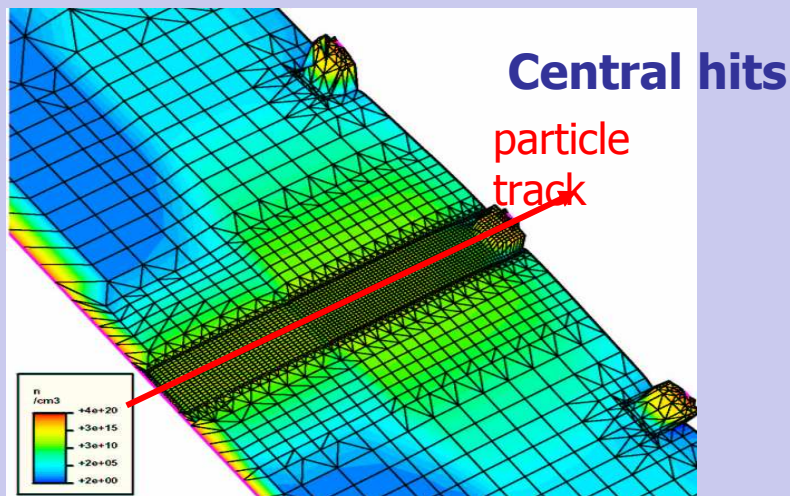
Korrelation
DEPFET-Teleskop
im Testbeam

Detektor-Entwicklung: Vertexdetektor

Uni Hamburg, DESY

1. Simulation für MAPs (Monolithic Active Pixels) → Ladungssammlung, Clusterverteilung
2. Untersuchung mit ^{55}Fe -Quelle → Vergleich mit Simulation
3. Strahlenhärte für Photonen und Elektronen → Anforderungen ILC ?
4. Strahltests von bestrahlten und unbestrahlten Detektoren → Erfahrung + Detailuntersuchungen zu Eigenschaften (Effizienz, Ortsauflösung, optimale Betriebsparameter)

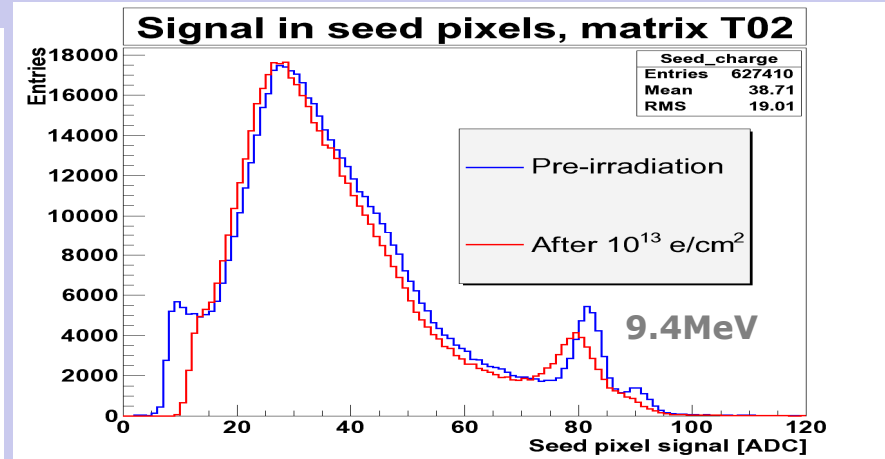
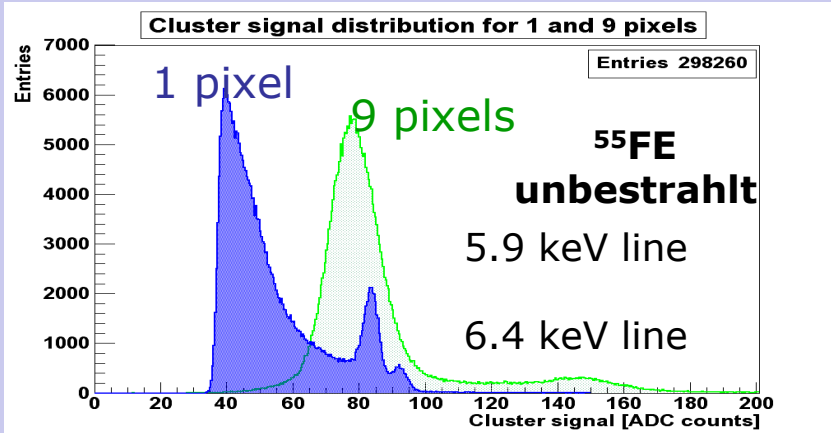
Simulation: Pixel pitch 17 μm , diode 3 mm, EPI-thickness 14 μm , 3x3 pixels cluster



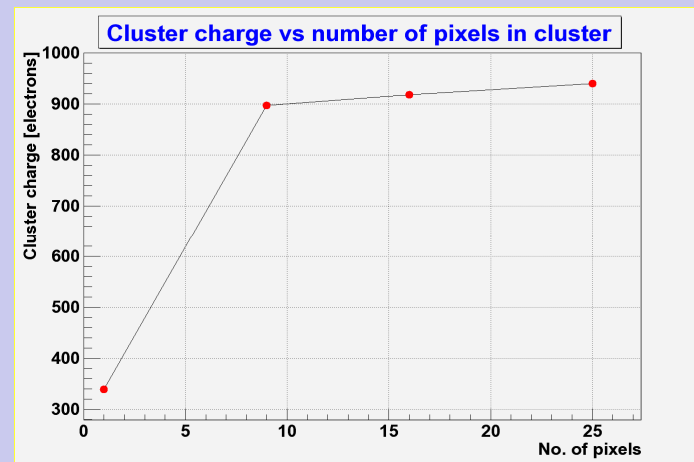
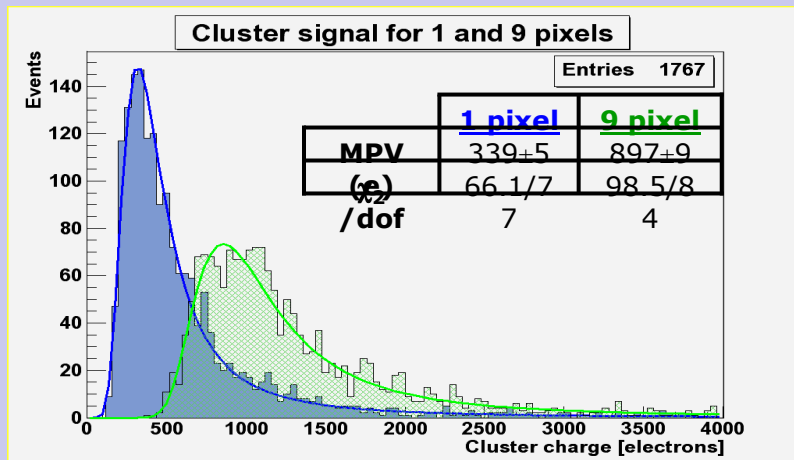
- Ladungssammelungszeit < 100 ns
- Signalthöhe(mip) ~ 740 e

Detektor-Entwicklung: Vertexdetektor

Uni Hamburg: Strahlenschäden Elektronen+Beamtests am DESY



9.4 MeV e nur Punktdefekte; für 10^{13}cm^{-2} (2.3 kGy) → Rauschen ↑ + Signal ↓ um einige % (Bestrahlung bei höheren Energien, um Clusterschäden zu untersuchen "in progress")

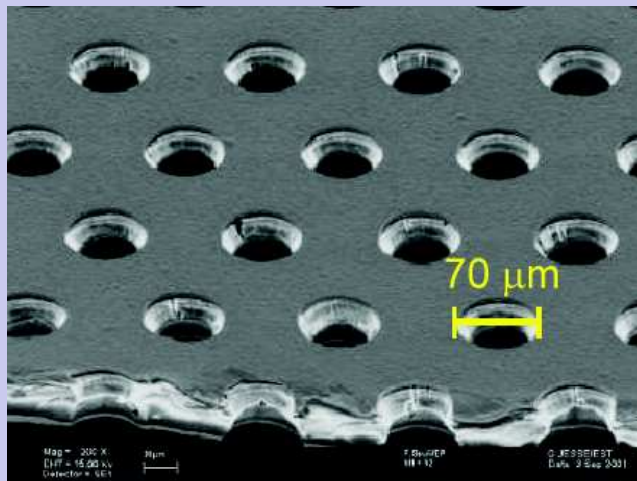


6 GeV Strahltest: S/N ~ 20-24, 97% of charge in 9 pixels, resolution/efficiency soon

Detektor-Entwicklung: Spurdetektor

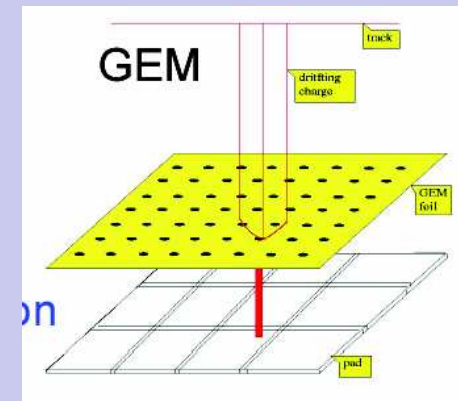
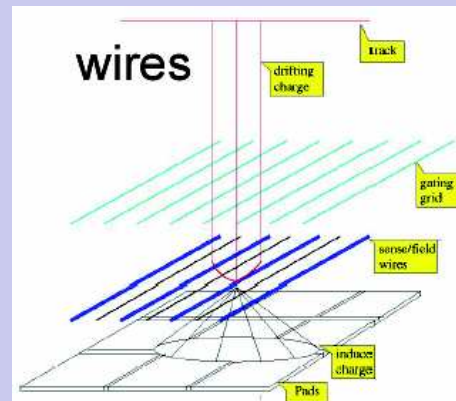
TPC-Entwicklung: internationale LC-TPC Kollaboration: CA, D, F, NL, PL, RU, US
(D: Aachen, DESY, Freiburg, Hamburg, Karlsruhe, MPI München, Rostock)

Neues Auslesekonzept:



Vorteile:

- exzellente Ortsauflösung
- kleine systematische Effekte (ExB)
- sehr gute Doppelspurauflösung
- weniger Material in Endkappen
- Unterdrückung v. Ionenrückfluss

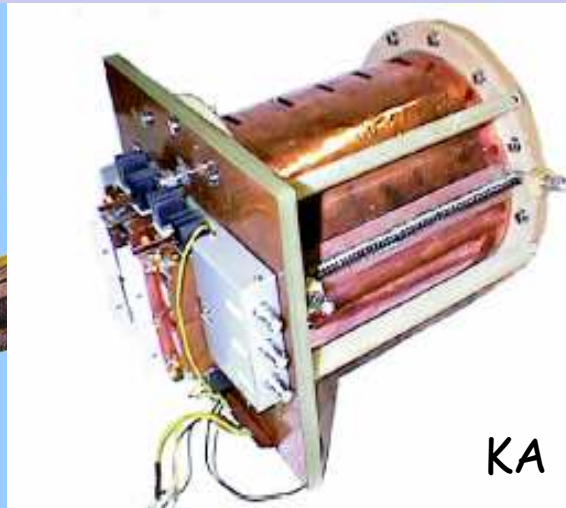
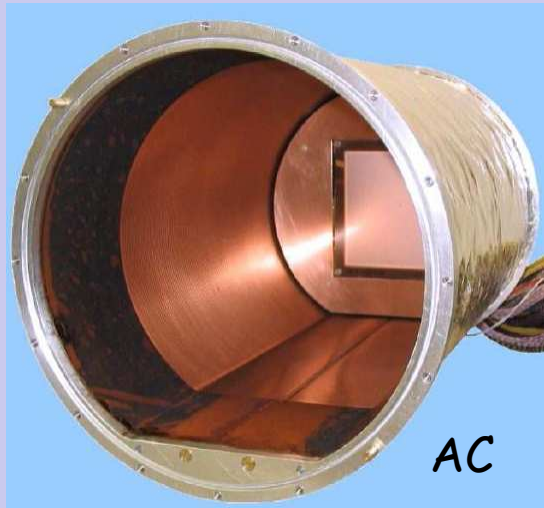


F&E-Themen:

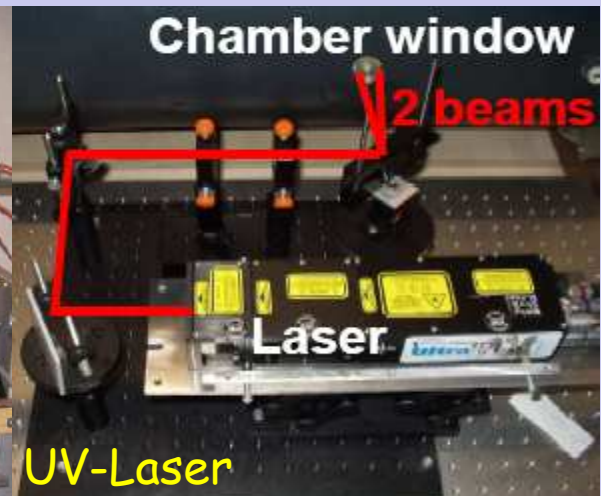
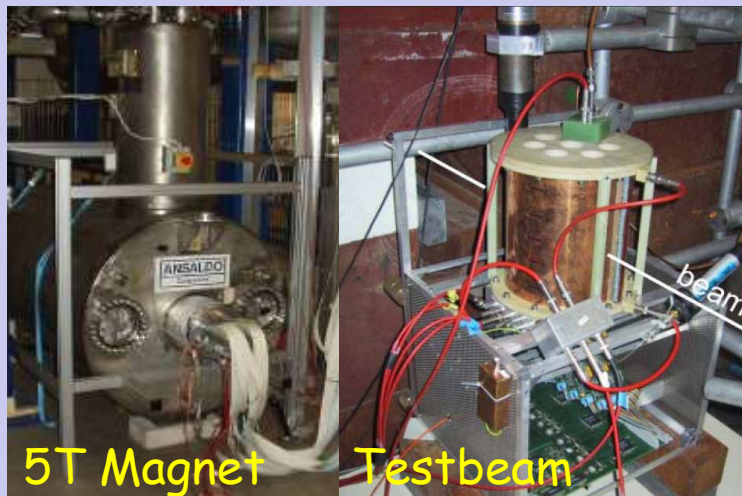
- Gas-Eigenschaften (Diffusion, Driftgeschw.)
- Ortsauflösung, Doppelspurauflösung
- Pad-geometrie, -granularität
- Ausleseelektronik
- Feldkäfig
- ...

Detektor-Entwicklung: Spurdetektor

Prototypen...

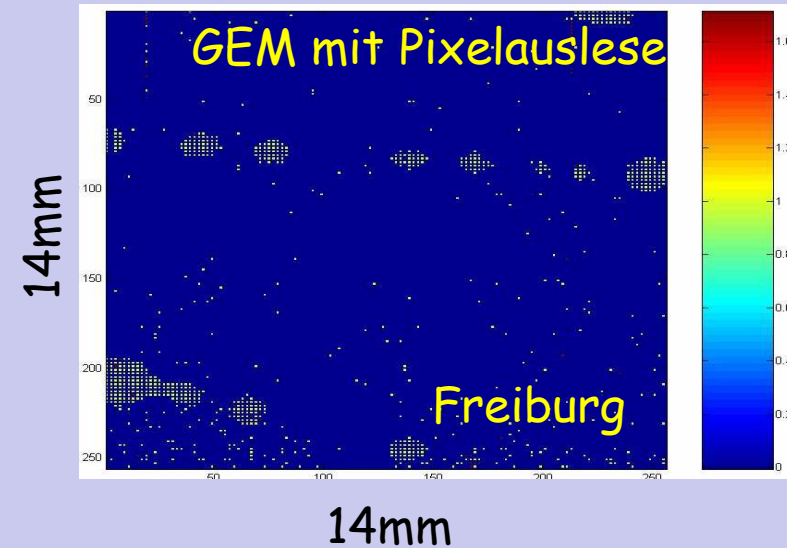
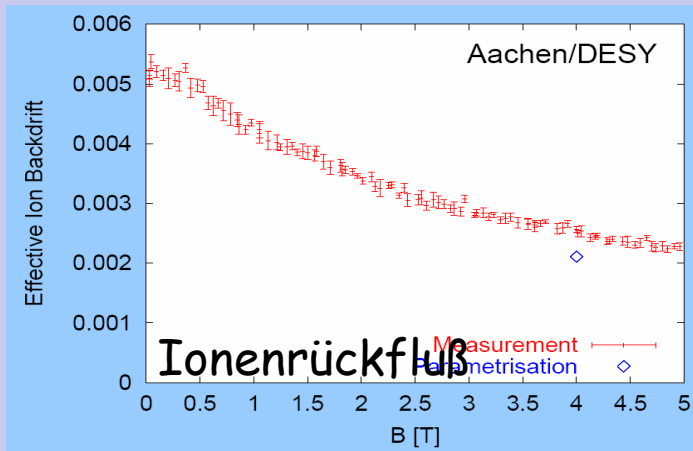
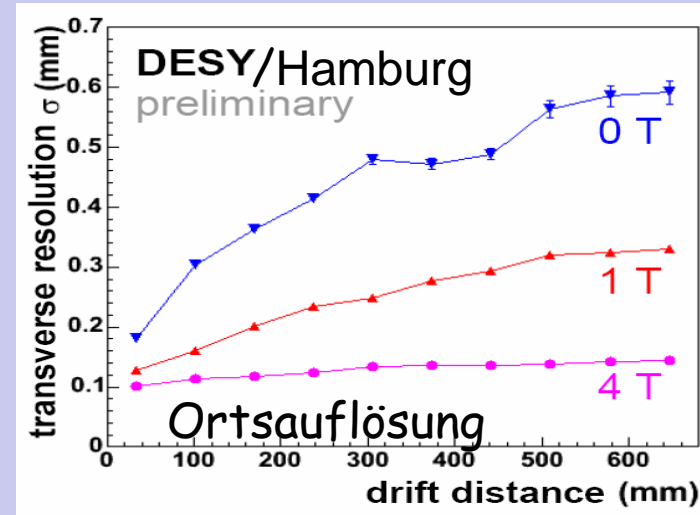
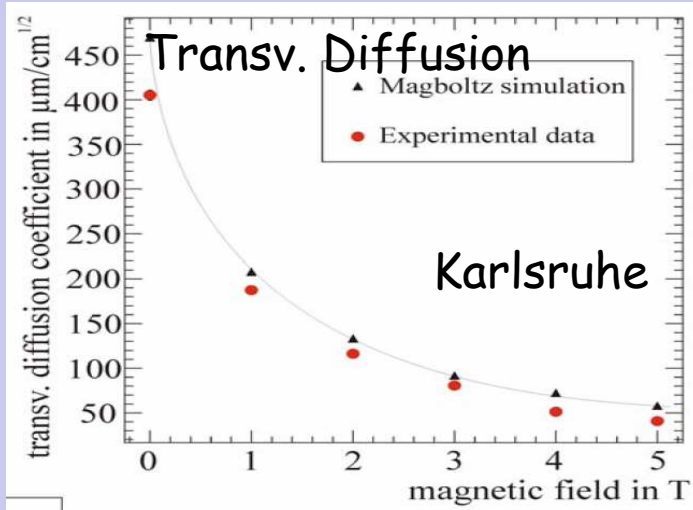


und Infrastruktur



Detektor-Entwicklung: Spurdetektor

Einige Resultate:



Detektor-Entwicklung: Kalorimeter

CALICE-Kollaboration: CZ, D, F, RU, UK, US

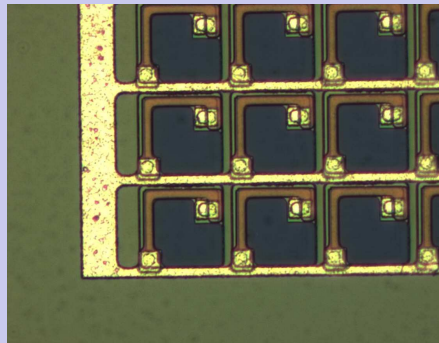
In D: Hadronkalorimeter (Szint.-Tile-Cal) DESY, UniHH (mit CZ,F,RUS,UK,US)

Entwicklung eines m^3 Prototypen (ECAL+HCAL)

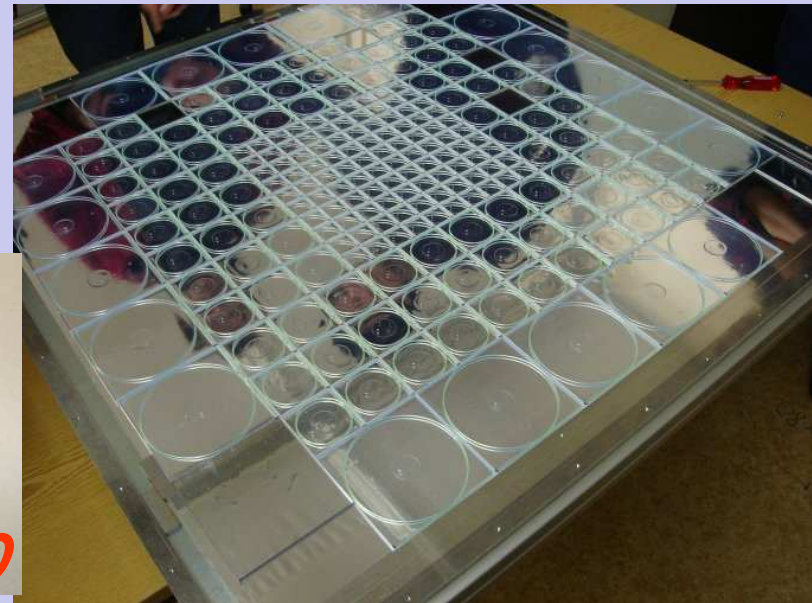
Studium der Schauerentwicklung mit hochgranularem Kalorimeter

Entscheidender Test für particle-flow Konzept

Neues Lichtverstärker-Konzept:
Si-Photomultiplier

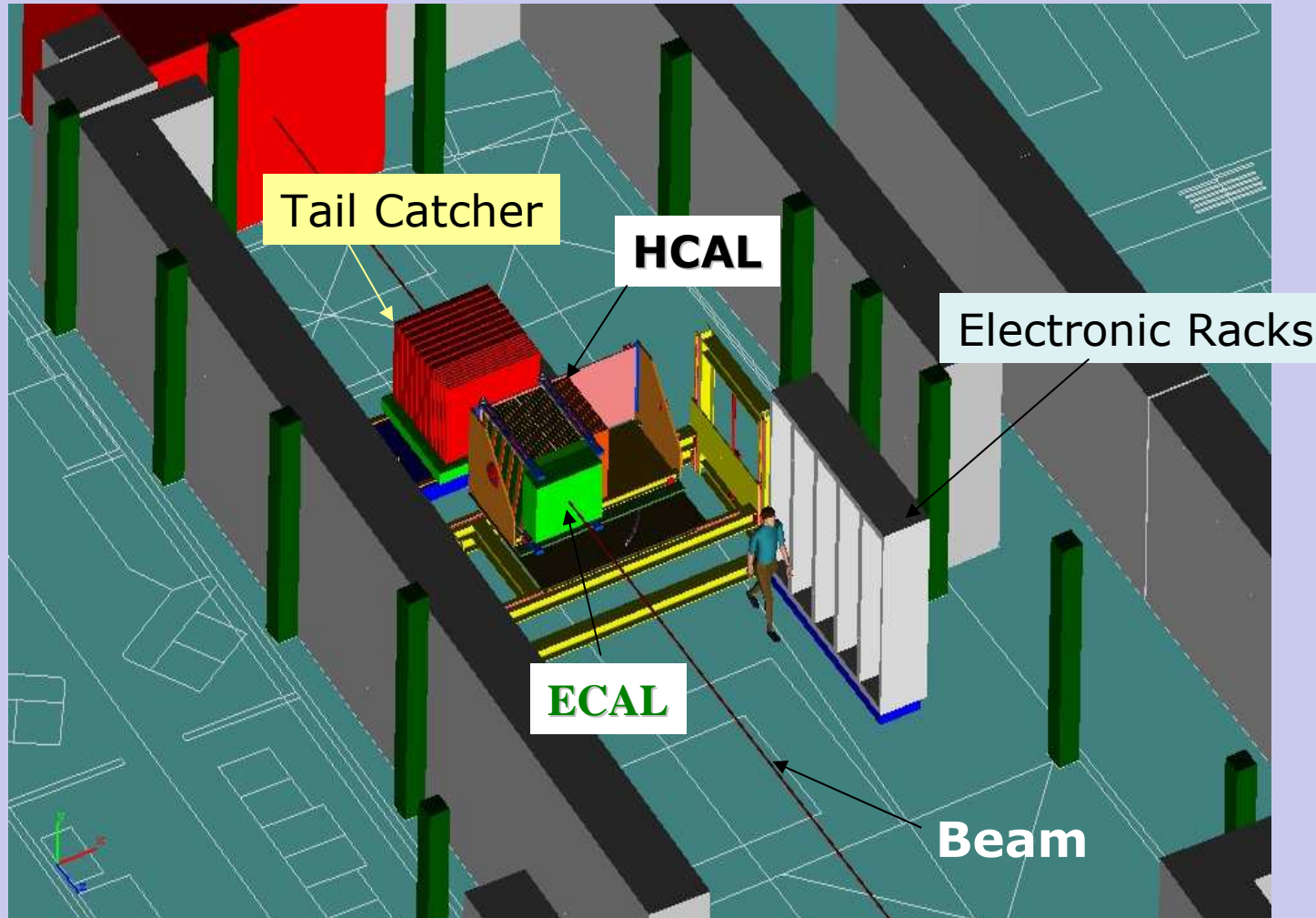


Szintillator-Ebene für Prototypen



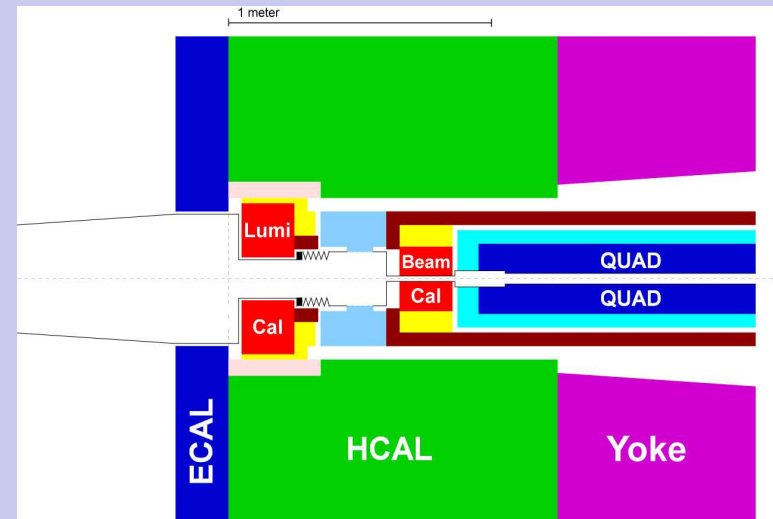
Detektor-Entwicklung: Kalorimeter

Nächster Schritt: kombinierter Kalorimeter-Testbeam
(Fermilab/CERN/Protvino?)

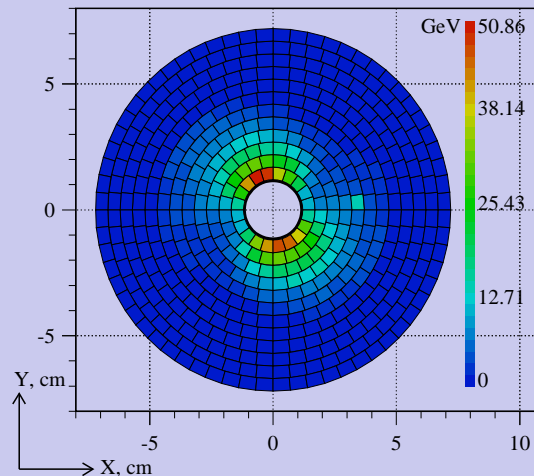


Detektor-Entwicklung: Vorwärts-Kalorimeter

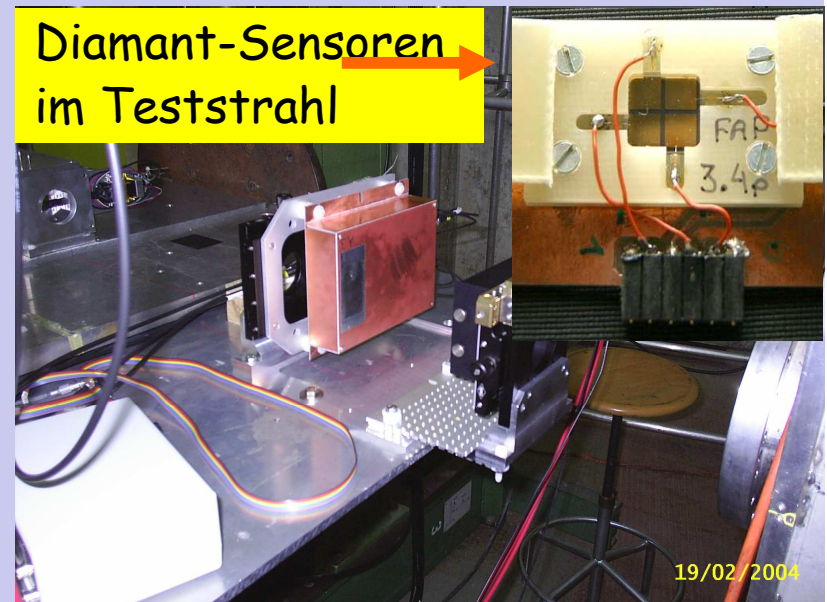
- Luminositätsmessung besser als 10^{-3} aus Bhabha-Streuung
- Nachweis hochenergetischer Elektronen und Photonen bei kleinsten Winkeln (Hermetizität, Vorwärts-Veto)
- Schnelle Strahldiagnostik



Beamstrahlung
deponiert 20 MGy/a
mehrere TeV/BX



Rad. hard sensors
z.B. Diamant (Zeuthen) /
strahlenhartes Si (UHamburg)



Projekte aus der Beschleunigerphysik

1. Diamant-Strahlprofilmonitor (Karlsruhe)
2. Quelle für polarisierte Positronen: E166@SLAC (DESY, HU Berlin)
3. Messung von THz-Störfeldern mit Elektro-Optischer Abstastung (Hamburg)

Diamant-Detektoren als Strahlprofilmonitor

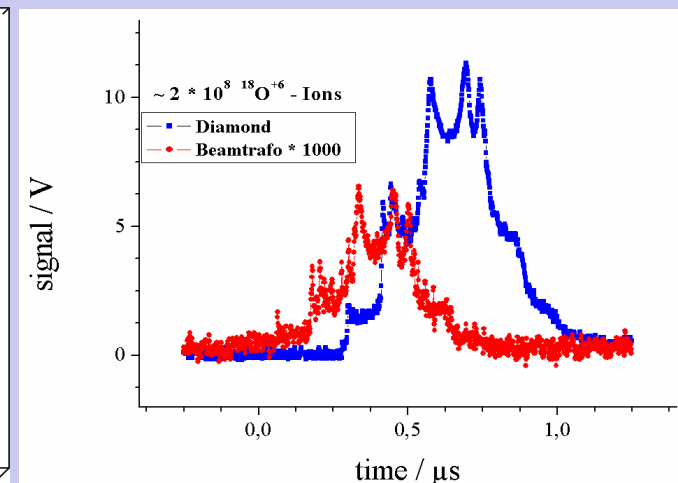
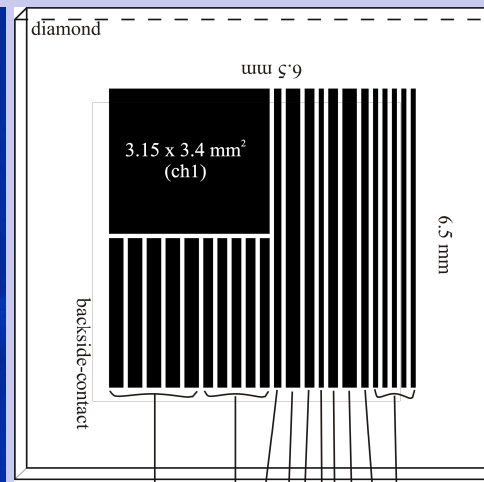
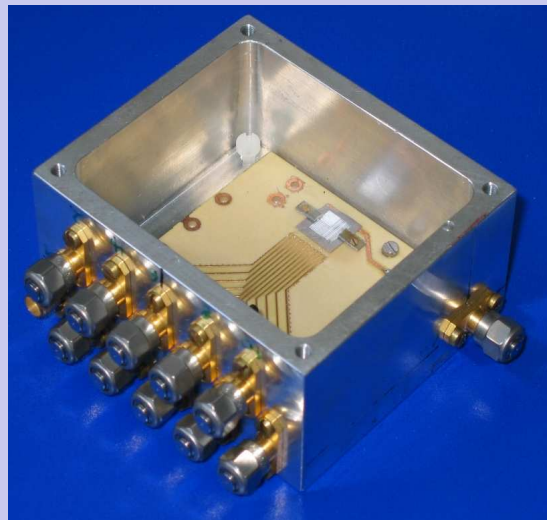
Linearcollider: Messung des Strahlprofils bunch-by-bunch nötig
(nicht möglich mit konv. wiresscanner)

Diamond wafer



Idee: CVD Diamant Detektoren als Strahlprofilmonitor
Problem: Metallisierung, die im Primärstrahl nicht verdampft?

F&E in Karlsruhe: Aluminium funktioniert sehr gut!
hat im Plasma-Strahl an der GSI mit 10^{10} O^{+6} Ionen/Bunch überlebt

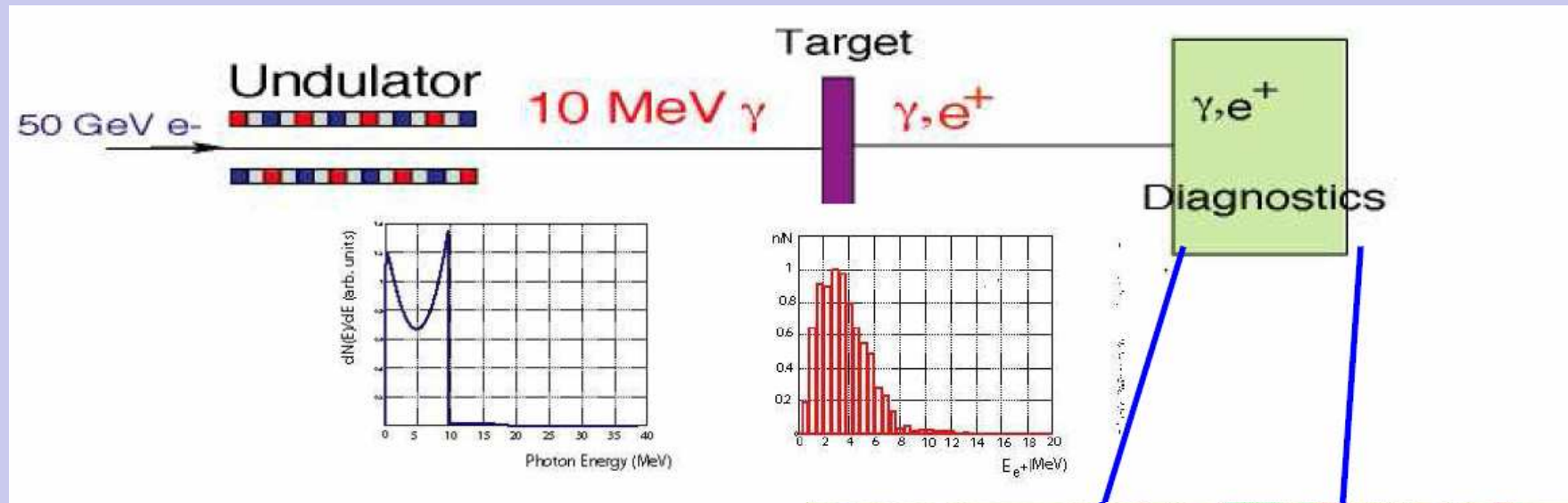


J. Bol, WdB, E. Grigoriev

Diamant-Metallisierung patentiert (Karlsruhe/GSI)

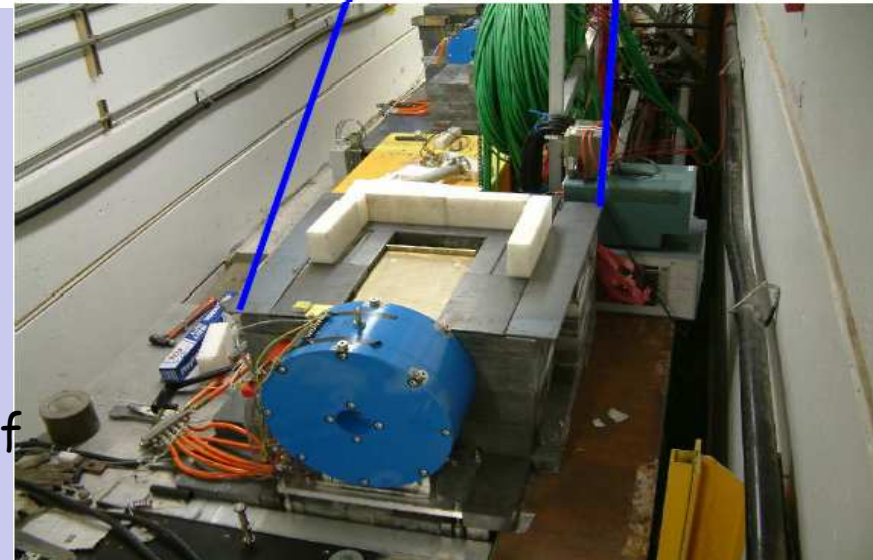
Polarisierte Positronquelle

E166-Experiment am SLAC FFTB-Strahl (Beteiligung aus D: DESY, HU Berlin)



'proof-of-principle'-Experiment
50 GeV e^- -Strahl + helischer Undulator
→ polarisierte Photonen → dünnes Target
→ polarisierte Positronen

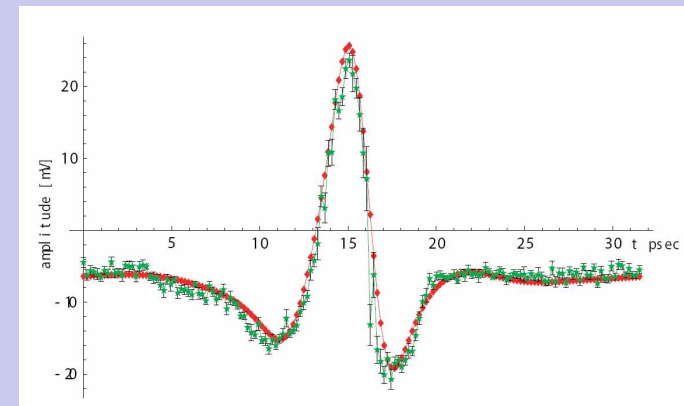
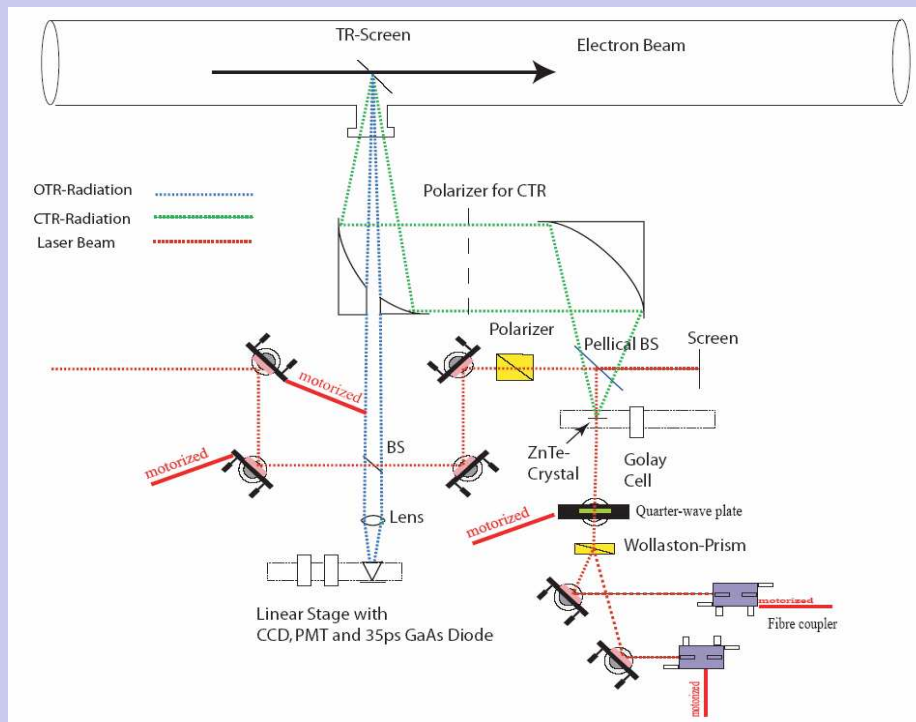
DESY+HU: Diagnostik
Status: Unter Aufbau komplett, warten auf
Strahl am SLAC



THz-Störfelder mit EOS

Hamburg, Aachen, DESY

- Messung des longitudinalen Bunchprofils und der Wake-Felder am Linear Collider wichtig!
- Extrem kurze Pulse (sub-ps)
- Messprinzip: Abtasten des Bunches mit fs-Laser durch Nachweis der Doppelbrechung durch e.m. Feld der Bunche in nicht-linearem Kristall (Electro-Optical Sampling, EOS)
- Erlaubt sub-ps Zeitauflösung



40 fs Auflösung erreicht an SLS

Nächster Schritt:
Messung an TTF2

Zusammenfassung

Internationaler Konsens:

ILC hat höchste Priorität in beschleunigerbasierter Teilchenphysik

Organisation, Zeitskala:

Nach ITRP: erfolgreiche Zusammenarbeit an supraleitendem ILC

Global Design Effort hat begonnen, ehrgeizige Zeitskala

'CDR' 2006, 'TDR' 2008.

Detektor:

Konzeptionelle Designs in 1.5 Jahren!

F&E an neuen Technologien findet in internationaler Zusammenarbeit statt

Gute Beteiligung deutscher Gruppen soll fortgesetzt und intensiviert werden

Fortsetzung der Förderung von Uni-Gruppen durch Verbundforschung
wichtig und strategisch sinnvoll

Antragsvolumen wird geschätzt etwa Faktor 1.5 höher als in dieser FP
(Fördervolumen war 0.36 M€/a)