

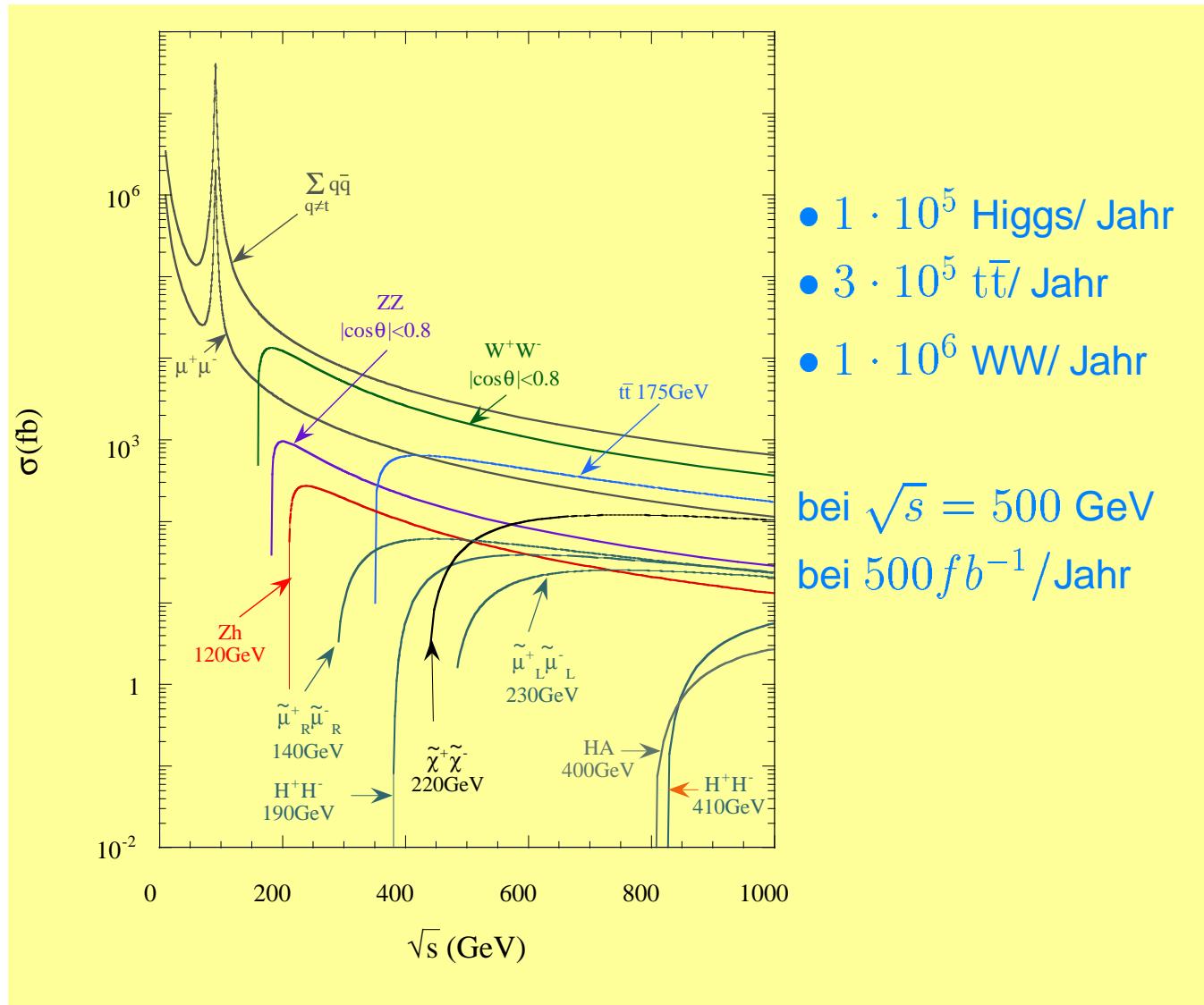
Elektron Positron Linearbeschleuniger bei hohen Energien

Ties Behnke
DESY
24-März-1999
DPG Tagung 2000, Dresden

- Physik an Linearbeschleunigern
- Die Maschinenprojekte
- Ein Detektor für einen LC
- Ausblick

EIGENSCHAFTEN DES LC

- e^+e^- Beschleuniger, $\sqrt{s} = 500 - 1000 \text{ GeV}$
- Luminosität $\mathcal{L} \approx 3 - 50 \cdot 10^{33} \text{ cm}^{-2} \text{ s}^{-1}$
- integrierte Luminosität pro Jahr: $50 - 500 \text{ fb}^{-1}$



- enorme Datenmengen verfügbar
- Präzisionsphysik möglich

LINEARBESCHLEUNIGER IN DER ZUKUNFT

Projekte weltweit:

- USA: NLC
- Japan: JLC
- Europa: TESLA
CLIC



Teilchenphysik:
Worldwide Study Group

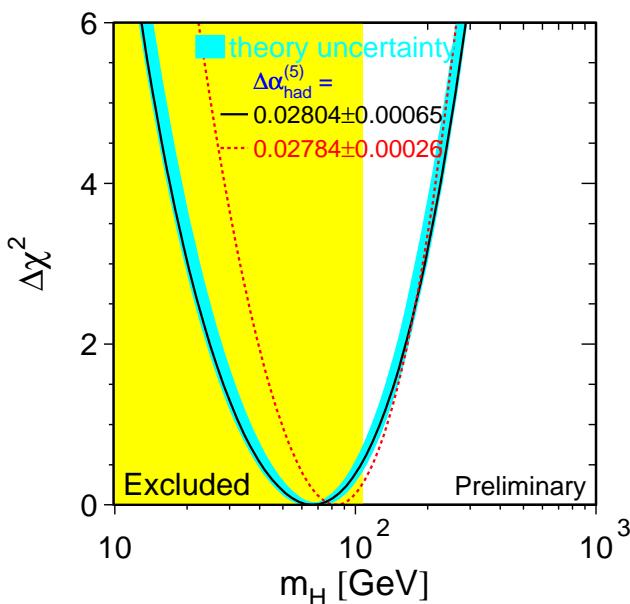
Drei regionale Workshops:

- Amerikanisch
- Asiatisch ACFA workshop
- Europäisch ECFA/DESY workshop

	Europa	Asien	US	weltweit
1999	Obernai			
Oktober				
November		ACFA		
2000				
März			Berkeley	
Mai	Padua			
September		DESY		
Oktober			LC00 FNAL	

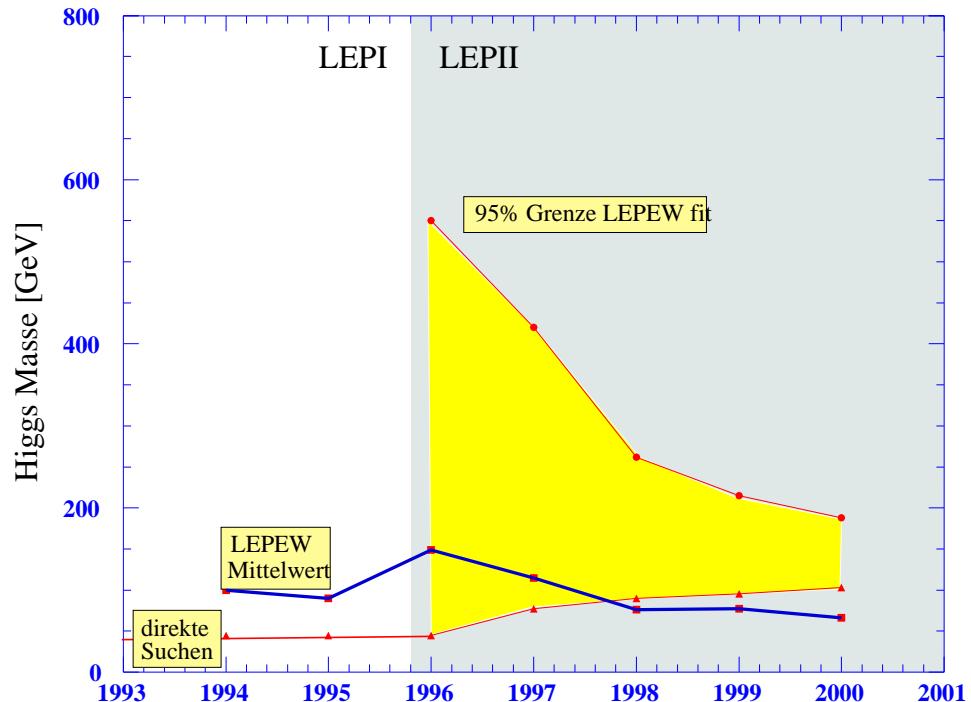
- SM experimentell beeindruckend erfolgreich
- **Aber:** zentrale offene Frage:
Brechung der EW Symmetrie
- Mechanismus ist offen

- Wo stehen wir heute?



Leichtes Higgs klar
bevorzugt im SM

$m_{\text{Higgs}} < 188 \text{ GeV}$
@ 95% CL



BRECHUNG DER EW SYMMETRIE

- Verschiedene Szenarien denkbar:
 - ein leichtes Higgs (SM Szenario)
ein oder mehrere Higgs Bosonen, Supersymmetrie?
“der schwache Weg”
 - starke Wechselwirkung der Eichbosonen
kein Higgs: Neue starke Wechselwirkung erhält die Unitarität der Theorie
typische Energien 1 TeV
“der starke Weg”
 - Substruktur
Massen werden dynamisch kreiert, Substruktur;
parametrisierbar durch “Kontaktwechselwirkungen”
“der Substruktur-Weg”
- Typische Energieskala der Symmetriebrechung:

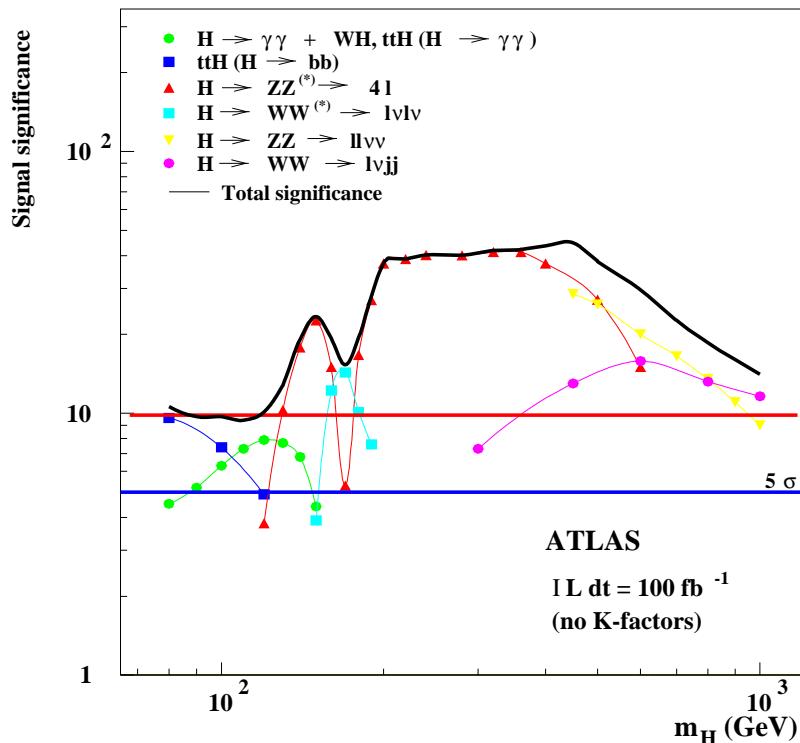
$$m_W = \frac{g}{2} v \rightarrow v = 246 \text{ GeV}$$

Eine Maschine, die eine Energie von $\sqrt{s} \approx 1 \text{ TeV}$ erreicht, sollte diese Fragen beantworten können.

MÖGLICHE ENTDECKUNG DES HIGGS

Falls die Natur den Higgs-Mechanismus verwirklicht hat:

Entdeckt wird das Higgs vermutlich am LHC.



Nach 3 Jahren
überzeugende
Signale

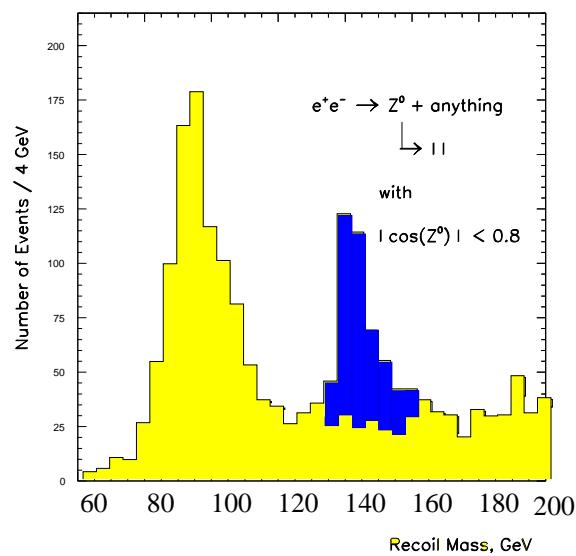
5 σ nach 1 Jahr Daten!

5 σ nach 3 Jahre Daten!

Ein Linearbeschleuniger sieht das Higgs sehr schnell und deutlich.

Nach einem Monat
bei TESLA!

Masse auf $\pm 1/10\%$
mit 500 fb^{-1}

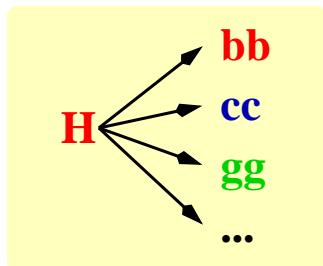


Bei hoher Luminosität $\approx 10^5$ Higgs-Bosonen nach einem Jahr:
Präzisionsmessungen!

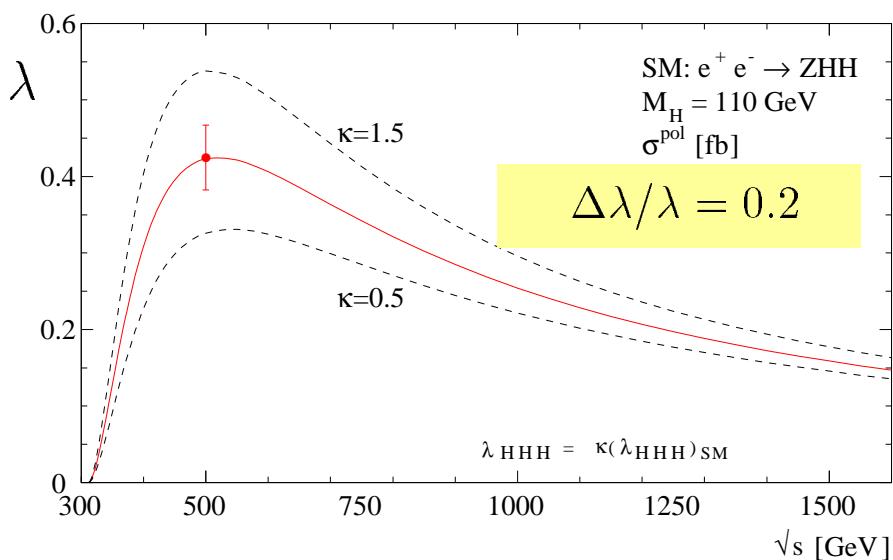
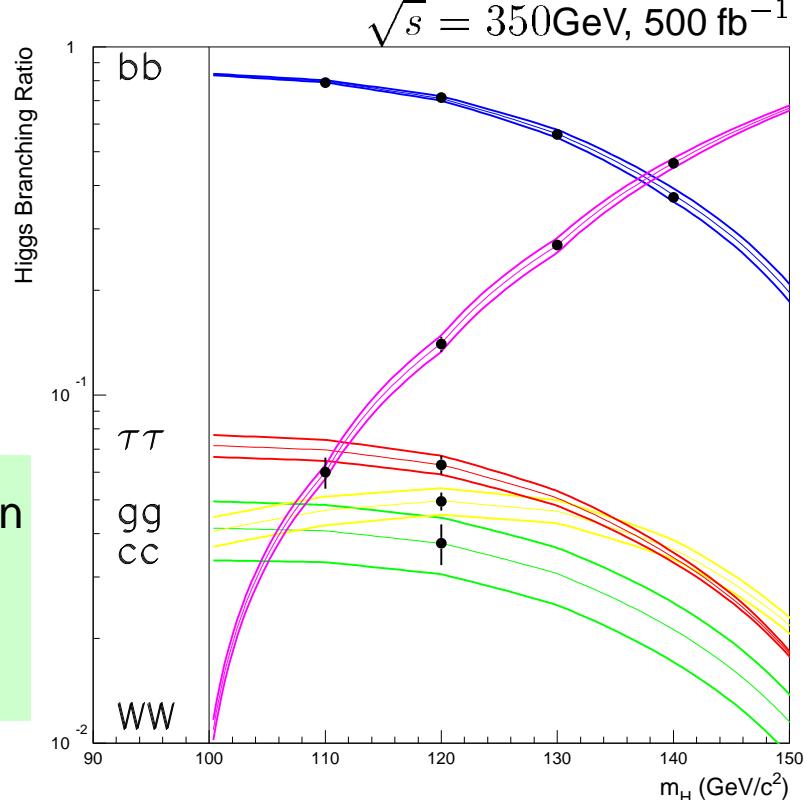
- Kompletter Test unseres Verständnisses der Masse

Kann das Higgs die Z-Masse erklären? $\sum W_i^2 = v^2$, wobei: $v = 246 \text{ GeV}$

$$= \frac{M_Z^2}{v^2} W_i$$



Präzisionsmessungen
der möglichen
Higgs-Zerfälle auf
einige Prozent!



Higgs Selbstkopp-
lung:
Rekonstruktion des
Higgs Potentials
Hohe Lumi
notwendig!

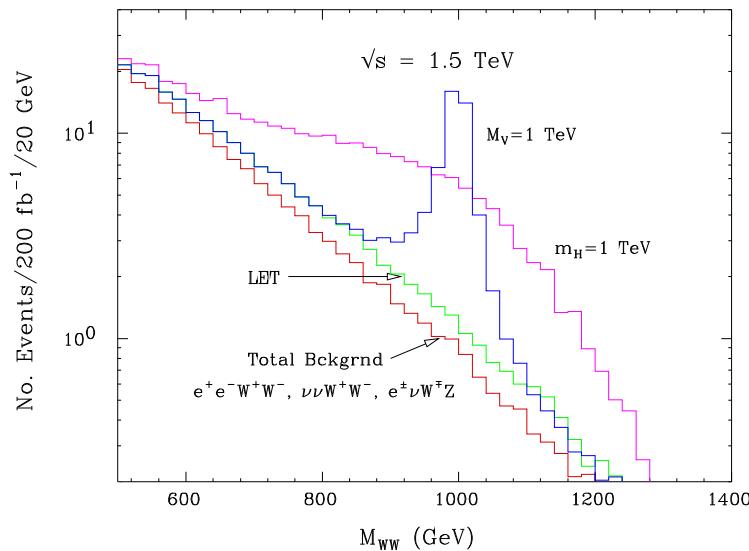
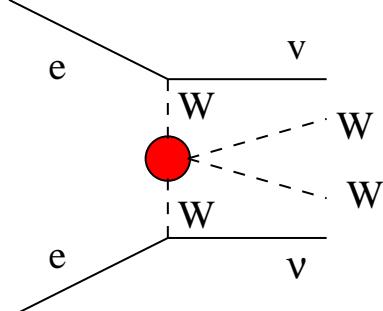
ES GIBT DAS HIGGS NICHT.....

DER STARKE WEG

- Was wäre, wenn es das Higgs nicht gibt....

Alternative könnte Einführung einer neuen starken Wechselwirkung sein (WW Re-scattering...)

- Die Rolle des Higgs wird in solchen Modellen von neuen nicht-elementaren Objekten übernommen, die einen endlichen Vakuumerwartungswert haben
- Ein solches Objekt wäre in WW Streuung sichtbar

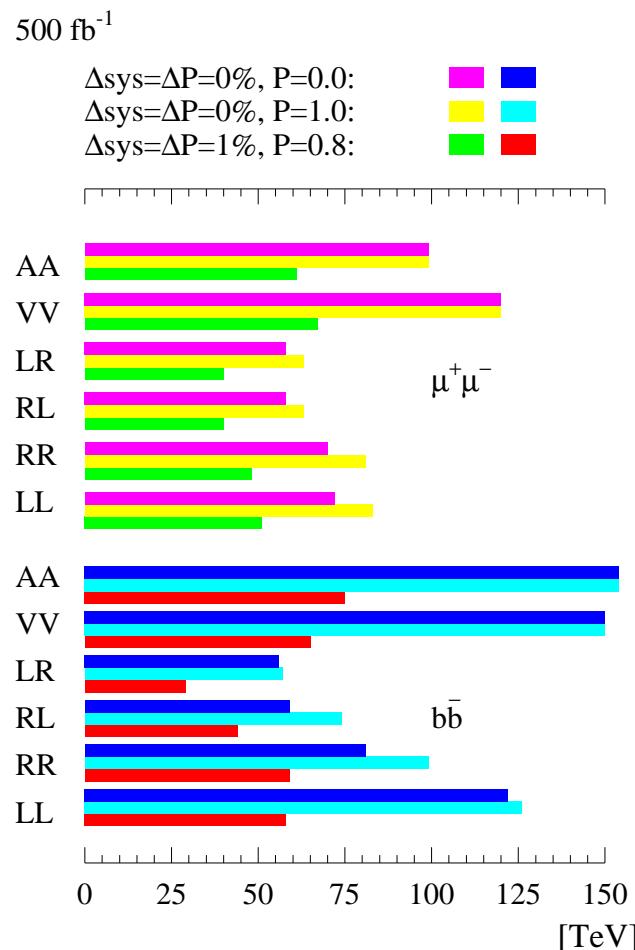


- Typische Massenskalen für solche Theorien (wiederum eingeschränkt durch die existierenden Messungen) sind $\mathcal{O}(1 - 1.5)$ TeV
- Studium der anomalen WW Kopplungen erlaubt ein detailliertes Studium dieser Effekte bereits bei kleineren Energien

ES GIBT DAS HIGGS NICHT...

SUBSTRUKTUR

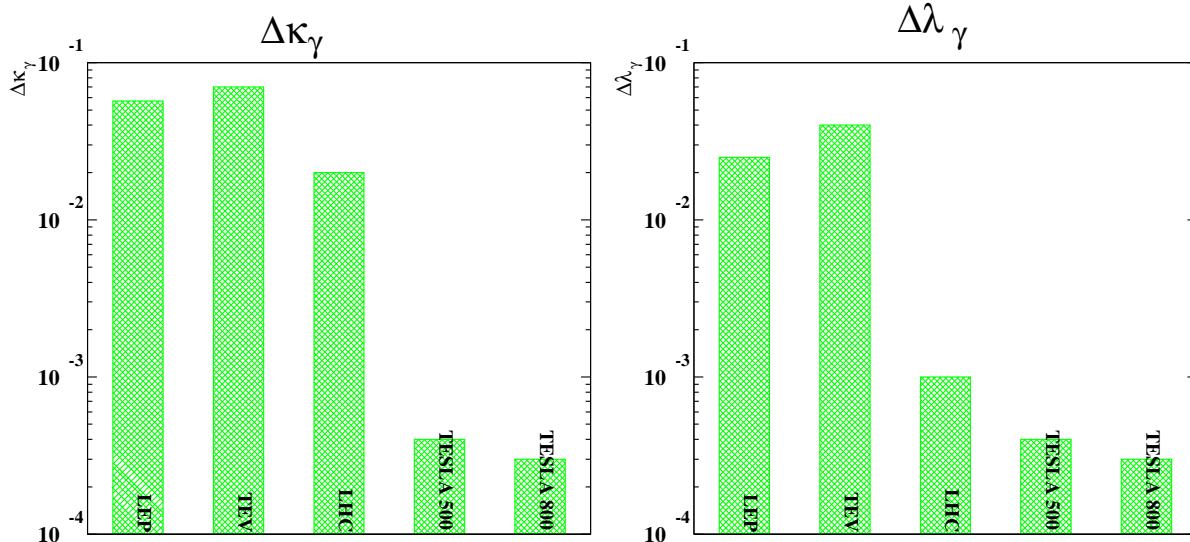
- Gibt es eine Struktur unterhalb der jetzt bekannten und im Standard Modell beschriebenen?
 - neue schwere Z^0' Bosonen?
 - Kontakt Wechselwirkungen? Leptoquarks?
 - Exotische Wechselwirkungen? Spin 2 Austauschteilchen?
 -
- Am besten studiert in der Reaktion $e^+e^- \rightarrow f\bar{f}$



- LC: erweitert den Bereich um einen Faktor 10

ANORMALE KOPPLUNGEN

- Wichtiger Test des Standard Modells im Allgemeinen und der “no Higgs” Szenarien im Speziellen
- Drei-Eichbosonen-Kopplungen tragen Informationen über eine mögliche “neue” Physik
- Vergleich der Sensitivität von LHC mit der eines LC



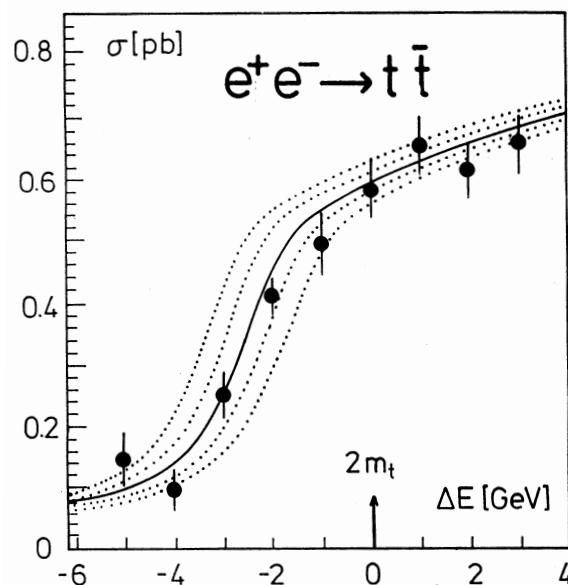
- Vorteil eines LC über LHC für $\Delta \kappa_\gamma$
- LHC und LC vergleichbar für $\Delta \lambda_\gamma$

- LC hat größere indirekte Reichweite als LHC (via $\Delta \kappa_\gamma$)
- LHC hat größere Reichweite für direkten Nachweis, wenn ein solcher möglich

- Tests mit hoher Präzision sind möglich

- Ein LC(500) ist eine “TOP Fabrik”
- erlaubt Präzisionsstudien des TOP Systems

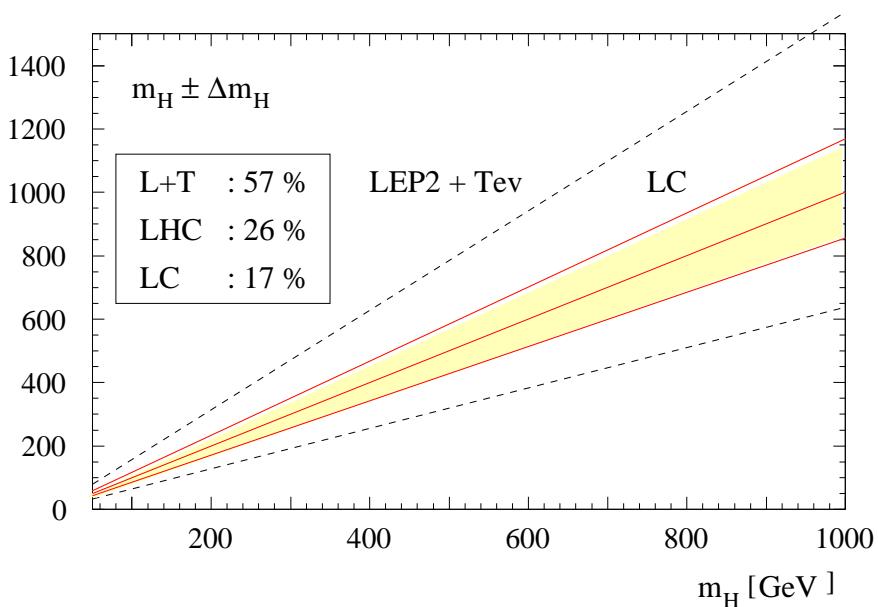
plot für 50 fb^{-1}



basierend auf 500 fb^{-1}
integrierter Luminosität =
1/10 Jahr Laufzeit:

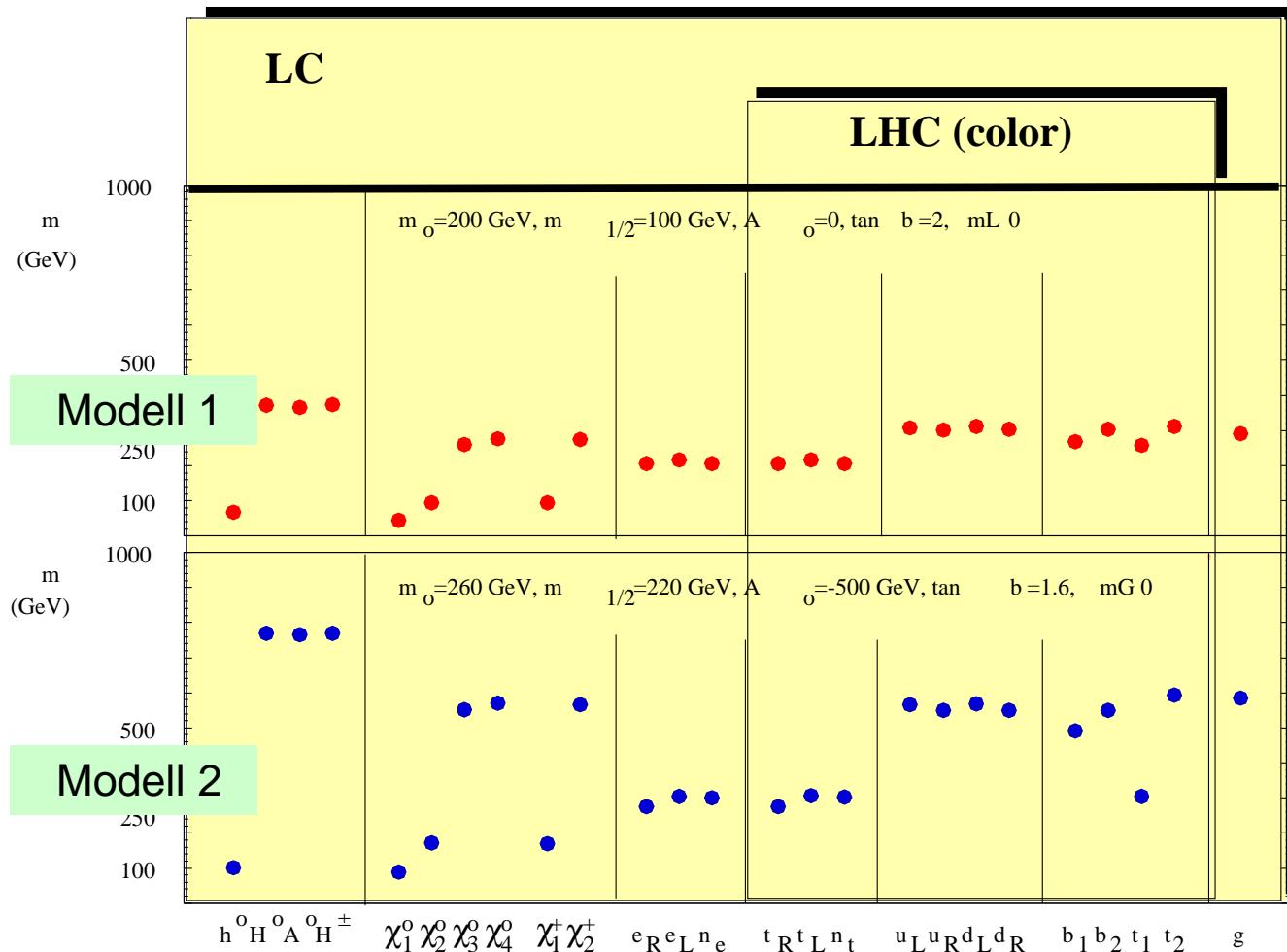
Excitation curve of the top quarks includina initial-

$$\Delta m_t = \pm 100(\text{stat}) \pm (100 - 200)(\text{theo}) \text{ MeV}$$



Top als schwerstes
bekanntes Fermion
eignet sich beson-
ders gut für pätzige
Konsistenzchecks
des SM

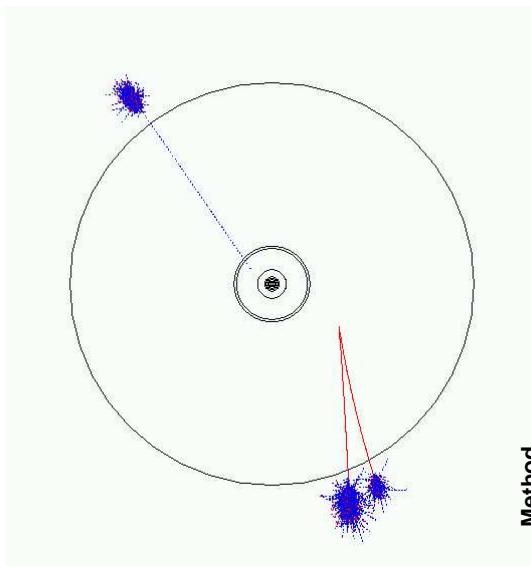
- Supersymmetrie: populäre Erweiterung des SM
- Verschiedene Modelle sagen verschiedene Teilchenspektren voraus:



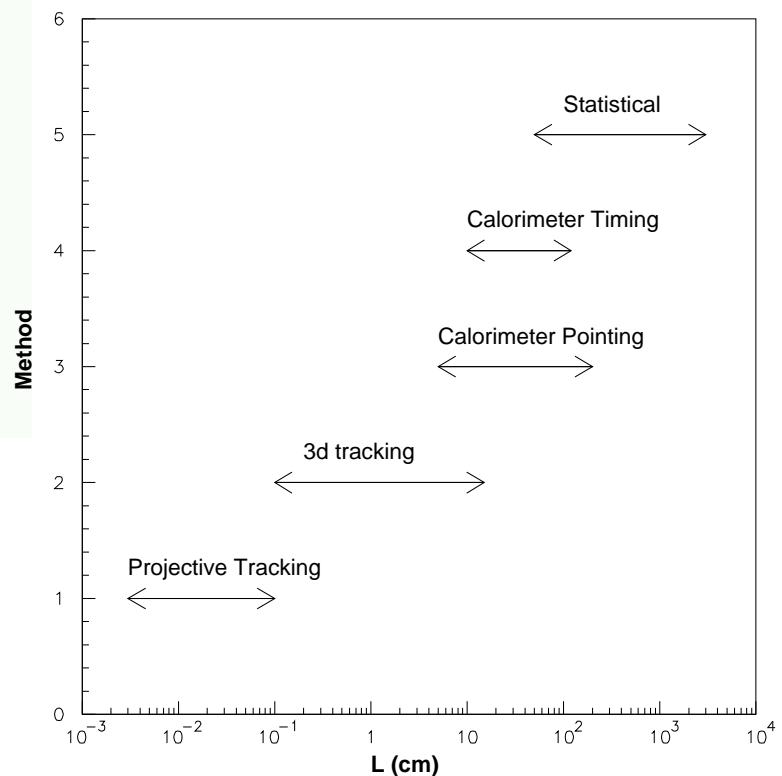
- Linearbeschleuniger mit hoher Luminosität kann einen großen Teil des Spektrums rekonstruieren.
- Nur so kann die Struktur der Supersymmetrie (wenn sie existiert) verstanden werden.

Präzisionsmessungen sind dafür wichtig

- Supersymmetrie muß gebrochen sein, wenn sie die Natur beschreiben soll
- Ein attraktives Modell ist
Gauge Mediated Supersymmetry Breaking
 - leichtestes SUSY Teilchen: \tilde{G} Gravitino
 - vorausgesagt: lange Lebensdauer
 - typische Zerfälle: $\tilde{N} \rightarrow \gamma \tilde{G}$



Sensitivität:
von $10\mu\text{m}$ bis
zu einigen m



LC mit hoher Luminosität kann auch
exotische Signaturen gut sehen

Linear Collider

Higgs

Masse:

1/10%

Breite

5 – 10%

BR's

einige %

HHH

20%

SUSY

viele Zustände zugänglich

testen von und entscheiden zwischen Modellen

GUT/Planck Extrapolation

Z,W

Giga-Z

10^{-5}

Z'

Massenbereich

10 TeV indirekt

WW

Massenskala

bis 3 TeV indirekt

t \bar{t}

Masse

± 200 MeV

Zwei Technologien:

Normalleitend: NLC,JLC

Supraleitend: TESLA

KALT

technologisches Neuland (Kavitäten)

lange Wellenlänge (20 cm)

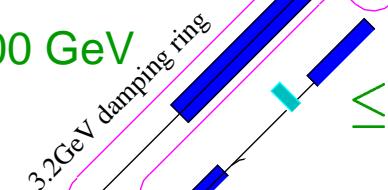
schnelle Rückkopplung ok

moderate Toleranz: 100 nm

wenige Klystrons

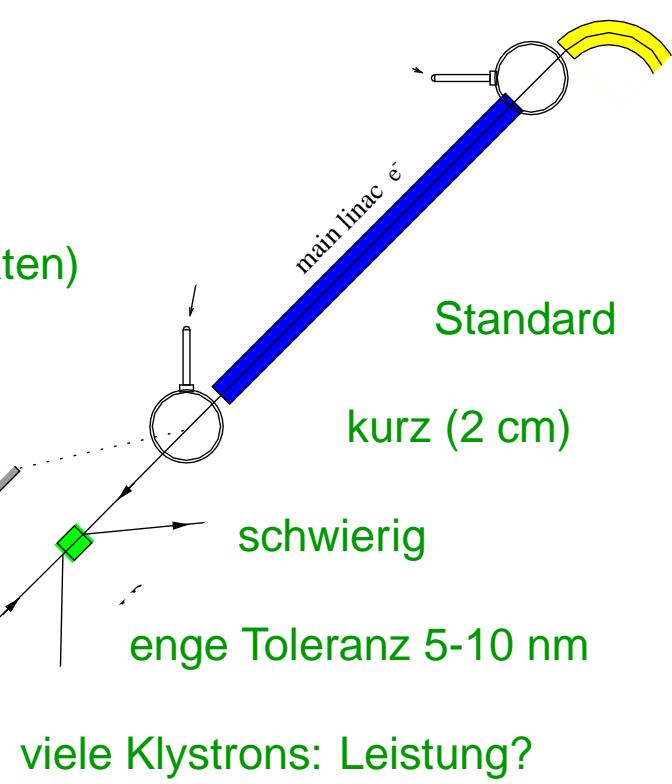
$$\mathcal{L} \approx 3 \cdot 10^{34} \text{ cm}^{-2} \text{ s}^{-1}$$

<1000 GeV



$$\mathcal{L} \approx 6 \cdot 10^{33} \text{ cm}^{-2} \text{ s}^{-1}$$

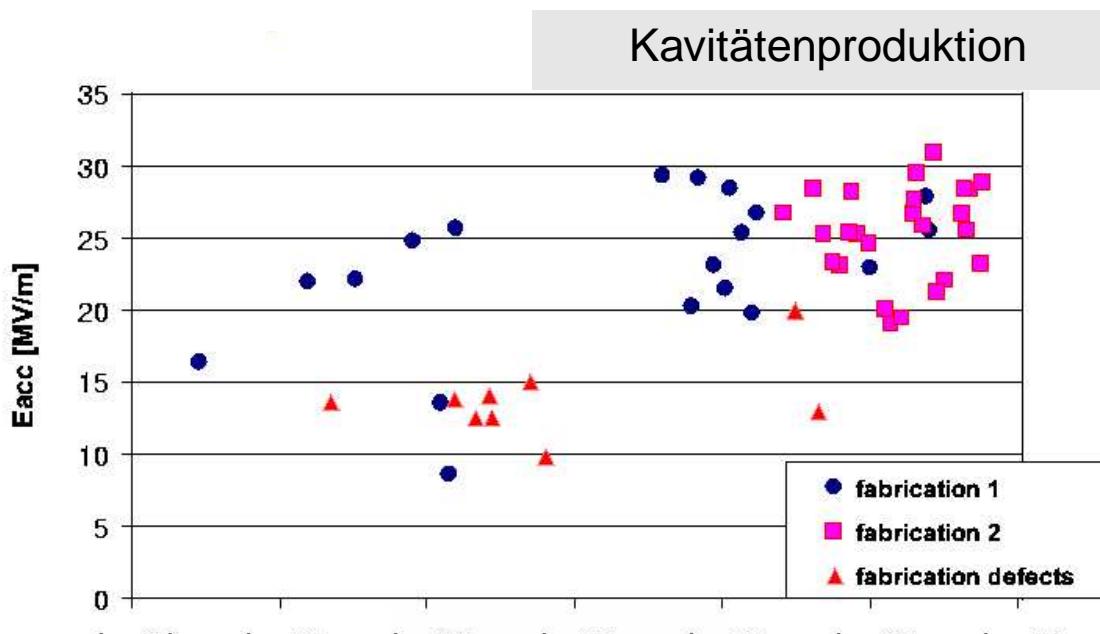
$\leq 1000 \text{ GeV } E_{\text{CMS}}$



WARM

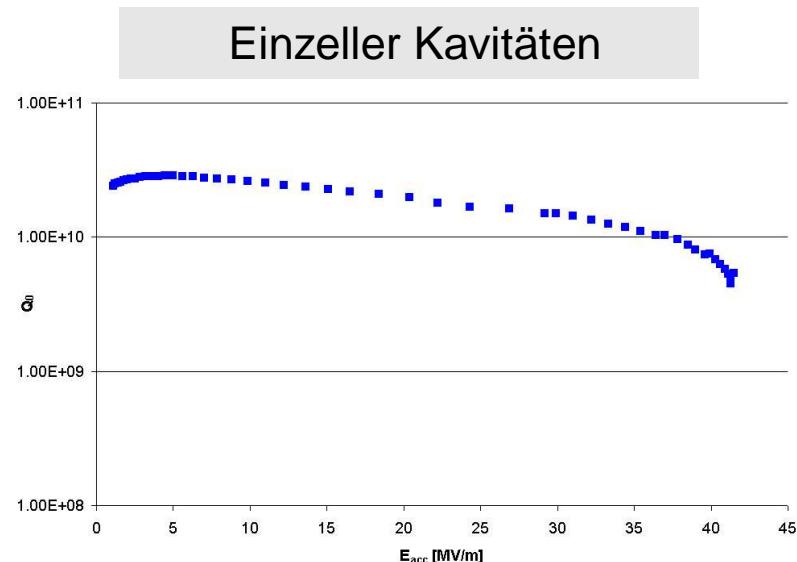
AKTIVITÄTEN ENTWICKLUNG

- Intensive F+E Arbeiten im Rahmen der internationalen TESLA Kollaboration seit Anfang der 90'er Jahre
- Ziel: Entwicklung von supraleitenden Kavitäten mit Gradienten $> 20 \text{ MV/m}$
- Stand:
 $> 20 \text{ MV/m}$ routinemässig erreicht



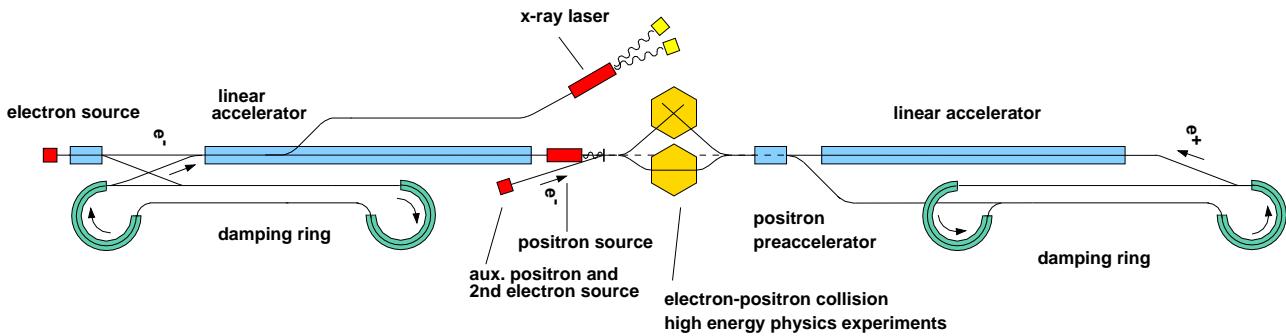
für Einzeller $> 40 \text{ MV/m}$ erreicht!

F+E sehr erfolgreich,
Industriestudien
angelaufen

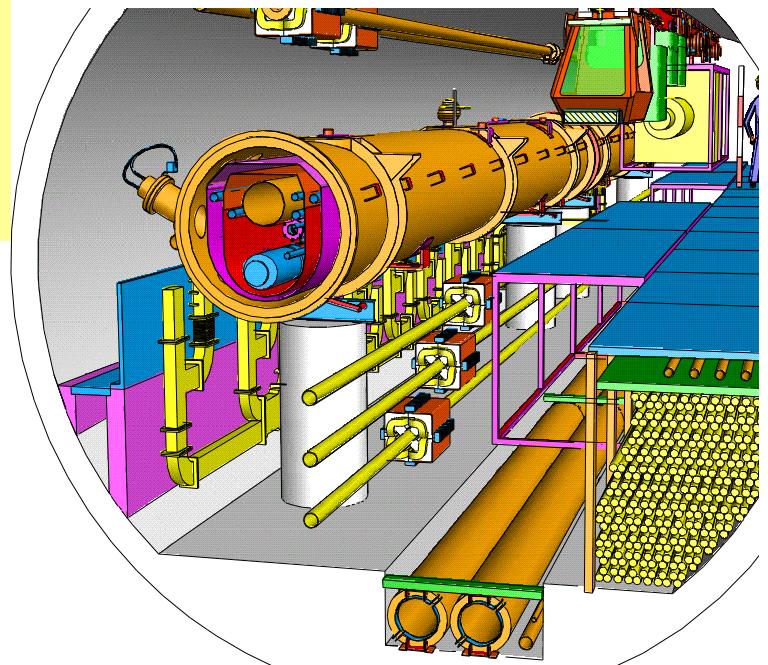


DER BESCHLEUNIGER TESLA

- **TESLA:** 500-800 GeV Elektron-Positron-Linearbeschleuniger
- Schematischer Aufbau:



- Supraleitender Beschleuniger
- Sehr hohe Luminosität:
 $500 \text{ fb}^{-1}/\text{Jahr}$



- Symbiose aus einem Labor für Teilchenphysik und einem Labor für “Life Sciences” (Freier Elektronen Laser)

DER FREIE ELEKTRONEN LASER

- TESLA: Hochenergiephysik + Freier-Elektronen-Laser

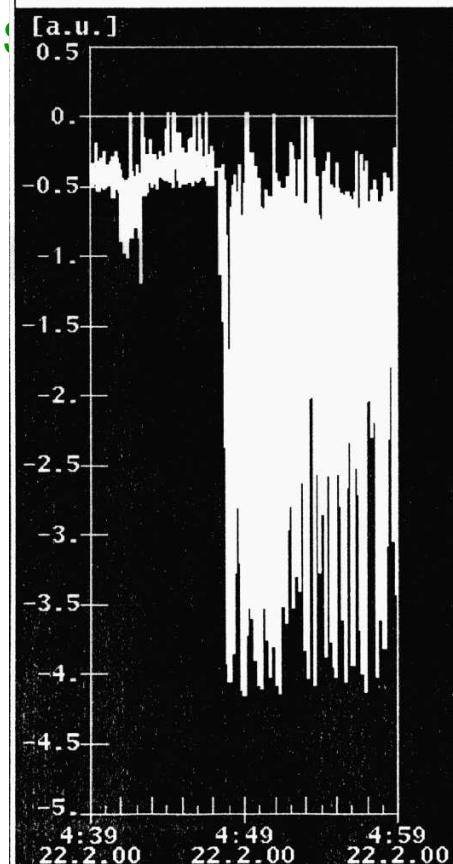


TESLA: laser im
Roentgenbereich:
 $\lambda \approx 1\text{nm}$

FEL ist integraler
Bestandteil des Projektes
mit Anwendungen in
Festkörperphysik, Biologie

- 22. Februar 2000, 4:40 morgens, DESY
Lasen des FEL am TTF

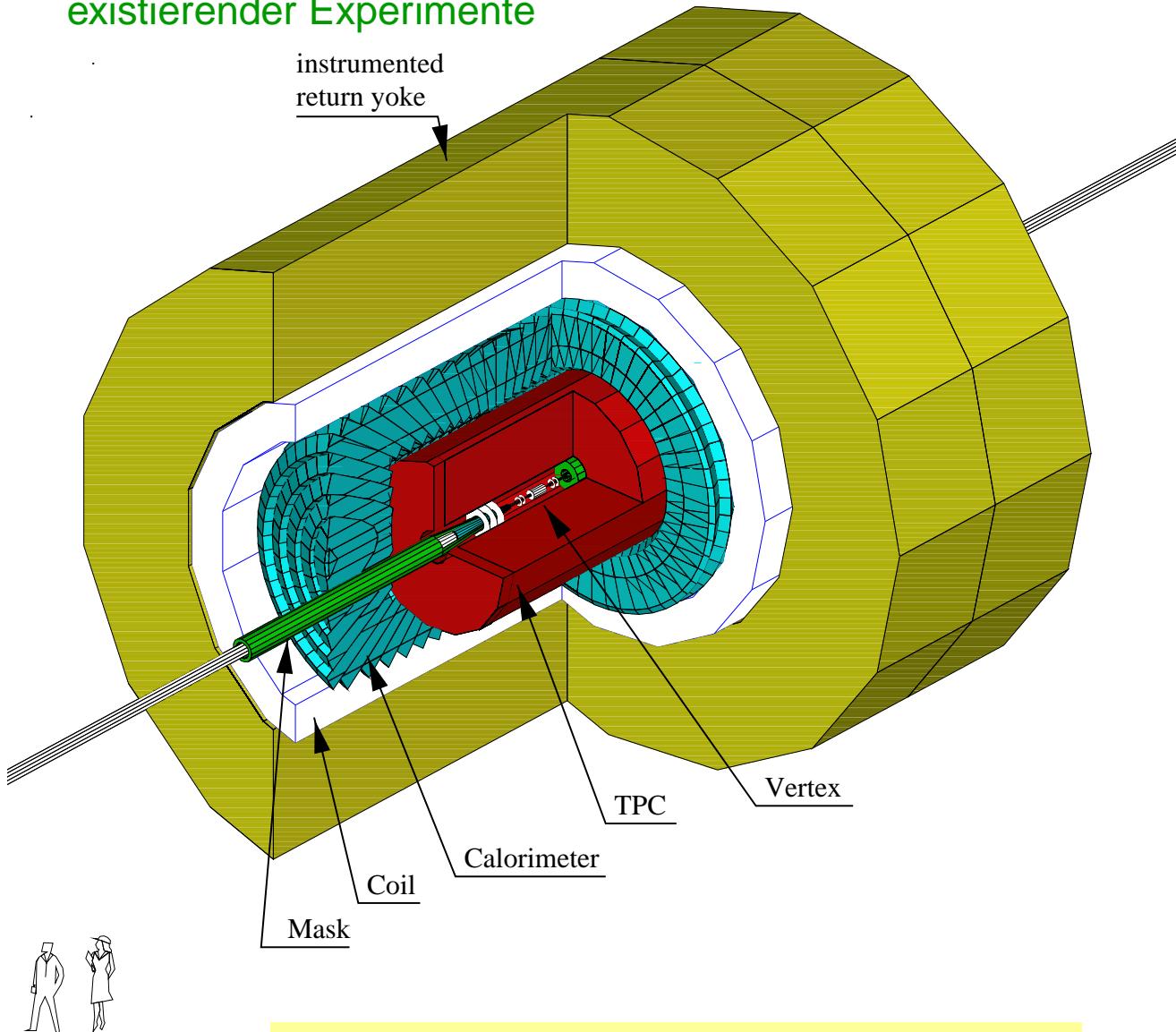
TTF: VUV laser,
 $\lambda = 110\text{nm}$
bisher: 450 nm



- Entscheidender Schritt auf dem
Wege zu einem TESLA FEL
- Ab 2003: VUV FEL Labor am DESY
mit Meßplätzen

EXPERIMENTIEREN BEI 500 GEV

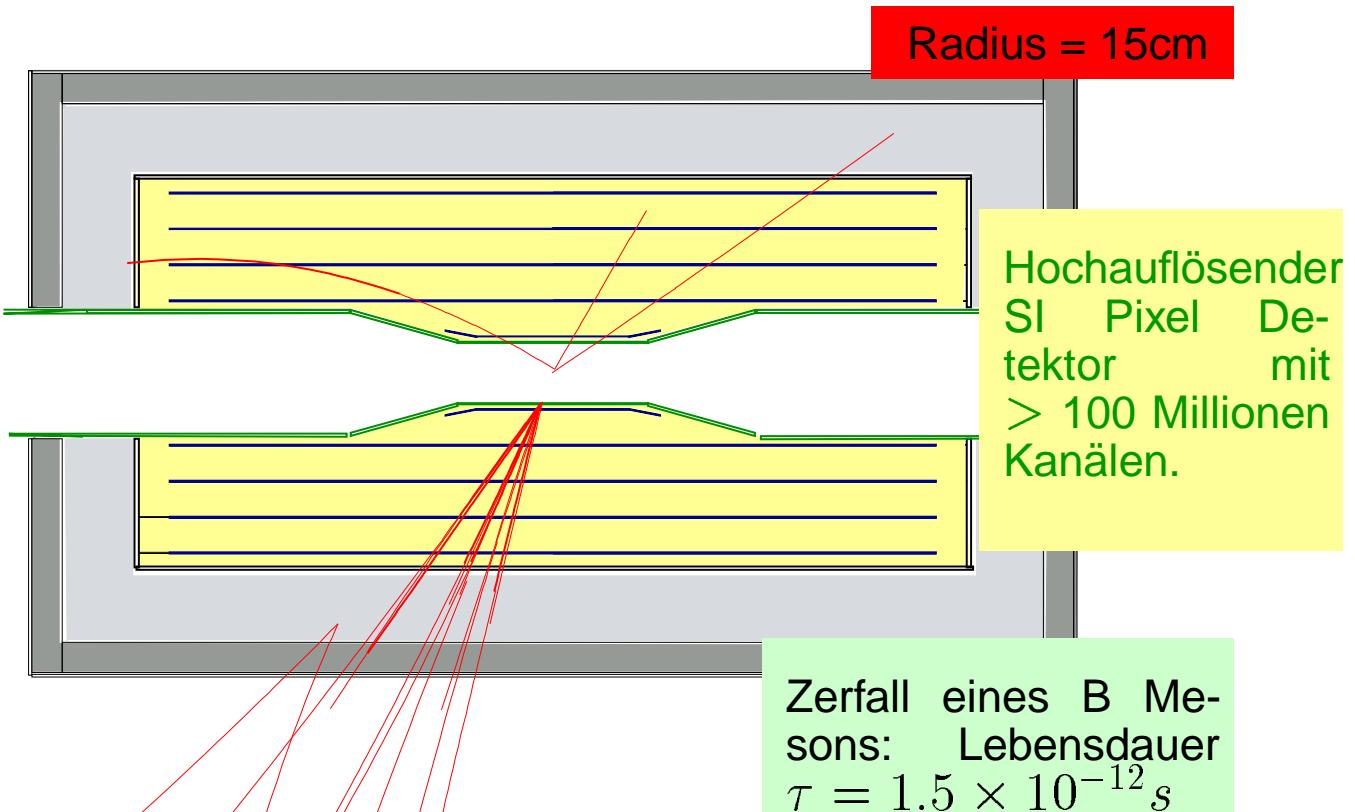
- Internationale Gruppe - ECFA/DESY Workshop beschäftigt sich mit der Physik und einem Detektorkonzept
 - Detektor muß geeignet sein für
 - Präzisionsphysik
 - große Datenmengen
 - verhältnismäßig einfache Extrapolation existierender Experimente



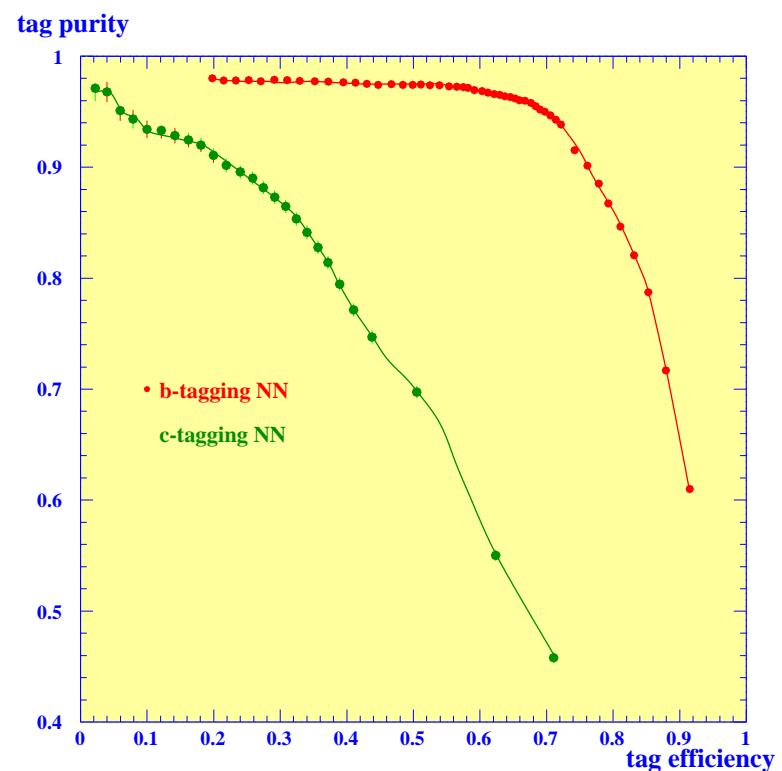
Schematische Zeichnung des Detektors.
Größenordnung: 4 stöckiges Haus
(vergleichbar HERA Detektor $\times 1.5$)

VERTEX DETEKTOR

Der innerste Detektor: unmittelbar am Strahlrohr



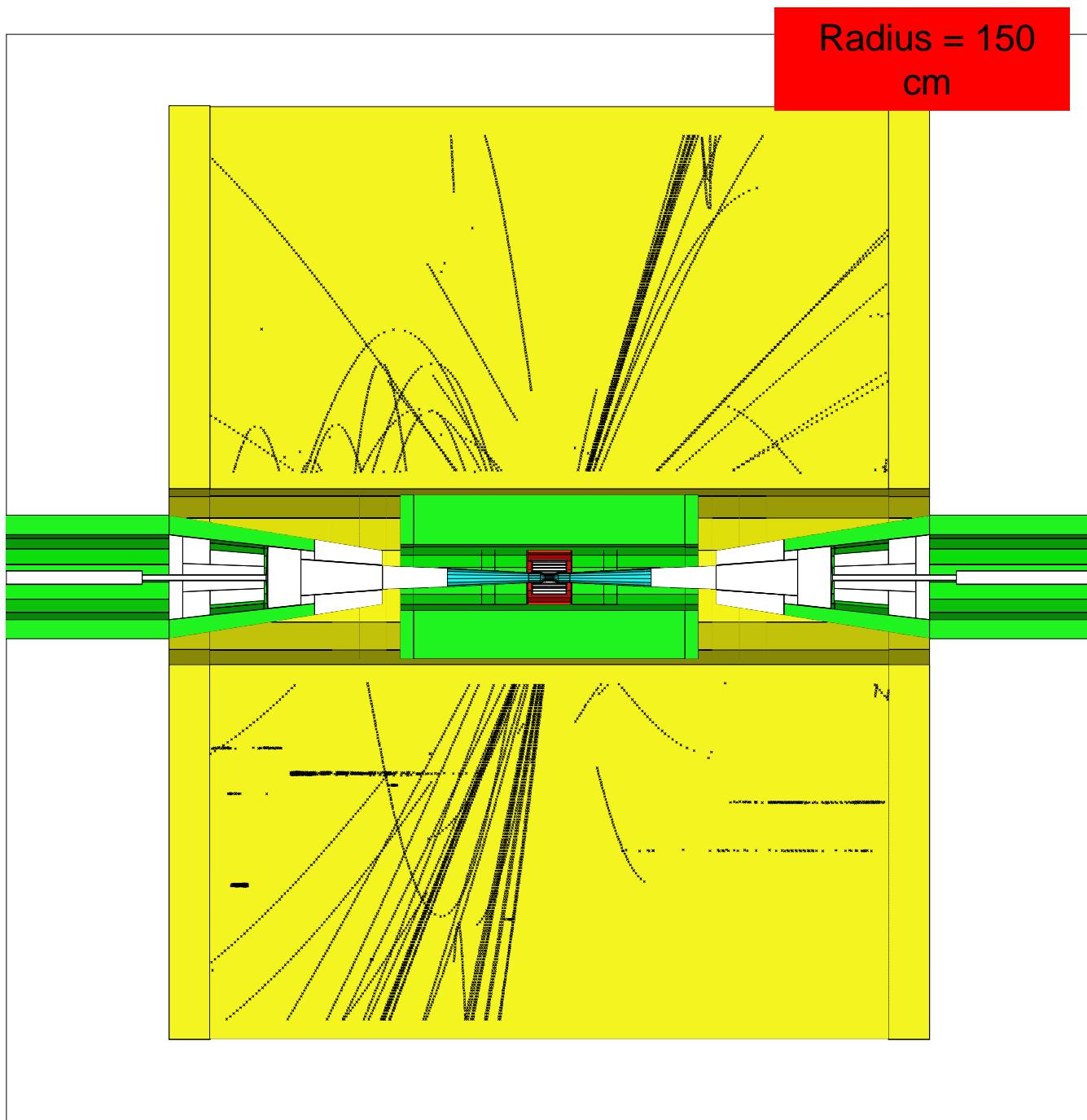
Effizienz und
Reinheit für Bottom
und Charm Nachweis



- Dominierender Detektor: **TPC**

Großer, gasgefüllter Detektor

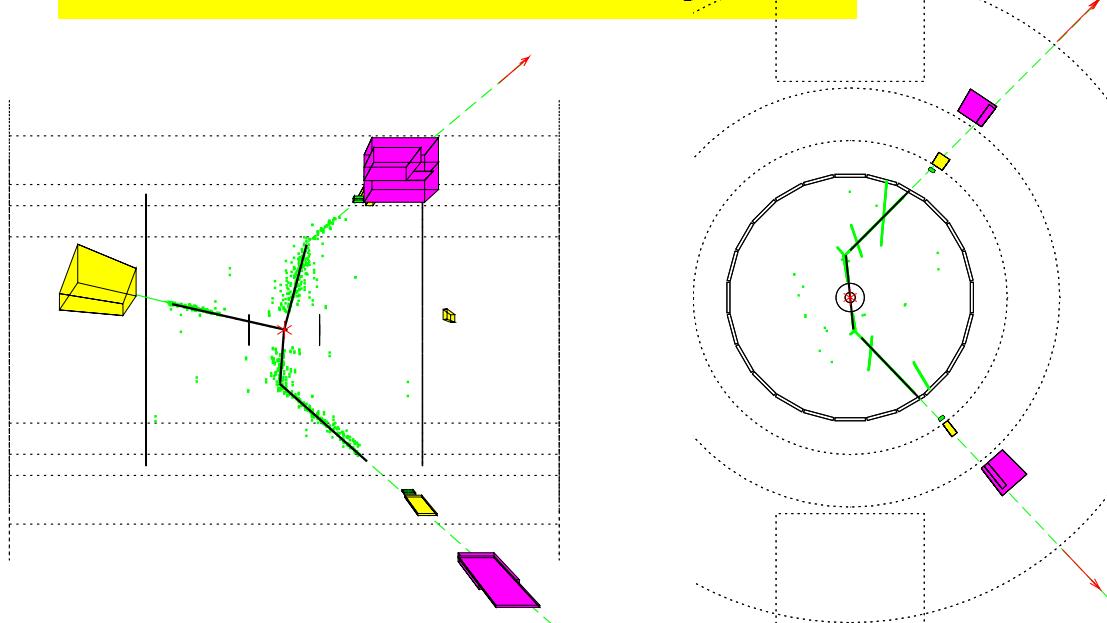
Rekonstruktion geladener Spuren in 3 Dimensionen in
etwa 5×10^7 Pixeln



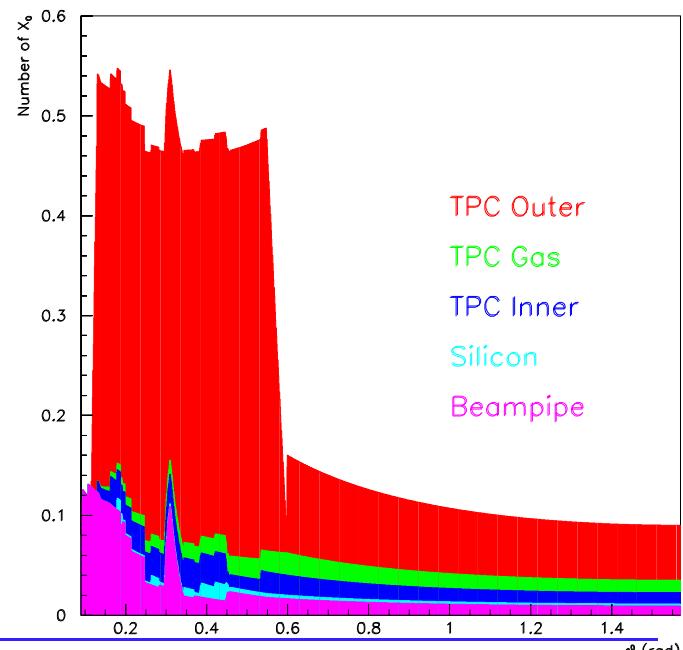
STÄRKEN EINER TPC

- Spurerkennung bis zu großen Radien

OPAL MC Simulation: $\tilde{\mu} \rightarrow \mu \tilde{g}$ Zerfall



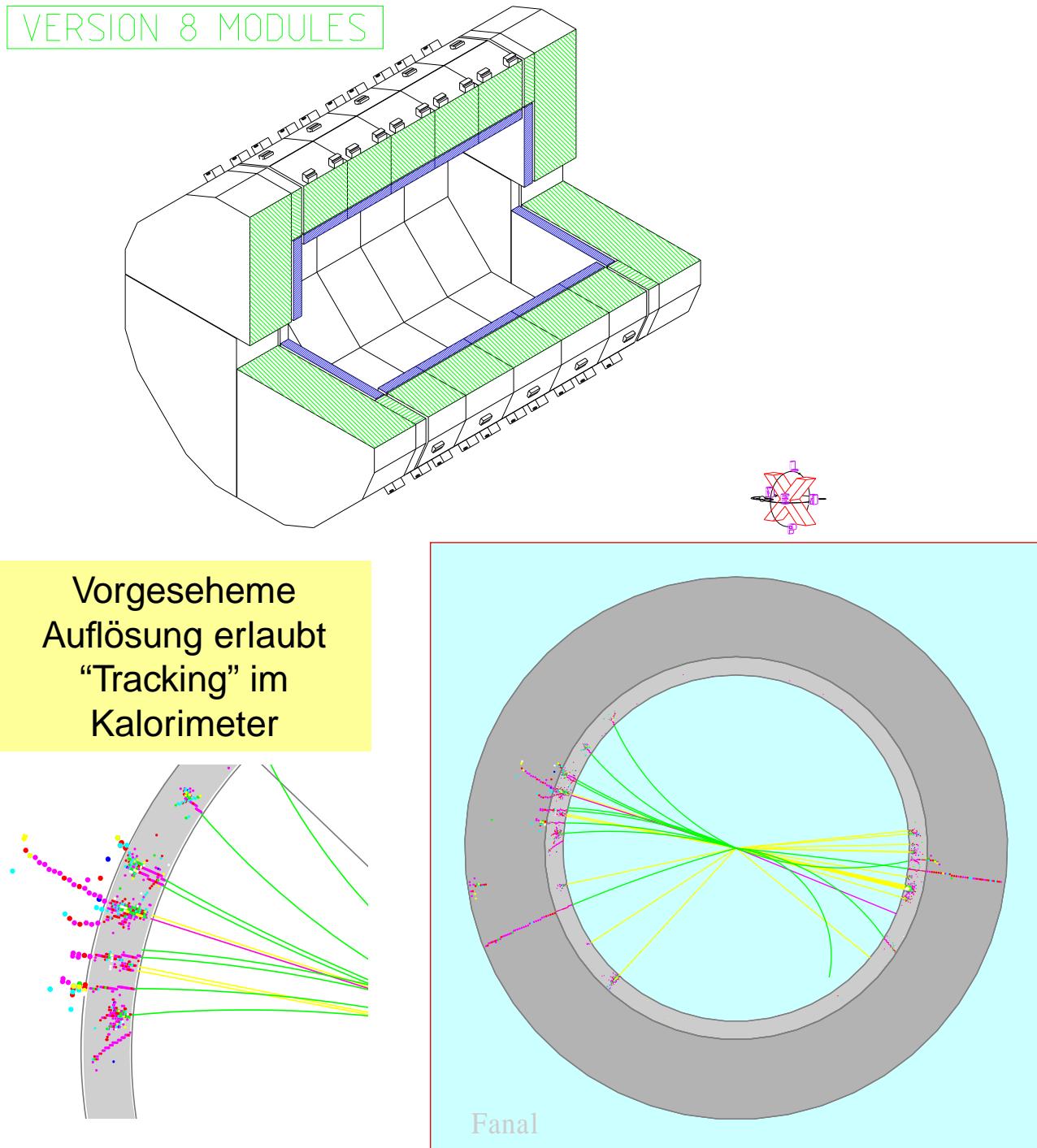
- Große Redundanz durch eine große Anzahl von Spurpunkten
 - Vorteil für die Mustererkennungsalgorithmen?
- Wahre 3D Rekonstruktion
- “Dünner” Detektor



- dE/dx gibt es “umsonst”

DAS KALORIMETER

- Messung der Energie geladener und neutraler Teilchen
 - hochauflösendes Si-W ECAL $10\%/\sqrt{E} \oplus 1\%$
 - exzellente Segmentierung
 - hermetisch (umschließt den "ganzen" Detektor)
 - größter Teil innerhalb der Spule (4T Feld)



DER WEG ZU TESLA

aktuell	TTF R&D
Frühjahr 1998	“II. DESY / ECFA study on physics and detector at future linear colliders”
Frühjahr 1999	“scoping date” am DESY: Beginn der Umweltverträglichkeitsstudie für TESLA
April 1999	Regierung stimmt einer Begutachtung durch den Wissenschaftsrat im Jahre 2001 zu
Frühjahr 1999	Installation und Test eines zweiten Modules in TTF
Anfang 2000	“proof-of-principle” eines FEL
Frühjahr 2000	Workshop in Padua zur Vorbereitung des technischen Design Reports
Frühjahr 2001	TDR (Maschine und Experiment) fertig und wird dem Wissenschaftsrat übergeben
2002/2003	Entscheidung der deutschen Regierung
2003	Projekt wird im internationalem Rahmen etabliert
2003...	Baubeginn
2008-10	Erste Strahlen

- Linearbeschleunigerprojekte haben in den letzten Jahren große Fortschritte gemacht
- Ein LC hat ein reiches und interessantes Physikprogramm
- Das LC Physikprogramm ist über weite Strecken komplementär zum LHC