

# ILC - Der nächste grosse Beschleuniger



**Frank Simon**  
Max-Planck-Institut für Physik

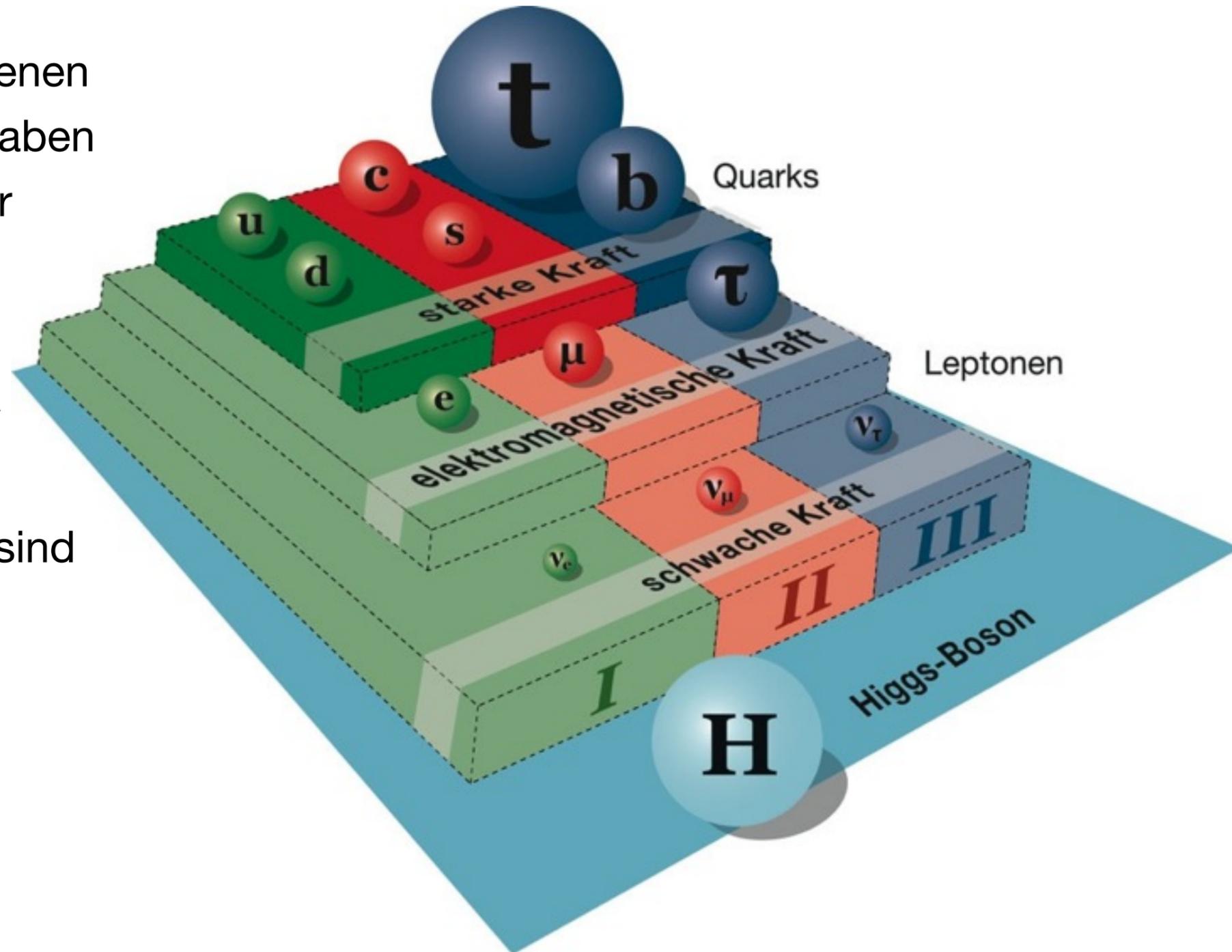


# Teilchenphysik heute - das Standard-Modell

- Jahrzehntelange Forschung an verschiedenen Beschleunigern und theoretische Arbeit haben uns ein detailliertes Bild der Bausteine der Materie gegeben:

Das **Standard-Modell** der Teilchenphysik

- Mit der Entdeckung des Higgs-Teilchens sind alle Teilchen des Standard-Modells experimentell beobachtet worden

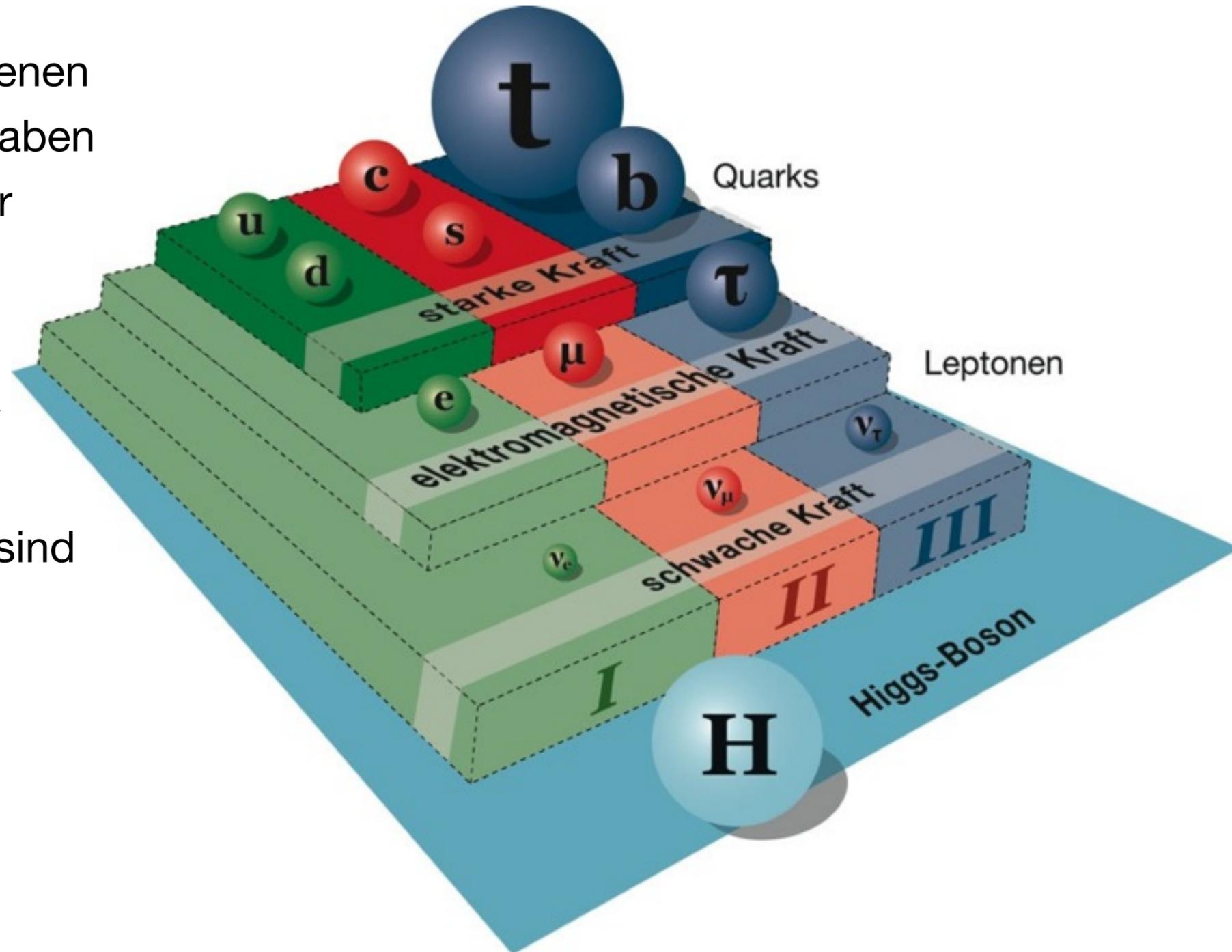


# Teilchenphysik heute - das Standard-Modell

- Jahrzehntelange Forschung an verschiedenen Beschleunigern und theoretische Arbeit haben uns ein detailliertes Bild der Bausteine der Materie gegeben:

Das **Standard-Modell** der Teilchenphysik

- Mit der Entdeckung des Higgs-Teilchens sind alle Teilchen des Standard-Modells experimentell beobachtet worden



**Wie geht es in der (beschleuniger-basierten) Teilchenphysik weiter?**

# Fundamentale Fragen

- Das Standard-Modell ist eine Erfolgsgeschichte - aber es lässt viele Fragen offen.



# Fundamentale Fragen

- Das Standard-Modell ist eine Erfolgsgeschichte - aber es lässt viele Fragen offen.



- Der Ursprung der Masse: Der Higgs-Mechanismus

Die Entdeckung des Higgs-Bosons am LHC eröffnet eine neue Ära:

Eine völlig neue Teilchenart!

# Fundamentale Fragen

- Das Standard-Modell ist eine Erfolgsgeschichte - aber es lässt viele Fragen offen.



- Der Ursprung der Masse: Der Higgs-Mechanismus

Die Entdeckung des Higgs-Bosons am LHC eröffnet eine neue Ära:

Eine völlig neue Teilchenart!



# Fundamentale Fragen

- Das Standard-Modell ist eine Erfolgsgeschichte - aber es lässt viele Fragen offen.



- Der Ursprung der Masse: Der Higgs-Mechanismus

Die Entdeckung des Higgs-Bosons am LHC eröffnet eine neue Ära:  
Eine völlig neue Teilchenart!

- Wo steckt die Neue Physik?



# Fundamentale Fragen

- Das Standard-Modell ist eine Erfolgsgeschichte - aber es lässt viele Fragen offen.



- Der Ursprung der Masse: Der Higgs-Mechanismus

Die Entdeckung des Higgs-Bosons am LHC eröffnet eine neue Ära:

Eine völlig neue Teilchenart!

- Wo steckt die Neue Physik?

- Was ist Dunkle Materie?



# Fundamentale Fragen

- Das Standard-Modell ist eine Erfolgsgeschichte - aber es lässt viele Fragen offen.



- Der Ursprung der Masse: Der Higgs-Mechanismus

Die Entdeckung des Higgs-Bosons am LHC eröffnet eine neue Ära:  
Eine völlig neue Teilchenart!

- Wo steckt die Neue Physik?

- ▶ Was ist Dunkle Materie?
- ▶ Gibt es weitere Kräfte und Symmetrien?



# Fundamentale Fragen

- Das Standard-Modell ist eine Erfolgsgeschichte - aber es lässt viele Fragen offen.



- Der Ursprung der Masse: Der Higgs-Mechanismus

Die Entdeckung des Higgs-Bosons am LHC eröffnet eine neue Ära:

Eine völlig neue Teilchenart!

- Wo steckt die Neue Physik?

- ▶ Was ist Dunkle Materie?
- ▶ Gibt es weitere Kräfte und Symmetrien?
- ▶ Ist das Vakuum stabil?



# Fundamentale Fragen

- Das Standard-Modell ist eine Erfolgsgeschichte - aber es lässt viele Fragen offen.



- Der Ursprung der Masse: Der Higgs-Mechanismus

Die Entdeckung des Higgs-Bosons am LHC eröffnet eine neue Ära:  
Eine völlig neue Teilchenart!



- Wo steckt die Neue Physik?
  - ▶ Was ist Dunkle Materie?
  - ▶ Gibt es weitere Kräfte und Symmetrien?
  - ▶ Ist das Vakuum stabil?
  - ▶ Gibt es eine grosse Vereinheitlichung der Kräfte?

# Fundamentale Fragen

- Das Standard-Modell ist eine Erfolgsgeschichte - aber es lässt viele Fragen offen.



- Der Ursprung der Masse: Der Higgs-Mechanismus

Die Entdeckung des Higgs-Bosons am LHC eröffnet eine neue Ära:  
Eine völlig neue Teilchenart!



- Wo steckt die Neue Physik?
  - ▶ Was ist Dunkle Materie?
  - ▶ Gibt es weitere Kräfte und Symmetrien?
  - ▶ Ist das Vakuum stabil?
  - ▶ Gibt es eine grosse Vereinheitlichung der Kräfte?
  - ▶ ...

# Forschung an der “Energy Frontier”

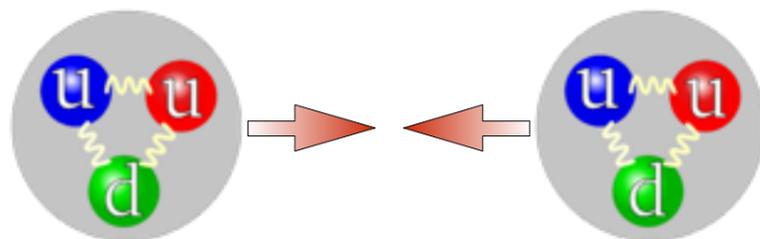
---

- Die genaue Erforschung der fundamentalen Bausteine des Universums erfordert immer höhere Energien: Hochenergie - Collider

# Forschung an der “Energy Frontier”

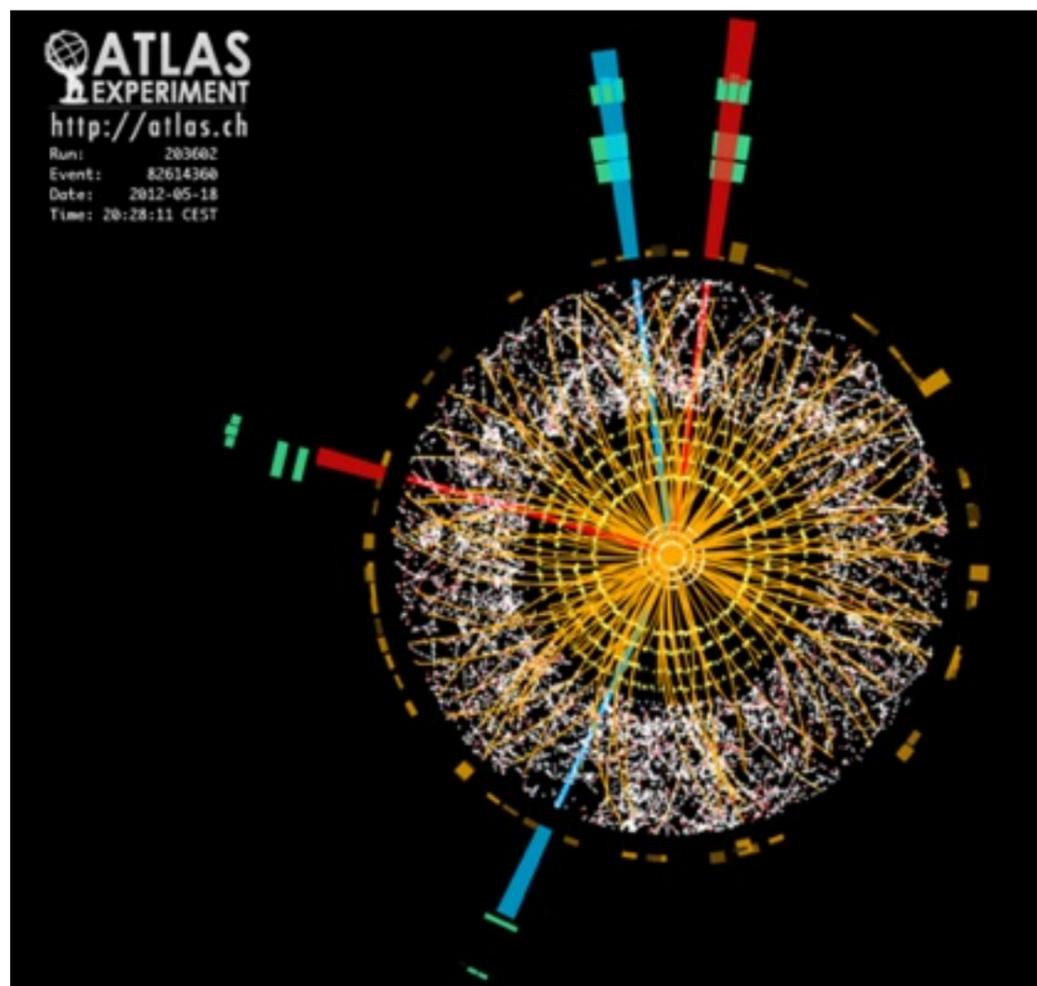
- Die genaue Erforschung der fundamentalen Bausteine des Universums erfordert immer höhere Energien: Hochenergie - Collider

## Proton-Proton Collider - LHC



Zusammengesetzte  
Teilchen

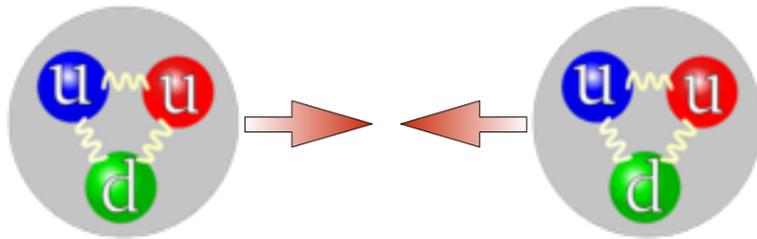
Starke Wechsel-  
wirkung dominiert



# Forschung an der "Energy Frontier"

- Die genaue Erforschung der fundamentalen Bausteine des Universums erfordert immer höhere Energien: Hochenergie - Collider

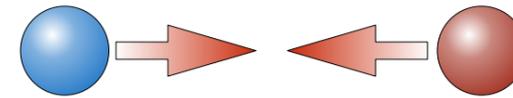
## Proton-Proton Collider - LHC



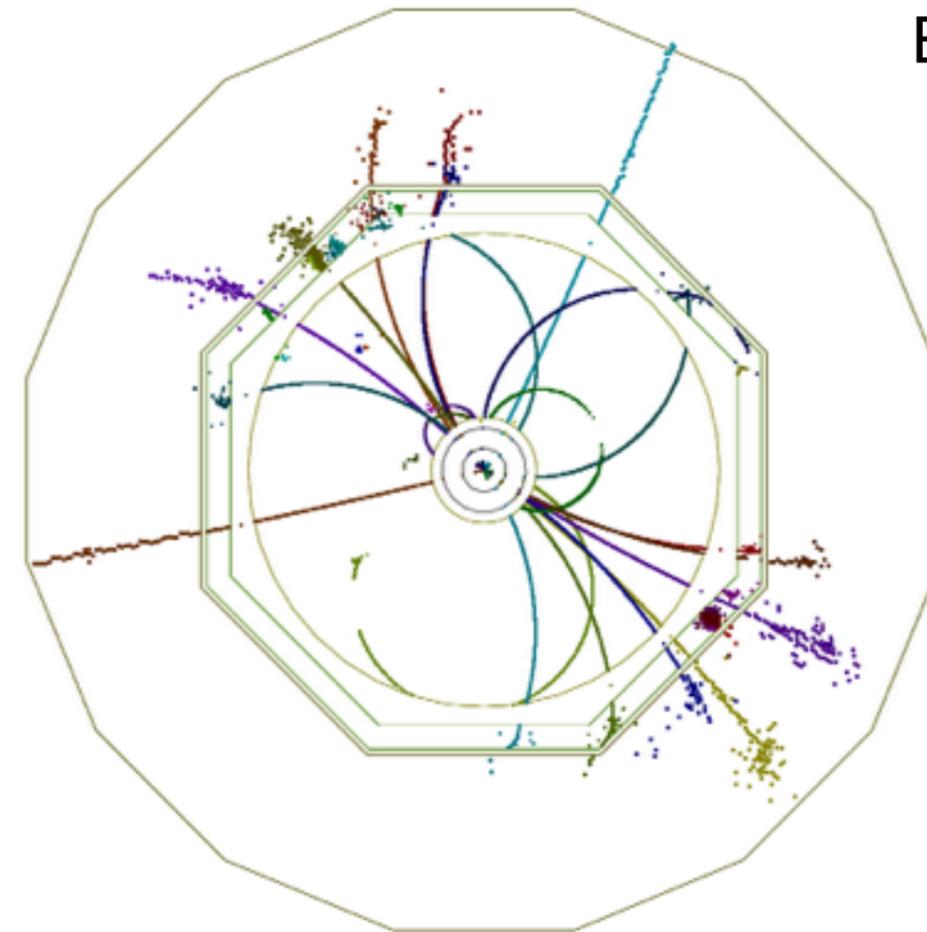
Zusammengesetzte  
Teilchen

Starke Wechsel-  
wirkung dominiert

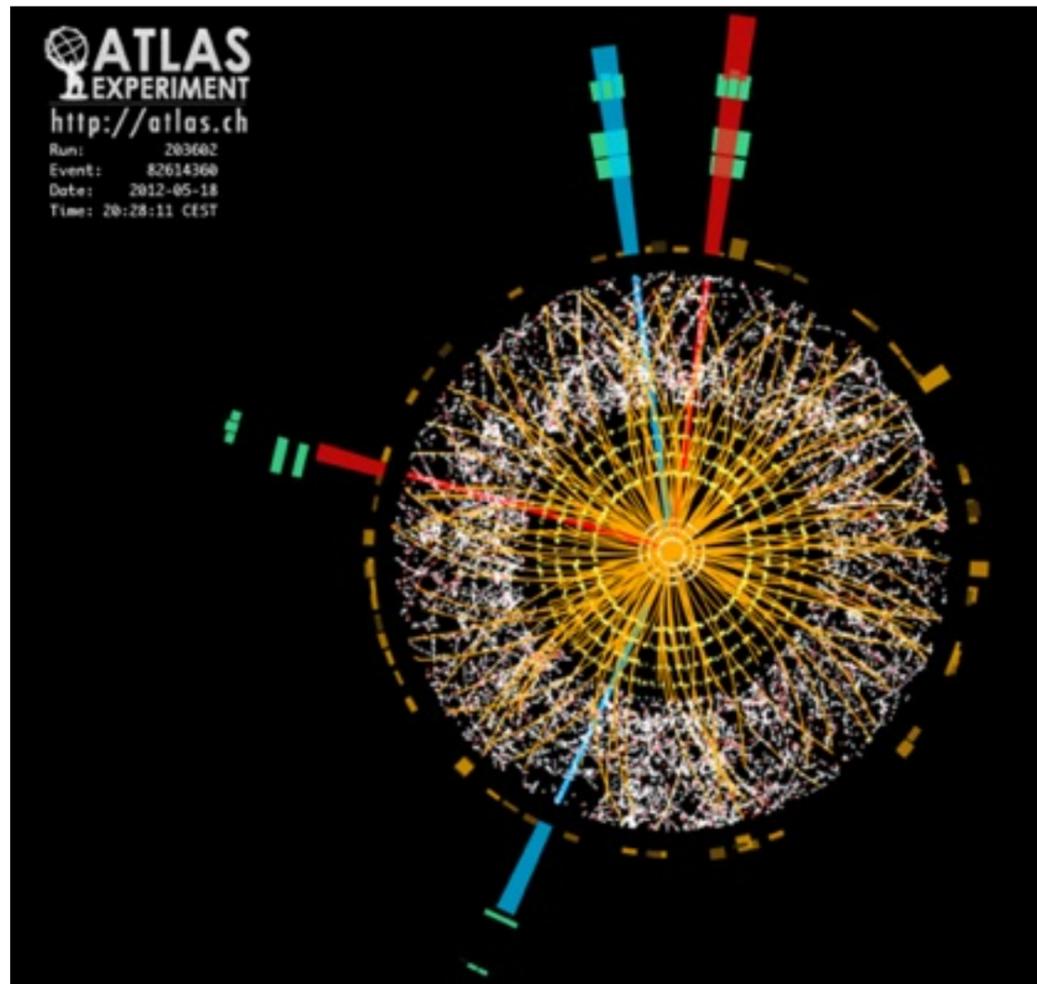
## Elektron-Positron Collider



Elementarteilchen



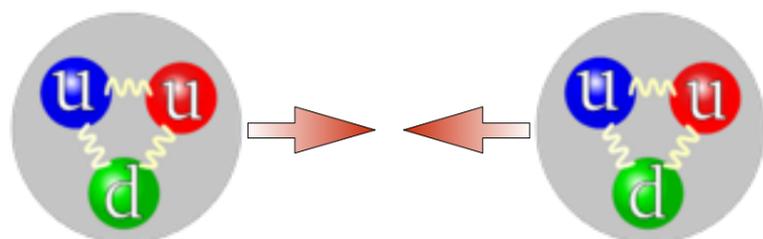
Elektroschwache  
Wechselwirkung  
dominiert



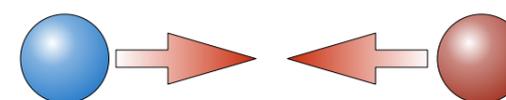
# Forschung an der "Energy Frontier"

- Die genaue Erforschung der fundamentalen Bausteine des Universums erfordert immer höhere Energien: Hochenergie - Collider

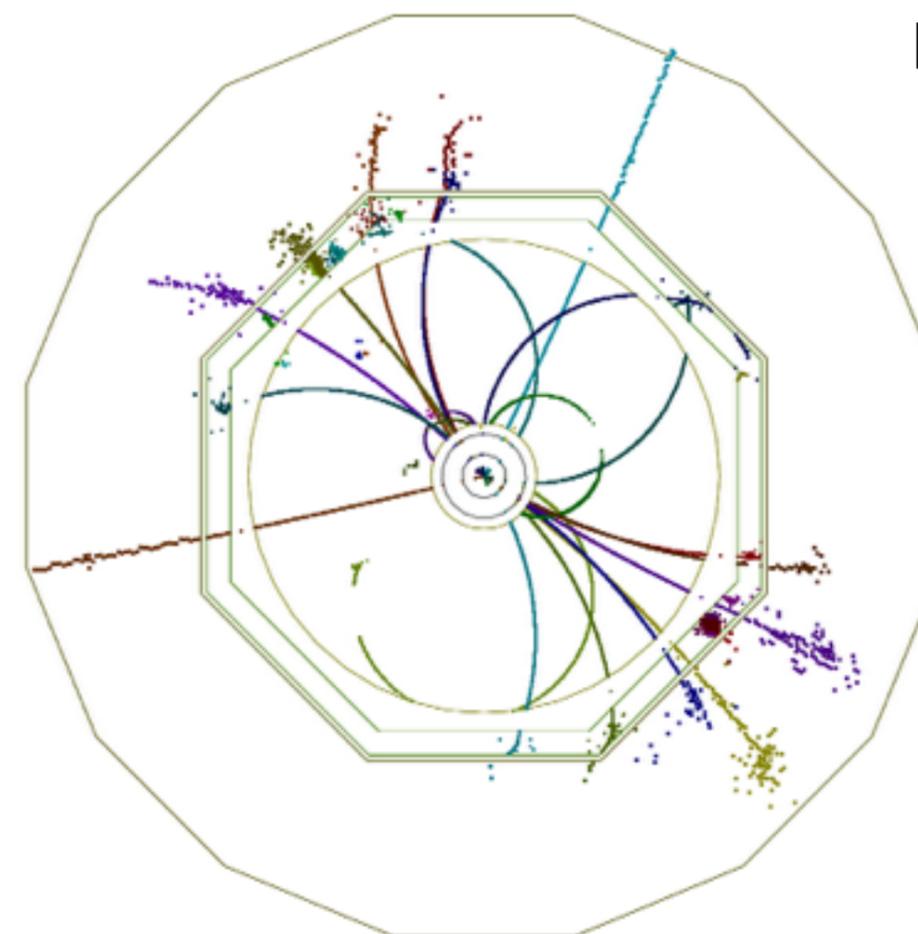
## Proton-Proton Collider - LHC



## Elektron-Positron Collider



Elementarteilchen

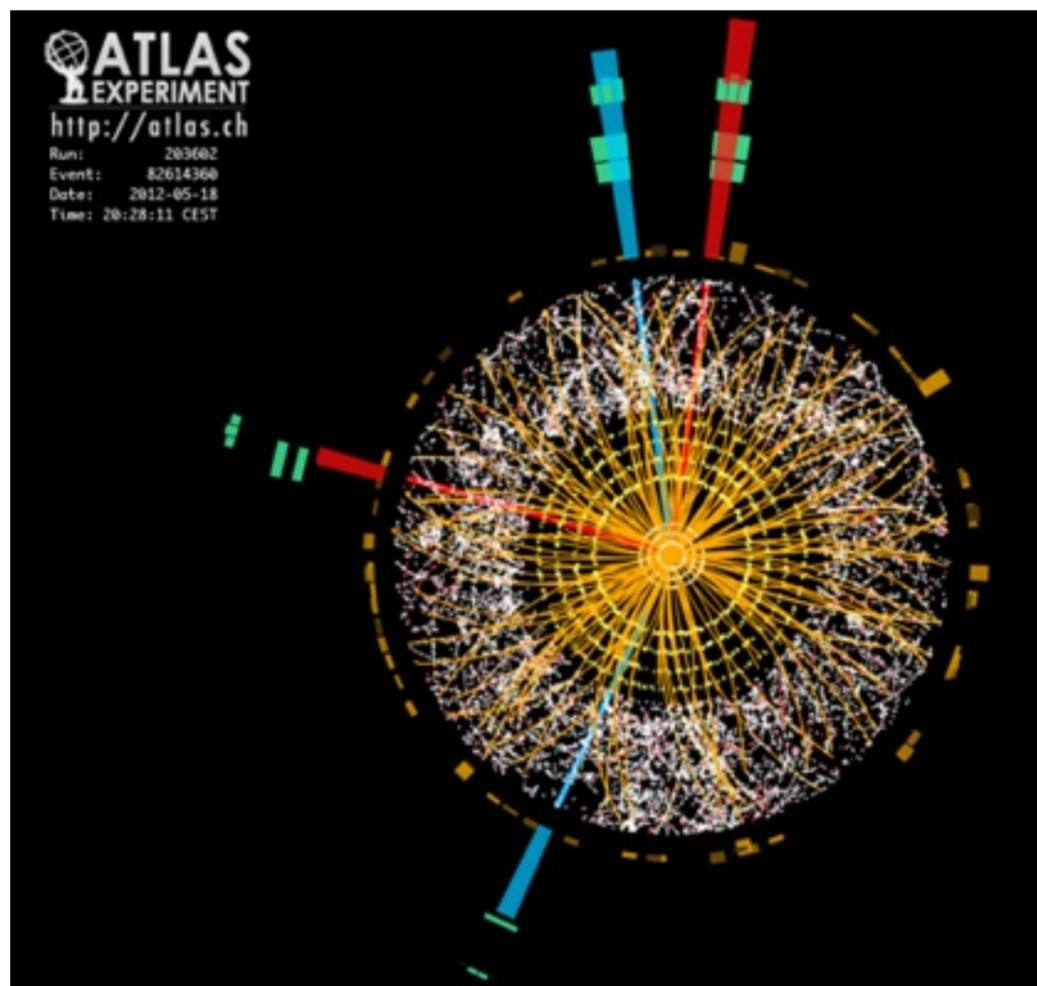


Zusammengesetzte  
Teilchen

Starke Wechsel-  
wirkung dominiert

Elektroschwache  
Wechselwirkung  
dominiert

Hohe Komplementarität von  $p+p$  und  $e^+e^-$  Collidern -  
Gegenseitige Ergänzung

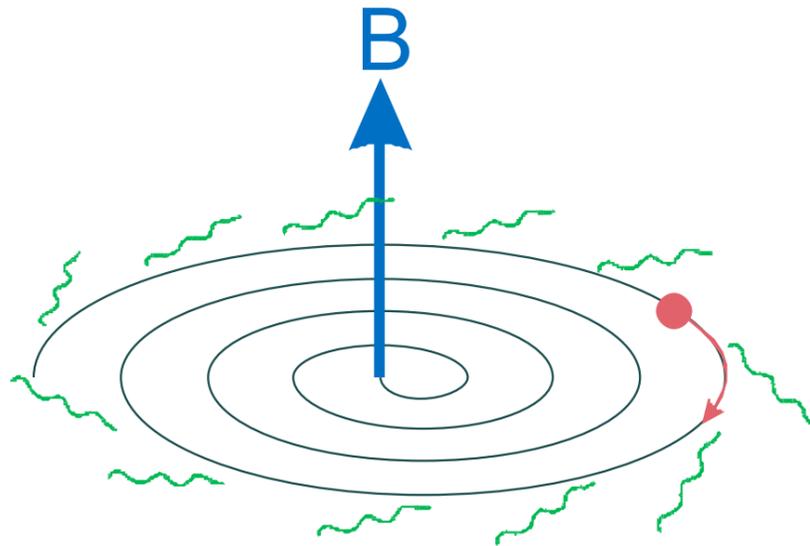


# Elektron-Positron Collider bei Hoher Energie: Eine Herausforderung!

- Hochenergetische Teilchen verlieren Energie auf Kreisbahnen

Der Energieverlust steigt mit  $E^4$  und  $1/m^4$

- ⇒ Elektronen verlieren  $10^{13}$  ( 10 000 000 000 000) mal mehr Energie als Protonen!
- ⇒ Hochenergetische Elektron-Positron Collider ( $> \sim 300$  GeV) können keine Kreisbeschleuniger sein

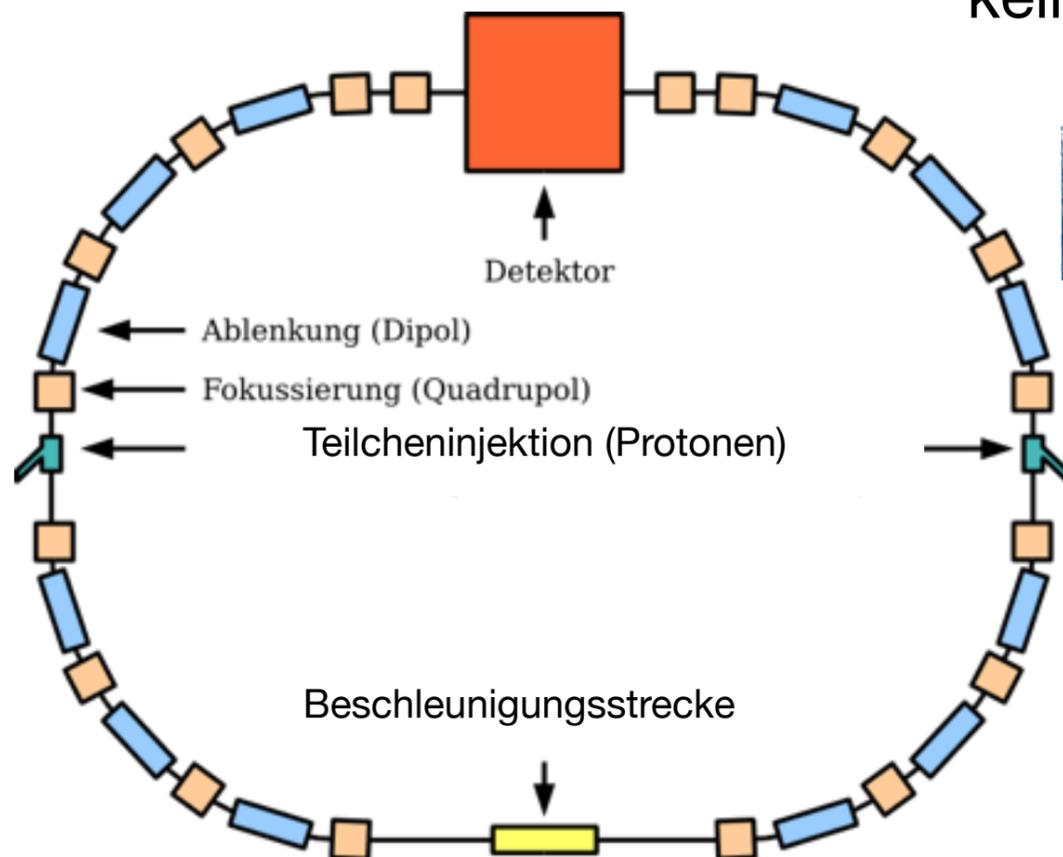
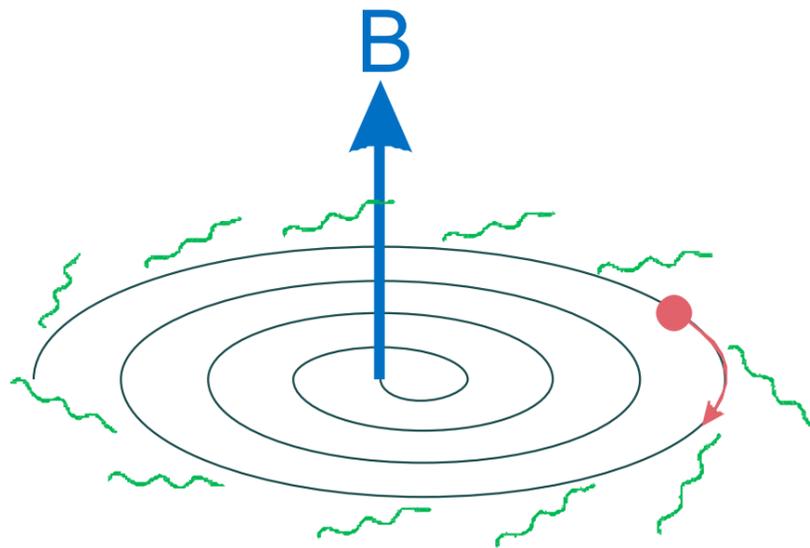


# Elektron-Positron Collider bei Hoher Energie: Eine Herausforderung!

- Hochenergetische Teilchen verlieren Energie auf Kreisbahnen

Der Energieverlust steigt mit  $E^4$  und  $1/m^4$

- ⇒ Elektronen verlieren  $10^{13}$  ( 10 000 000 000 000) mal mehr Energie als Protonen!
- ⇒ Hochenergetische Elektron-Positron Collider ( $> \sim 300$  GeV) können keine Kreisbeschleuniger sein



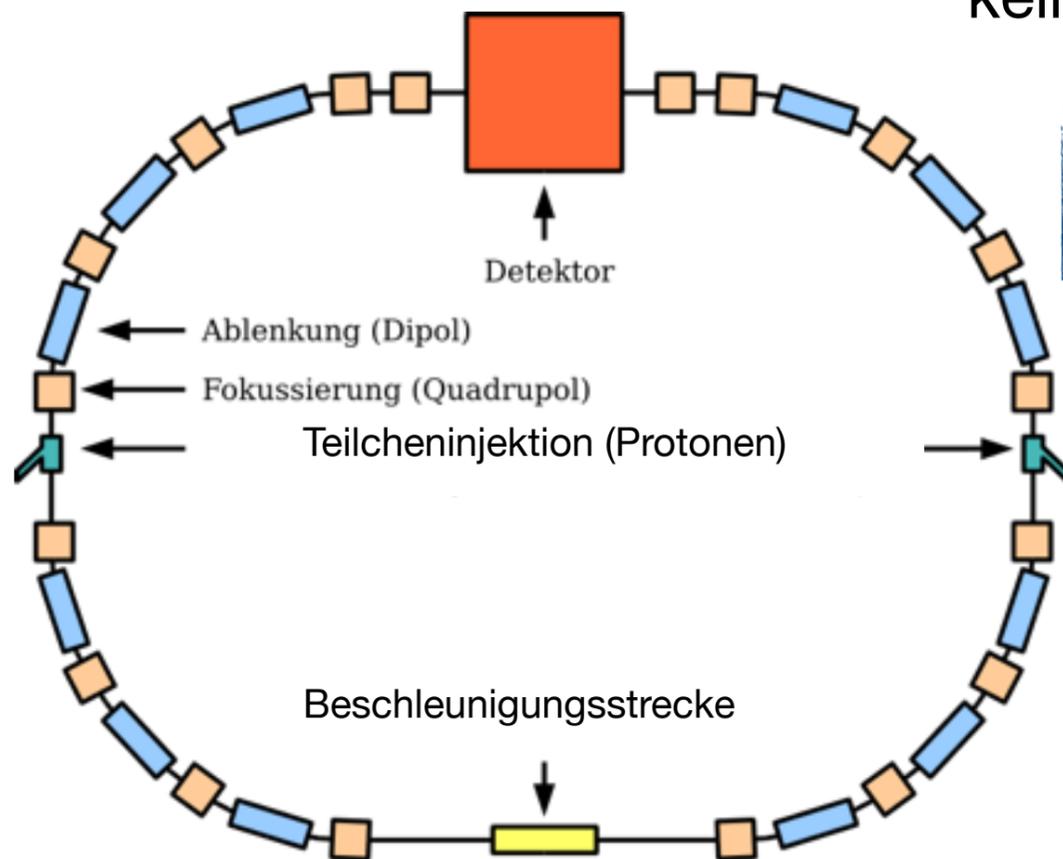
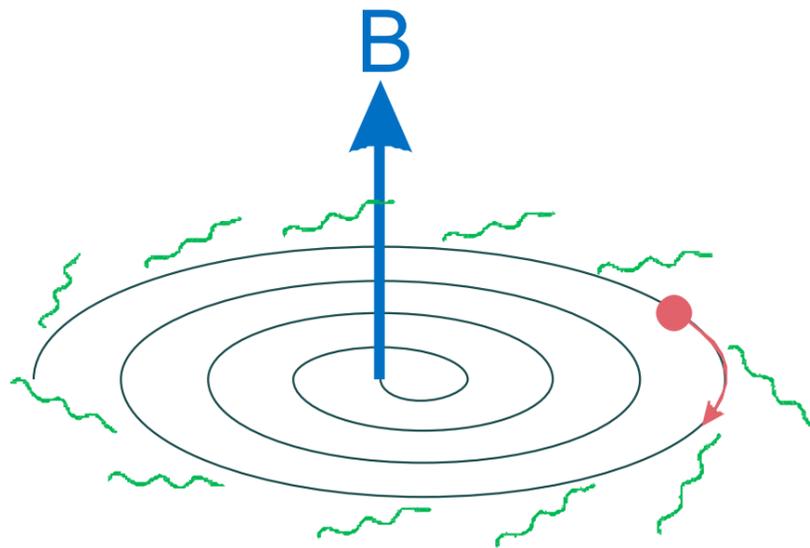
Proton-Collider  
LHC

# Elektron-Positron Collider bei Hoher Energie: Eine Herausforderung!

- Hochenergetische Teilchen verlieren Energie auf Kreisbahnen

Der Energieverlust steigt mit  $E^4$  und  $1/m^4$

- ⇒ Elektronen verlieren  $10^{13}$  ( 10 000 000 000 000 ) mal mehr Energie als Protonen!
- ⇒ Hochenergetische Elektron-Positron Collider ( $> \sim 300$  GeV) können keine Kreisbeschleuniger sein



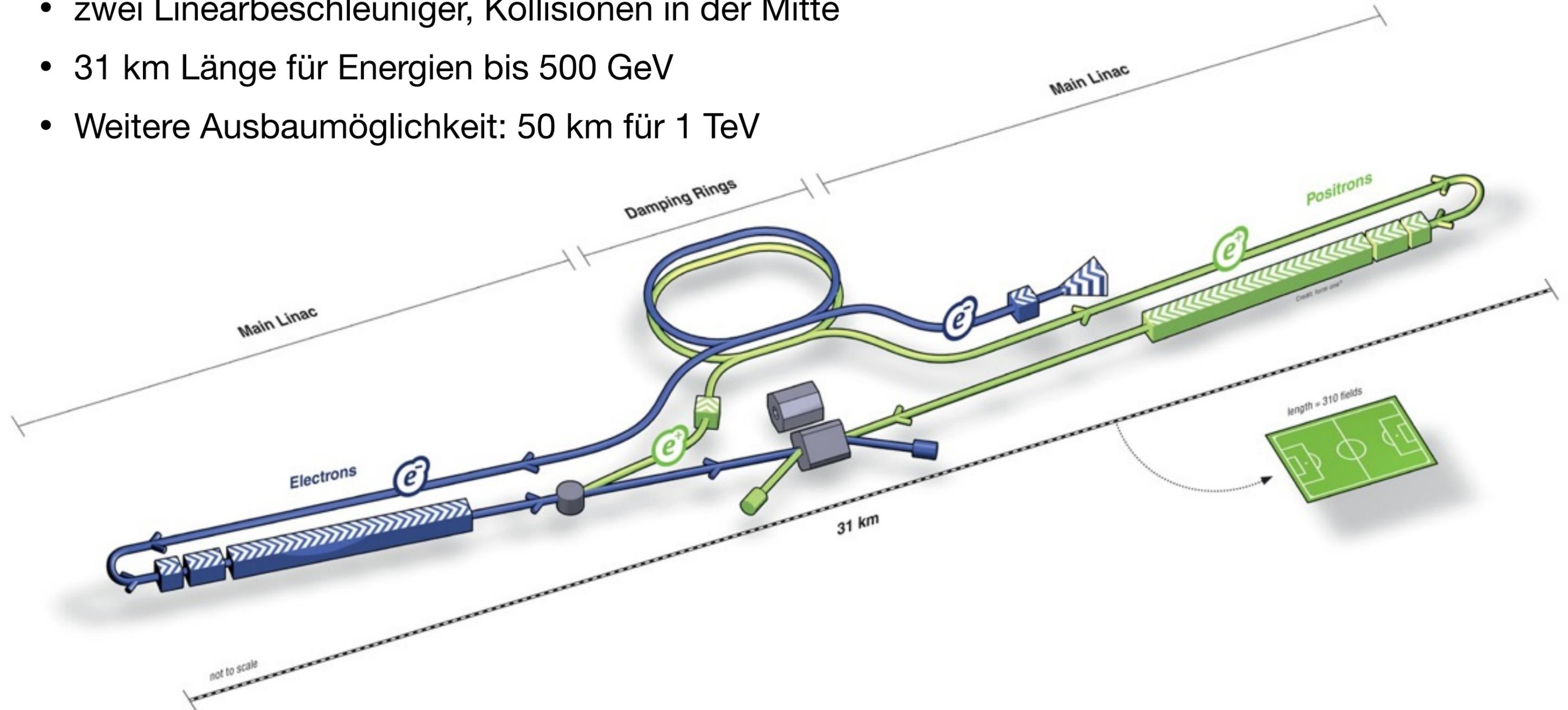
Proton-Collider  
LHC

Linear Collider für Elektronen und Positronen



# Von der Idee zur Realisierung - Der International Linear Collider

- Ein grosser Beschleunigerkomplex
  - zwei Linearbeschleuniger, Kollisionen in der Mitte
  - 31 km Länge für Energien bis 500 GeV
  - Weitere Ausbaumöglichkeit: 50 km für 1 TeV

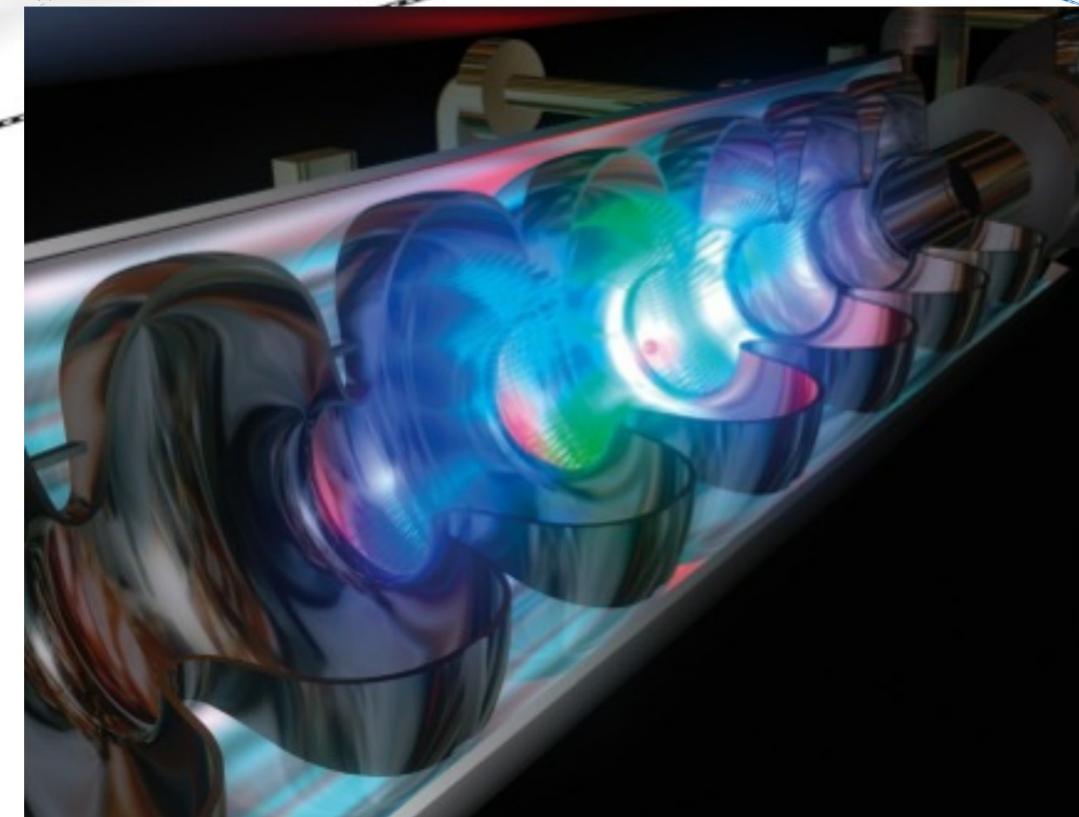


# Von der Idee zur Realisierung - Der International Linear Collider

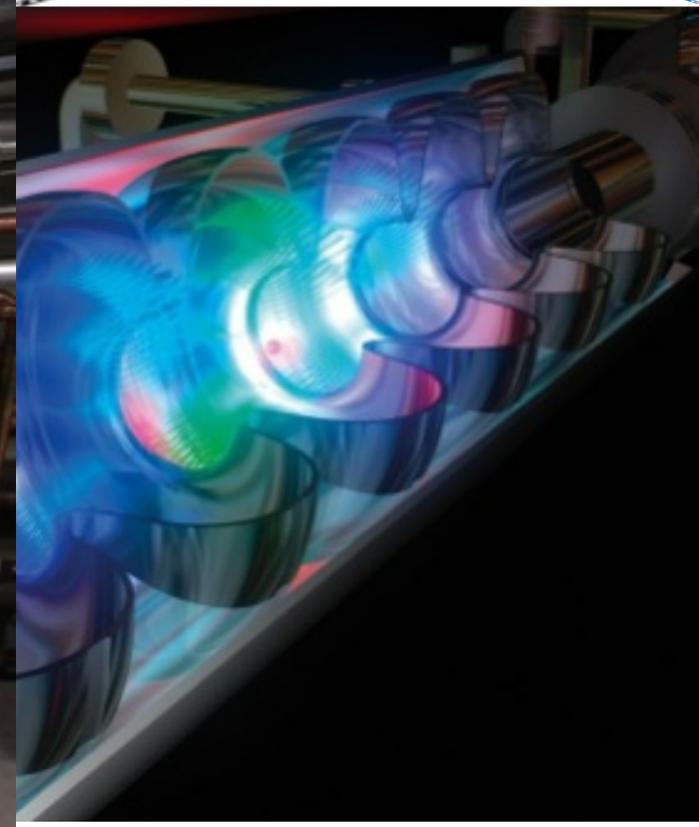
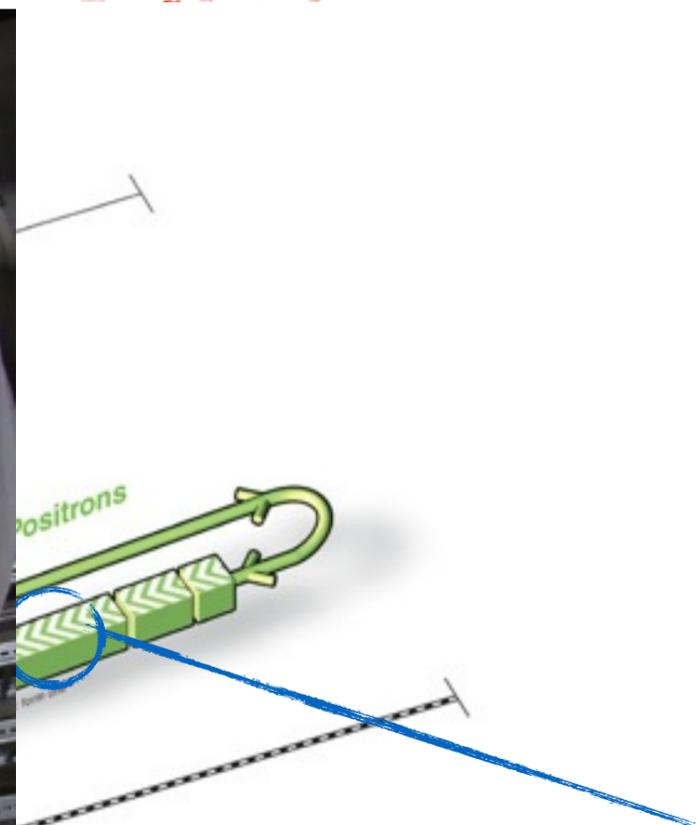
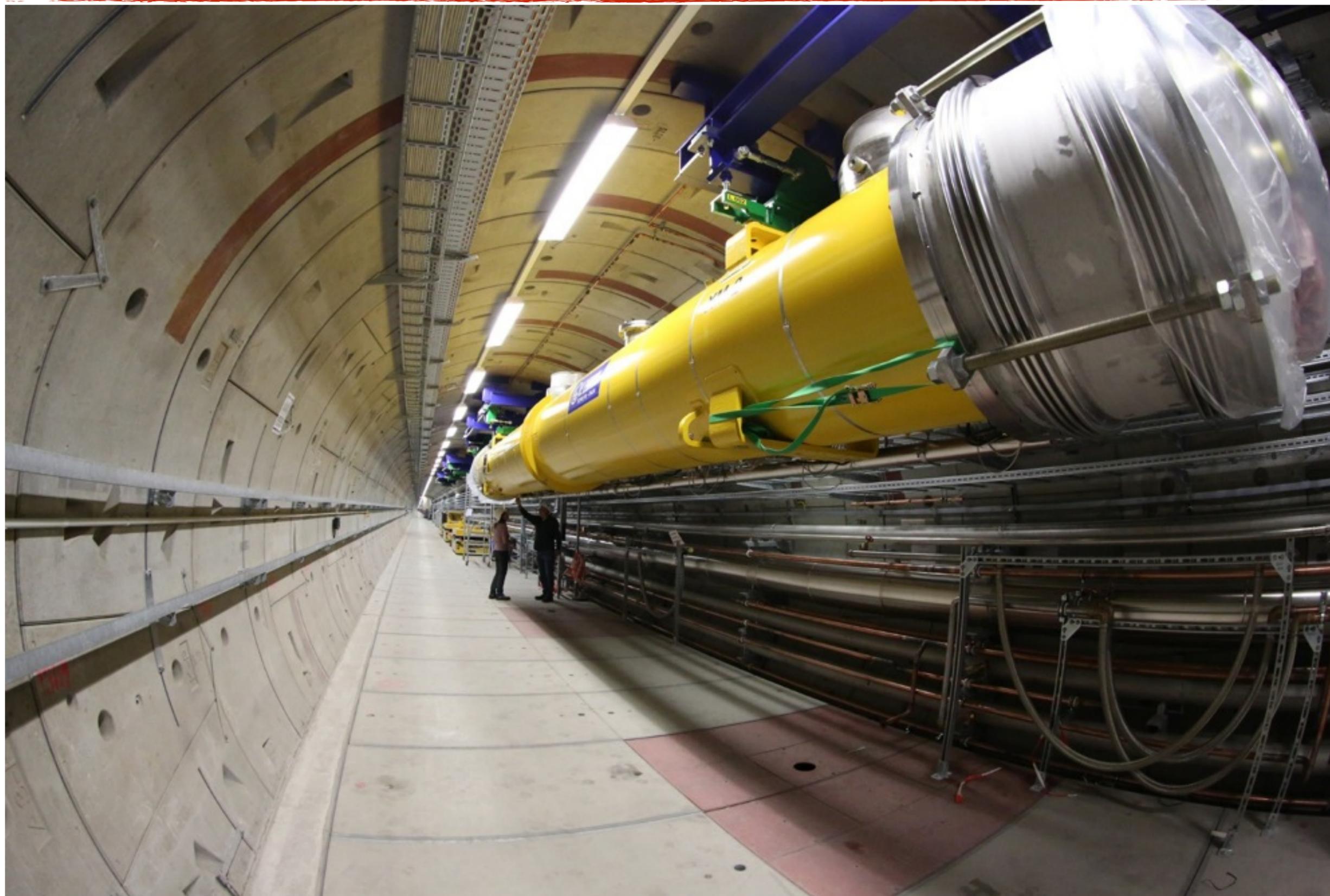
- Ein grosser Beschleunigerkomplex
  - zwei Linearbeschleuniger, Kollisionen in der Mitte
  - 31 km Länge für Energien bis 500 GeV
  - Weitere Ausbaumöglichkeit: 50 km für 1 TeV



- Das Herzstück: Supraleitende Beschleunigungsstrukturen
- Inzwischen etablierte Technik: XFEL am DESY im Bau



# Von der Idee zur Realisierung - Der International Linear Collider



# Von der Idee zur Realisierung - Der International Linear Collider

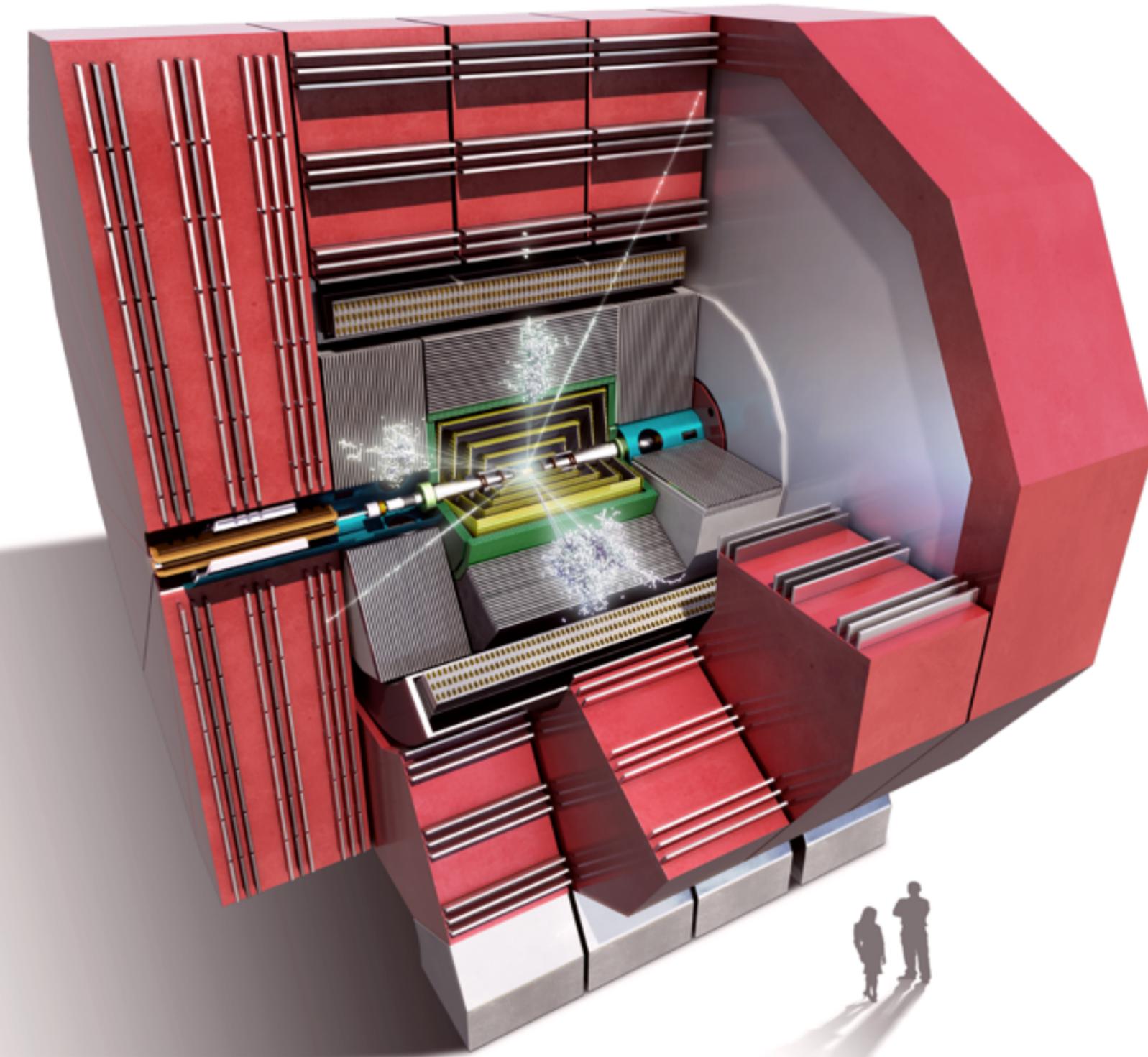


©Rey.Hori/KEK



# Modernste Detektorsysteme

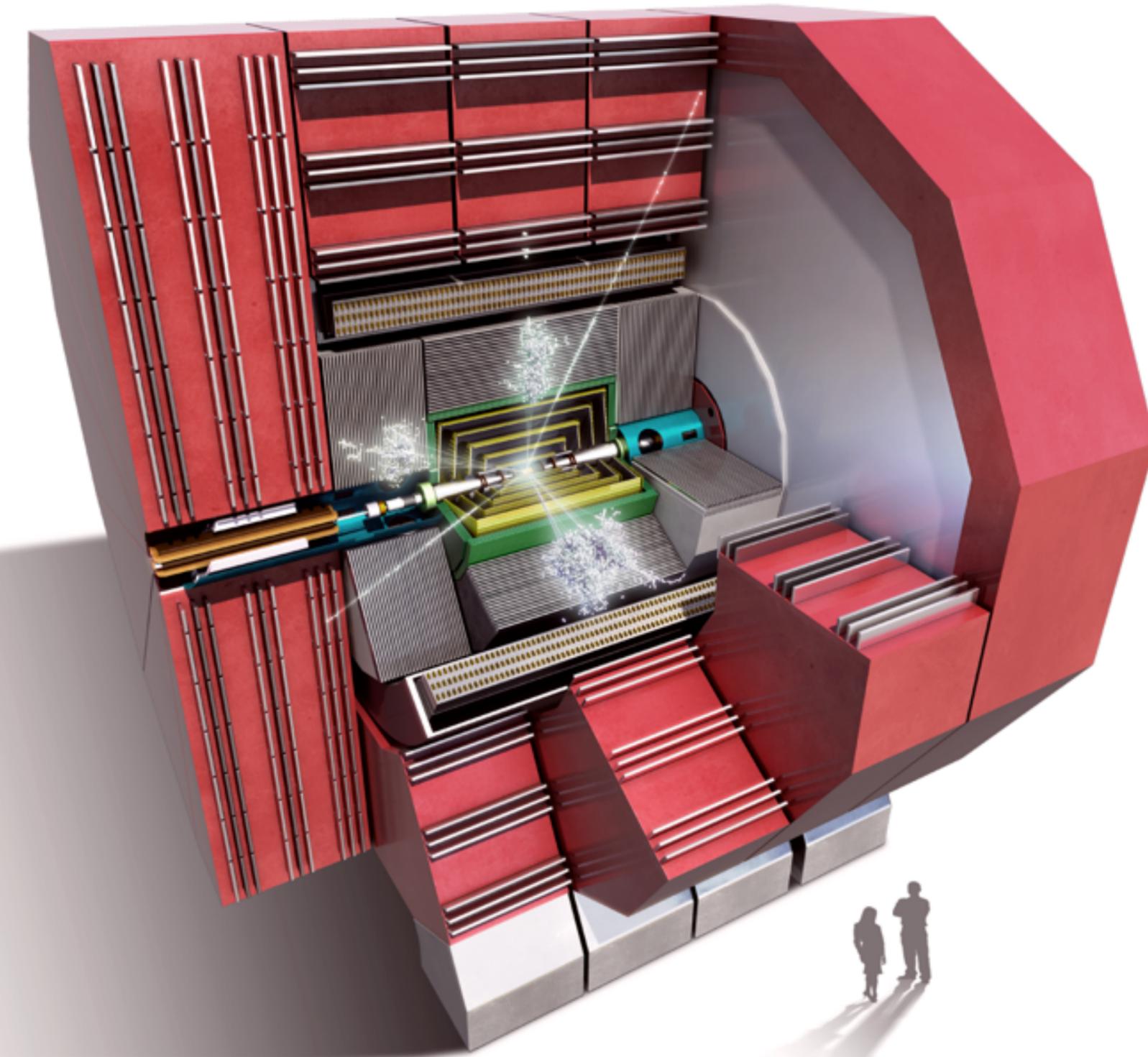
- Neue Detektorsysteme für neue Experimente
  - Ausnutzung technischer Fortschritte
  - Umsetzung neuer Ideen zur Ereignisrekonstruktion
  - Optimiert für die Bedingungen an  $e^+e^-$  Collidern



# Modernste Detektorsysteme

- Neue Detektorsysteme für neue Experimente
  - Ausnutzung technischer Fortschritte
  - Umsetzung neuer Ideen zur Ereignisrekonstruktion
  - Optimiert für die Bedingungen an  $e^+e^-$  Collidern

Zentrale Neuerung: Extreme Granularität - viele Millionen, in manchen Systemen Milliarden von Auslesekanälen, oft 1000 x mehr als in vergleichbaren Systemen am LHC

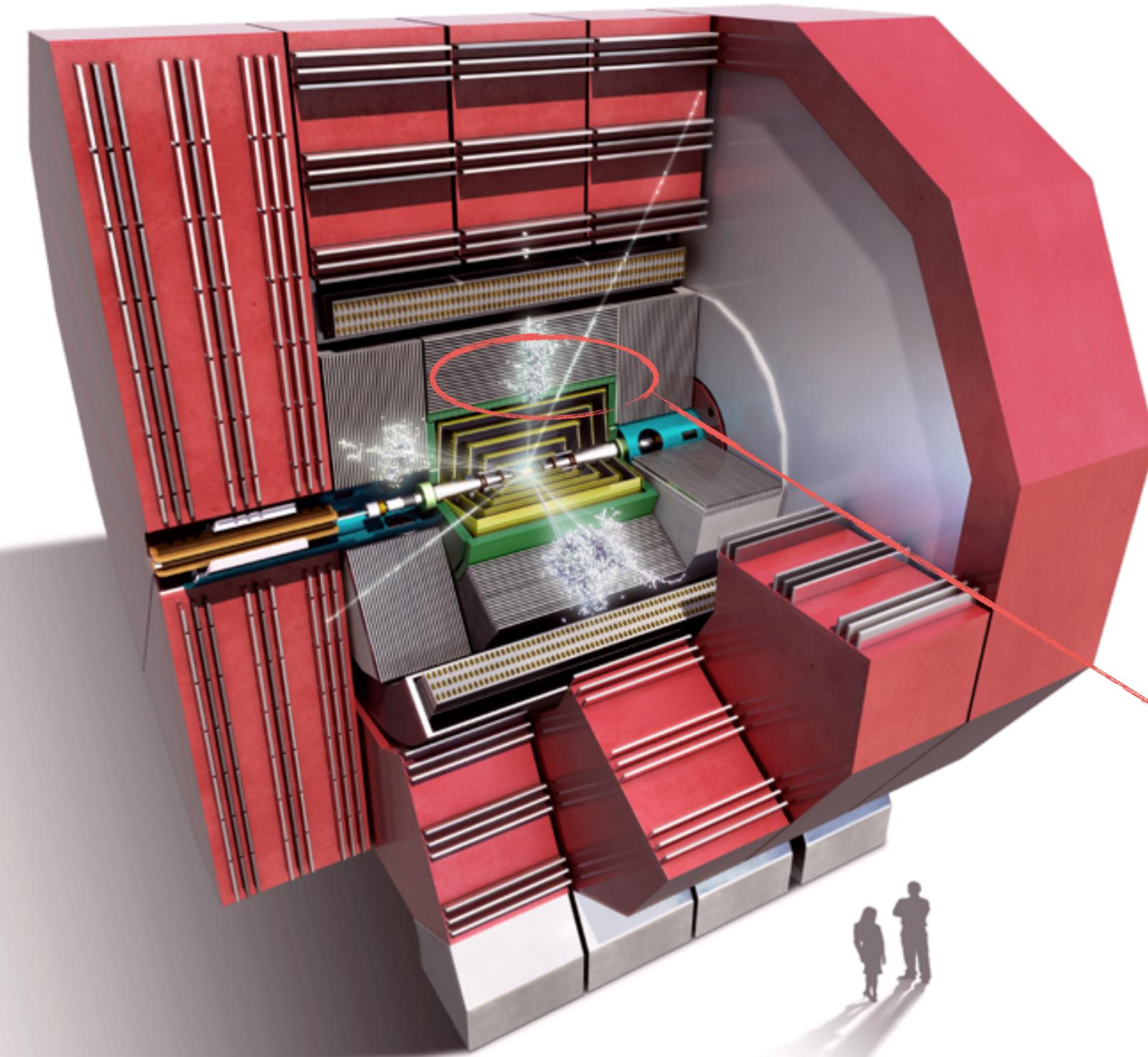


# Modernste Detektorsysteme

- Neue Detektorsysteme für neue Experimente
  - Ausnutzung technischer Fortschritte
  - Umsetzung neuer Ideen zur Ereignisrekonstruktion
  - Optimiert für die Bedingungen an  $e^+e^-$  Collidern

Zentrale Neuerung: Extreme Granularität - viele Millionen, in manchen Systemen Milliarden von Auslesekanälen, oft 1000 x mehr als in vergleichbaren Systemen am LHC

- Beiträge am Max-Planck-Institut:
  - Hochgranulare Kalorimeter zur Energiemessung

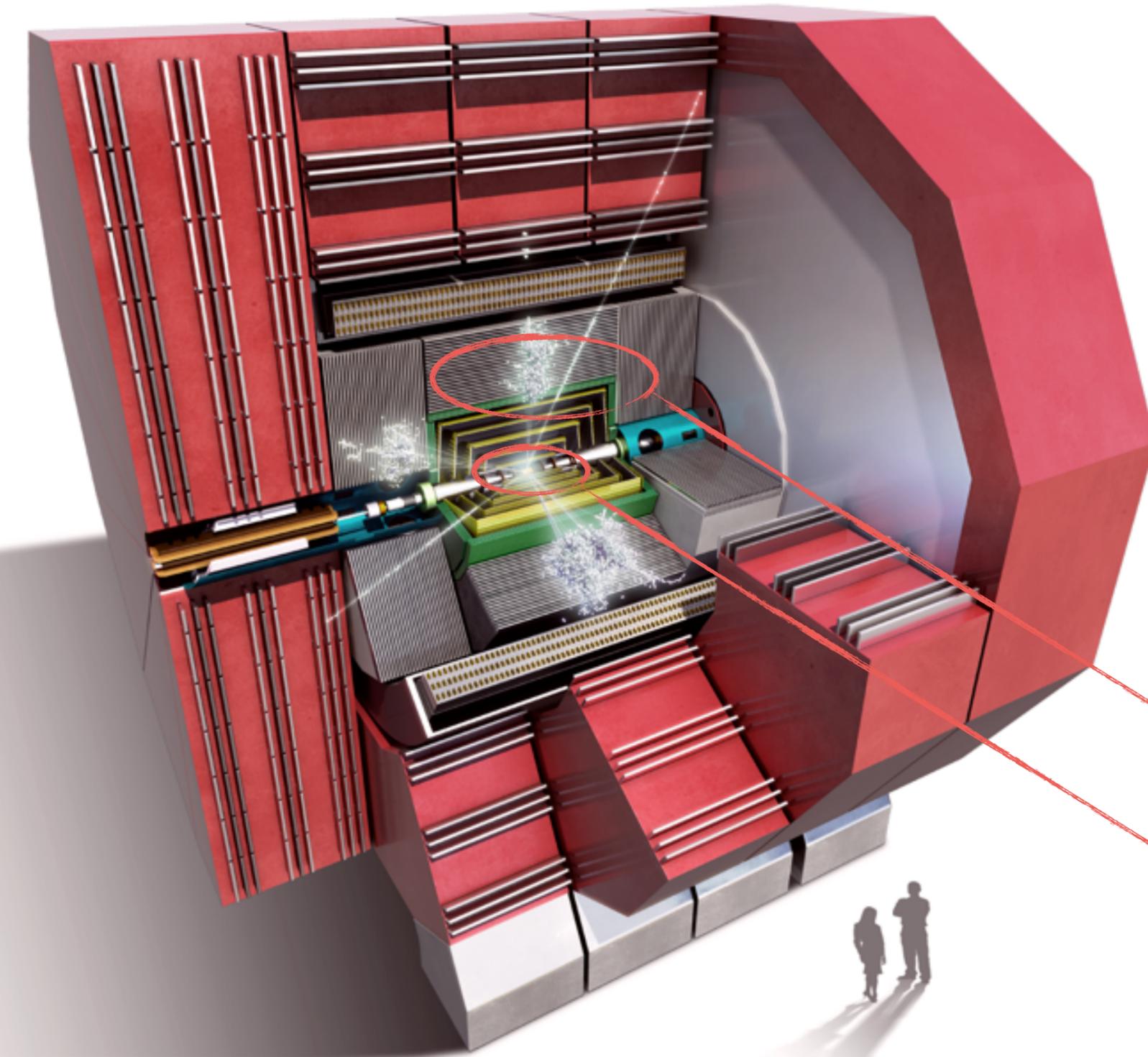


# Modernste Detektorsysteme

- Neue Detektorsysteme für neue Experimente
  - Ausnutzung technischer Fortschritte
  - Umsetzung neuer Ideen zur Ereignisrekonstruktion
  - Optimiert für die Bedingungen an  $e^+e^-$  Collidern

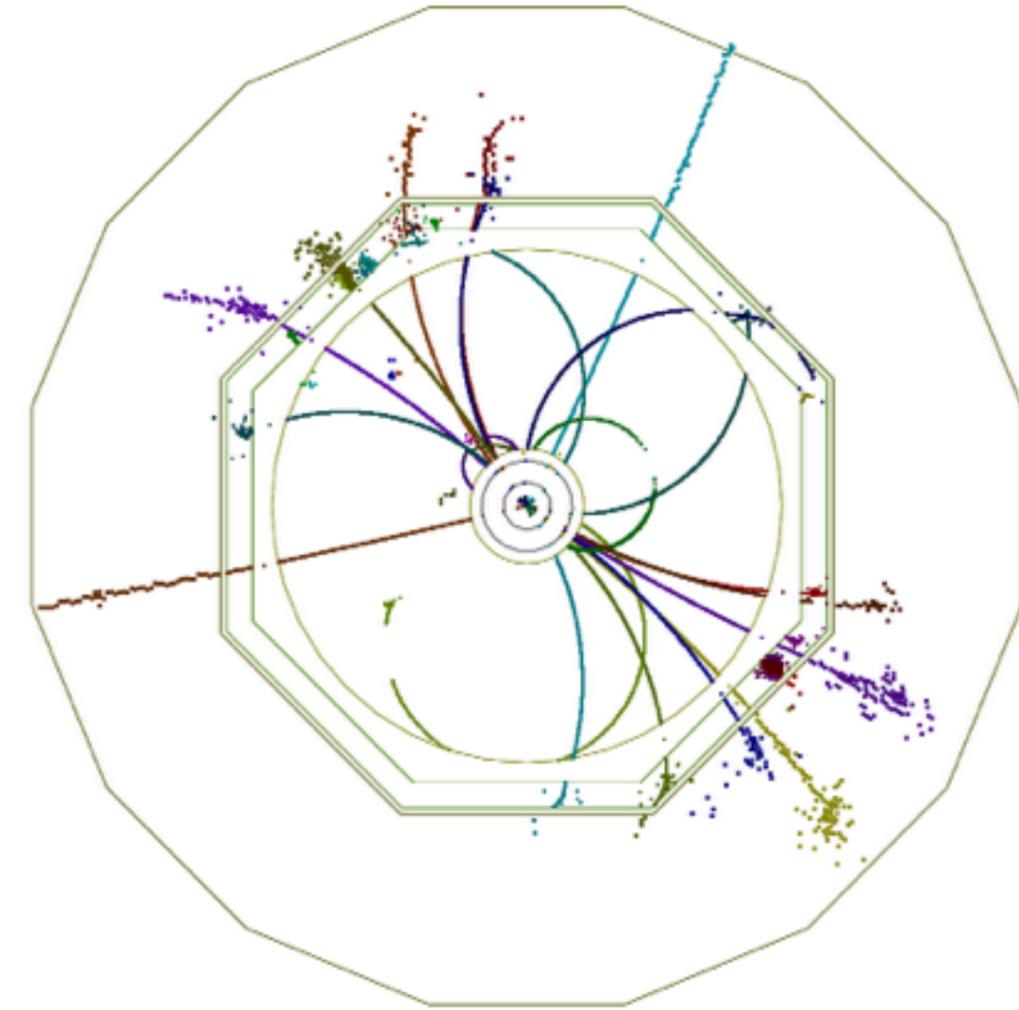
Zentrale Neuerung: Extreme Granularität - viele Millionen, in manchen Systemen Milliarden von Auslesekanälen, oft 1000 x mehr als in vergleichbaren Systemen am LHC

- Beiträge am Max-Planck-Institut:
  - Hochgranulare Kalorimeter zur Energiemessung
  - Ultraprezise, extrem dünne Vertexdetektoren



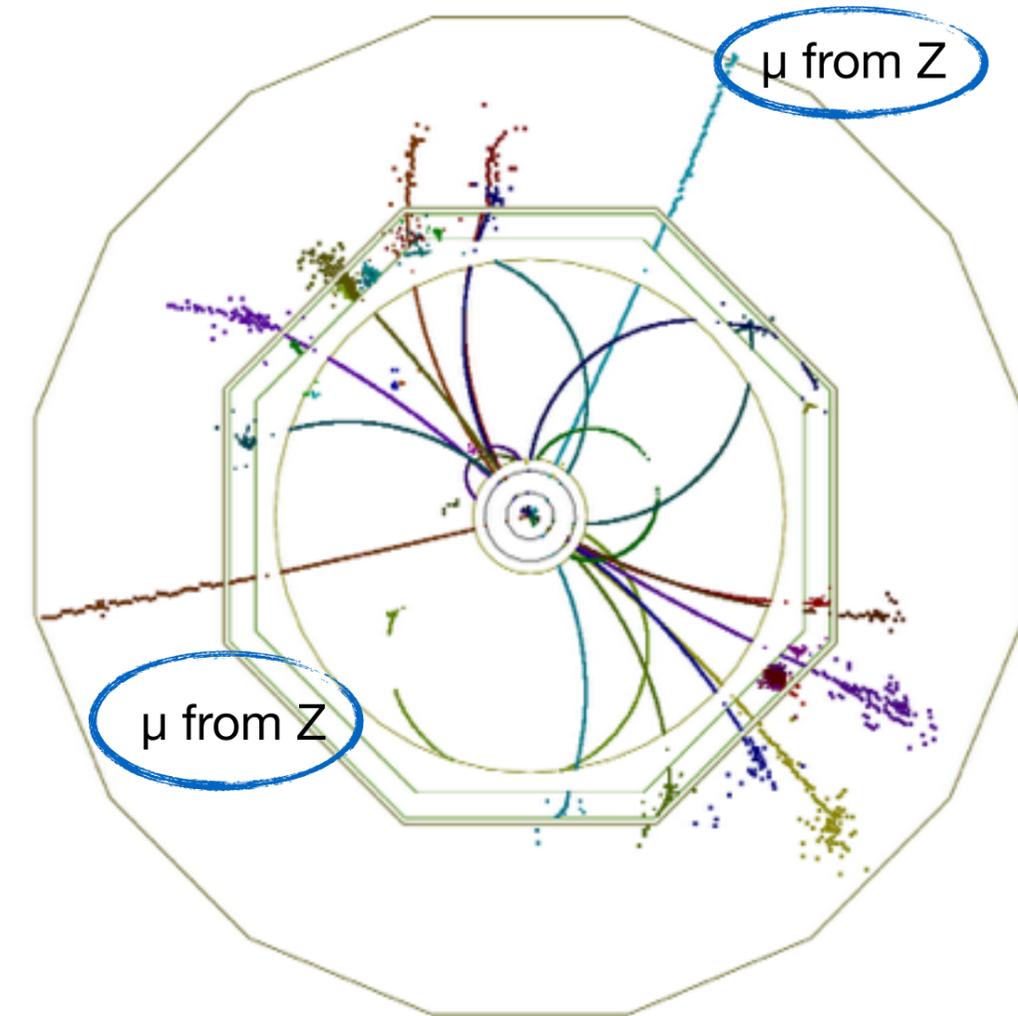
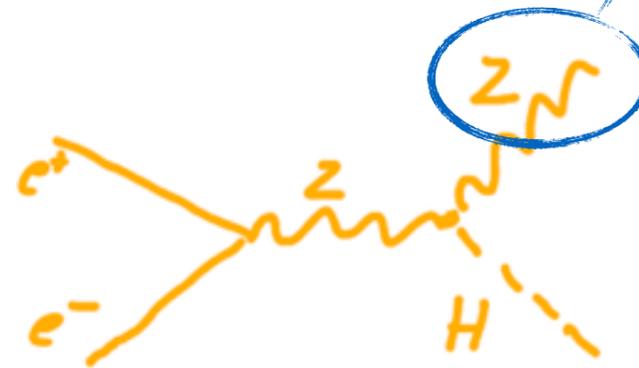
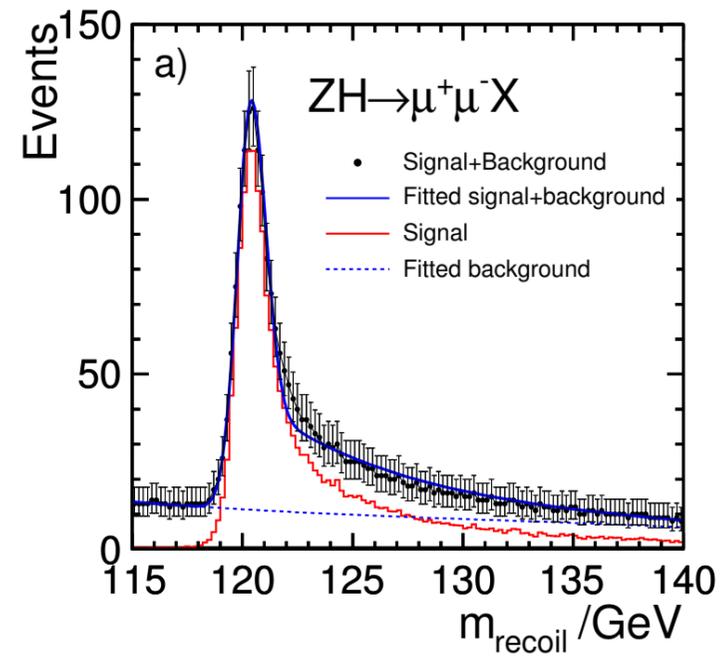
# Präzise Messungen...

- Die ideale Maschine zur Untersuchung des Higgs-Teilchens:
  - model-unabhängige Messungen
  - höchste Präzision



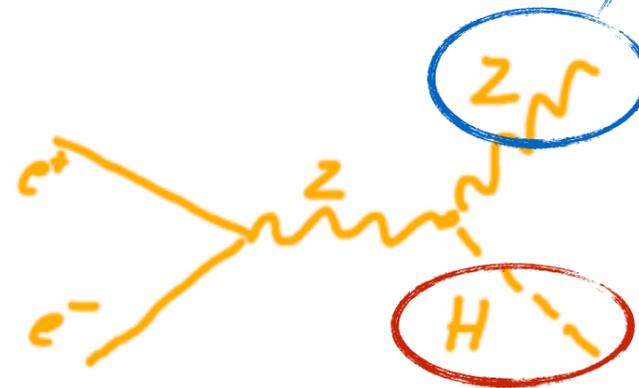
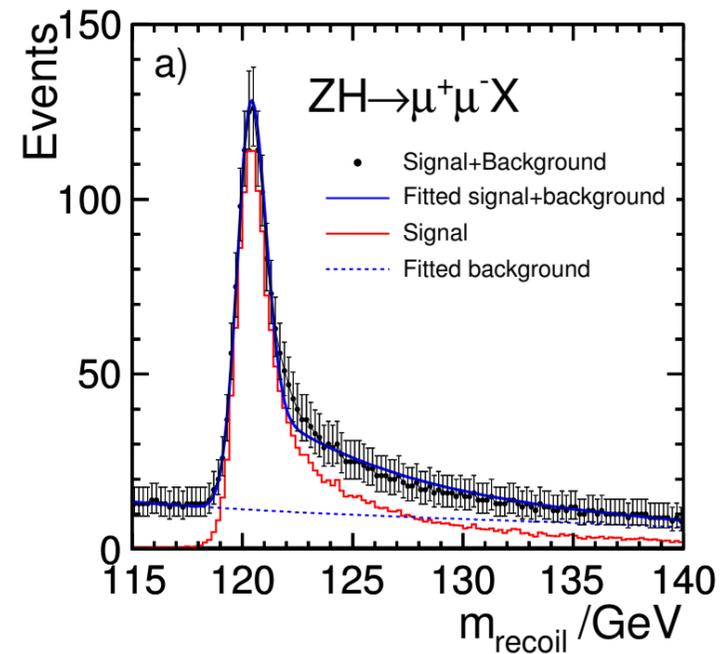
# Präzise Messungen...

- Die ideale Maschine zur Untersuchung des Higgs-Teilchens:
  - model-unabhängige Messungen
  - höchste Präzision

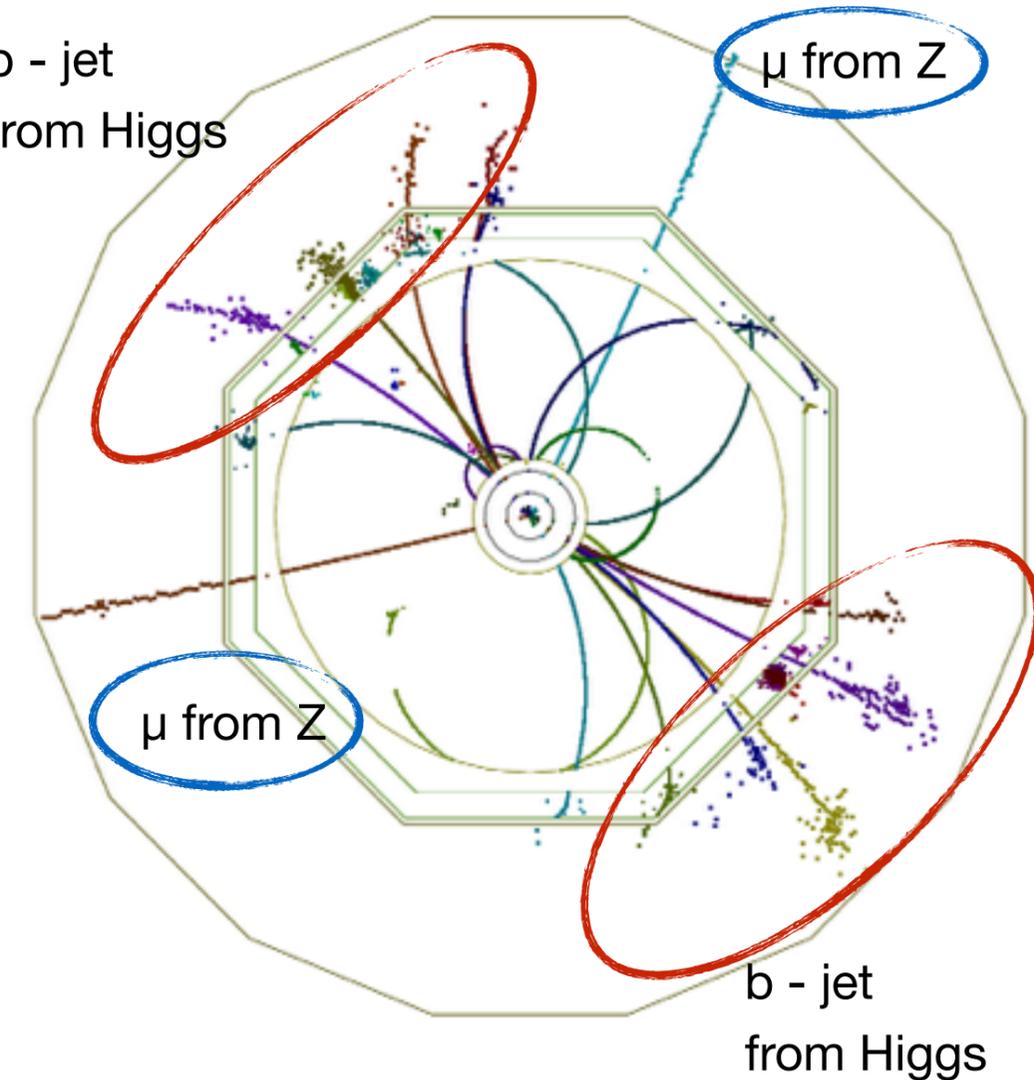


# Präzise Messungen...

- Die ideale Maschine zur Untersuchung des Higgs-Teilchens:
  - model-unabhängige Messungen
  - höchste Präzision

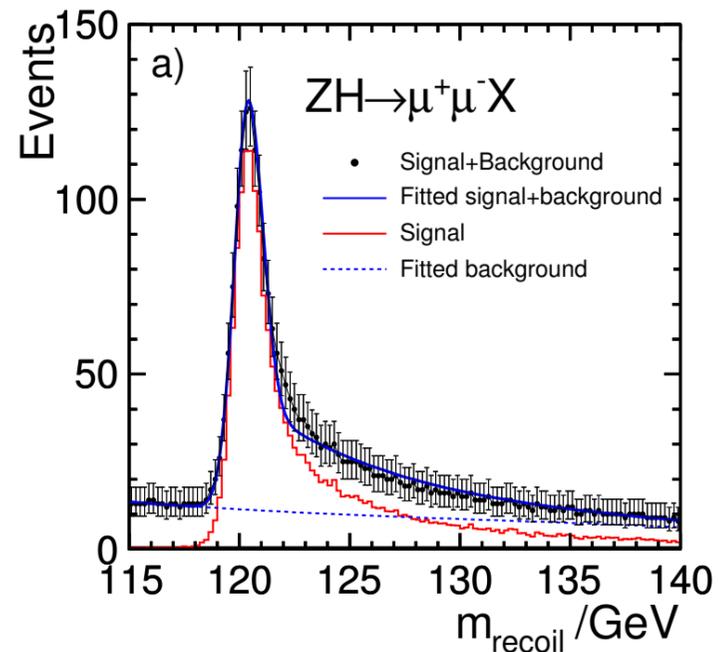
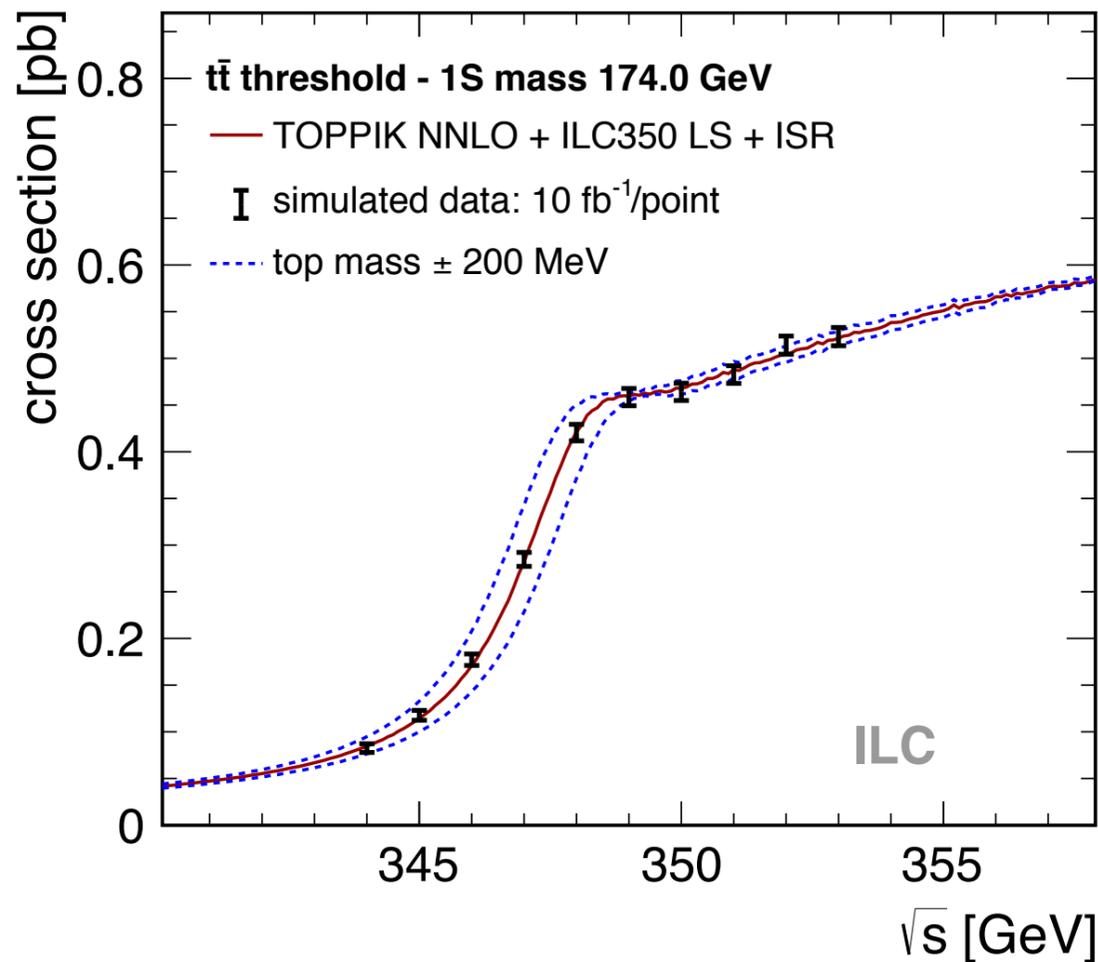


b - jet  
from Higgs

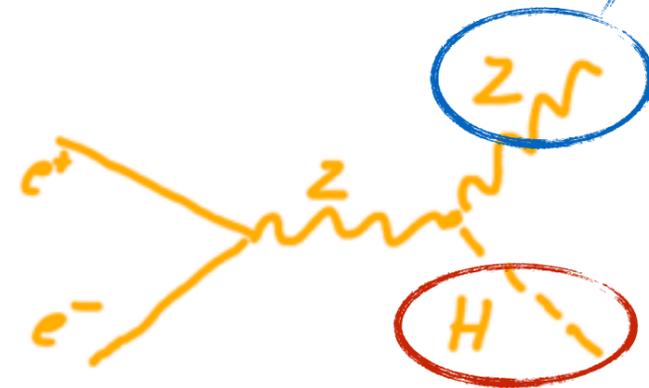
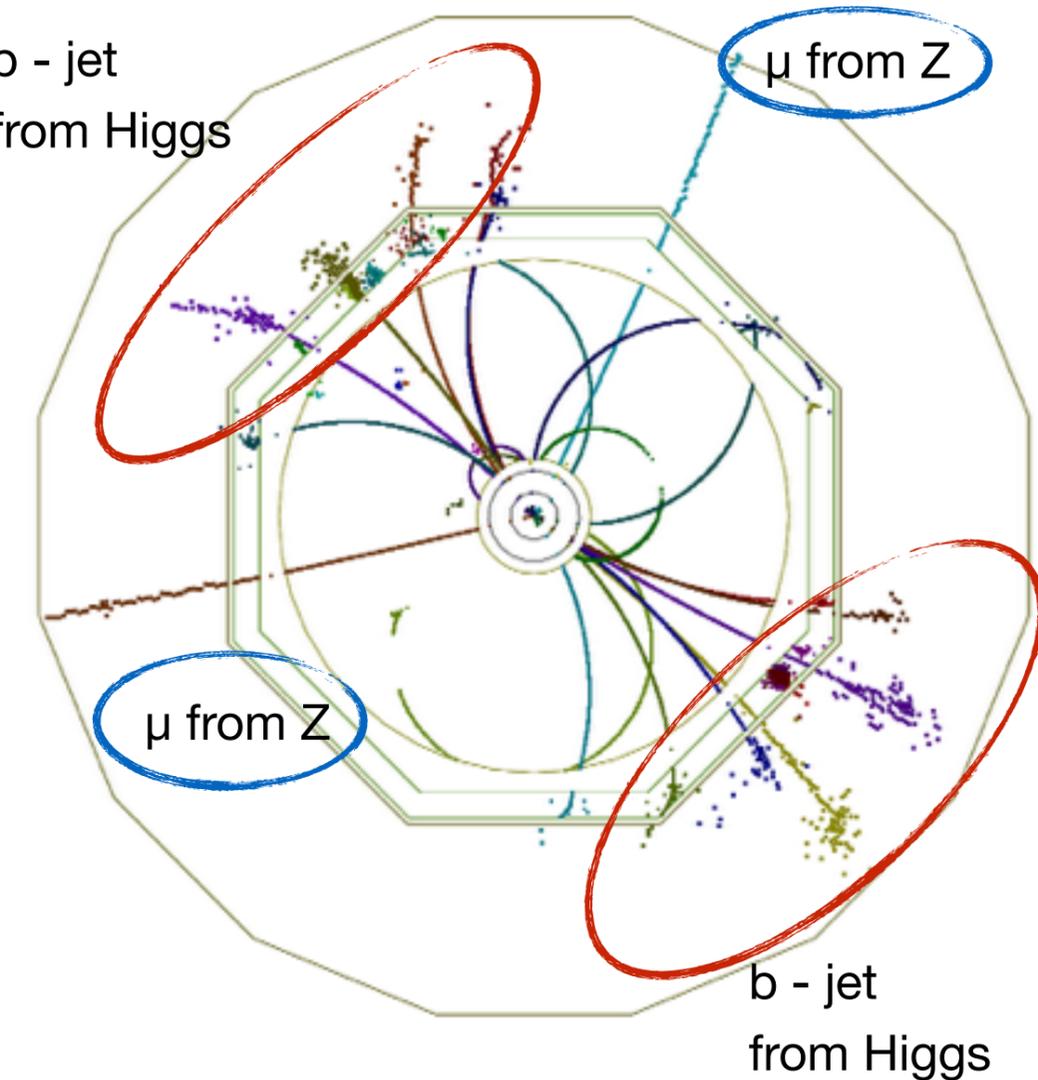


# Präzise Messungen...

- Die ideale Maschine zur Untersuchung des Higgs-Teilchens:
  - model-unabhängige Messungen
  - höchste Präzision



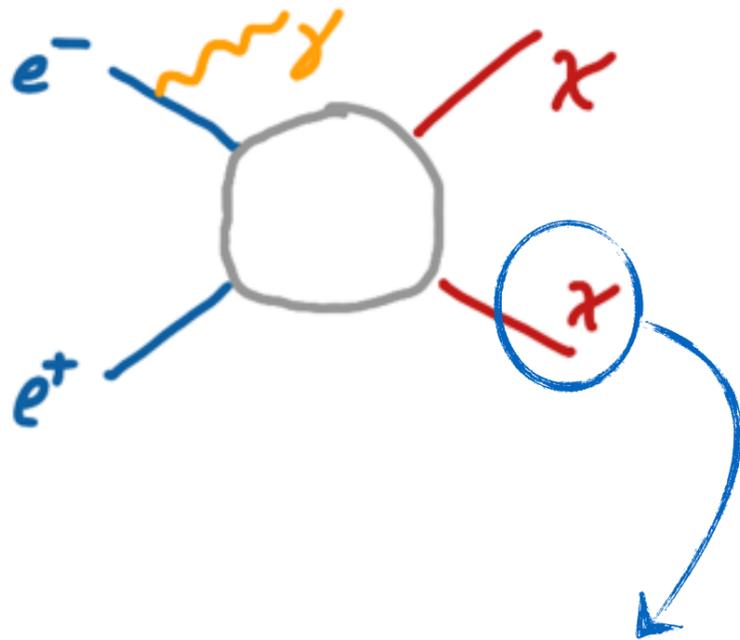
b - jet  
from Higgs



- Genaue Bestimmung der Eigenschaften des Top-Quarks - des schwersten Elementarteilchens, das wir kennen
  - Perfektes Zusammenspiel mit der Theorie: Viel kleinere Unsicherheiten als am LHC

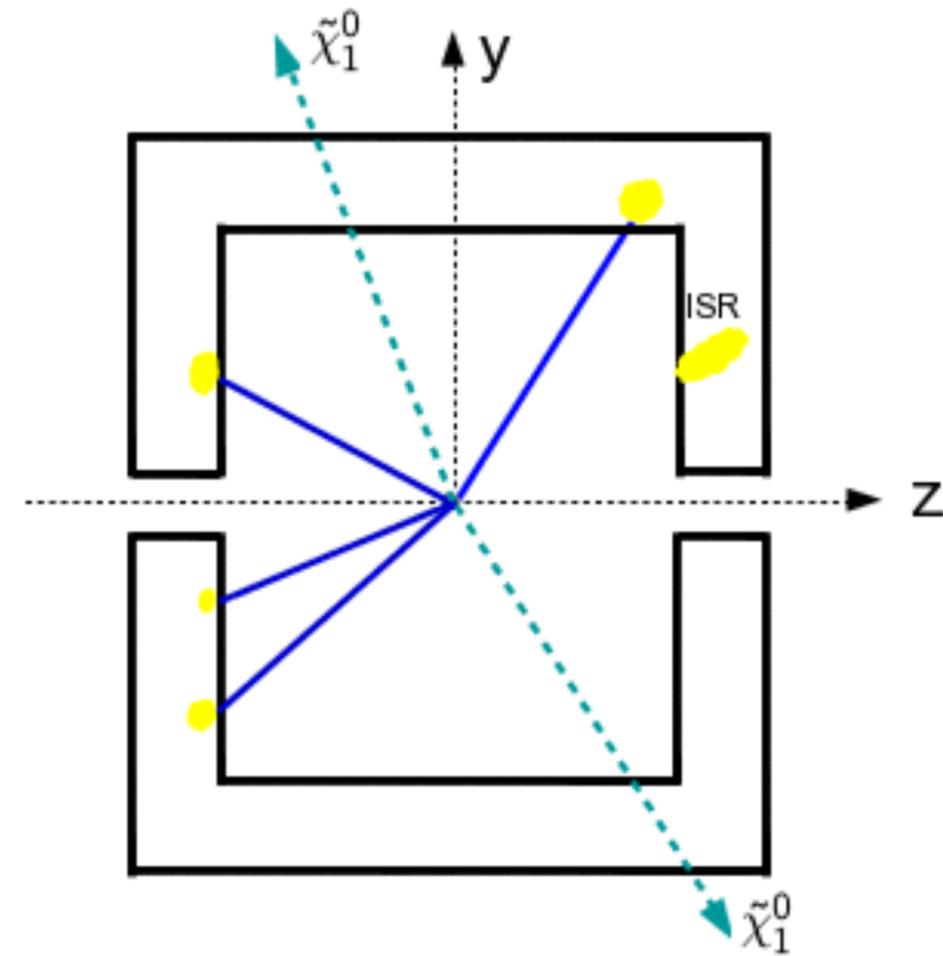
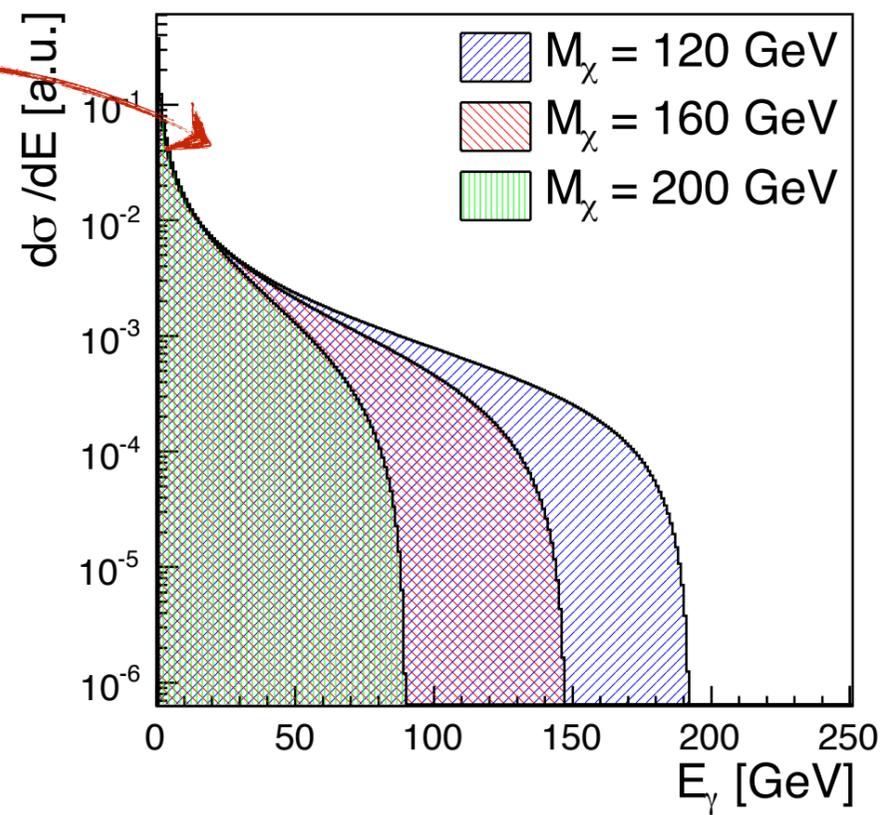
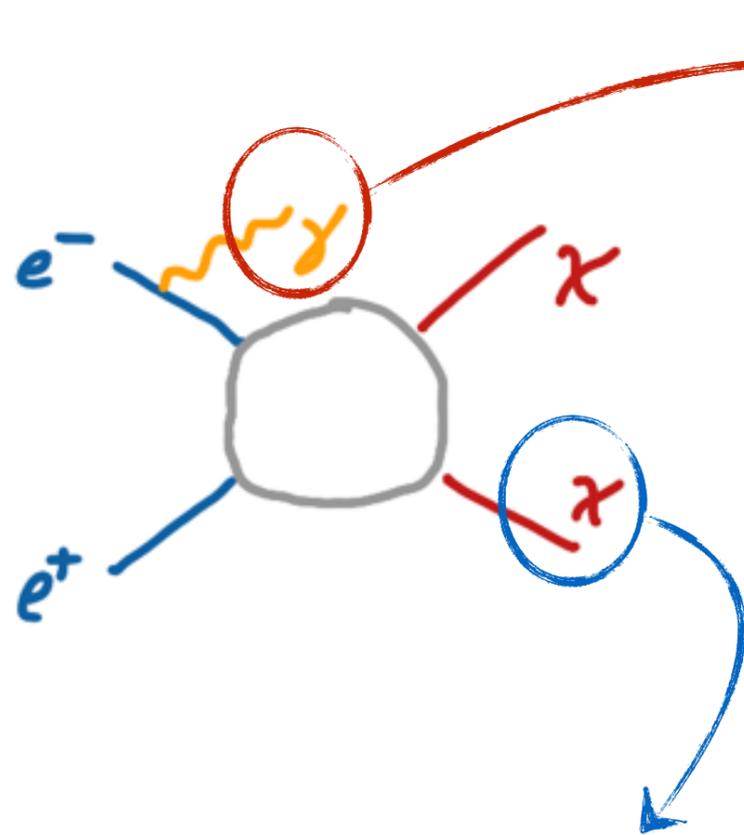
# ... und die Suche nach dem Unbekannten

- Das Unsichtbare sichtbar machen: Dunkle Materie



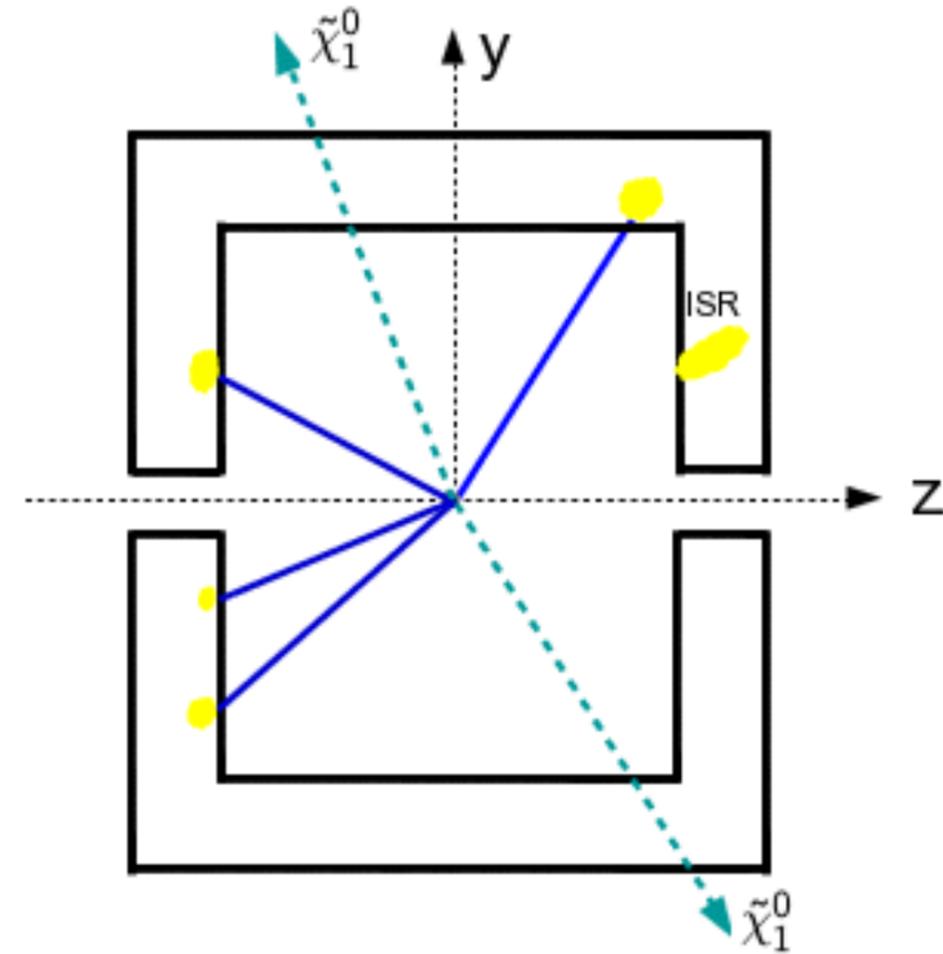
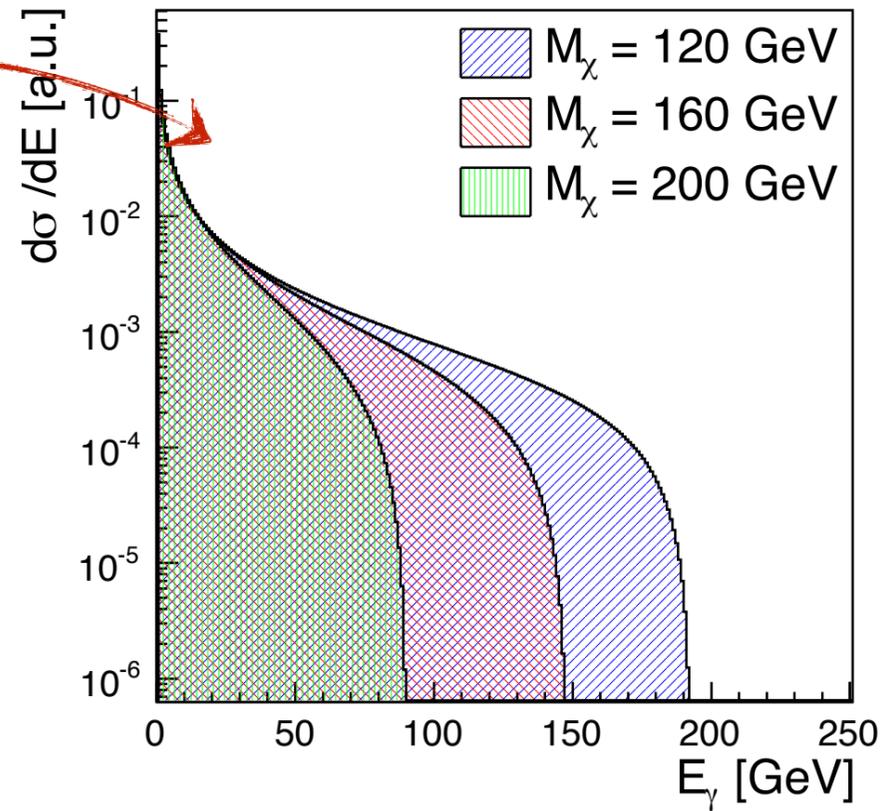
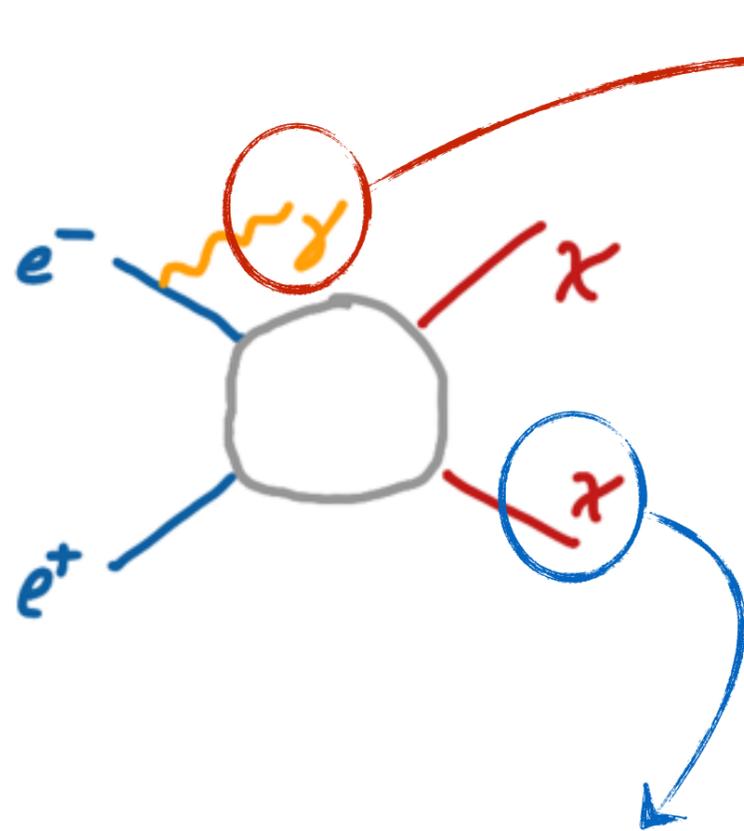
# ... und die Suche nach dem Unbekannten

- Das Unsichtbare sichtbar machen: Dunkle Materie



# ... und die Suche nach dem Unbekannten

- Das Unsichtbare sichtbar machen: Dunkle Materie



... sowie allgemein viele Möglichkeiten zur Entdeckung neuer Physik, komplementär zu den Fähigkeiten des LHC

# Realisierung des ILC: Der Stand der Dinge

---

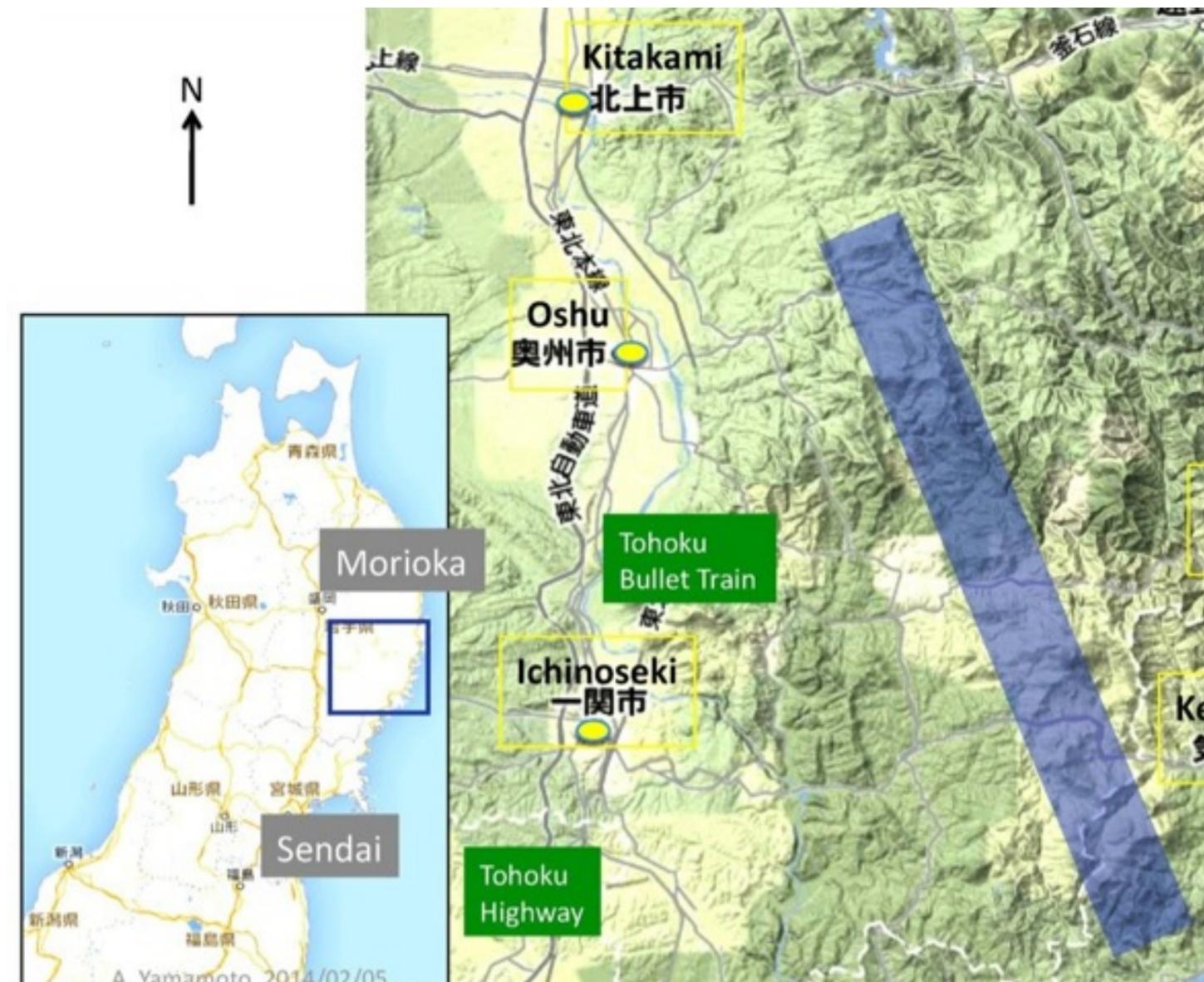
- Das technische Design des ILC ist fertig
  - Großes Interesse in Japan, den ILC als internationales Projekt zu bauen - Diskussionen auf politischer Ebene haben begonnen
    - Gleichzeitig detaillierte Untersuchung des Physikpotentials und technischer Herausforderungen
- ⇒ Vorbereitungsphase bis Frühjahr 2016

# Realisierung des ILC: Der Stand der Dinge

- Das technische Design des ILC ist fertig
- Großes Interesse in Japan, den ILC als internationales Projekt zu bauen - Diskussionen auf politischer Ebene haben begonnen
  - Gleichzeitig detaillierte Untersuchung des Physikpotentials und technischer Herausforderungen

⇒ Vorbereitungsphase bis Frühjahr 2016

Möglicher Standort: Im Norden von Japan



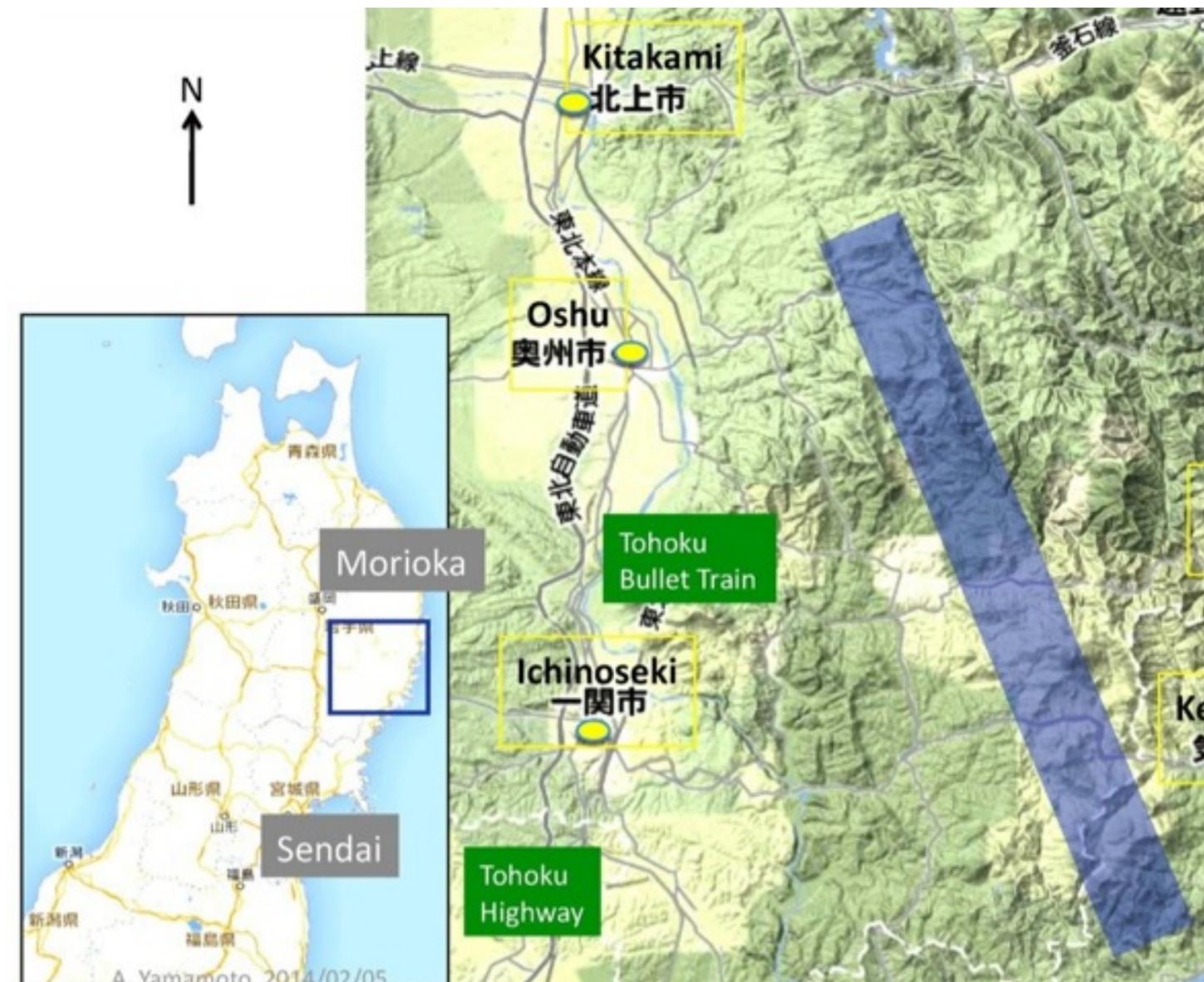
# Realisierung des ILC: Der Stand der Dinge

- Das technische Design des ILC ist fertig
- Großes Interesse in Japan, den ILC als internationales Projekt zu bauen - Diskussionen auf politischer Ebene haben begonnen
  - Gleichzeitig detaillierte Untersuchung des Physikpotentials und technischer Herausforderungen

⇒ Vorbereitungsphase bis Frühjahr 2016

Möglicher Standort: Im Norden von Japan

Nach Genehmigung: ca. 2 Jahre Vorbereitung,  
dann ~ 8-10 Jahre Bauzeit



# Realisierung des ILC: Der Stand der Dinge

- Das technische Design des ILC ist fertig
- Großes Interesse in Japan, den ILC als internationales Projekt zu bauen - Diskussionen auf politischer Ebene haben begonnen
  - Gleichzeitig detaillierte Untersuchung des Physikpotentials und technischer Herausforderungen

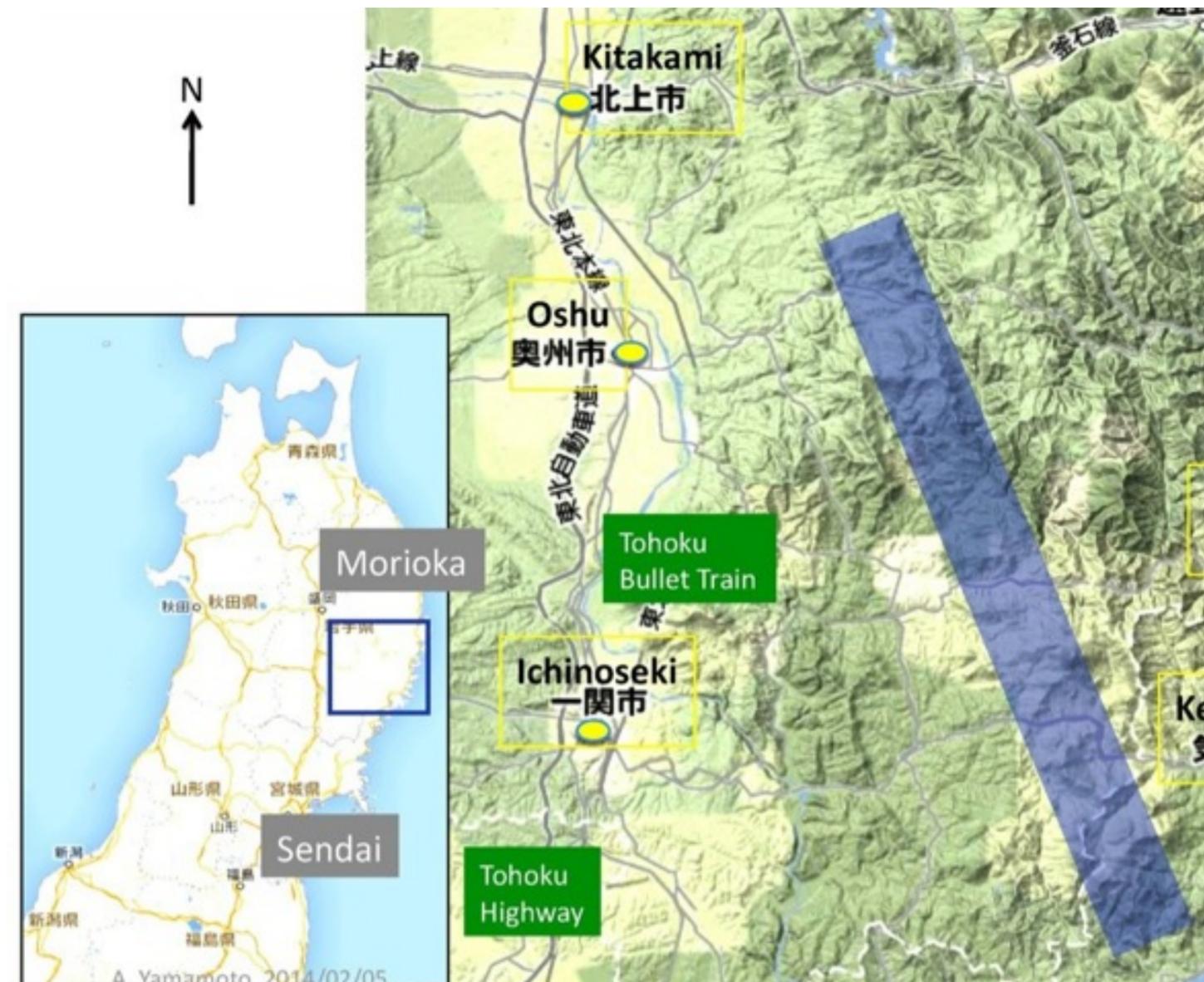
⇒ Vorbereitungsphase bis Frühjahr 2016

Möglicher Standort: Im Norden von Japan

Nach Genehmigung: ca. 2 Jahre Vorbereitung,  
dann ~ 8-10 Jahre Bauzeit

Beginn des Physikprogramms: ~ 2028

... und damit eines Forschungsprogramms  
über mehrere Jahrzehnte mit  
Luminositäts- und Energie-Upgrades



# Realisierung des ILC: Der Stand der Dinge

- Das technische Design des ILC ist fertig
- Großes Interesse in Japan, den ILC als internationales Projekt zu bauen - Diskussionen auf politischer Ebene haben begonnen
  - Gleichzeitig detaillierte Untersuchung des Physikpotentials und technischer Herausforderungen

⇒ Vorbereitungsphase bis Frühjahr 2016

Möglicher Standort: Im Norden von Japan

Nach Genehmigung: ca. 2 Jahre Vorbereitung,  
dann ~ 8-10 Jahre Bauzeit

Beginn des Physikprogramms: ~ 2028

... und damit eines Forschungsprogramms  
über mehrere Jahrzehnte mit  
Luminositäts- und Energie-Upgrades



# Realisierung des ILC: Der Stand der Dinge

- Das technische Design des ILC ist fertig
  - Großes Interesse in Japan, den ILC als internationales Projekt zu bauen. Diskussionen auf politischer Ebene haben begonnen
    - Gleichzeitig detaillierte Untersuchung des Physikpotentials und technischer Möglichkeiten
- ⇒ Vorbereitungsphase bis Frühjahr 2016

Möglicher Standort: Im Norden von Japan

Nach Genehmigung: ca. 2 Jahre Vorbereitung, dann ~ 8-10 Jahre Bauzeit

Beginn des Physikprogramms: ~ 2028

... und damit eines Forschungsprogramms über mehrere Jahrzehnte mit Luminositäts- und Energie-Upgrades



# Realisierung des ILC: Der Stand der Dinge

- Das technische Design des ILC ist fertig
  - Großes Interesse in Japan, den ILC als internationales Projekt zu bauen. Diskussionen auf politischer Ebene haben begonnen
    - Gleichzeitig detaillierte Untersuchung des Phys
- ⇒ Vorbereitungsphase bis Frühjahr 2016

Möglicher Standort: Im Norden von Japan

Nach Genehmigung: ca. 2 Jahre Vorbereitung,  
dann ~ 8-10 Jahre Bauzeit

Beginn des Physikprogramms: ~ 2028

... und damit eines Forschungsprogramms  
über mehrere Jahrzehnte mit  
Luminositäts- und Energie-Upgrades



# Realisierung des ILC: Der Stand der Dinge

- Das technische Design des ILC ist fertig
  - Großes Interesse in Japan, den ILC als internationales Projekt zu bauen. Diskussionen auf politischer Ebene haben begonnen
    - Gleichzeitig detaillierte Untersuchung des Phys...
- ⇒ Vorbereitungsphase bis Frühjahr 2016

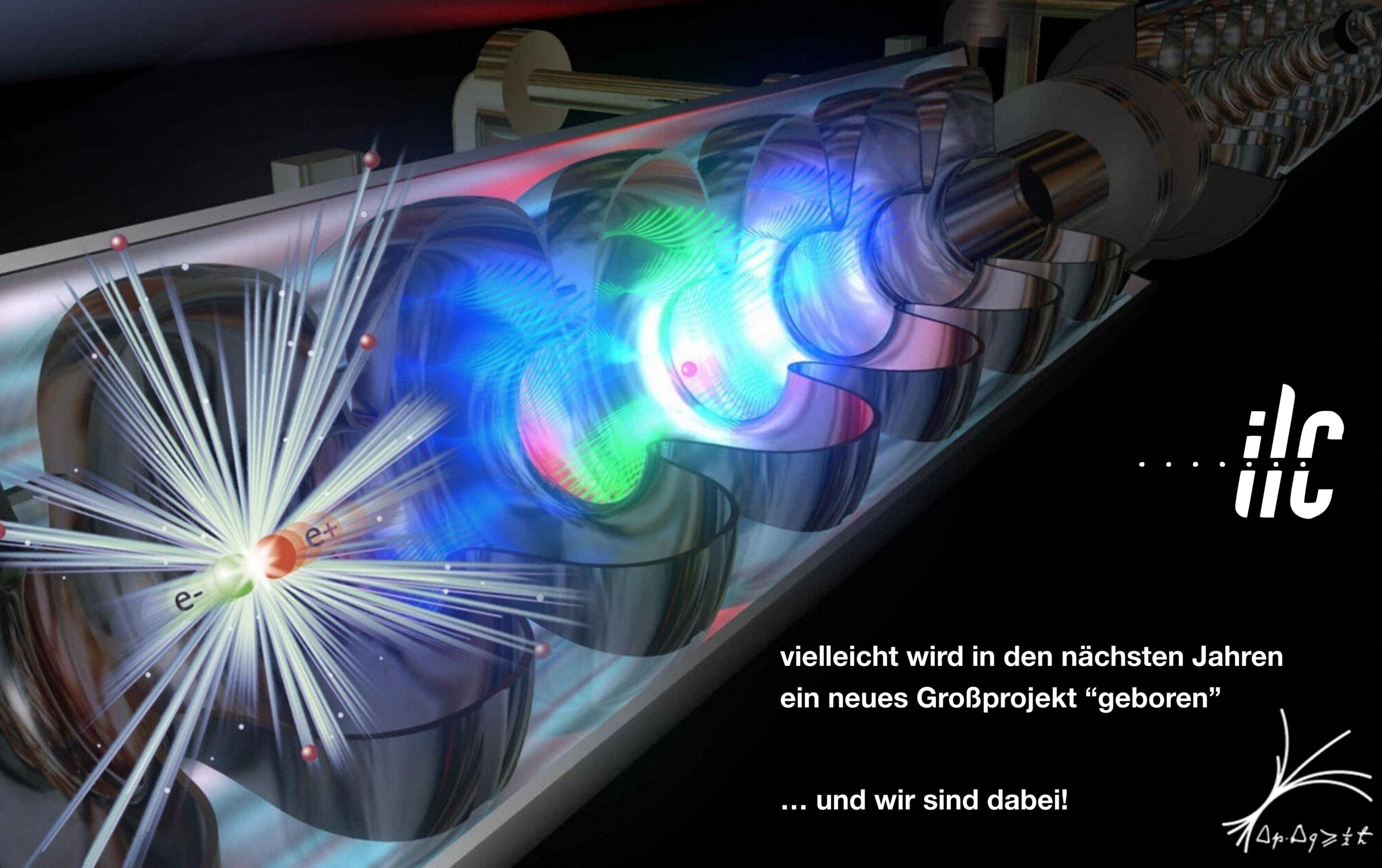
Möglicher Standort: Im Norden von Japan

Nach Genehmigung: ca. 2 Jahre Vorbereitung,  
dann ~ 8-10 Jahre Bauzeit

Beginn des Physikprogramms: ~ 2028

... und damit eines Forschungsprogramms  
über mehrere Jahrzehnte mit  
Luminositäts- und Energie-Upgrades





.....  
**ilc**  
**iic**

**vielleicht wird in den nächsten Jahren  
ein neues Großprojekt "geboren"**

**... und wir sind dabei!**

