

Z-Paarproduktion bei L3

Martin Weber

III. Physikalisches Institut

RWTH Aachen

3. September 1999

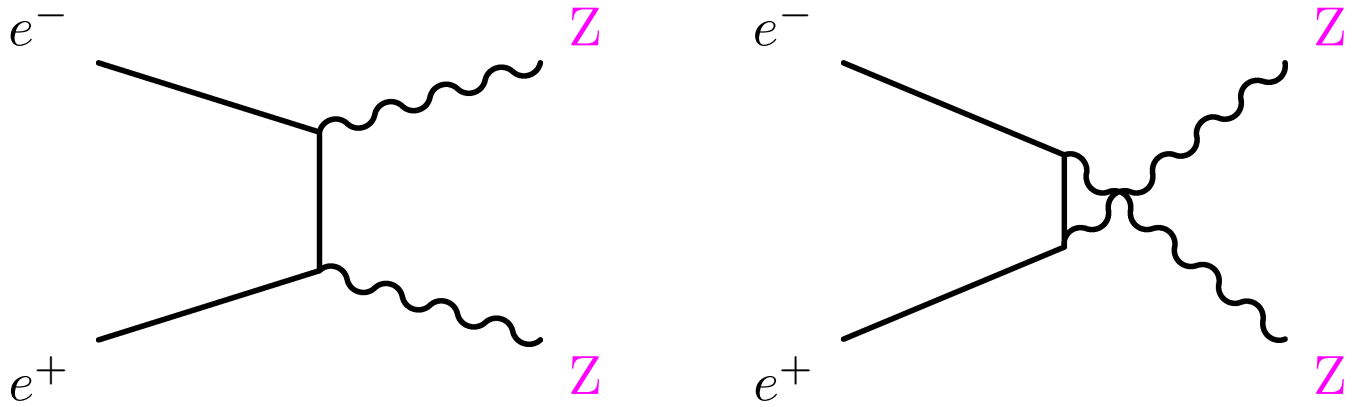
Inhalt

- Das **ZZ-Signal**
- Die verschiedenen **Analysen**
- Messung des **Wirkungsquerschnitts**
- Der **b-Quarkgehalt** der **ZZ**-Ereignisse
- Grenzen für **anomale Kopplungen**

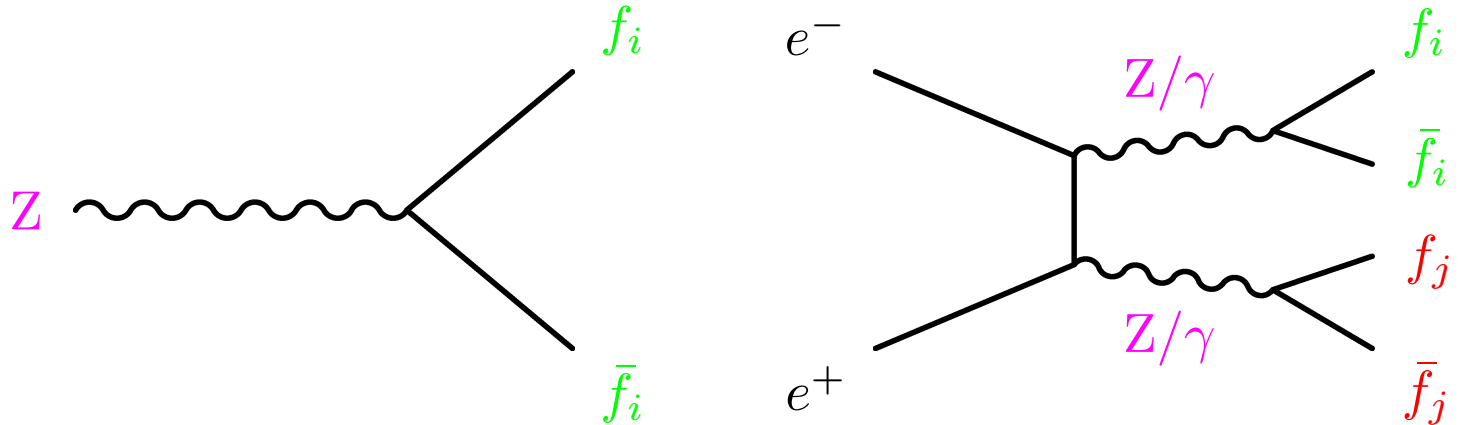
Alle Daten (sofern nicht anders erwähnt) bei 189 GeV

Z-Paare bei LEP

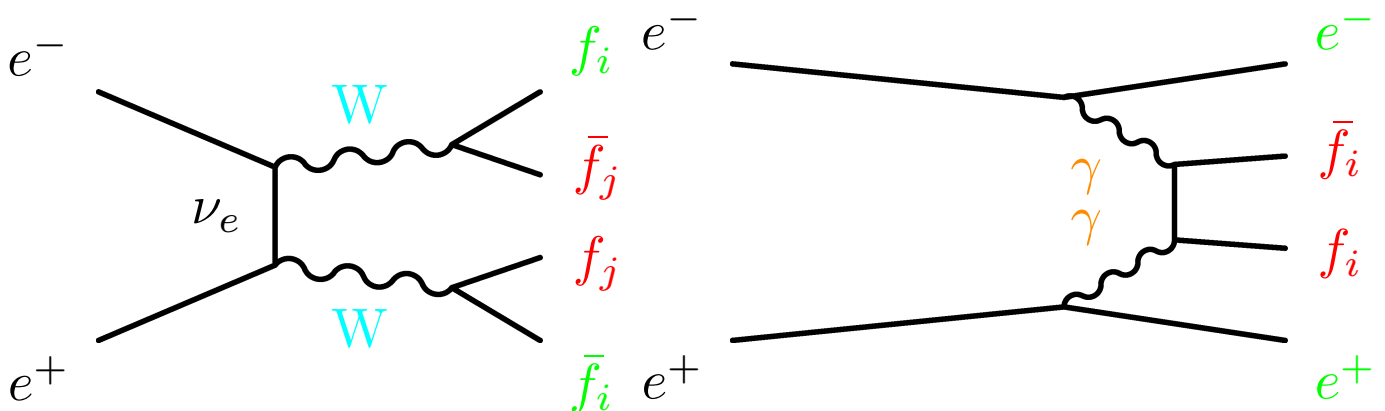
Z-Paarproduktion bei LEP durch Konversion



Z-Zerfall in Fermionpaare \rightarrow Vier-Fermion-Endzustand



Interferenz mit: WW, Zwei-Photon, ...



Maximierung des ZZ-Anteils mit einer Definition des Signals auf Generator-Niveau.

ZZ-Signaldefinition

- Invariante Masse M der Fermionpaare (f_i, \bar{f}_i) und (f_j, \bar{f}_j) entspricht der Z-Masse

$$70 \text{ GeV} \leq M \leq 105 \text{ GeV}$$

- Im Fall vier identischer Fermionen, $f_i = f_j$, muß mindestens eine der beiden möglichen Paarungen im obigen Massenbereich liegen.
- In Endzuständen, die auch von W's vermittelt werden (z. B. $u\bar{d}u\bar{d}$ und $\nu_l l^+ \bar{\nu}_l l^-$), muß die invariante Masse $M(f_i, \bar{f}_j)$ und $M(f_j, \bar{f}_i)$ erfüllen

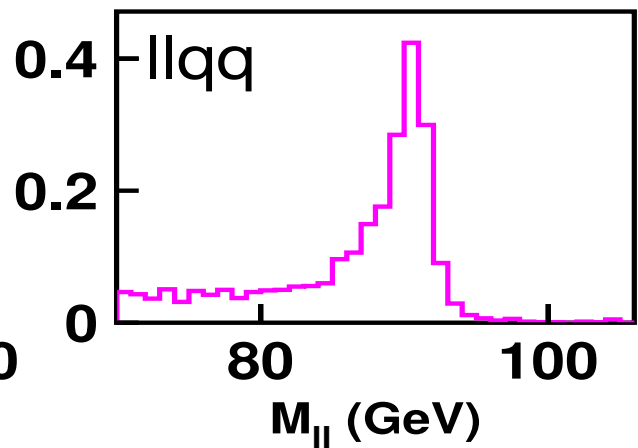
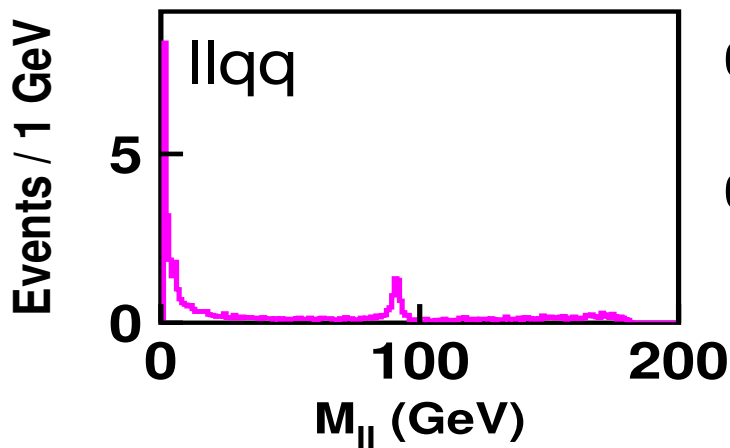
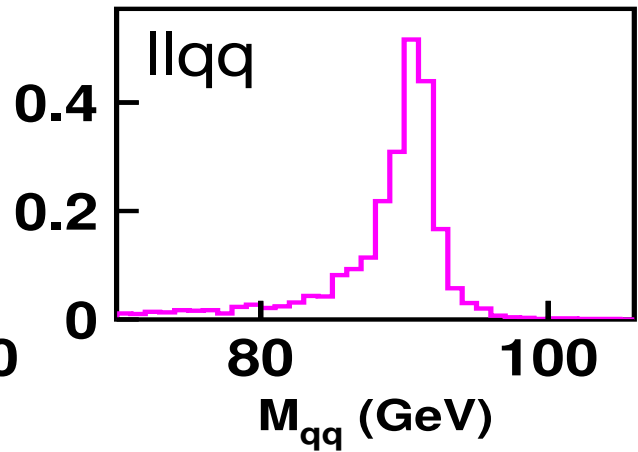
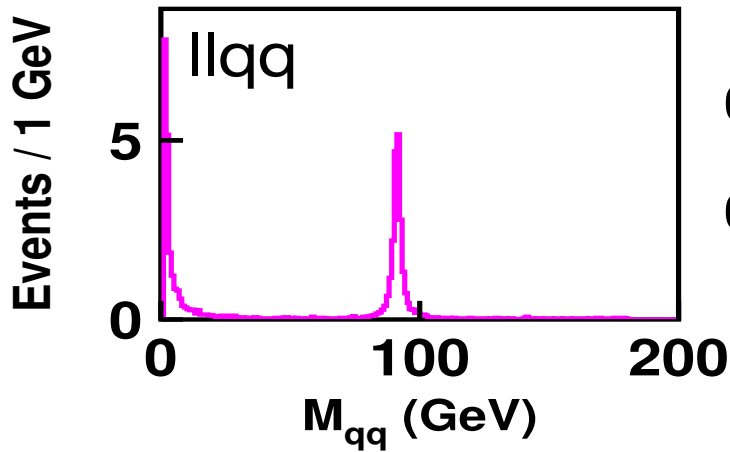
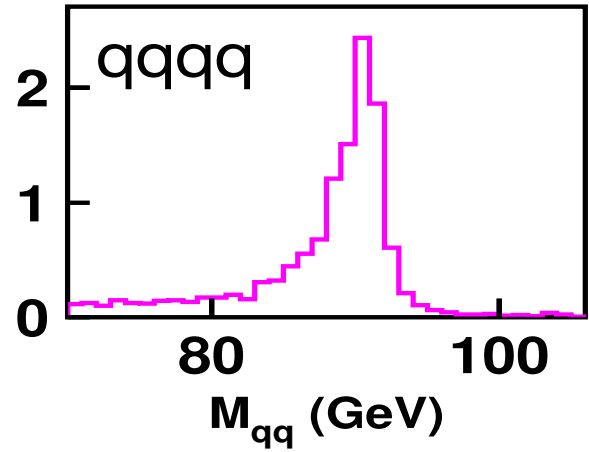
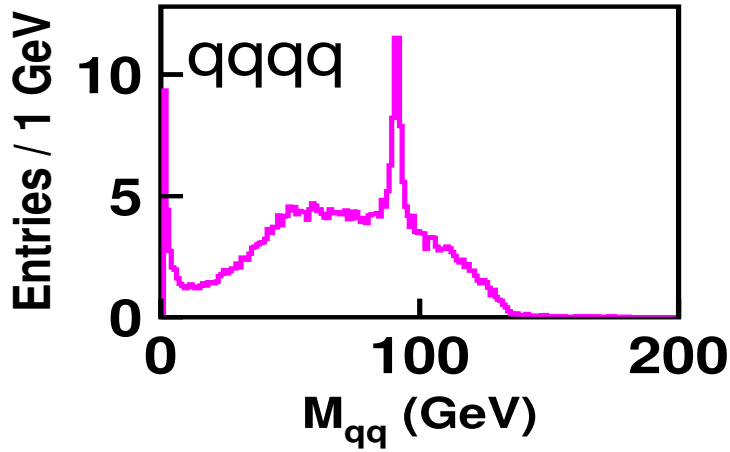
$$M \leq 75 \text{ GeV} \quad \text{oder} \quad M \geq 85 \text{ GeV}$$

| σ (189 GeV) / pb | ohne Schnitte | mit Schnitten |
|-------------------------|---------------|---------------|
| alle Diagramme | 20.266 | 0.662 |
| nur Konversion | 0.655 | 0.620 |
| Akzeptanz | | (95%) |
| Untergrund | | (6%) |

Signalgeneration mit EXCALIBUR

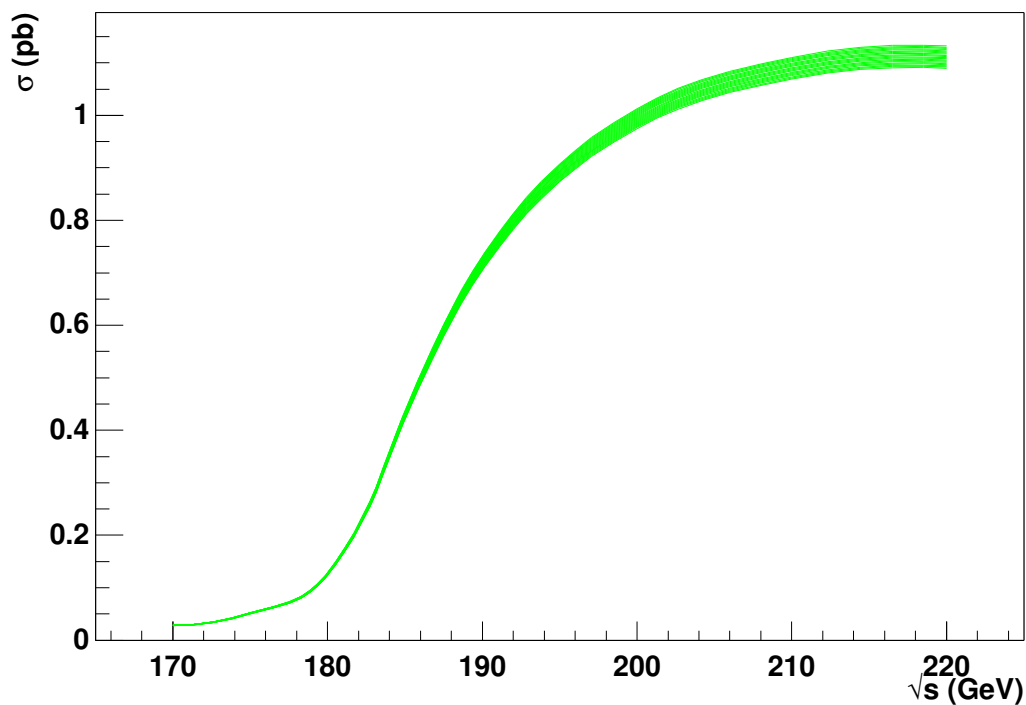
Vor Signaldefinition

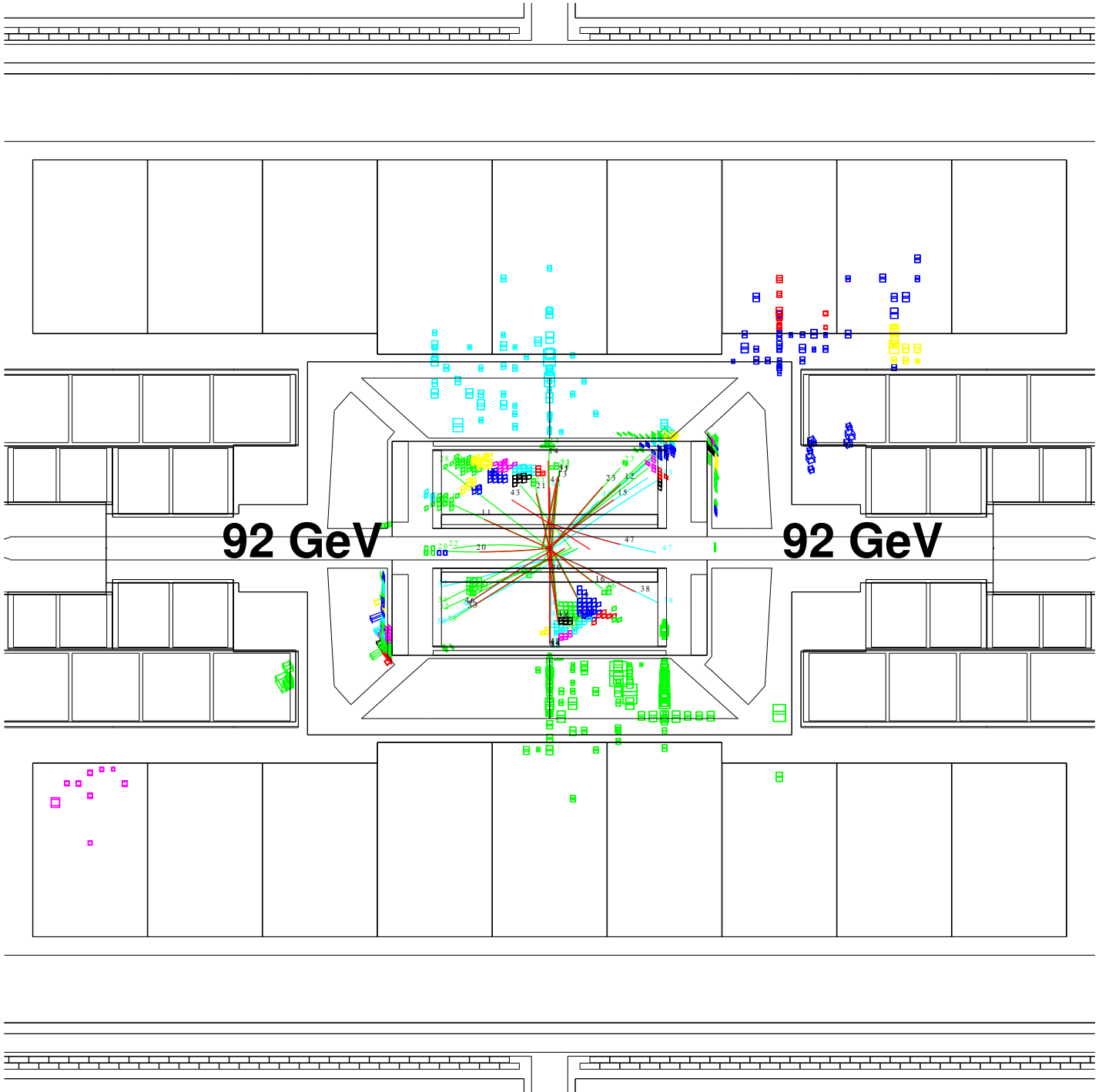
Nach Signaldefinition



Wirkungsquerschnitt mit EXCALIBUR

| Analyse | σ_{189}/pb | BR | BR_{NC02} | Untergrund |
|---------------------------------|--------------------------|--------|---------------------------|------------|
| $\sum q\bar{q}q'\bar{q}'$ | 0.317 | 46.7% | 48.9% | hoch |
| $\sum q\bar{q}\nu\bar{\nu}$ | 0.179 | 27.4% | 28.0% | hoch |
| $\sum q\bar{q}l^+l^-$ | 0.102 | 15.7% | 14.1% | mittel |
| $\sum l^+l^-\nu\bar{\nu}$ | 0.027 | 4.4% | 4.0% | niedrig |
| $\sum l^+l^-l'^+l'^-$ | 0.011 | 1.8% | 1.0% | niedrig |
| $\sum \nu\bar{\nu}l'^+\bar{l}'$ | 0.025 | 4.0% | 4.0% | |
| \sum alle | 0.662 | 100.0% | 100.0% | |

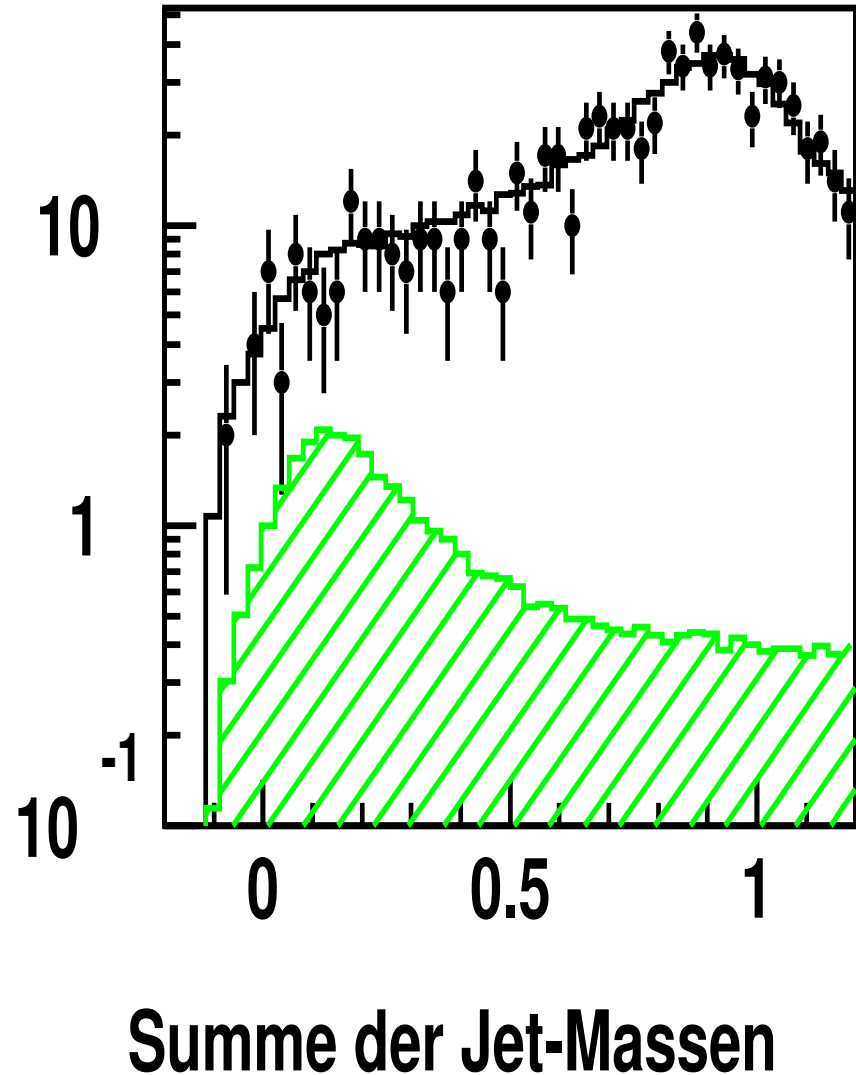


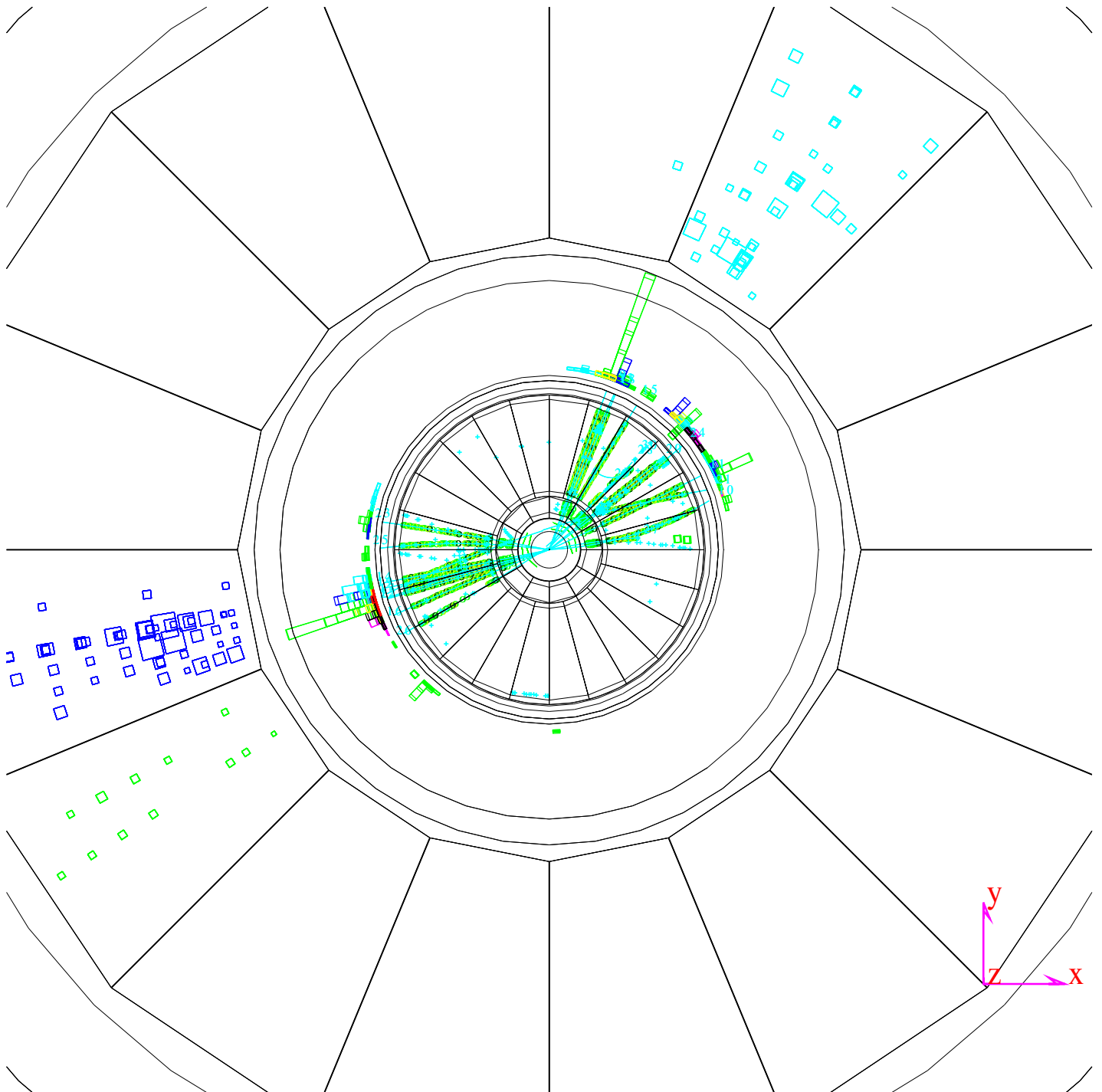
Vier Quarks: $q\bar{q}q'\bar{q}'$ 

Vier Quarks: $q\bar{q}q'\bar{q}'$

- Präselektion für **hadronische Ereignisse hoher Multiplizität**
- Ereignis wird in **vier Jets** gezwungen (DURHAM-Algorithmus)
- Trennung **$q\bar{q}gg$** , **$WW \leftrightarrow ZZ$** mit Hilfe von neuronalen Netzen

| | |
|--|-----------------------------------|
| Signal (43%) | 24.2 ± 0.4 |
| Untergrund | 153.0 ± 1.2 |
| Daten | 163 |
| $\sigma_{ZZ \rightarrow q\bar{q}q'\bar{q}'}$ | $0.32^{+0.14}_{-0.13} \text{ pb}$ |

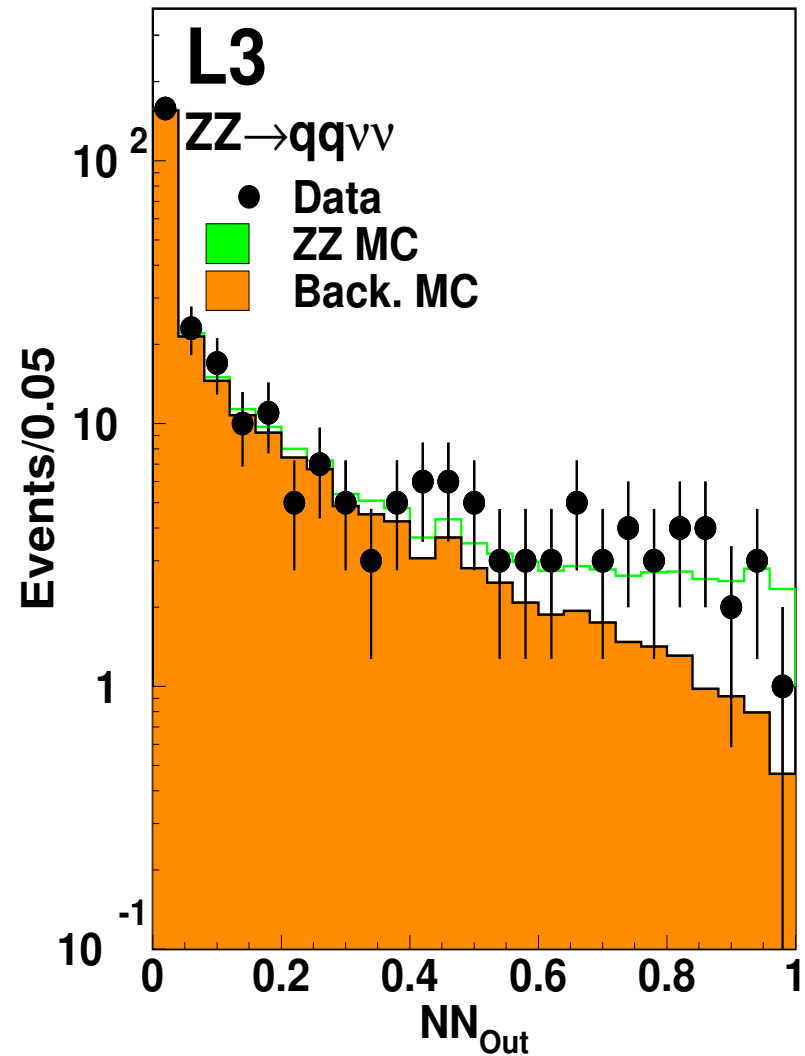


Zwei Quarks, zwei Neutrinos: $q\bar{q}\nu\bar{\nu}$ 

Zwei Quarks, zwei Neutrinos: $q\bar{q}\nu\bar{\nu}$

- Präselektion für **hadronische Ereignisse hoher Multiplizität**
- Schnitte auf **fehlende Energie und Eventmasse**
- Neuronales Netz $ZZ \leftrightarrow q\bar{q}(\gamma)$

| | |
|--|-----------------------------------|
| Signal (49%) | 15.7 ± 0.5 |
| Untergrund | 18.9 ± 0.8 |
| Daten | 40 |
| $\sigma_{ZZ \rightarrow q\bar{q}\nu\bar{\nu}}$ | $0.23^{+0.07}_{-0.06} \text{ pb}$ |



Zwei Leptonen, zwei Neutrinos: $l^+l^-\nu\bar{\nu}$

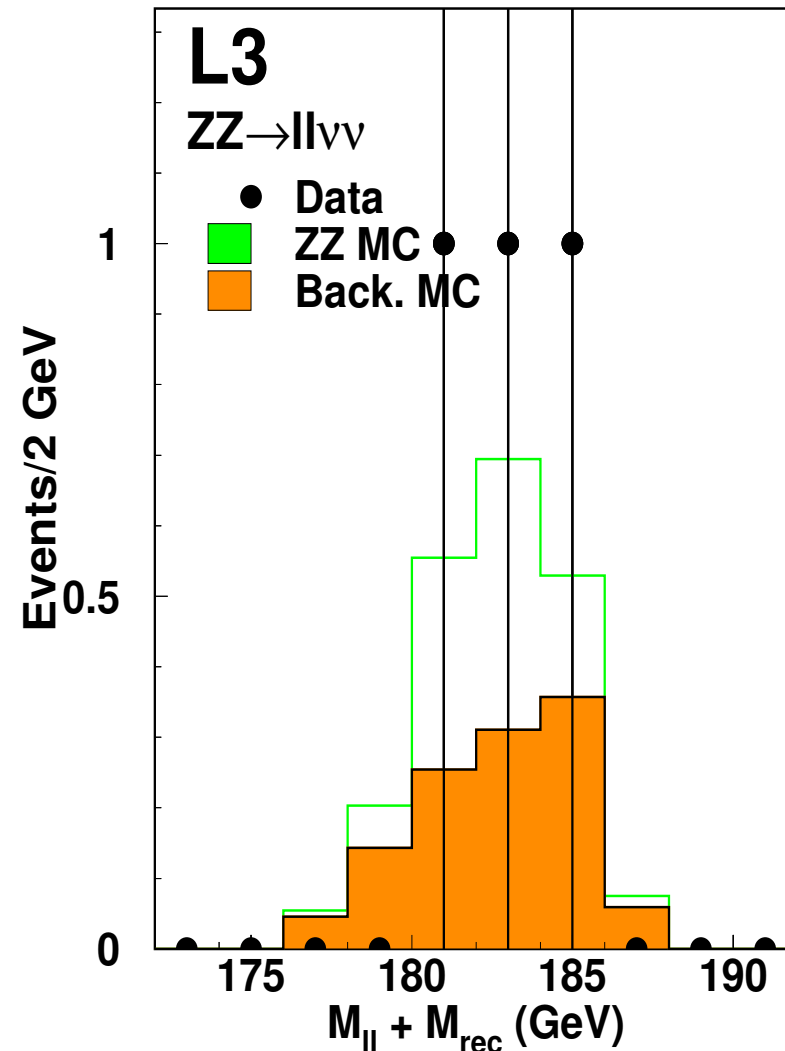
- Präselektion für Ereignisse **geringer Multiplizität**
- Identifikation von **Elektronen** und **Myonen**
- Schnitte auf **sichtbare Energie**, **Öffnungswinkel** und **Rückstoßmasse**

Signal (**22%**) 0.7 ± 0.1

Untergrund 1.2 ± 0.1

Daten 3

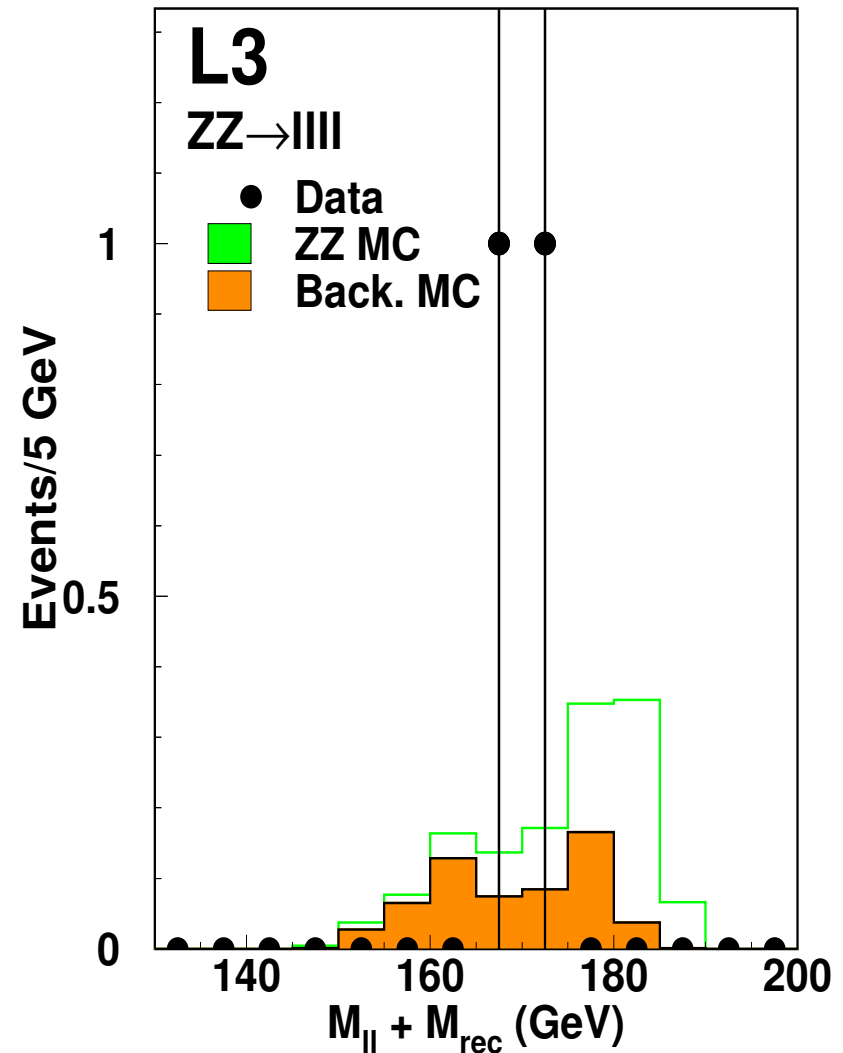
$\sigma_{ZZ \rightarrow l^+l^-\nu\bar{\nu}}$ $0.054^{+0.059}_{-0.040}$ pb



Vier Leptonen: $l^+l^-l'^+l'^-$

- Präselektion für Ereignisse **geringer Multiplizität**
- Mindestens **vier identifizierte** Leptonen, paarweise studiert
- Schnitte auf **Masse** eines Leptonpaares und **Rückstoßmasse**

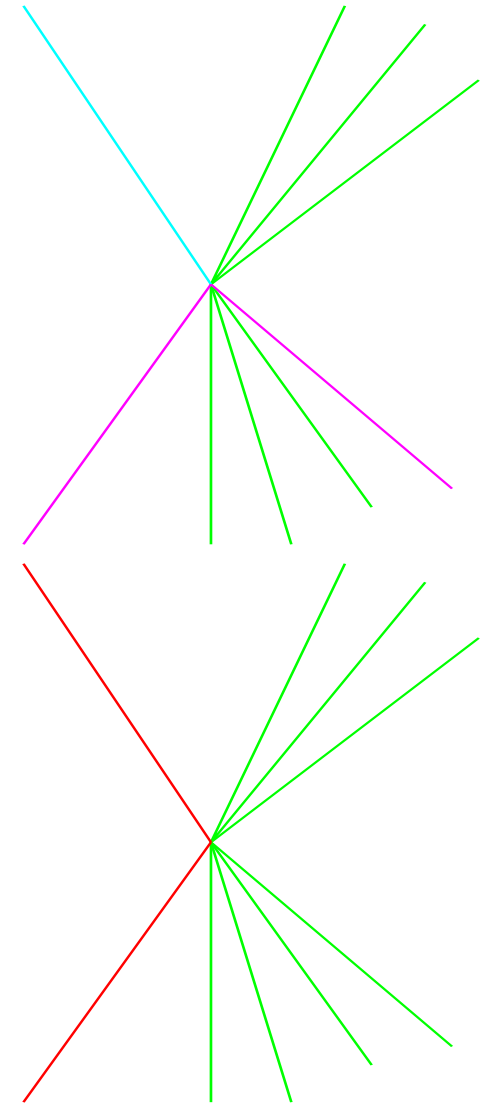
| | |
|--|--------------------------------------|
| Signal (37%) | 0.7 ± 0.0 |
| Untergrund | 0.6 ± 0.1 |
| Daten | 2 |
| $\sigma_{ZZ \rightarrow l^+l^-l'^+l'^-}$ | $0.017^{+0.025}_{-0.015} \text{ pb}$ |



Zwei Quarks, zwei Leptonen: $q\bar{q}l^+l^-$

Generelles Vorgehen für $l = e, \mu, \tau$

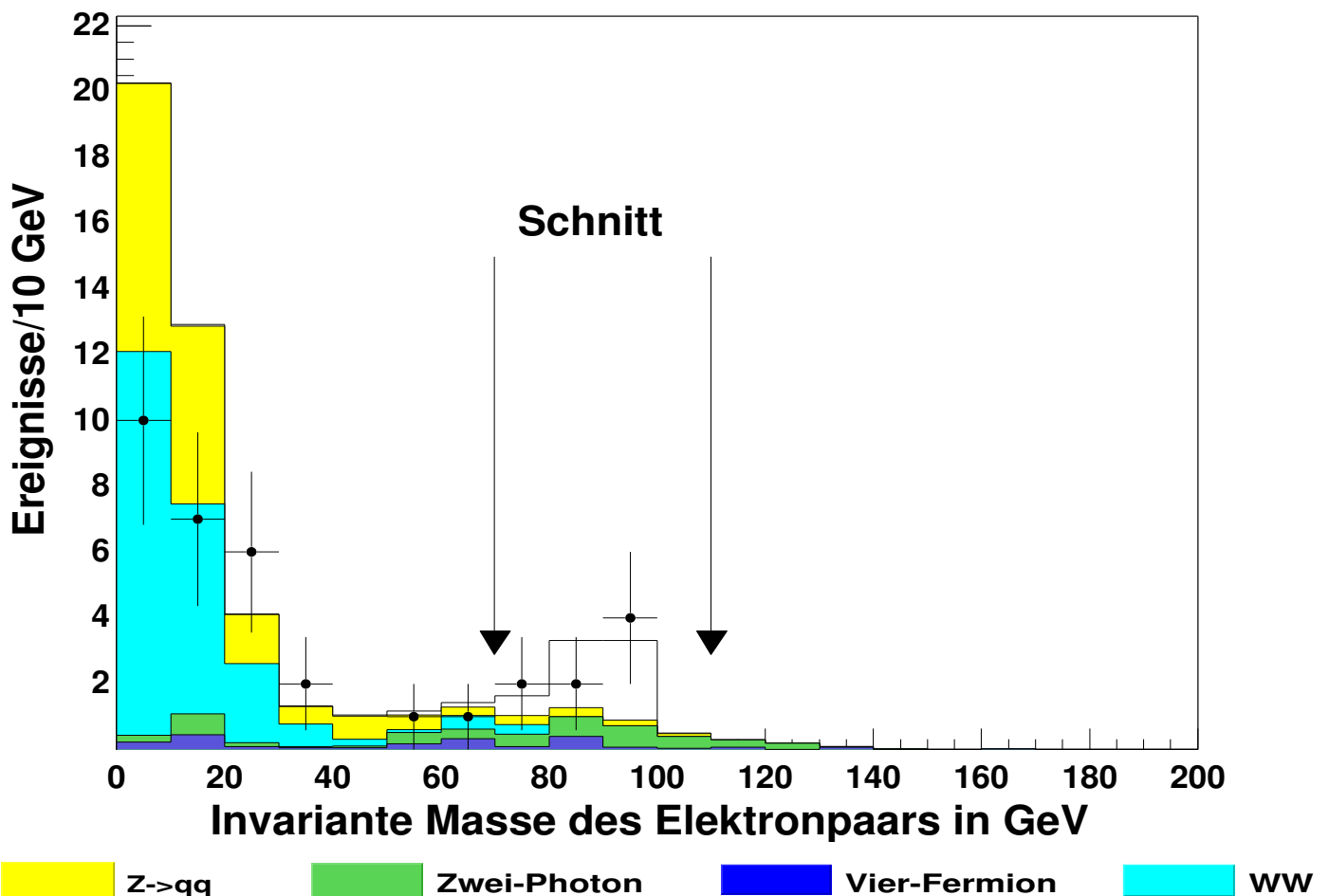
- Gemeinsame Präselektion für Ereignisse mit **hoher Multiplizität**
- Suche **gut identifizierte** Leptonen l
- Suche weitere Leptonen l mit **großzügigen Kriterien**
- Minimales $\Delta_M = |M_{l,l} - M_Z| \rightarrow$ **ein Paar**
- Zwingt restliches Ereignis in zwei Jets
- Schnitte auf Winkel und invariante Masse von Jet- bzw. Leptonpaar
- weitere Schnitte zur Trennung von Signal und Untergrund



$$q\bar{q}e^+e^-$$

Identifikation: Spur mit Energiedeposition im elektromagnetischen Kalorimeter.

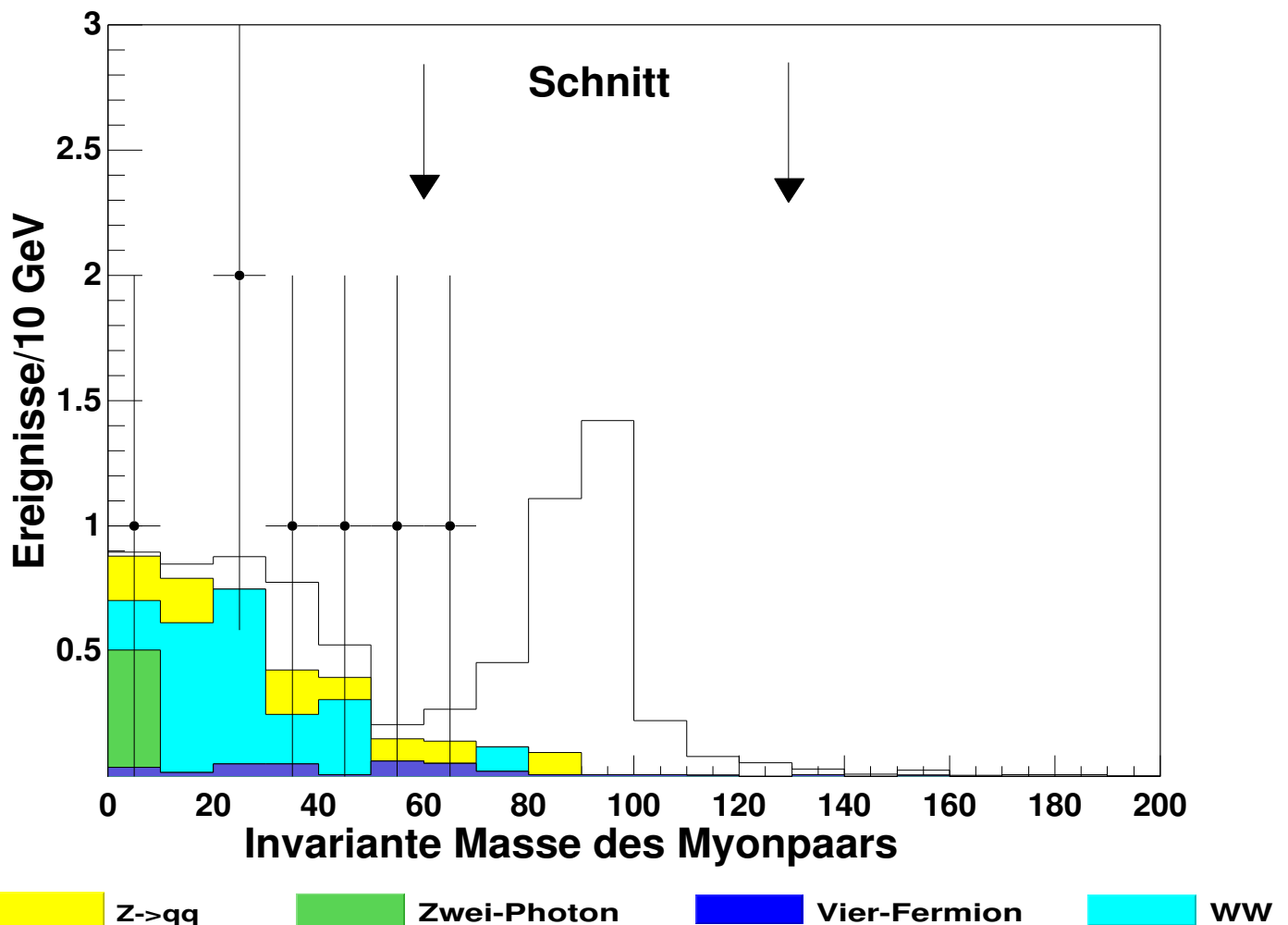
- Sichtbare Energie $/\sqrt{s} > 0.8$
- Winkel zwischen Elektronen $\theta \geq 120^\circ$
- Winkel zwischen Jets $\theta \geq 120^\circ$
- Masse des Elektronenpaars $70 \text{ GeV} \leq M \leq 110 \text{ GeV}$
- $\ln(Y_{34}) \geq -7$ (DURHAM)



$$q\bar{q}\mu^+\mu^-$$

Identifikation: Spur in Myonkammern, Spur in TEC und Energiedeposition im hadronischen Kalorimeter

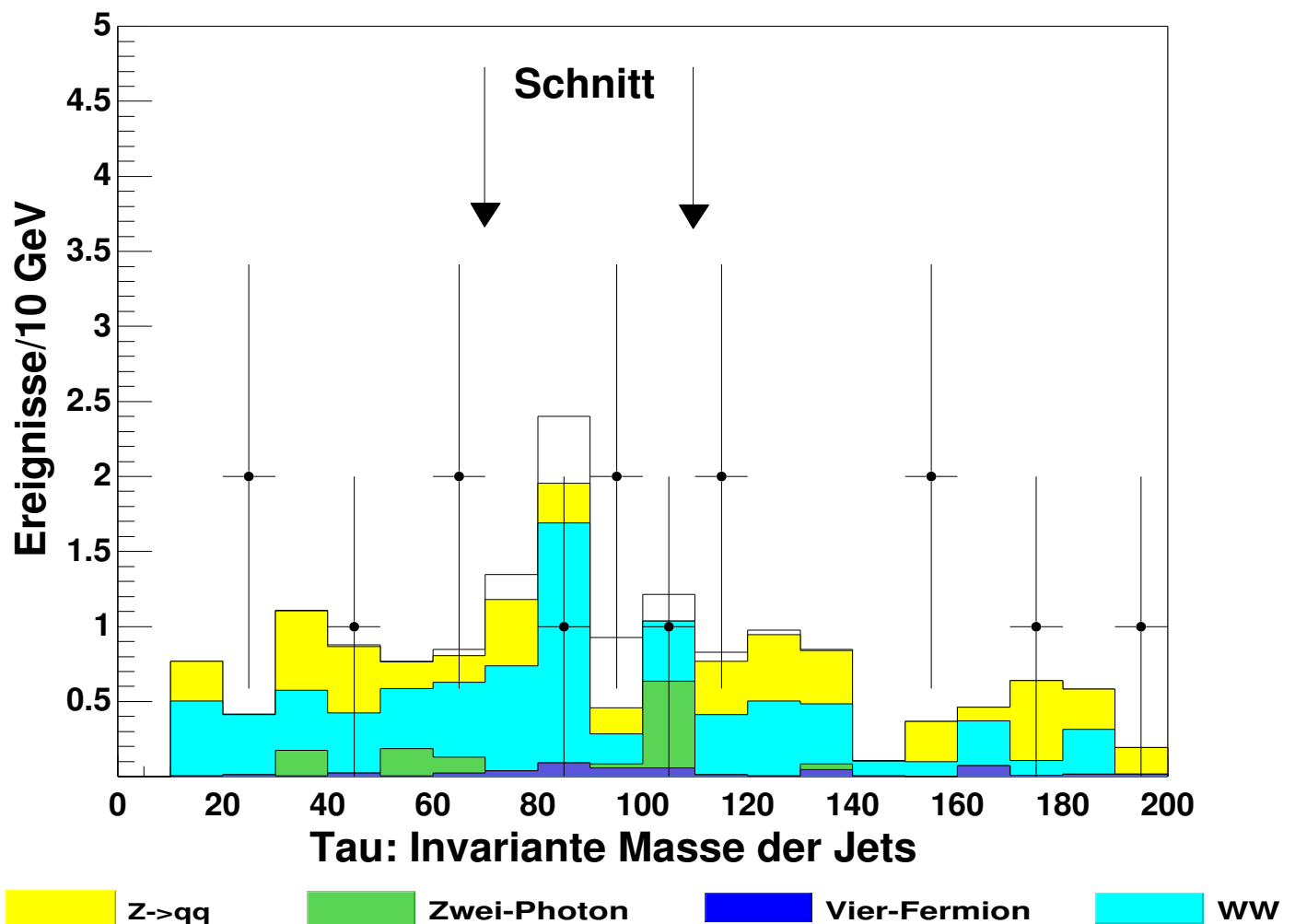
- Winkel zwischen Myonen $\theta \geq 120^\circ$
- Winkel zwischen Jets $\theta \geq 120^\circ$
- Masse des Myonpaares $60 \text{ GeV} \leq M \leq 130 \text{ GeV}$
- $\ln(Y_{34}) \geq -7$ (DURHAM)



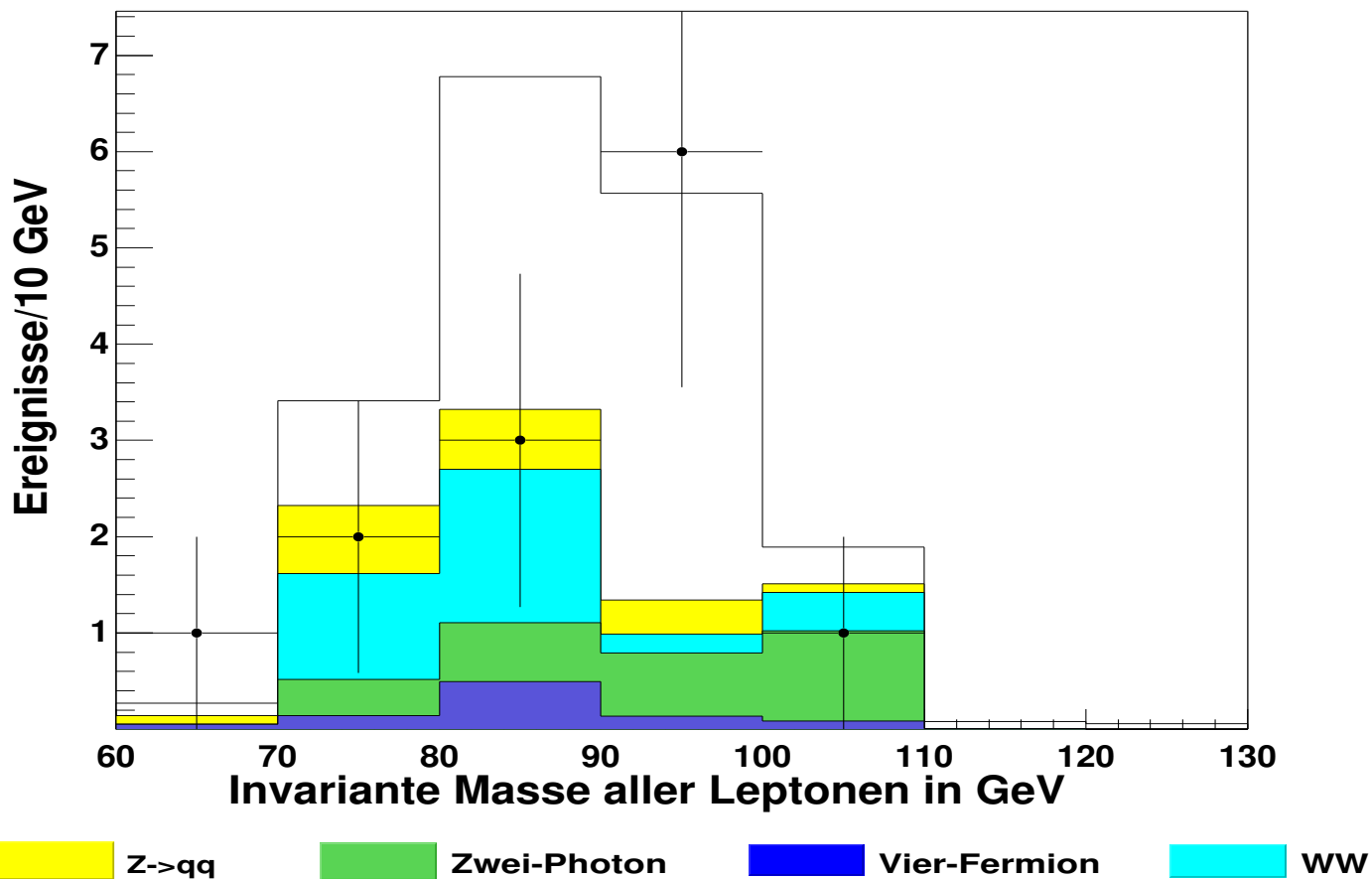
$$q\bar{q}\tau^+\tau^-$$

Identifikation: Ein bis drei isolierte Spuren mit Energie in Kalorimetern, nicht als Elektronen, Photonen und Myonen identifiziert.

- Maximal ein τ -Zerfall in drei Spuren (97.7%)
- Winkel zwischen Taus $\theta \geq 120^\circ$
- Winkel zwischen Jets $\theta \geq 120^\circ$
- Masse der Jets $60 \text{ GeV} \leq M \leq 130 \text{ GeV}$



Ergebnisse

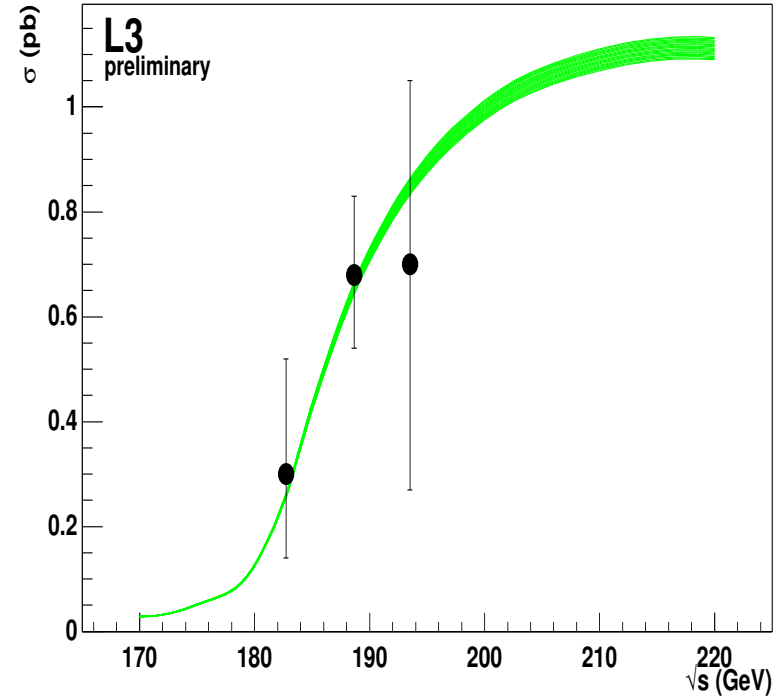
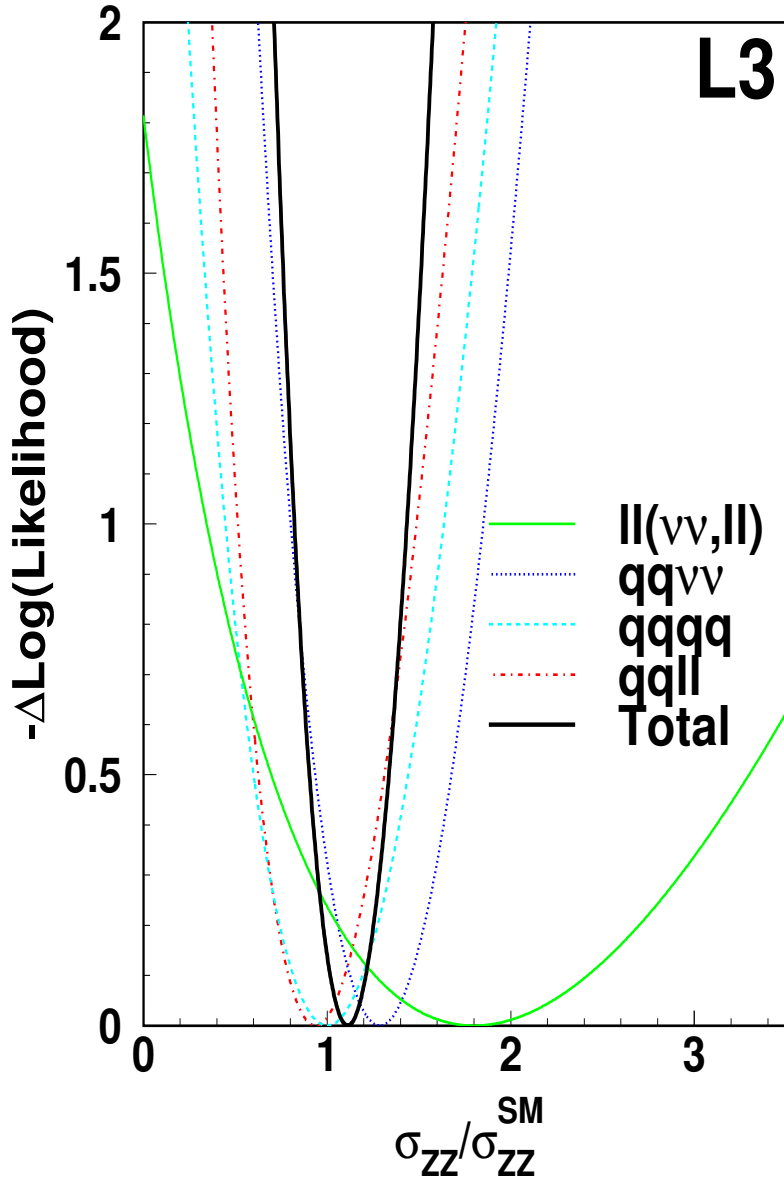


| Kanal | N_D | N_S | N_U | Reinheit | Effizienz |
|------------------------|-------|-------|-------|----------|-----------|
| $q\bar{q}e^+e^-$ | 8 | 5.08 | 3.68 | 58% | 78% |
| $q\bar{q}\mu^+\mu^-$ | 1 | 3.24 | 0.38 | 90% | 60% |
| $q\bar{q}\tau^+\tau^-$ | 4 | 1.09 | 4.59 | 19% | 16% |
| alle | 13 | 9.41 | 8.64 | 52% | 52% |

$$\sigma_{ZZ \rightarrow q\bar{q}l^+l^-} = 0.047 \pm 0.039 \text{ pb}$$

$$\sigma_{SM} = 0.102 \text{ pb}$$

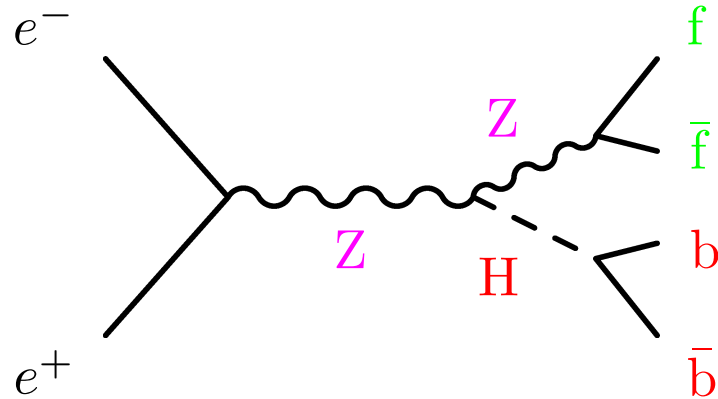
Messung des totalen Wirkungsquerschnitts



| Energie | $\sigma_{\text{gem}}/\text{pb}$ | $\sigma_{\text{theo}}/\text{pb}$ |
|---------|----------------------------------|----------------------------------|
| 183 GeV | $0.30^{+0.22+0.07}_{-0.16-0.03}$ | 0.25 |
| 189 GeV | $0.73^{+0.15+0.04}_{-0.14-0.04}$ | 0.65 |
| 194 GeV | $0.70^{+0.43}_{-0.35}$ (prel.) | 0.86 |

b-Quarkgehalt von ZZ-Ereignissen

Higgs-Produktion bei LEP

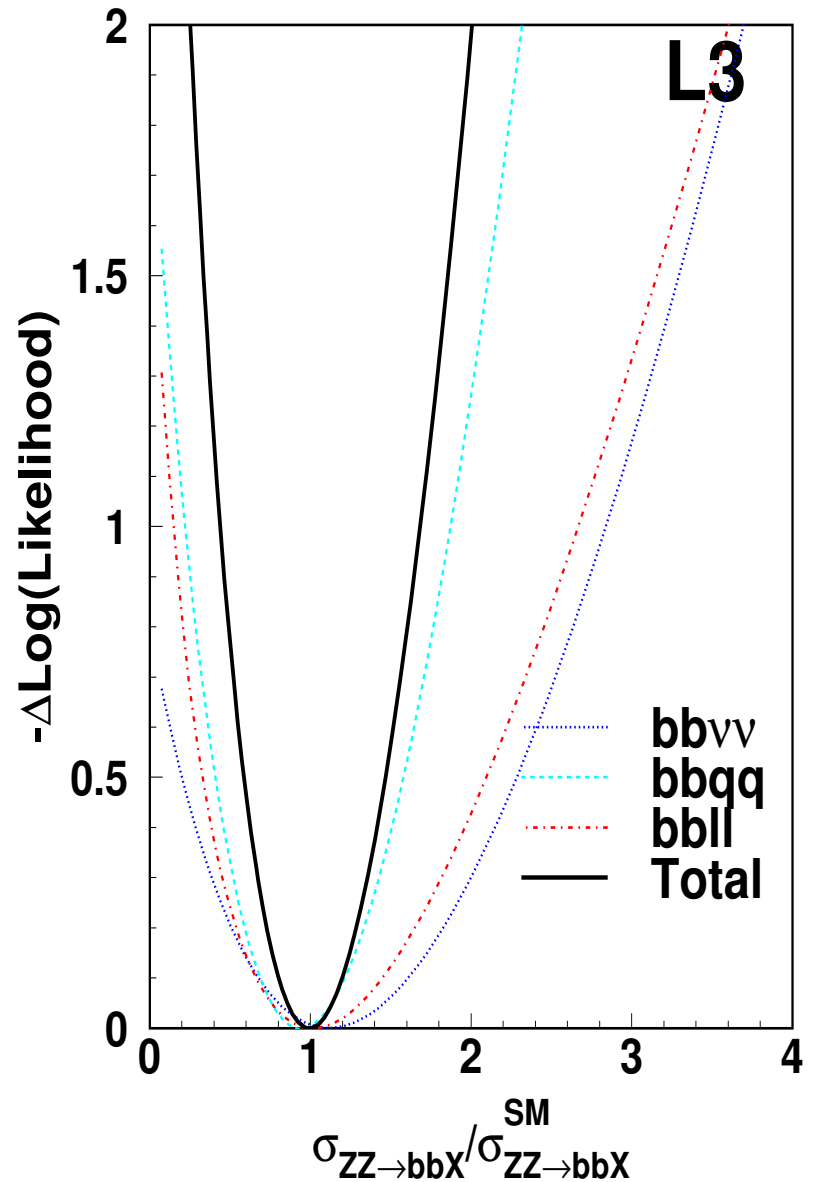


Für $M_H \approx M_Z$ ist die Z -
 Paarproduktion irreduzibler Unter-
 grund in der Higgssuche

Higgs-Zerfall zu 86% in $b\bar{b}$ → Be-
 stimmung von $ZZ \rightarrow b\bar{b}f\bar{f}$.

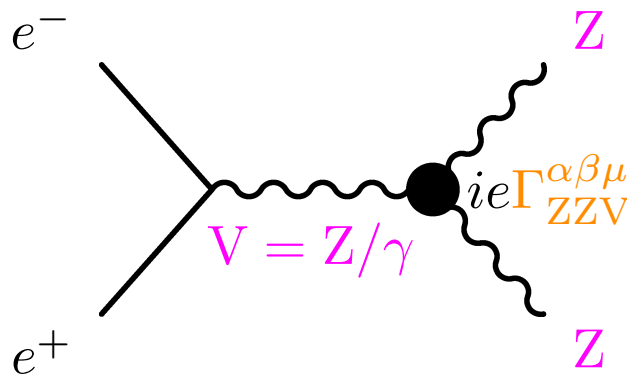
$$\sigma_{ZZ \rightarrow b\bar{b}f\bar{f}} = 0.18^{+0.09}_{-0.07} \text{ pb}$$

$$\sigma_{SM} = 0.178 \text{ pb}$$



Anomale Kopplungen

Im Standardmodell existieren keine Kopplungen der Art



Parametrisierung von $\Gamma_{ZZV}^{\alpha\beta\mu}$ durch $f_4^{Z,\gamma}$ (\mathcal{CP}) und $f_5^{Z,\gamma}$ (\mathcal{CP}). Im Standardmodell ist $f_4^{Z,\gamma} = f_5^{Z,\gamma} = 0$.

- Veränderung des **totalen Wirkungsquerschnitts**
- Änderung der **Winkelverteilung** der Z-Bosonen
- Änderung in der **Polarisation** der Z-Bosonen

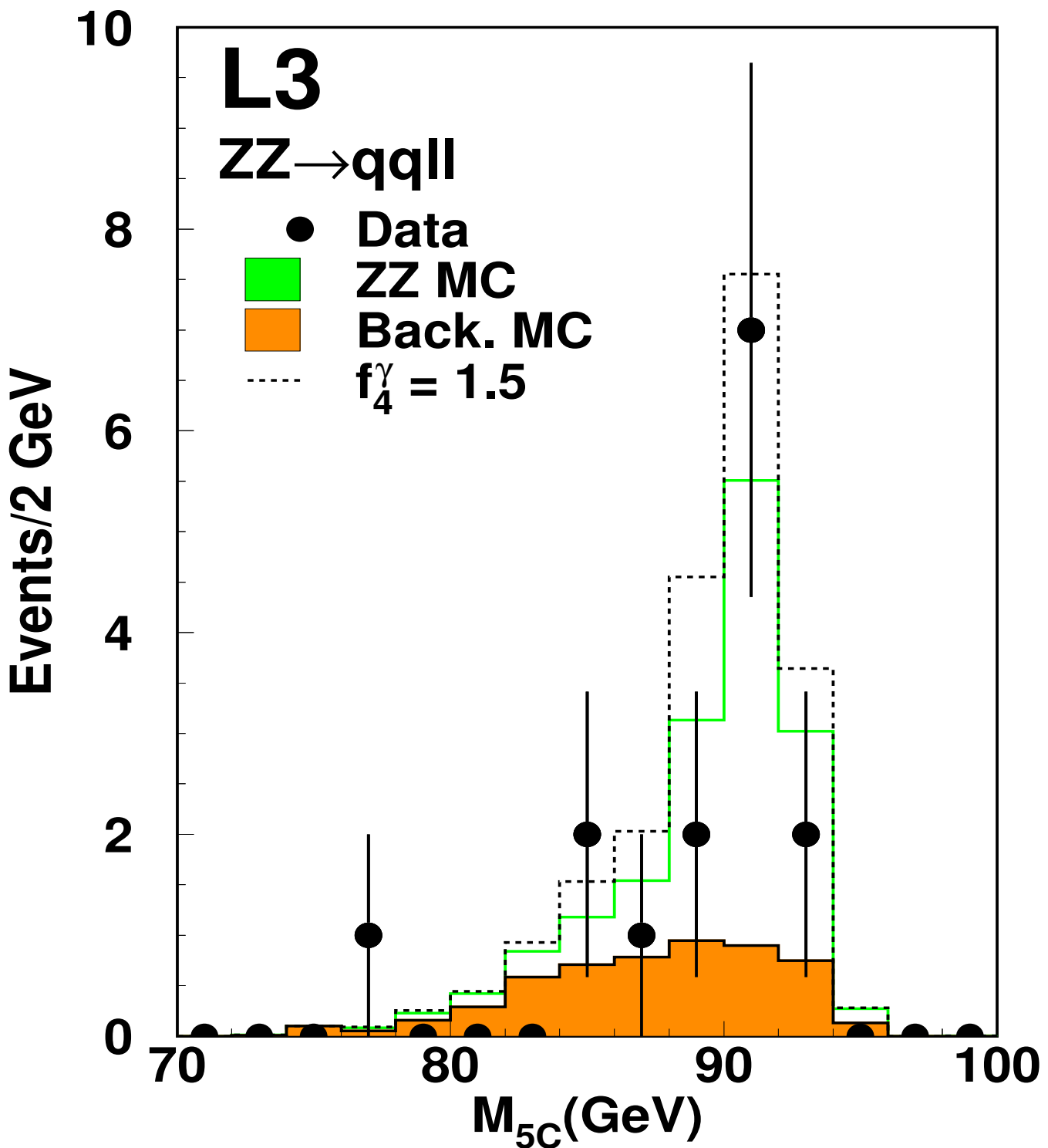
Aufgrund geringer Statistik \rightarrow **totaler Wirkungsquerschnitt**

Methodik: Jedes Ereignis wird mit W neu gewichtet

$$W \equiv \frac{\frac{1}{4} \sum_{\lambda} |(\mathcal{M}_{4f}(\{p^\nu\}, \lambda) + \mathcal{M}_{AC}(\{p^\nu\}, \lambda, f_i^V))|^2}{\frac{1}{4} \sum_{\lambda} |\mathcal{M}_{4f}(\{p^\nu\}, \lambda)|^2}$$

Variation von $W(f_4^{Z,\gamma}, 0)$ und $W(0, f_5^{Z,\gamma})$ bis optimale Übereinstimmung von Daten und Monte-Carlo.

Grenzen für anomale Kopplungen

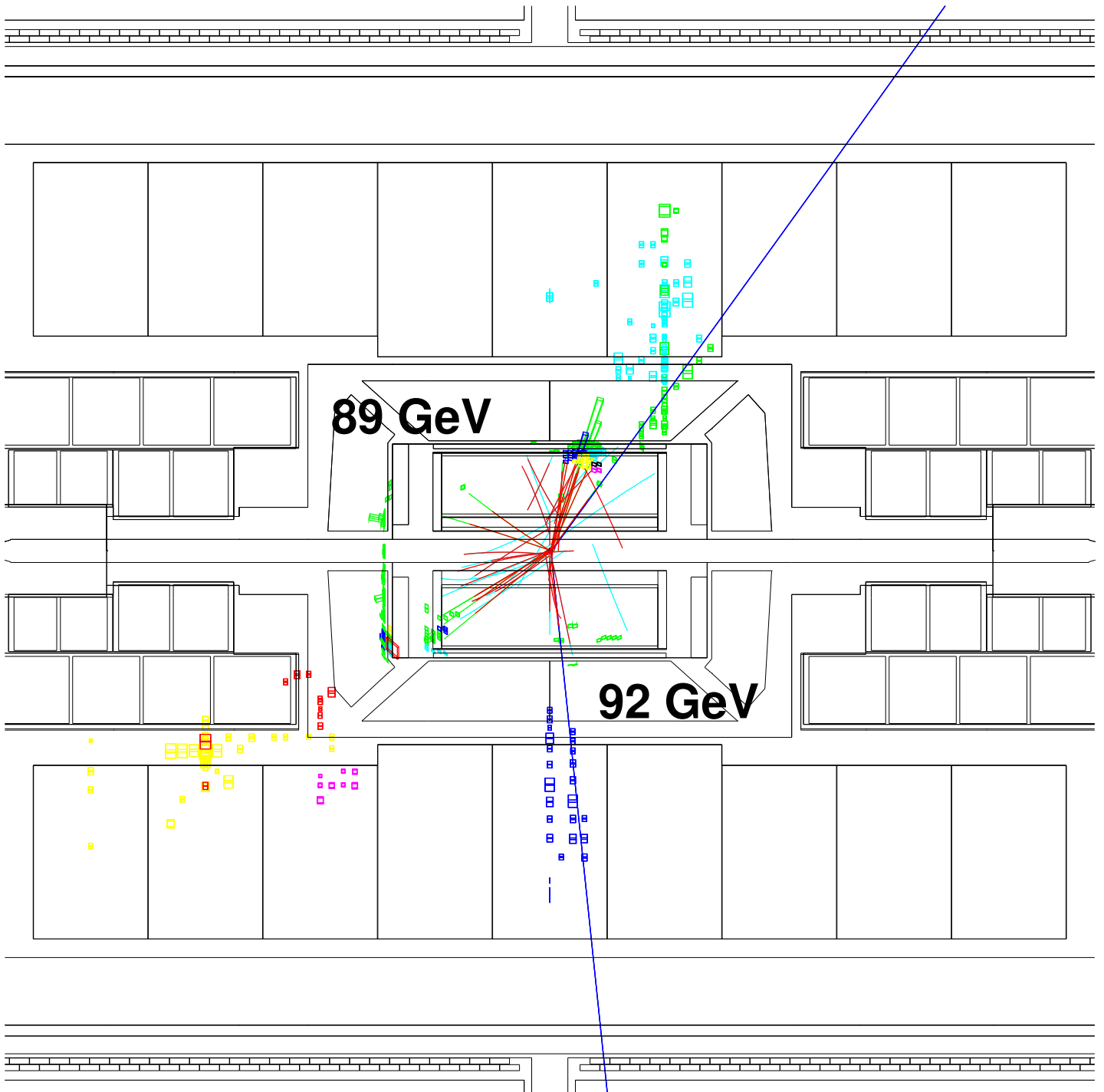


$$-1.9 \leq f_4^Z \leq 1.9$$

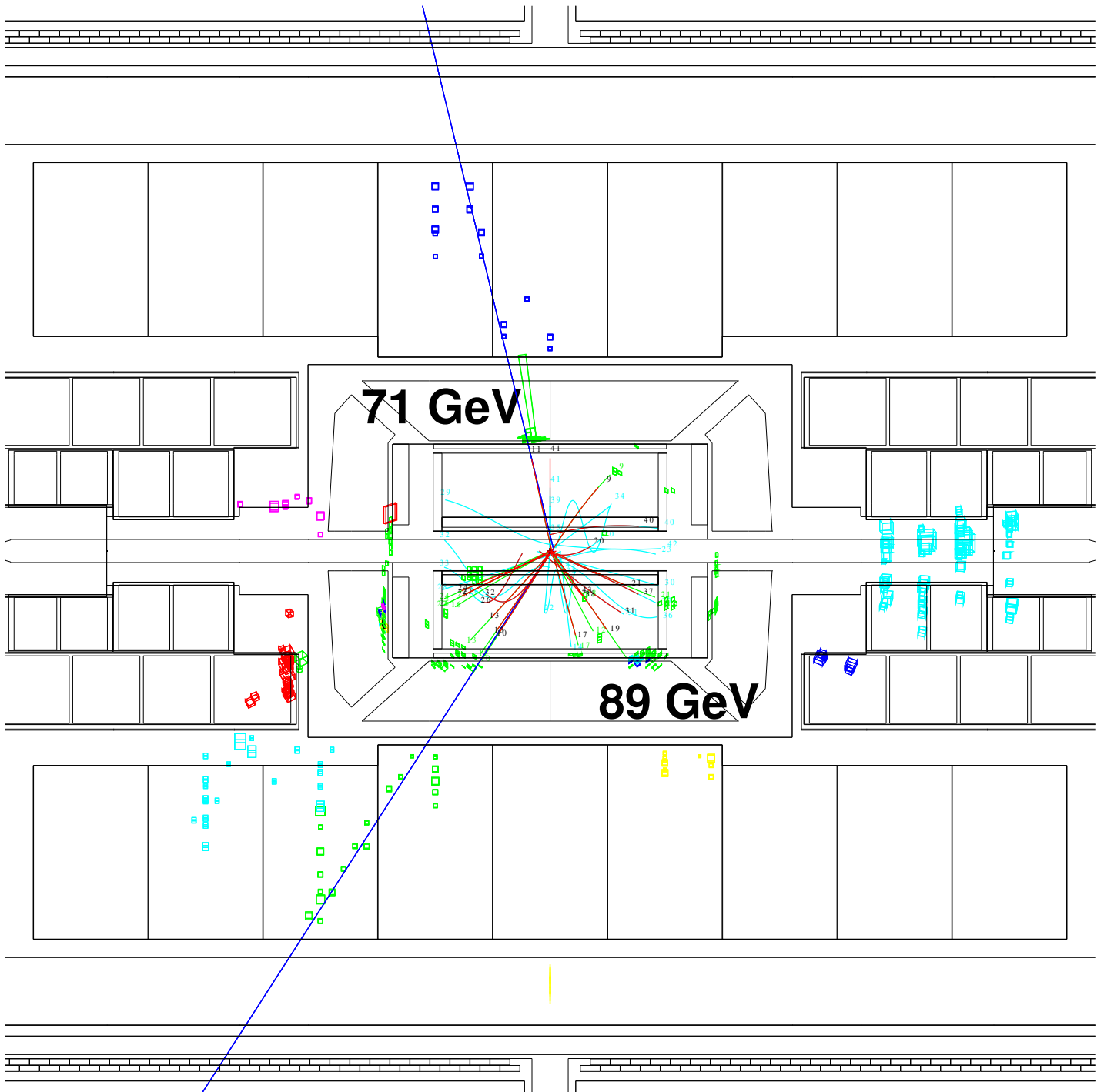
$$-5.0 \leq f_5^Z \leq 4.5$$

$$-1.1 \leq f_4^\gamma \leq 1.2$$

$$-3.0 \leq f_5^\gamma \leq 2.9$$

Daten bei 200 GeV

Luminosität bis zum 28. August $\mathcal{L} = 26 \text{ pb}^{-1}$

Daten bei 200 GeV

Luminosität bis zum 28. August $\mathcal{L} = 26 \text{ pb}^{-1}$