"Little Higgs" im Lichte elektroschwacher Präzisionsobservablen

Jürgen Reuter
— Universität Karlsruhe —
⟨reuter@particle.uni-karlsruhe.de⟩

in Zusammenarbeit mit: Wolfgang Kilian, DESY

DPG-Tagung Aachen, 2003

1 "Little Higgs"-Modelle 1

◦ Higgs als Pseudo-Goldstone Boson ◦ Skalen und Higgs-Masse ◦ Generische Bestandteile/Eigenschaften ◦ Beispiel-Modelle

2 Phänomenologie 6

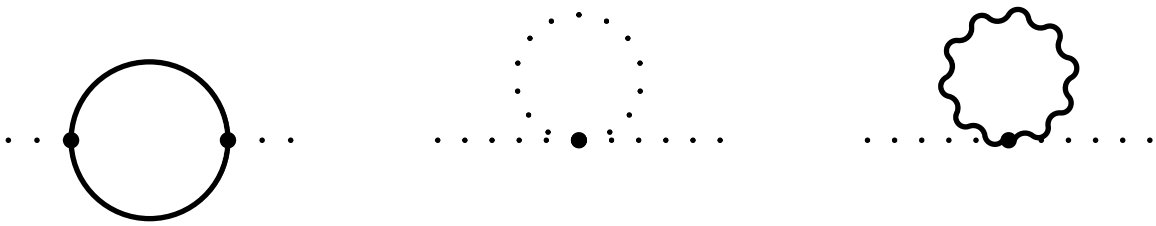
◦ Elektroschwache Tests ◦ Collider-Phänomenologie

3 Ausblick 8

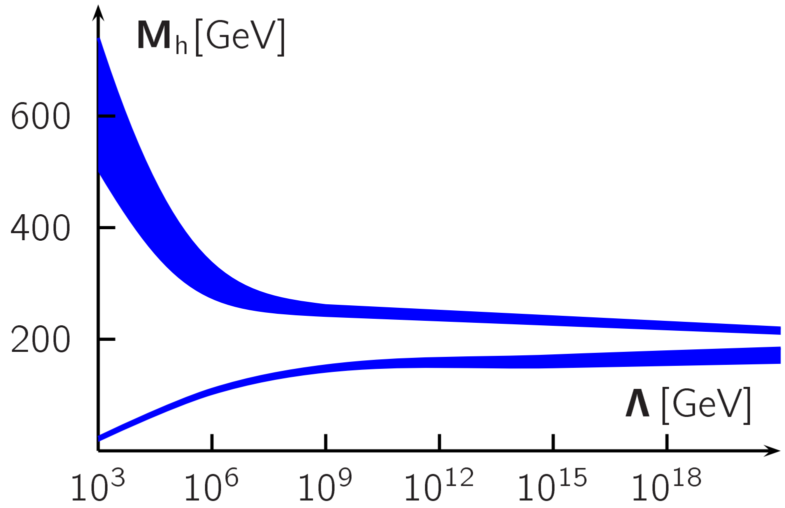
Motivation: Hierarchieproblem

Effektive Theorien unterhalb einer Skala $\Lambda \quad \Rightarrow$

Loop-Integrationen nur über Impulse bis zur Ordnung $\sim \Lambda$:



$\sim \Lambda^2$



Elektroschwache Präzisionsmessungen favorisieren *leichtes* Higgs ($M_h < 1\,\text{TeV}$)

Problem: Natürliche Masse des Higgs ist $\mathcal{O}(\Lambda^2)$:

$$\boxed{M_h^2 = m_0^2 + \Lambda^2 \times (\text{Loop-Faktoren})}$$

$$M_h \ll \Lambda \qquad \Longleftrightarrow \qquad \text{Fine-Tuning !?}$$

Lösung: Mechanismus zur Eliminierung der Loop-Beiträge

Traditionell (SUSY):
Spin-Statistik $\Longrightarrow$
Loops von Bosonen und Fermionen

"Little Higgs":
Struktur der Eichgruppe $\Longrightarrow$ Loops von Teilchen *derselben Statistik*

Alte Idee: Georgi/Pais, 1974; Georgi/Dimopoulos/Kaplan, 1984

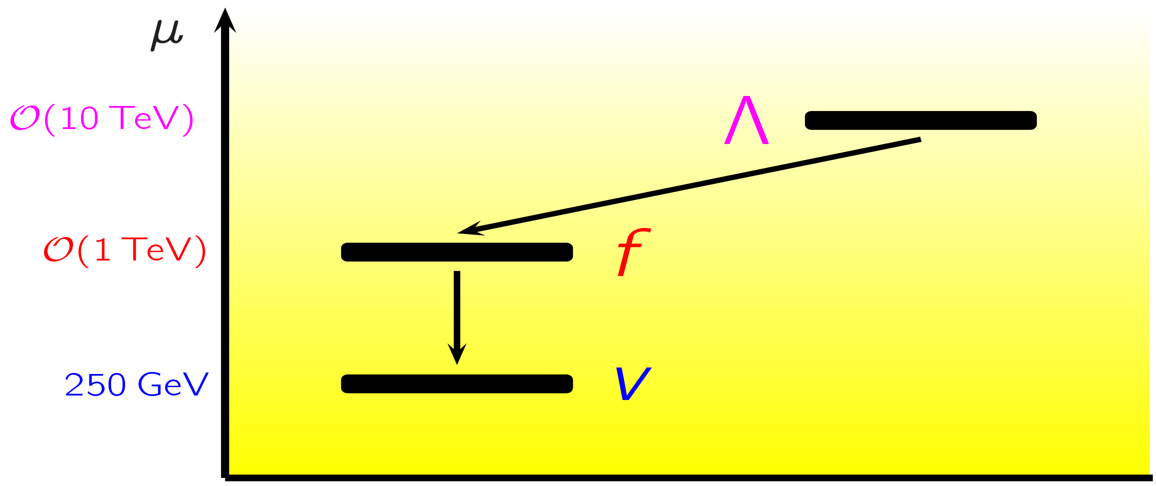
Leichtes Higgs als Pseudo-Goldstone Boson $\Leftrightarrow$ spontan gebrochene (näherungsweise) *globale* Symmetrie; nichtlineares Sigma-Modell

☹ Ohne Fine-Tuning: $v \sim \Lambda/4\pi$

Neue Zutat: Arkani-Hamed/Cohen/Georgi/. . . , 2001

Eichgruppen-Struktur eliminiert quadratische Divergenzen auf 1-Loop-Niveau $\Longrightarrow$ Drei-Skalen-Modell

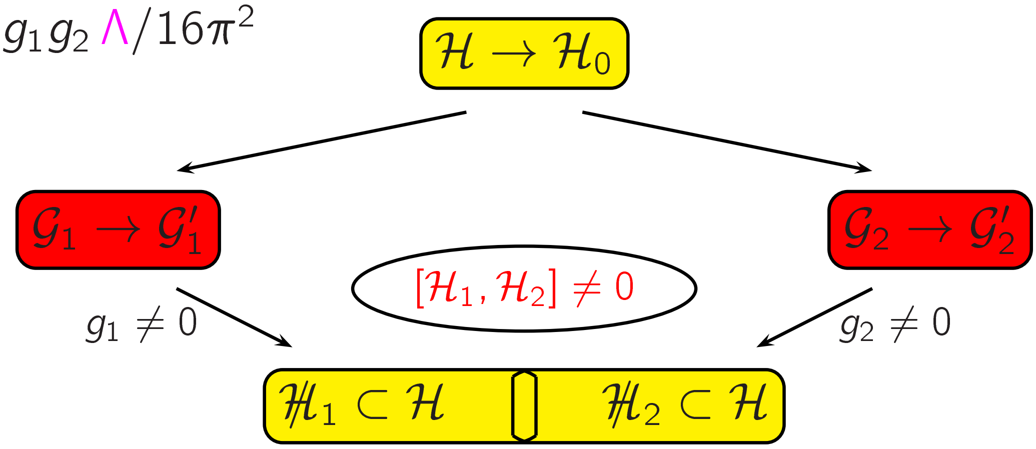
- Skala Λ: globale SB, neue Dynamik, UV-Einbettung
- Skala f: Pseudo-Goldstone-Bosonen, neue Vektorbosonen und Fermionen
- Skala v: Higgs, $W^{\pm}$, Z, $\ell^{\pm}$, ...



Wie genau nun funktioniert Little Higgs ?

Boson-Massen radiativ (Coleman-Weinberg), **aber:** Higgs durch Symmetrien *vor quadratischen Korrekturen auf 1-Loop-Niveau* geschützt

$M_H \sim g_1 g_2 \Lambda / 16\pi^2$



- Erweiterter skalarer (Higgs-) Sektor

- Erweiterte globale Symmetrie

- **Spezifische Form des Potentials:**

$$\mathcal{V}(h,H) = C_1 f^2 \left| H + \frac{\mathrm{i}}{f} h \otimes h \right|^2 + C_2 f^2 \left| H - \frac{\mathrm{i}}{f} h \otimes h \right|^2$$

h masselos auf 1-Loop-Niveau, $\langle h \rangle = v$, $M_h \sim v$

$M_H \sim f$, $\mathrm{i} \cdot \langle H \rangle \sim v^2/f$

h und H mischen

- **Erweiterter Eich-Sektor:**

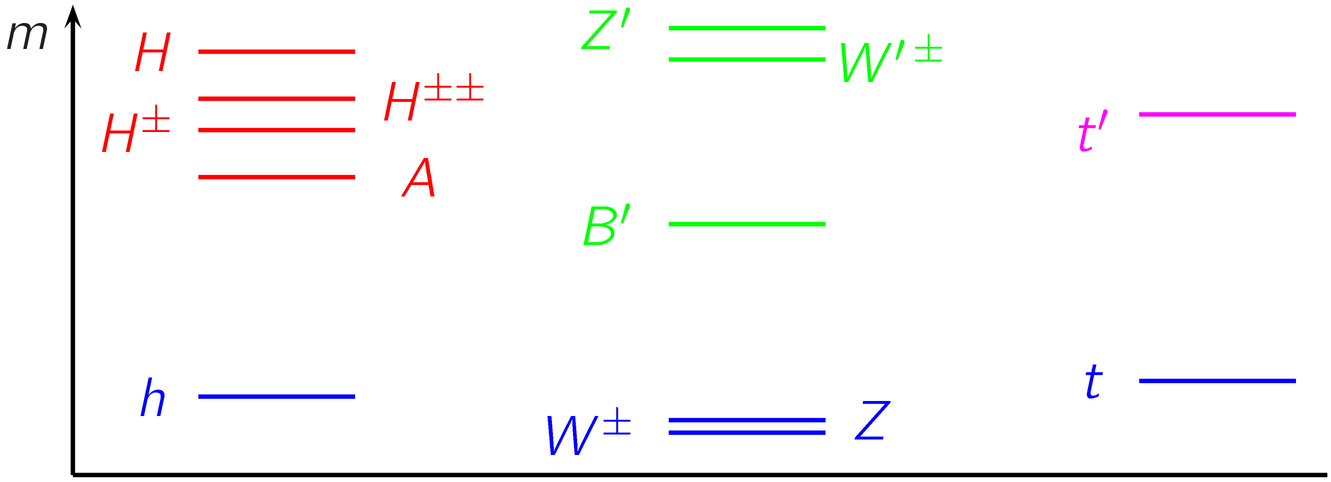
$\mathrm{SM}' \times \mathcal{G} \to \mathrm{SM} \implies$ Verdoppelung der elektroschwachen Eichbosonen: $B', Z', W'^{\pm}$

(fast) einfache Eichgruppe: $SU(4) \otimes U(1) \to \mathrm{SM}$

- Erweiterter top-Sektor: neue schwere Quarks, t, t'-Loops $\Rightarrow$ *negatives* M_h^2 $\Rightarrow$ EWSB

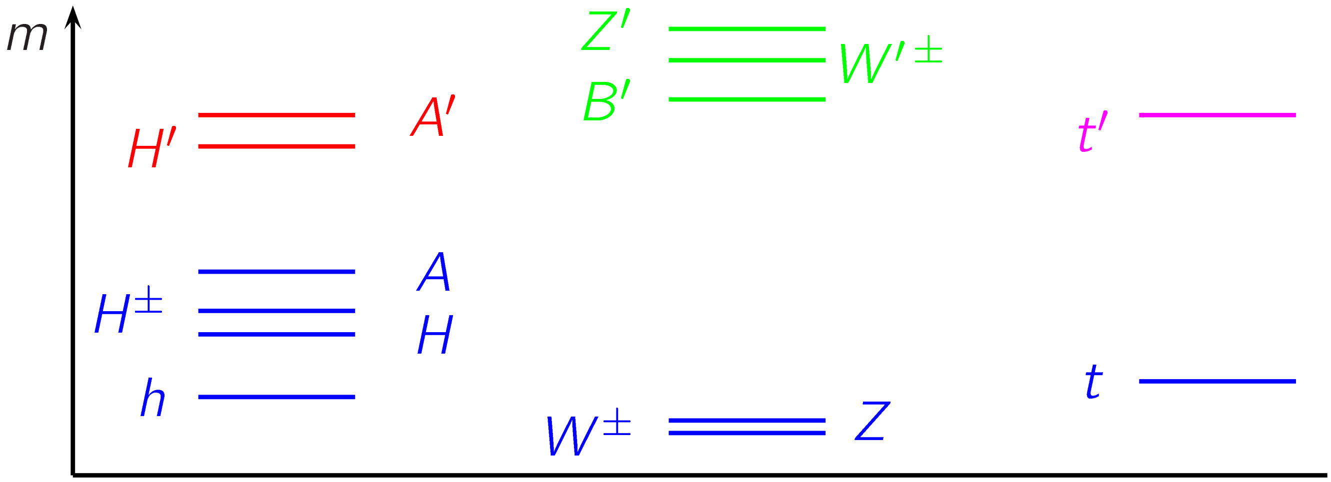
- $\boxed{SU(5) \to SO(5)}$ Arkani-Hamed/Cohen/Katz/Nelson, 2002

  $\mathcal{G} = SU(2) \otimes U(1)$, schweres komplexes Higgs-Triplett



- $\boxed{SO(6) \to Sp(6)}$ Low/Skiba/Smith, 2002

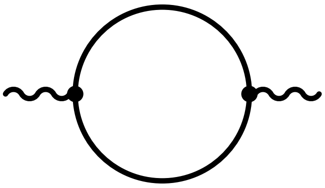
  $\mathcal{G} = SU(2) \otimes U(1)$, schweres komplexes Singlett

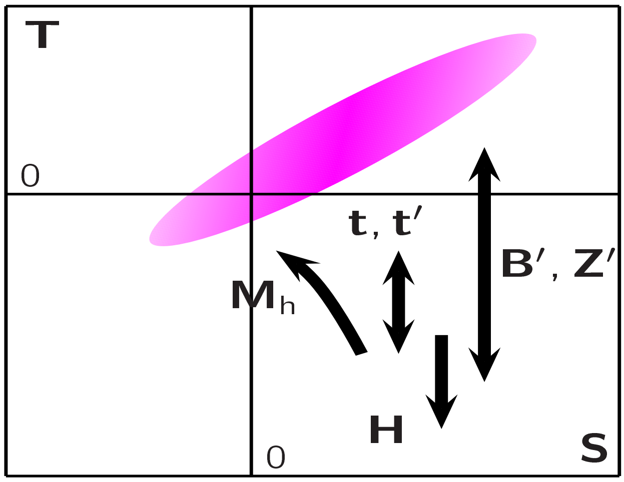


- $\boxed{[SU(4)]^4 \to [SU(3)]^4}$ Kaplan/Schmaltz, 2003

  2HDM, $h_{1/2}$, $H'_{1,2,3}$, $A'_{1,2,3}$, $Z'_{1,\ldots,8}$, $W'^{\pm}_{1,2}$, q', ℓ'

S-, T-Parameter:
Neue Physik in W-, Z-Selbstenergien





Csáki et al., 2002; Hewett et al., 2002; Han et al., 2003

Beiträge zu S, T (und G_F) im Littlest Higgs-Modell, Verletzung der Custodial SU(2):

- *variable* Higgs-Masse (Coleman-Weinberg); *höhere Terme* im Higgs-Potential
- Mischung von (Z, B', Z') und $(W^\pm, W'^\pm)$
  $\Longrightarrow \quad \Delta M_Z, \Delta M_W$
  ($\Rightarrow$ *anomale* 3-Eichboson-Kopplungen [GigaZ])
- Loops des schweren Quarks t'
- $W'^\pm$-Austausch, δg_{Wff}

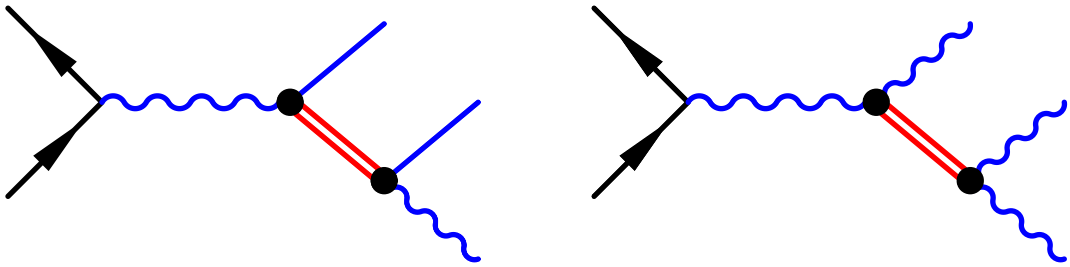
Schranken (LEP): $f \gtrsim 3\,\text{TeV}$, $M_{W'} \gtrsim 2\,\text{TeV}$

- **Schwere Eichbosonen:**

Nachweis: Resonanz in $e^+e^- \to f\bar{f}$, Drell-Yan $\Rightarrow$

$$\boxed{\text{Tevatron: } M_{B'} \gtrsim 500\ \text{GeV}}$$

- **Schwere Skalare:**



- $\diamond$ **$\mathbf{A^0}$:** $e^+e^-[q\bar{q}] \to Ah, \quad A \to hZ_L$
- $\diamond$ **$\mathbf{H^\pm}$:** $e^+e^-[q\bar{q}] \to H^+W_L^-, \quad H^\pm \to W_L Z_L$
- $\diamond$ **$\mathbf{H^{\pm\pm}}$:** $e^-e^- \to \nu\nu H^{--}, \quad H^{\pm\pm} \to W_L^- W_L^-$
- $\diamond$ **$\mathbf{H^0}$:** $e^+e^-[q\bar{q}] \to Z_L H,$
  $H \to Z_L Z_L, hh,$ *nicht* W^+W^-

- **Schwere Quarks:**

t'-Produktion am LHC, Zerfall $t' \to W_L b, th$

Little Higgs elegante Alternative zu SUSY
Eichgruppen-Struktur stabilisiert EW Skala

- Generisch: neue schwere Eichbosonen, Skalare, Quarks

Klare experimentelle Signaturen:
direkte Suche $\leftrightarrow$ "oblique" Korrekturen

UV-Einbettung, GUT, Flavor ?

Noch keine vollständige Betrachtung der EW Korrekturen

Little Higgs für $f \gtrsim 3\,\mathrm{TeV}$ im Einklang mit EW Präzisionsobservablen **ohne Fine-Tuning**