Anwendung der System8-Methode zur Bestimmung von *b*-Tagging-Effizienzen am ATLAS-Detektor

Diplomkolloquium

Michael Müller

Physikalisches Institut
Rheinische Friedrich-Wilhelms-Universität Bonn

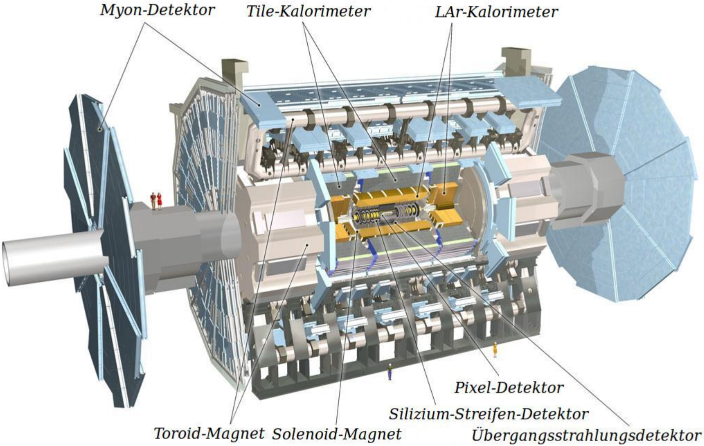
6. Juni 2011

Gliederung

1. Einleitung
   - Der ATLAS-Detektor
   - Das Standardmodell
   - *b*-Produktion und *b*-Tagging bei ATLAS
2. System8
   - Methode
   - Unsicherheiten
3. Anwendung auf Monte Carlo und Daten
   - Datensätze und Selektion
   - Kontrollverteilungen
   - Ergebnisse
4. Zusammenfassung

Einleitung

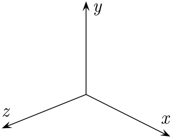
Der ATLAS-Detektor

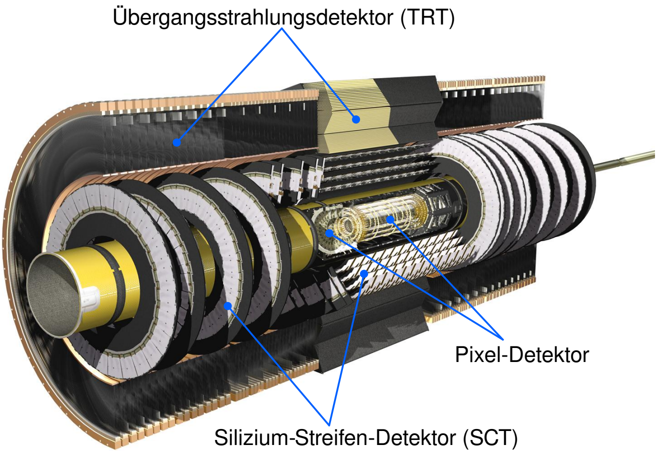


ϕ: Azimuthalwinkel

θ: Polarwinkel

$\eta = -\ln \tan \theta/2$

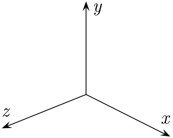




ϕ: Azimuthalwinkel

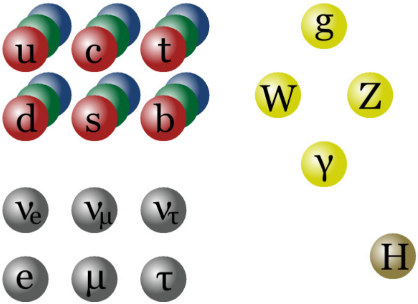
θ: Polarwinkel

$\eta = -\ln \tan \theta/2$



Das Standardmodell

Fermionen Bosonen



b-Quark $\longrightarrow$ b-Hadron

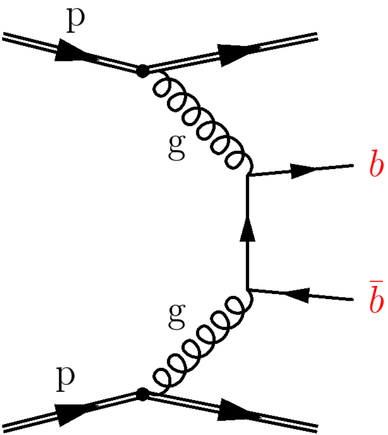
b-Mesonen

Masse: $\approx 5\,\mathrm{GeV}$

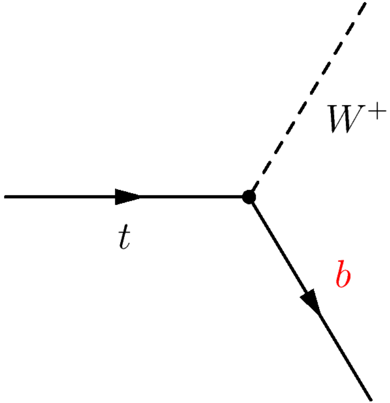
$c\tau \approx 500\,\mu\mathrm{m}$

$\mathrm{BR}(b \rightarrow \mu\nu_\mu X) \approx 11\%$

b-Produktion bei ATLAS

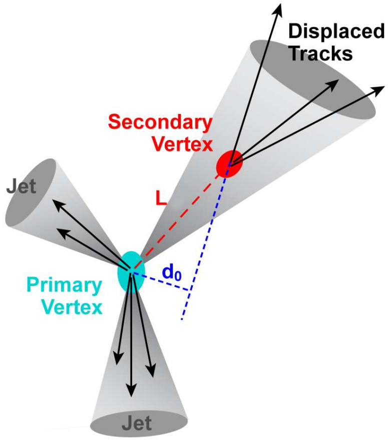


Direkte b-Produktion



b-Identifikation wichtig für t-Studien

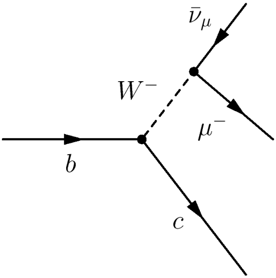
Methoden zur Identifikation von *b*-Jets

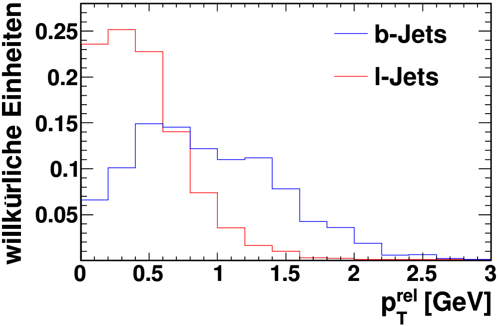


Bei ATLAS genutzte Methoden

Ausnutzung der langen Lebenszeit und großen Masse von *b*-Hadronen mittels

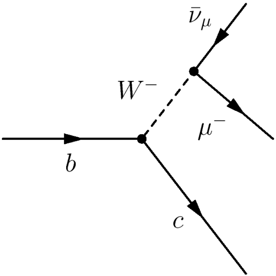
- Rekonstruktion von Sekundärvertizes
- Stoßparameter $\Rightarrow$ JetProb-Tagger
- Transversalimpuls von Myonen relativ zum assoziierten Jet (p_T^{rel}) $\Rightarrow$ SoftMuon-Tagger

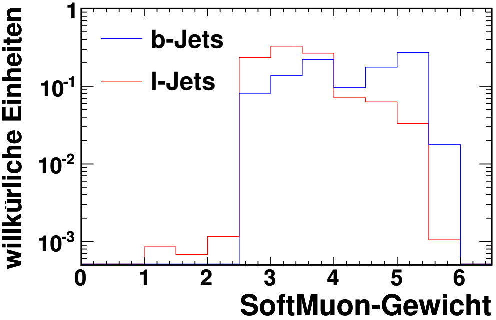




- **Eingangsparameter:** Transversalimpuls eines Myons relativ zur Achse des assoziierten Jets (p_T^{rel})
- **Ausgabeparameter:** Likelihood-Quotient als Wahrscheinlichkeit, dass es sich bei dem Jet um einen *b*-Jet handelt („Gewicht“)

b-tagged Jet = Jet, der ein Gewicht oberhalb eines bestimmten (gewählten) Taggergewichts besitzt

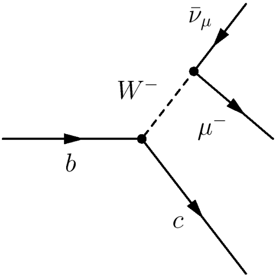


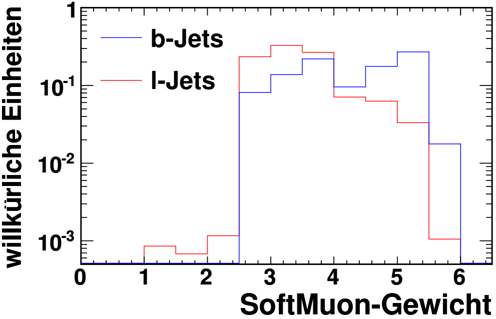


- **Eingangsparameter:** Transversalimpuls eines Myons relativ zur Achse des assoziierten Jets (p_T^{rel})
- **Ausgabeparameter:** Likelihood-Quotient als Wahrscheinlichkeit, dass es sich bei dem Jet um einen *b*-Jet handelt („Gewicht“)

b-tagged Jet = Jet, der ein Gewicht oberhalb eines bestimmten (gewählten) Taggergewichts besitzt

SoftMuon-Tagger

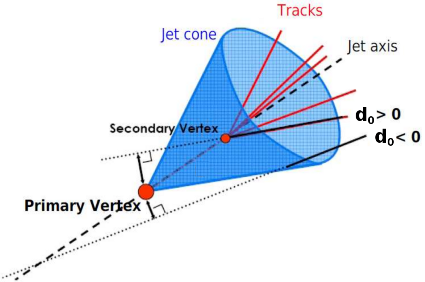


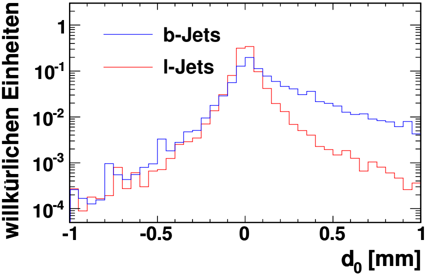


- **Eingangsparameter:** Transversalimpuls eines Myons relativ zur Achse des assoziierten Jets (p_T^{rel})
- **Ausgabeparameter:** Likelihood-Quotient als Wahrscheinlichkeit, dass es sich bei dem Jet um einen b-Jet handelt („Gewicht")

b-tagged Jet = Jet, der ein Gewicht oberhalb eines bestimmten (gewählten) Taggergewichts besitzt

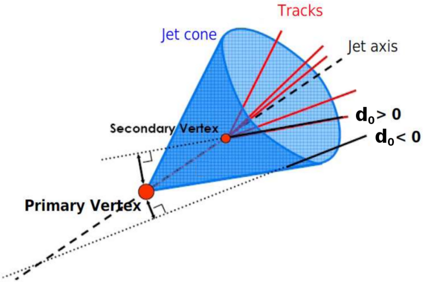
JetProb-Tagger

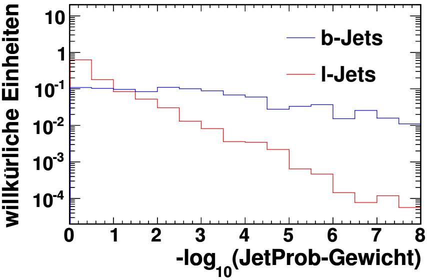




- **Eingangsparameter:** transversale Stoßparametersignifikanz $(d_0/\Delta d_0)$ von zu Jets assoziierten Spuren
- Berechnung der Wahrscheinlichkeit, dass eine Spur vom Primärvertex stammt
- **Ausgabeparameter:** Kombinierte Spurwahrscheinlichkeit (für Spuren mit $d_0 > 0$) dafür, dass der Jet vom Primärvertex stammt (d.h. dass der Jet von einem leichten Quark stammt)

JetProb-Tagger





- **Eingangsparameter:** transversale Stoßparametersignifikanz ($d_0/\Delta d_0$) von zu Jets assoziierten Spuren
- Berechnung der Wahrscheinlichkeit, dass eine Spur vom Primärvertex stammt
- **Ausgabeparameter:** Kombinierte Spurwahrscheinlichkeit (für Spuren mit $d_0 > 0$) dafür, dass der Jet vom Primärvertex stammt (d.h. dass der Jet von einem leichten Quark stammt)

Tagging-Effizienz & Wahl des Gewichtsschnitts

- Effizienz:

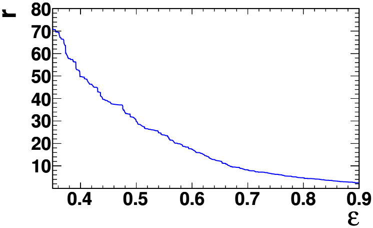
$$\varepsilon_b = \frac{\#(b\text{-tagged } b\text{-Jets})}{\#(\text{alle } b\text{-Jets})}$$

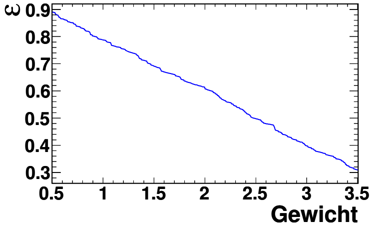
- Untergrundeffizienz:
(= Effizienz von Jets, welche von einem leichten Quark stammen)

$$\varepsilon_l = \frac{\#(b\text{-tagged } l\text{-Jets})}{\#(\text{alle } l\text{-Jets})}$$

- Untergrundunterdrückung:

$$r = 1/\varepsilon_l$$





→ Wahl des Arbeitspunkts durch Schnitt auf Gewicht

ABER: Verlässlichkeit der Monte-Carlo-Effizienzen?
→ Extraktion von Effizienzen aus Daten → **System8**

Tagging-Effizienz & Wahl des Gewichtsschnitts

- Effizienz:

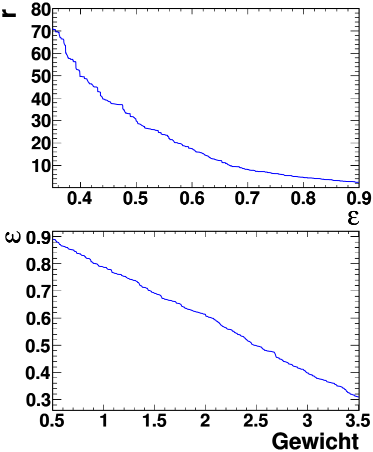
$$\varepsilon_b = \frac{\#(b\text{-tagged } b\text{-Jets})}{\#(\text{alle } b\text{-Jets})}$$

- Untergrundeffizienz:
  (= Effizienz von Jets, welche von einem leichten Quark stammen)

$$\varepsilon_l = \frac{\#(b\text{-tagged } l\text{-Jets})}{\#(\text{alle } l\text{-Jets})}$$

- Untergrundunterdrückung:

$$r = 1/\varepsilon_l$$



→ Wahl des Arbeitspunkts durch Schnitt auf Gewicht

ABER: Verlässlichkeit der Monte-Carlo-Effizienzen?
→ Extraktion von Effizienzen aus Daten → **System8**

Tagging-Effizienz & Wahl des Gewichtsschnitts

- Effizienz:

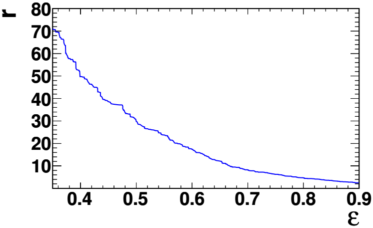
$$\varepsilon_b = \frac{\#(b\text{-tagged } b\text{-Jets})}{\#(\text{alle } b\text{-Jets})}$$

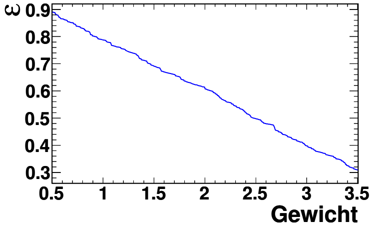
- Untergrundeffizienz:
  (= Effizienz von Jets, welche von einem leichten Quark stammen)

$$\varepsilon_l = \frac{\#(b\text{-tagged } l\text{-Jets})}{\#(\text{alle } l\text{-Jets})}$$

- Untergrundunterdrückung:

$$r = 1/\varepsilon_l$$





→ Wahl des Arbeitspunkts durch Schnitt auf Gewicht

ABER: Verlässlichkeit der Monte-Carlo-Effizienzen?
→ Extraktion von Effizienzen aus Daten → **System8**

System8

System8

Bestimmung der Effizienz von b-Tagging-Algorithmen aus Daten:

- Benötigt drei Tagger (X, Y, Z)
- Löse System mit 8 Gleichungen

$$
\begin{aligned}
n_b &+ n_l &= N \\
\varepsilon_b^{(X)} n_b &+ \varepsilon_l^{(X)} n_l &= N^{(X)} \\
\varepsilon_b^{(Y)} n_b &+ \varepsilon_l^{(Y)} n_l &= N^{(Y)} \\
\varepsilon_b^{(Z)} n_b &+ \varepsilon_l^{(Z)} n_l &= N^{(Z)} \\
\varepsilon_b^{(X,Y)} n_b &+ \varepsilon_l^{(X,Y)} n_l &= N^{(X,Y)} \\
\varepsilon_b^{(Y,Z)} n_b &+ \varepsilon_l^{(Y,Z)} n_l &= N^{(Y,Z)} \\
\varepsilon_b^{(Z,X)} n_b &+ \varepsilon_l^{(Z,X)} n_l &= N^{(Z,X)} \\
\varepsilon_b^{(X,Y,Z)} n_b &+ \varepsilon_l^{(X,Y,Z)} n_l &= N^{(X,Y,Z)}
\end{aligned}
$$

b: b-Jets, l: von leichten Quarks (u, d, c, s) stammende Jets
$n_{b,l}, N, N^{(X)}, \ldots$: #Jets
$\varepsilon_b^{(X)}, \ldots$: Effizienzen

System8 - Unkorrelierte Tagger

Unkorrelierte Tagger
$\rightarrow$ kombinierte Effizienzen können faktorisiert werden
$\rightarrow$ 8 Unbekannte $\rightarrow$ lösbar

$$\varepsilon_b^{(X,Y)} = \left(\varepsilon_b^{(X)} \times \varepsilon_b^{(Y)}\right), \ldots$$

$$\begin{aligned}
n_b &+ & n_l &= N \\
\varepsilon_b^{(X)} n_b &+ & \varepsilon_l^{(X)} n_l &= N^{(X)} \\
\varepsilon_b^{(Y)} n_b &+ & \varepsilon_l^{(Y)} n_l &= N^{(Y)} \\
\varepsilon_b^{(Z)} n_b &+ & \varepsilon_l^{(Z)} n_l &= N^{(Z)} \\
\varepsilon_b^{(X)} \varepsilon_b^{(Y)} n_b &+ & \varepsilon_l^{(X)} \varepsilon_l^{(Y)} n_l &= N^{(X,Y)} \\
\varepsilon_b^{(Y)} \varepsilon_b^{(Z)} n_b &+ & \varepsilon_l^{(Y)} \varepsilon_l^{(Z)} n_l &= N^{(Y,Z)} \\
\varepsilon_b^{(Z)} \varepsilon_b^{(X)} n_b &+ & \varepsilon_l^{(Z)} \varepsilon_l^{(X)} n_l &= N^{(Z,X)} \\
\varepsilon_b^{(X)} \varepsilon_b^{(Y)} \varepsilon_b^{(Z)} n_b &+ & \varepsilon_l^{(X)} \varepsilon_l^{(Y)} \varepsilon_l^{(Z)} n_l &= N^{(X,Y,Z)}
\end{aligned}$$

System8 - Korrelierte Tagger

Realistisch: schwach korrelierte Tagger
$\rightarrow$ 8 Korrekturfaktoren κ ($\mathcal{O}(1)$) aus Monte Carlo zu bestimmen;
Verwendung der 16 Eingangsparameter $\left\{ N_b, N_l, N_b^{(X)}, N_l^{(X)}, \dots \right\}$

$$\varepsilon_b^{(X,Y)} = \left(\kappa_b^{(X,Y)} \times \varepsilon_b^{(X)} \times \varepsilon_{b,l}^{(Y)} \right), \dots \qquad \text{mit } \varepsilon_b^{(X)} = N_b^{(X)} / N_b, \dots$$

$$\begin{aligned}
n_b &+ n_l &= N \\
\varepsilon_b^{(X)} n_b &+ \varepsilon_l^{(X)} n_l &= N^{(X)} \\
\varepsilon_b^{(Y)} n_b &+ \varepsilon_l^{(Y)} n_l &= N^{(Y)} \\
\varepsilon_b^{(Z)} n_b &+ \varepsilon_l^{(Z)} n_l &= N^{(Z)} \\
\kappa_b^{(X,Y)} \varepsilon_b^{(X)} \varepsilon_b^{(Y)} n_b &+ \kappa_l^{(X,Y)} \varepsilon_l^{(X)} \varepsilon_l^{(Y)} n_l &= N^{(X,Y)} \\
\kappa_b^{(Y,Z)} \varepsilon_b^{(Y)} \varepsilon_b^{(Z)} n_b &+ \kappa_l^{(Y,Z)} \varepsilon_l^{(Y)} \varepsilon_l^{(Z)} n_l &= N^{(Y,Z)} \\
\kappa_b^{(Z,X)} \varepsilon_b^{(Z)} \varepsilon_b^{(X)} n_b &+ \kappa_l^{(Z,X)} \varepsilon_l^{(Z)} \varepsilon_l^{(X)} n_l &= N^{(Z,X)} \\
\kappa_b^{(X,Y,Z)} \varepsilon_b^{(X)} \varepsilon_b^{(Y)} \varepsilon_b^{(Z)} n_b &+ \kappa_l^{(X,Y,Z)} \varepsilon_l^{(X)} \varepsilon_l^{(Y)} \varepsilon_l^{(Z)} n_l &= N^{(X,Y,Z)}
\end{aligned}$$

Lösung von System8

Numerische Lösung des Gleichungssystems (mittels MINUIT) für einen Satz von
$\left\{N, N^{(X)}, N^{(Y)}, N^{(Z)}, N^{(XY)}, N^{(YZ)}, N^{(ZX)}, N^{(XYZ)}\right\}$

Minimiere

$$(n_b + n_l - N)^2 + \left(\varepsilon_b^{(X)} n_b + \varepsilon_l^{(X)} n_l - N^{(X)}\right)^2 + \dots$$

Überprüfung, ob Lösung physikalisch sinnvoll ist:

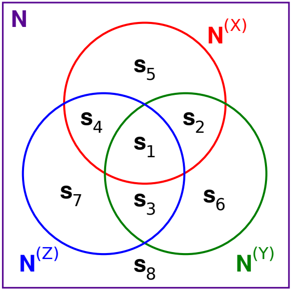
$$0 < \varepsilon < 1$$
$$0 < \{n_b, n_l\} < N$$
$$\varepsilon_b > \varepsilon_l$$

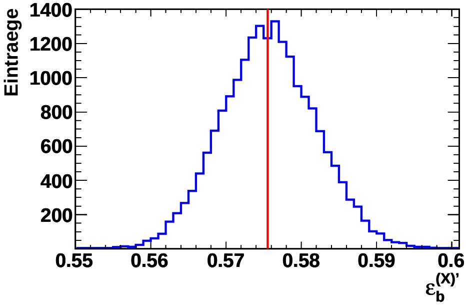
$\rightarrow$ Ausgabeparameter $\left\{n_b, n_l, \varepsilon_b^{(X)}, \varepsilon_l^{(X)}, \varepsilon_b^{(Y)}, \varepsilon_l^{(Y)}, \varepsilon_b^{(Z)}, \varepsilon_l^{(Z)}\right\}$

Statistische Unsicherheiten

- Variiere $\left\{N, N^{(X)}, N^{(Y)}, N^{(Z)}, N^{(XY)}, N^{(YZ)}, N^{(ZX)}, N^{(XYZ)}\right\}$
- Löse Gleichungssystem für variierte $\left\{N', N^{(X)\prime}, \ldots\right\}$
  $\rightarrow \left\{n'_b, n'_l, \varepsilon_b^{(X)\prime}, \varepsilon_l^{(X)\prime}, \ldots\right\}$

Wiederhole diese Prozedur mehrfach ($\mathcal{O}(10000)$)
$\rightarrow$ Berechnung des RMS bezüglich unvariierter Lösung





Anwendung auf Monte Carlo und Daten

Datensätze und Selektion

ATLAS-Daten

- $\mathcal{L} \approx 2{,}6\ \text{pb}^{-1}$
- Verwendete Datensätze: Periode A-F2 (2010)

Monte Carlo

- Pythia QCD-Ereignisse werden zum MC-Daten-Vergleich verwendet
- Alpgen QCD-Ereignisse werden zur Validierung von System8 verwendet (wegen ausreichender Statistik)

Trigger

≥ 1 Jet mit assoziiertem Myon

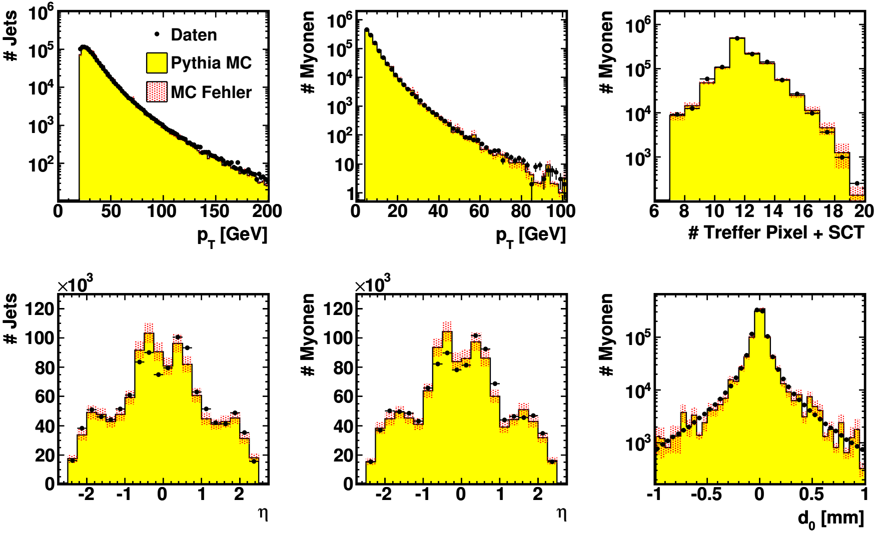
Jets

- $p_T > 20$ GeV
- $|\eta| < 2{,}5$
- ΔR(Jet, Myon)$< 0{,}4$

Myonen

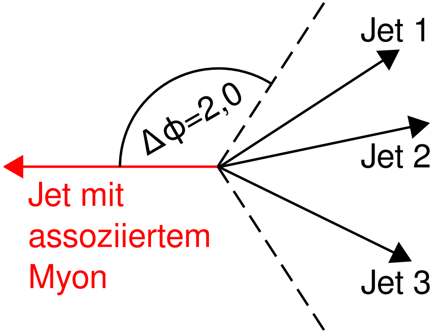
- $p_T > 4$ GeV
- $|\eta| < 2{,}5$
- Qualitätsschnitte auf Spuren

Jets assoziierte Myonen



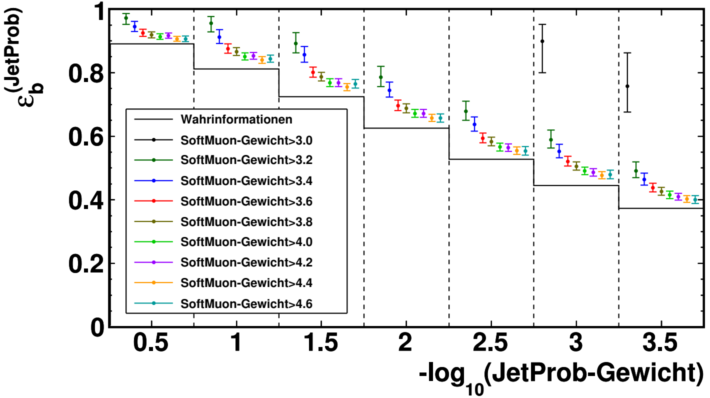
Verwendete Tagger (X,Y,Z):

- JetProb-Tagger mit $-\log_{10}(\text{Gewicht}) > 0{,}5;\ 1{,}0;\ 1{,}5;\ 2{,}0;\ 2{,}5;\ 3{,}0;\ 3{,}5$
- JetProb-AwaySide-Tagger Verlange gegenüberliegenden Jet ($\Delta\phi > 2{,}0$) mit $-\log_{10}(\text{Gewicht}) > 2{,}0$
- SoftMuon-Tagger mit Gewicht $> 3{,}0;\ 3{,}2;\ 3{,}4;\ 3{,}6;\ 3{,}8;\ 4{,}0;\ 4{,}2;\ 4{,}4;\ 4{,}6$



Alle κ's $= 1$

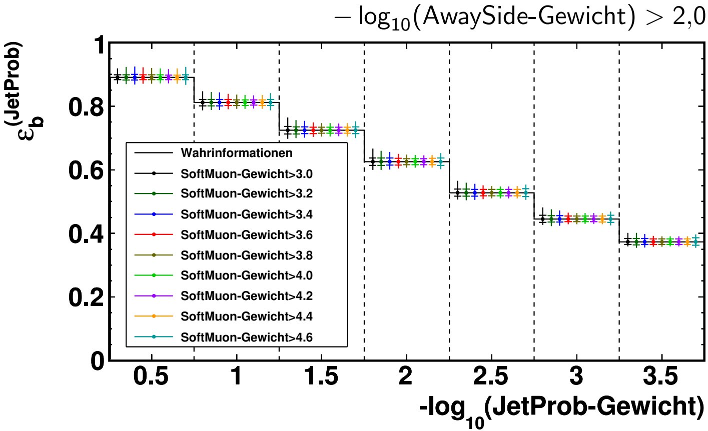
$-\log_{10}(\text{AwaySide-Gewicht}) > 2{,}0$



Abweichungen aufgrund von nicht berücksichtigten Korrelationen

System8 – Anwendung auf Monte Carlo

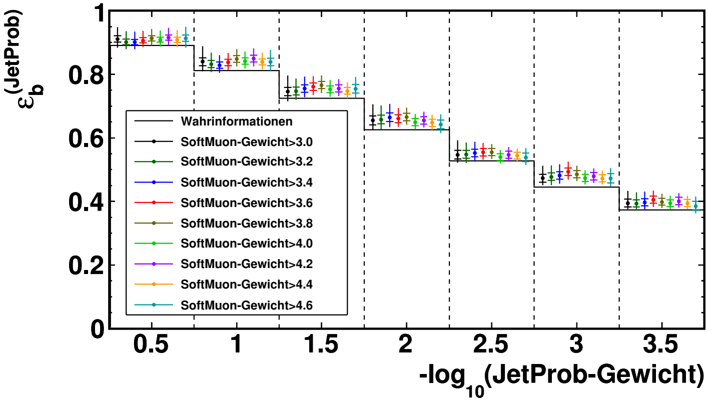
Extrahiere $\{N, N^{(X)}, \ldots\}$ und κ's aus gleicher Samplehälfte
Äußere Fehlerbalken enthalten Unsicherheiten auf Korrekturfaktoren κ



Liefert wie erwartet perfekte Lösung

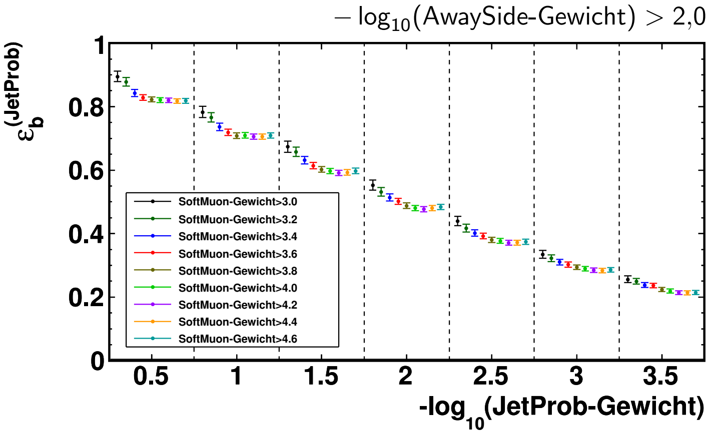
Extrahiere $\{N, N^{(X)}, \ldots\}$ aus einer Hälfte des Samples
κ's aus anderer Hälfte

$-\log_{10}(\text{AwaySide-Gewicht}) > 2{,}0$



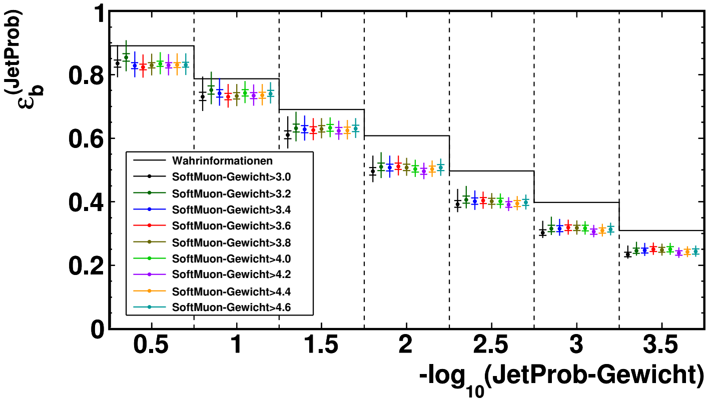
Korrelationen werden kompensiert

Alle κ's $= 1$



κ's aus Pythia-Monte-Carlo
Wahrinformationen aus Pythia-Monte-Carlo

$-\log_{10}(\text{AwaySide-Gewicht}) > 2{,}0$



Zusammenfassung

- Implementierung von System8:
  Methode zur Extraktion von b-Tagging-Effizienzen aus Daten
- Validierung mittels Monte Carlo zeigt Anwendbarkeit der Methode
- Bestimmung stabiler Arbeitspunkte zur Anwendung von System8
- Bestimmung von Korrekturfaktoren zur Kompensation der Korrelationen zwischen den verwendeten Taggern
- Erfolgreiche Übertragung der Methode auf Daten
- Daten-MC-Abweichungen geben erste Einschätzungen über die Güte der Simulation der b-Tagging Effizienzen

Backup

Datensätze und Selektion - Daten

Datasätze und Ereignisselektion

- Benutzte Datensätze: Periode A-F2
- $\mathcal{L} \approx 2{,}6\text{pb}^{-1}$
- Benutzte GRL: grl-100903-noprescaled_A-F2.xml
- Trigger: L2_mu4_j5_matched or L2_mu4_L1J5_matched
- Mindestens ein rekonstruierter PV
- Mindestens ein Taggable Jet

AwaySide-Jet

- $\Delta\phi$(Jet, Jet)$> 2{,}0$
- $p_T > 20$ GeV
- $|\eta| < 2{,}5$

Taggable Jets

- $p_T > 20$ GeV
- $|\eta| < 2{,}5$
- ΔR(Jet, Myon) $< 0{,}4$

Myonen

- $p_T > 4$ GeV
- $|\eta| < 2{,}5$
- $\#$ Treffer b-Layer ≥ 1
- $\#$ Treffer Pixel ≥ 2
- $\#$ Treffer Pixel+SCT ≥ 7
- $|d_0| < 1$ mm
- $|z_0 \cdot \sin\theta| < 1{,}5$ mm

Datensätze und Selektion - Monte Carlo (Pythia)

Datasätze und Ereignisselektion

- Alpgen QCD-Ereignisse
- Trigger:
  L2_mu4_j5_matched or
  L2_mu4_L1J5_matched
- Mindestens ein rekonstruierter PV
- Mindestens ein Taggable Jet

AwaySide-Jet

- $\Delta\phi$(Jet, Jet)$>$ 2,0
- $p_T > 20$ GeV
- $|\eta| < 2{,}5$

Taggable Jets

- $p_T > 20$ GeV
- $|\eta| < 2{,}5$
- ΔR(Jet, Myon) $< 0{,}4$

Myonen

- $p_T > 4$ GeV
- $|\eta| < 2{,}5$
- # Treffer b-Layer ≥ 1
- # Treffer Pixel ≥ 2
- # Treffer Pixel+SCT ≥ 7
- $|d_0| < 1$ mm
- $|z_0 \cdot \sin\theta| < 1{,}5$ mm

Datasätze und Selektion - Monte Carlo (Alpgen)

Datasätze und Ereignisselektion

- Alpgen QCD-Ereignisse
- Mindestens ein rekonstruierter PV
- Mindestens ein Taggable Jet

AwaySide-Jet

- $\Delta\phi$(Jet, Jet)$>$ 2,0
- $p_T > 20$ GeV
- $|\eta| < 2{,}5$

Taggable Jets

- $p_T > 20$ GeV
- $|\eta| < 2{,}5$
- ΔR(Jet, Myon) $< 0{,}4$

Myonen

- $p_T > 4$ GeV
- $|\eta| < 2{,}5$
- $\#$ Treffer b-Layer ≥ 1
- $\#$ Treffer Pixel ≥ 2
- $\#$ Treffer Pixel+SCT ≥ 7
- $|d_0| < 1$ mm
- $|z_0 \cdot \sin\theta| < 1{,}5$ mm

Verwendete Datensätze

Monte Carlo (Alpgen)

user.RichardHawkings.0108180.topmix_MuonswBeam.AOD.r1306q/

Monte Carlo (Pythia)

mc09_7TeV.105010.J1_pythia_jetjet.merge.NTUP_BTAG.e468_s766_s767_r1303_r1306_p245/
mc09_7TeV.105011.J2_pythia_jetjet.merge.NTUP_BTAG.e468_s766_s767_r1303_r1306_p245/
mc09_7TeV.105012.J3_pythia_jetjet.merge.NTUP_BTAG.e468_s766_s767_r1303_r1306_p245/
mc09_7TeV.105013.J4_pythia_jetjet.merge.NTUP_BTAG.e468_s766_s767_r1303_r1306_p245/

Daten

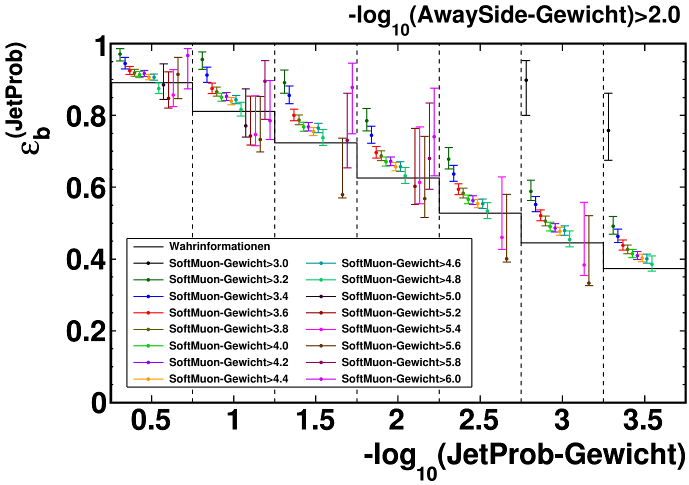
Periode A-F ($\rightarrow$ runs 152166-162882):

data10_7TeV.00152166.physics_L1Calo.merge.NTUP_BTAG.r1297_p161_p245/

$\vdots$

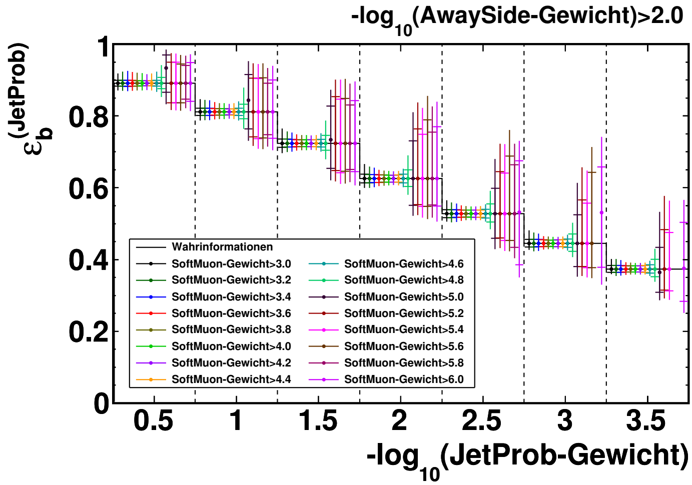
data10_7TeV.00162882.physics_JetTauEtmiss.merge.NTUP_BTAG.f287_m588_p245/

Alle κ's $= 1$

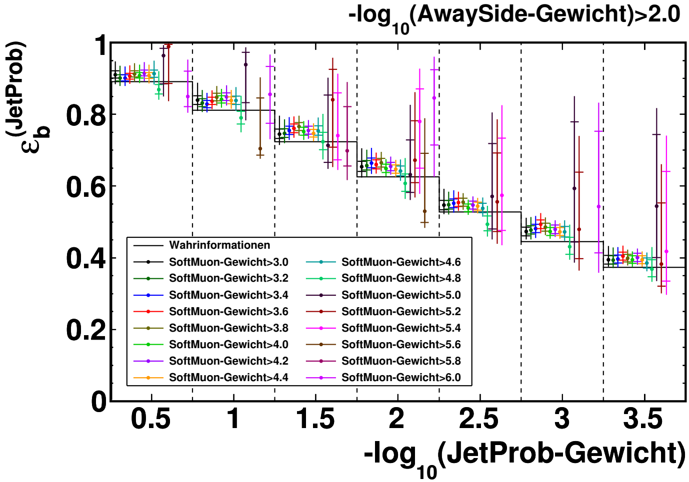


System8 – Anwendung auf Monte Carlo

Extrahiere $\{N, N^{(X)}, \ldots\}$ und κ's aus gleicher Samplehälfte
Äußere Fehlerbalken enthalten Unsicherheiten auf Korrekturfaktoren κ

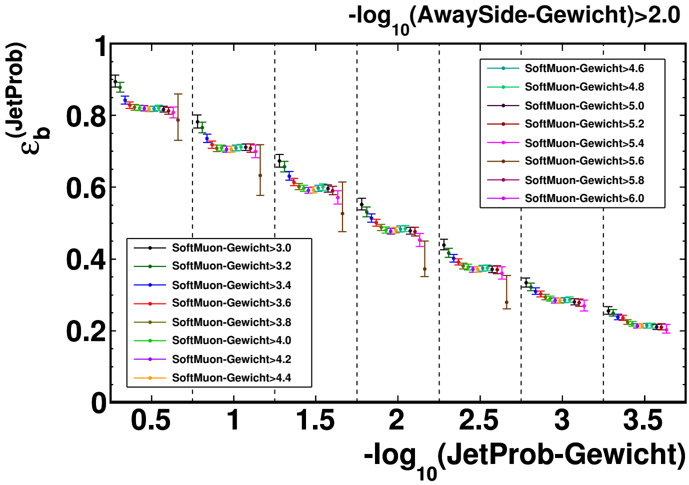


Extrahiere $\{N, N^{(X)}, \ldots\}$ aus einer Hälfte des Samples
κ's aus anderer Hälfte



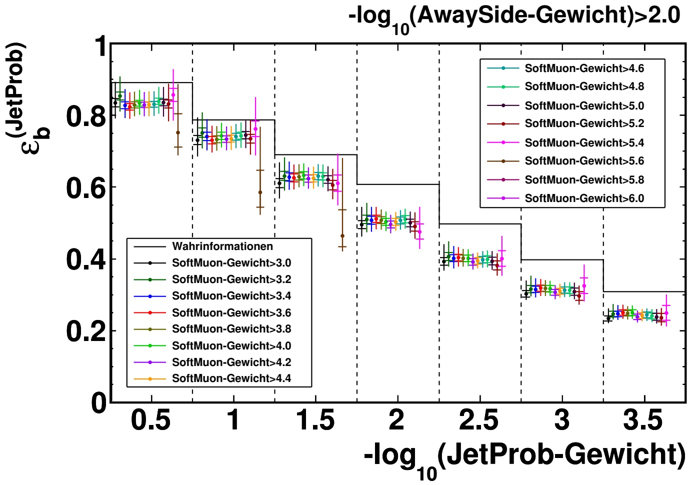
System8 – Anwendung auf Daten

Alle κ's $= 1$



κ's aus Pythia-Monte-Carlo

Wahrinformationen aus Pythia-Monte-Carlo



System8

$$
\begin{aligned}
f_b &+ & f_l &= 1 \\
\varepsilon_b^{(X)} f_b &+ & \varepsilon_l^{(X)} f_l &= q^{(X)} \\
\varepsilon_b^{(Y)} f_b &+ & \varepsilon_l^{(Y)} f_l &= q^{(Y)} \\
\varepsilon_b^{(Z)} f_b &+ & \varepsilon_l^{(Z)} f_l &= q^{(Z)} \\
\kappa_b^{(X,Y)} \varepsilon_b^{(X)} \varepsilon_b^{(Y)} f_b &+ & \kappa_l^{(X,Y)} \varepsilon_l^{(X)} \varepsilon_l^{(Y)} f_l &= q^{(X,Y)} \\
\kappa_b^{(Y,Z)} \varepsilon_b^{(Y)} \varepsilon_b^{(Z)} f_b &+ & \kappa_l^{(Y,Z)} \varepsilon_l^{(Y)} \varepsilon_l^{(Z)} f_l &= q^{(Y,Z)} \\
\kappa_b^{(Z,X)} \varepsilon_b^{(Z)} \varepsilon_b^{(X)} f_b &+ & \kappa_l^{(Z,X)} \varepsilon_l^{(Z)} \varepsilon_l^{(X)} f_l &= q^{(Z,X)} \\
\kappa_b^{(X,Y,Z)} \varepsilon_b^{(X)} \varepsilon_b^{(Y)} \varepsilon_b^{(Z)} f_b &+ & \kappa_l^{(X,Y,Z)} \varepsilon_l^{(X)} \varepsilon_l^{(Y)} \varepsilon_l^{(Z)} f_l &= q^{(X,Y,Z)}
\end{aligned}
$$

(mit $q^{(U)} = N^{(U)}/N$, $f_{b,l} = n_{b,l}/N$)

$$
\begin{aligned}
\kappa_{b,l}^{(U,V)} &= \varepsilon_{b,l}^{(U,V)} / (\varepsilon_{b,l}^{(U)} \times \varepsilon_{b,l}^{(V)}) \\
\kappa_{b,l}^{(U,V,W)} &= \varepsilon_{b,l}^{(U,V,W)} / (\varepsilon_{b,l}^{(U)} \times \varepsilon_{b,l}^{(V)} \times \varepsilon_{b,l}^{(W)})
\end{aligned}
$$

with $\varepsilon_{b,l}^{(U)} = N_{b,l}^{(U)} / N_{b,l}$

Lösung von System8

Minimiere

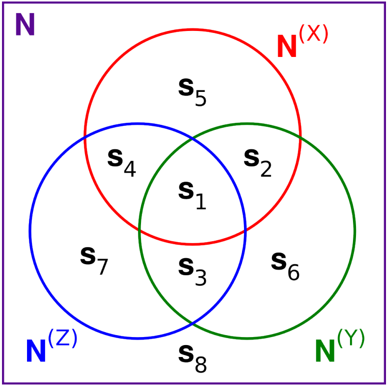
$$
\begin{aligned}
& (f_b + f_l - 1)^2 \\
+ \quad & \left(\varepsilon_b^{(X)} f_b + \varepsilon_l^{(X)} f_l - q^{(X)}\right)^2 / q^{(X)^2} \\
+ \quad & \left(\varepsilon_b^{(Y)} f_b + \varepsilon_l^{(Y)} f_l - q^{(Y)}\right)^2 / q^{(Y)^2} \\
+ \quad & \left(\varepsilon_b^{(Z)} f_b + \varepsilon_l^{(Z)} f_l - q^{(Z)}\right)^2 / q^{(Z)^2} \\
+ \quad & \left(\kappa_b^{(X,Y)} \varepsilon_b^{(X)} \varepsilon_b^{(Y)} f_b + \kappa_l^{(X,Y)} \varepsilon_l^{(X)} \varepsilon_l^{(Y)} f_l - q^{(X,Y)}\right)^2 / q^{(X,Y)^2} \\
+ \quad & \left(\kappa_b^{(Y,Z)} \varepsilon_b^{(Y)} \varepsilon_b^{(Z)} f_b + \kappa_l^{(Y,Z)} \varepsilon_l^{(Y)} \varepsilon_l^{(Z)} f_l - q^{(Y,Z)}\right)^2 / q^{(Y,Z)^2} \\
+ \quad & \left(\kappa_b^{(Z,X)} \varepsilon_b^{(Z)} \varepsilon_b^{(X)} f_b + \kappa_l^{(Z,X)} \varepsilon_l^{(Z)} \varepsilon_l^{(X)} f_l - q^{(Z,X)}\right)^2 / q^{(Z,X)^2} \\
+ \quad & \left(\kappa_b^{(X,Y,Z)} \varepsilon_b^{(X)} \varepsilon_b^{(Y)} \varepsilon_b^{(Z)} f_b + \kappa_l^{(X,Y,Z)} \varepsilon_l^{(X)} \varepsilon_l^{(Y)} \varepsilon_l^{(Z)} f_l - q^{(X,Y,Z)}\right)^2 / q^{(X,Y,Z)^2}
\end{aligned}
$$

(mit $q^{(U)} = N^{(U)}/N$)

$\rightarrow$ Ausgabeparameter $\left\{ f_b, f_l, \varepsilon_b^{(X)}, \varepsilon_l^{(X)}, \varepsilon_b^{(Y)}, \varepsilon_l^{(Y)}, \varepsilon_b^{(Z)}, \varepsilon_l^{(Z)} \right\}$
(mit $f_{b,l} = n_{b,l}/N$)

Disjunkte Menge

$$
\begin{aligned}
s_1 &= N^{(X,Y,Z)} \\
s_2 &= N^{(X,Y)} - s_1 \\
s_3 &= N^{(Y,Z)} - s_1 \\
s_4 &= N^{(Z,X)} - s_1 \\
s_5 &= N^{(X)} - s_4 - s_2 - s_1 \\
s_6 &= N^{(Y)} - s_3 - s_2 - s_1 \\
s_7 &= N^{(Z)} - s_4 - s_3 - s_1 \\
s_8 &= N - \sum_{i \leq 7} s_i
\end{aligned}
$$



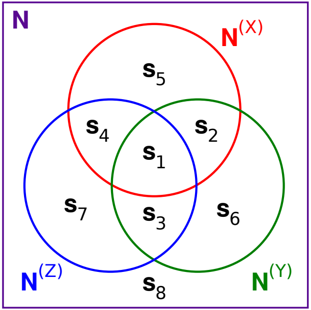
Statistische Unsicherheiten

- Variiere $\left\{N, N^{(X)}, N^{(Y)}, N^{(Z)}, N^{(XY)}, N^{(YZ)}, N^{(ZX)}, N^{(XYZ)}\right\}$
- Löse Gleichungssystem für variierte $\left\{N', N^{(X)\prime}, \dots\right\}$
  $\rightarrow \left\{n_b', n_l', \varepsilon_b^{(X)\prime}, \varepsilon_l^{(X)\prime}, \dots\right\}$

Wiederhole diese Prozedur mehrfach ($\mathcal{O}(10000)$)
$\rightarrow$ Berechnung des RMS bezüglich unvariierter Lösung

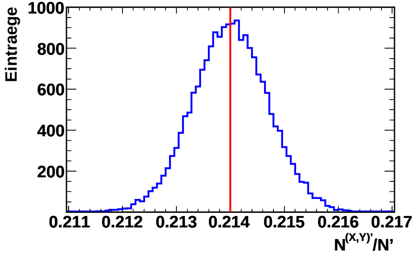
Da $N, N^{(X)}, \dots$ überlappen:

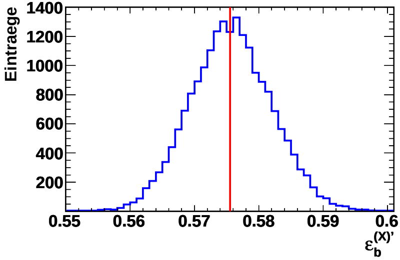
- Übergang zu disjunkten Mengen s_i
- Variation gemäß Gauß$(s_i, \sqrt{s_i})$
- Berechnung von $N', N^{(X)\prime}, \dots$



Statistische Unsicherheiten

Beispielverteilungen des Eingangsparameters $N^{(X,Y)\prime}/N'$ und des Ausgangsparameters $\epsilon_b^{(X)\prime}$ bei 20000 Variationen





Systematische Unsicherheiten

Systematische Unsicherheiten: Unsicherheiten der Korrekturfaktoren κ aufgrund der begrenzten Monte-Carlo-Statistik

Schritt 1

- Variiere 16 Eingangsparameter $\left\{N_b, N_l, N_b^{(X)}, N_l^{(X)}, \ldots\right\}$ unter Verwendung von disjunkten Mengen (analog zum Vorgehen für statistische Unsicherheiten)
- Berechne $\left\{\kappa_b^{(X,Y)\prime}, \kappa_l^{(X,Y)\prime}, \ldots\right\}$

Wiederhole diese Prozedur mehrfach ($\mathcal{O}(10000)$)
$\rightarrow$ Berechnung des RMS bezüglich unvariierter Lösung

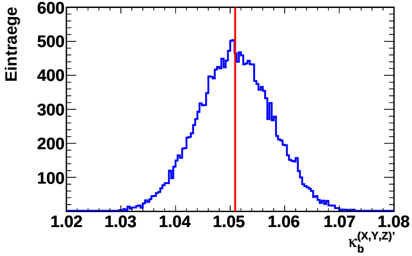
Schritt 2

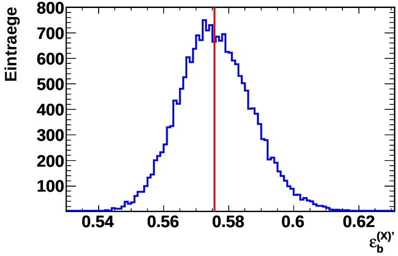
- Variiere $\left\{\kappa_b^{(X,Y)}, \kappa_l^{(X,Y)}, \ldots\right\}$ gemäß einer Gaußfunktion mit dem jeweiligen RMS als Breite
- Löse Gleichungssystem für variierte $\left\{\kappa_b^{(X,Y)\prime}, \kappa_l^{(X,Y)\prime}, \ldots\right\}$ $\rightarrow \left\{f_b', f_l', \varepsilon_b^{(X)\prime}, \varepsilon_l^{(X)\prime}, \ldots\right\}$

Wiederhole diese Prozedur mehrfach ($\mathcal{O}(10000)$)
$\rightarrow$ Berechnung des RMS bezüglich unvariierter Lösung

Systematische Unsicherheiten

Beispielverteilungen des Korrekturfaktors $\kappa_b^{(X,Y,Z)\prime}$ und des Ausgabeparameters $\epsilon_b^{(X)\prime}$ bei 20000 Variationen





Jet-Truth-Klassifikation

Klassifikation

- Jet wird als *b*-Jet klassifiziert wenn ein *b*-Quark mit $p_T > 5$ GeV mit $\Delta R \leq 0.3$ gefunden wird
- Wenn kein *b* gefunden wird, wird der Jet als leichter Jet klassifiziert

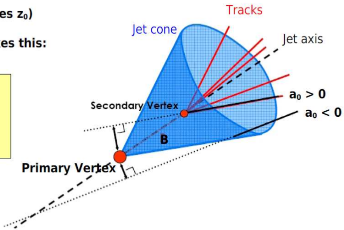
Vorzeichenbehafteter transversaler Stoßparameter

A short reminder about transverse impact parameters a_0:

(Similar for longitudinal ones z_0)

A typical B hadron looks likes this:

a_0 is distance between primary vertex and point of closest approach of track to primary vertex in the tranverse plane



Two main ways of signing an impact parameter in ATLAS:

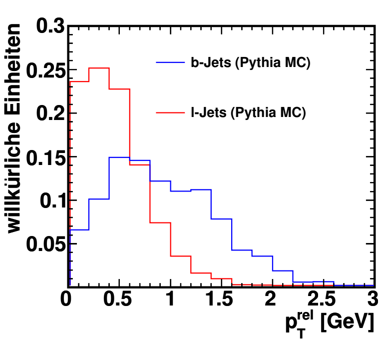
1.) Impact parameter as used in the general parametrization of tracks:
(general track is fixed by five parameters: φ, θ, q/p, d_0 and z_0)
Sign is just a convention in this case -> no physical information

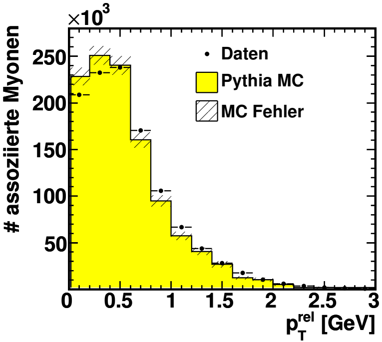
2.) Impact parameter as used for b-tagging:
Sign is calculated with respect to jet axis, positive if intersection of track with jet axis upstream with respect to jet flight direction

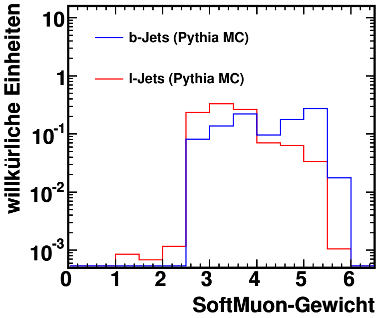
$$\mathrm{sign}(d_0) = (\vec{P}_j \times \vec{P}_t) \cdot \left(\vec{P}_t \times (\vec{X}_{pv} - \vec{X}_t)\right)$$

Zerfallspunkt des *b*-Hadrons muss entlang seiner Flugbahn liegen

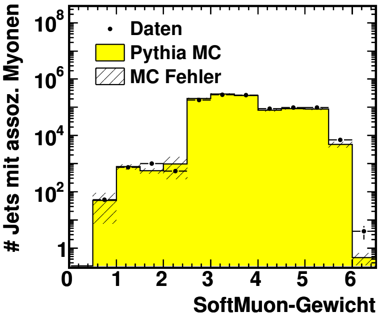
SoftMuon-Tagger Eingangsparameter





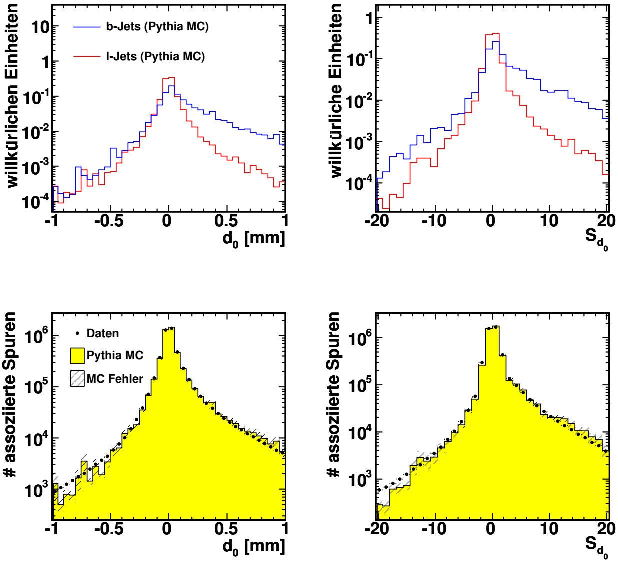


willkürliche Einheiten
10
1
10^{-1}
10^{-2}
10^{-3}
b-Jets (Pythia MC)
l-Jets (Pythia MC)
0
1
2
3
4
5
6
SoftMuon-Gewicht

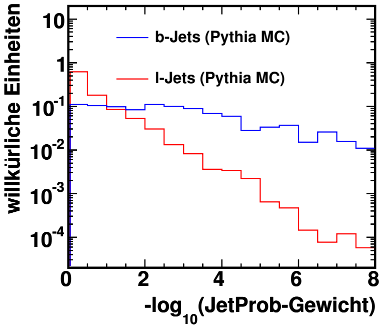


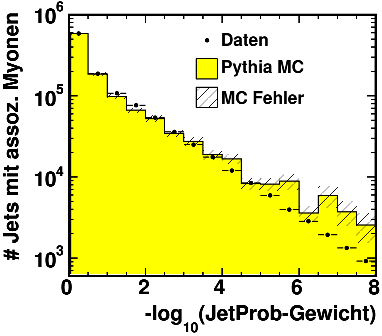
Jets mit assoz. Myonen
10^8
10^6
10^4
10^2
1
Daten
Pythia MC
MC Fehler
0
1
2
3
4
5
6
SoftMuon-Gewicht

JetProb-Tagger Eingangsparameter

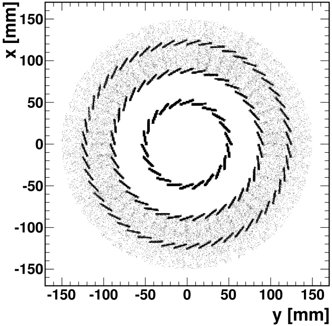


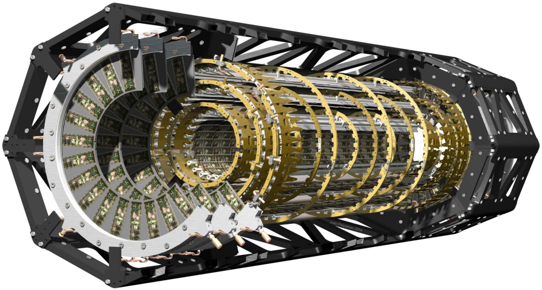
JetProb-Tagger Ausgabeparameter





Der ATLAS-Pixeldetektor





Der ATLAS-Pixeldetektor