

Performance des AMS-02-TRD

Philip von Doetinchem

`philip.doetinchem@rwth-aachen.de`

I. Physikalisches Institut B, RWTH-Aachen

Anforderung bei Messung der kosmischen Strahlung

★ Verhältnis von Protonen und Positronen in kosmischer Strahlung:

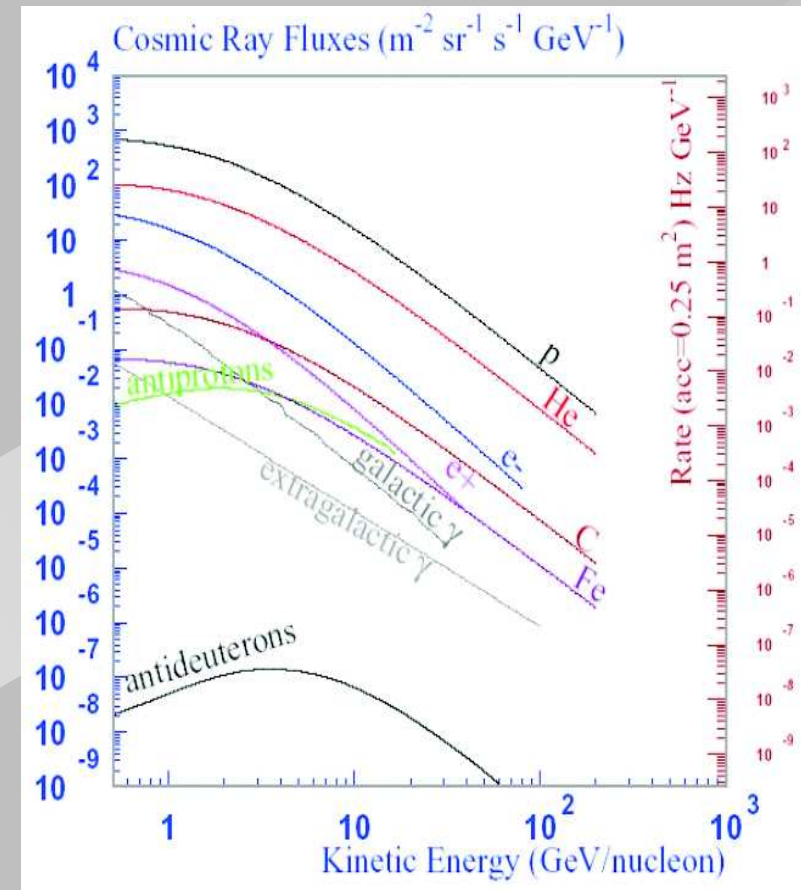
$$\frac{p^+}{e^+} \approx 10^4$$

⇒ bei Messung muss eine Trennung von p^+ und e^+ von ca. 10^6 erreicht werden.

★ Verhältnis von Elektronen und Antiprotonen in kosmischer Strahlung:

$$\frac{e^-}{p^-} \approx 10^2$$

⇒ bei Messung muss eine Trennung von e^- und p^- von ca. $10^3 - 10^4$ erreicht werden



Anforderung bei Messung der kosmischen Strahlung

☆ Verhältnis von Protonen und Positronen in kosmischer Strahlung:

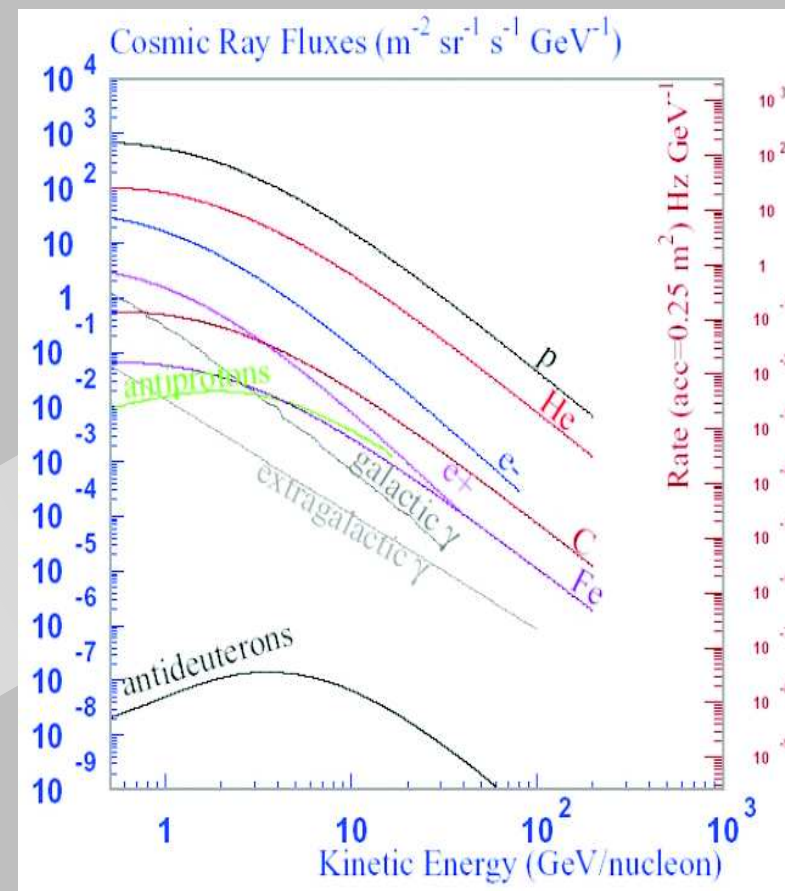
$$\frac{p^+}{e^+} \approx 10^4$$

⇒ bei Messung muss eine Trennung von p^+ und e^+ von ca. 10^6 erreicht werden.

☆ Verhältnis von Elektronen und Antiprotonen in kosmischer Strahlung:

$$\frac{e^-}{p^-} \approx 10^2$$

⇒ bei Messung muss eine Trennung von e^- und p^- von ca. $10^3 - 10^4$ erreicht werden

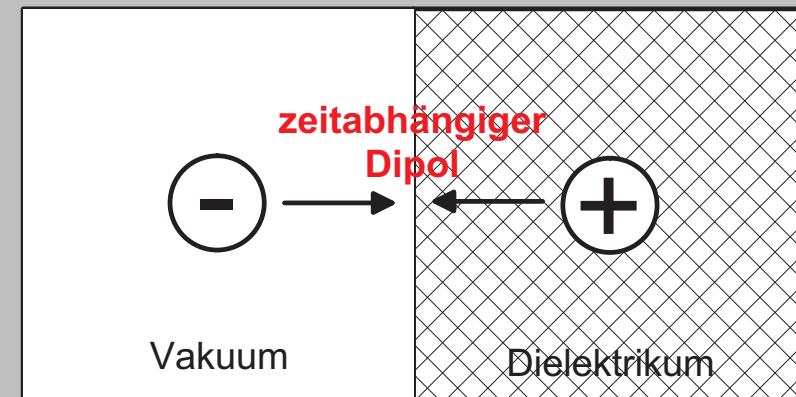


☆ **Effizienz:** Anteil richtig erkannter Teilchen einer Methode (hier: 90 %) ⇒ definiert Cut

☆ Der Kehrwert des Anteils falsch erkannter Teilchen, die über Cut liegen: **Rejection**

Trennung durch Übergangsstrahlung (TR)

- ★ Stetigkeit der em-Felder an Grenzflächen sorgt für Strahlung
- ★ mittlere Energie durch Übergangsstrahlung (**ladungsunabhängig**):



$$E \propto \alpha \cdot \gamma = \alpha \cdot \frac{E}{m}$$

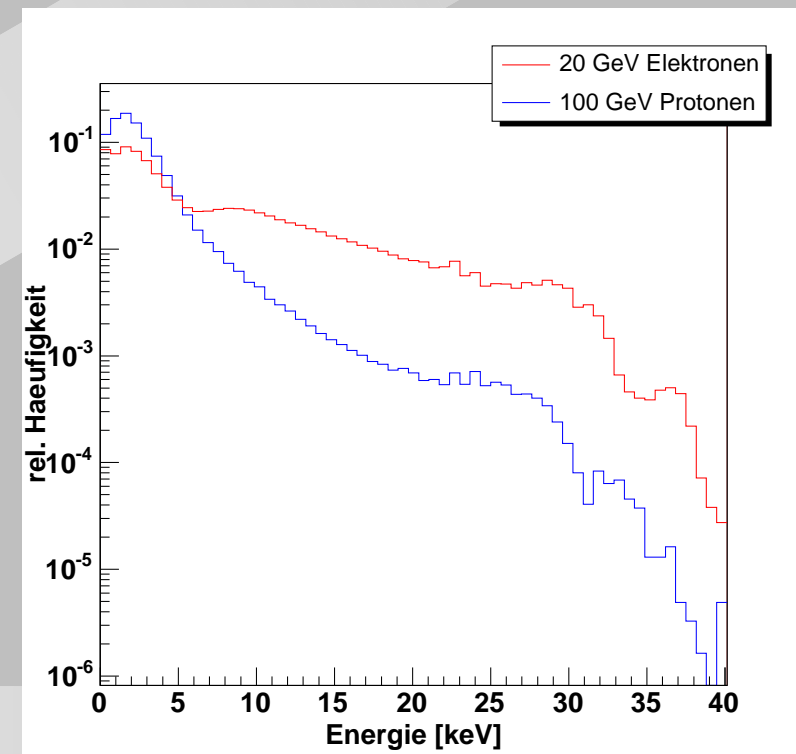
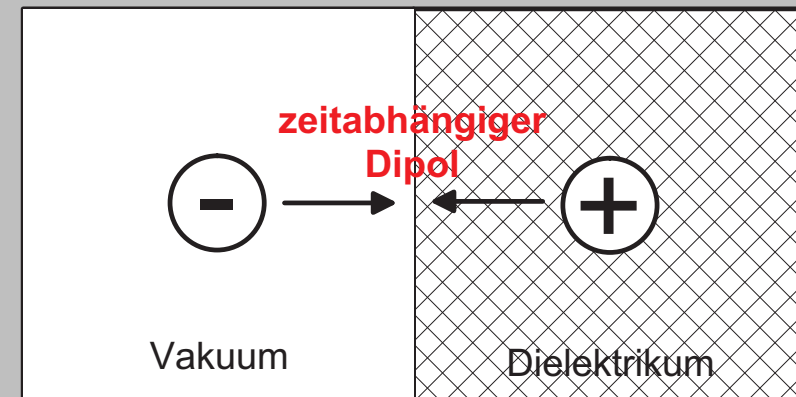
Trennung durch Übergangsstrahlung (TR)

★ Stetigkeit der em-Felder an Grenzflächen sorgt für Strahlung

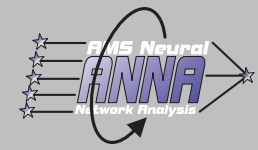
★ mittlere Energie durch Übergangsstrahlung (**ladungsunabhängig**):

$$E \propto \alpha \cdot \gamma = \alpha \cdot \frac{E}{m}$$

★ höhere mittlere Energie der TR für Elektronen dient zur Unterscheidung



Finaler AMS-02 TRD

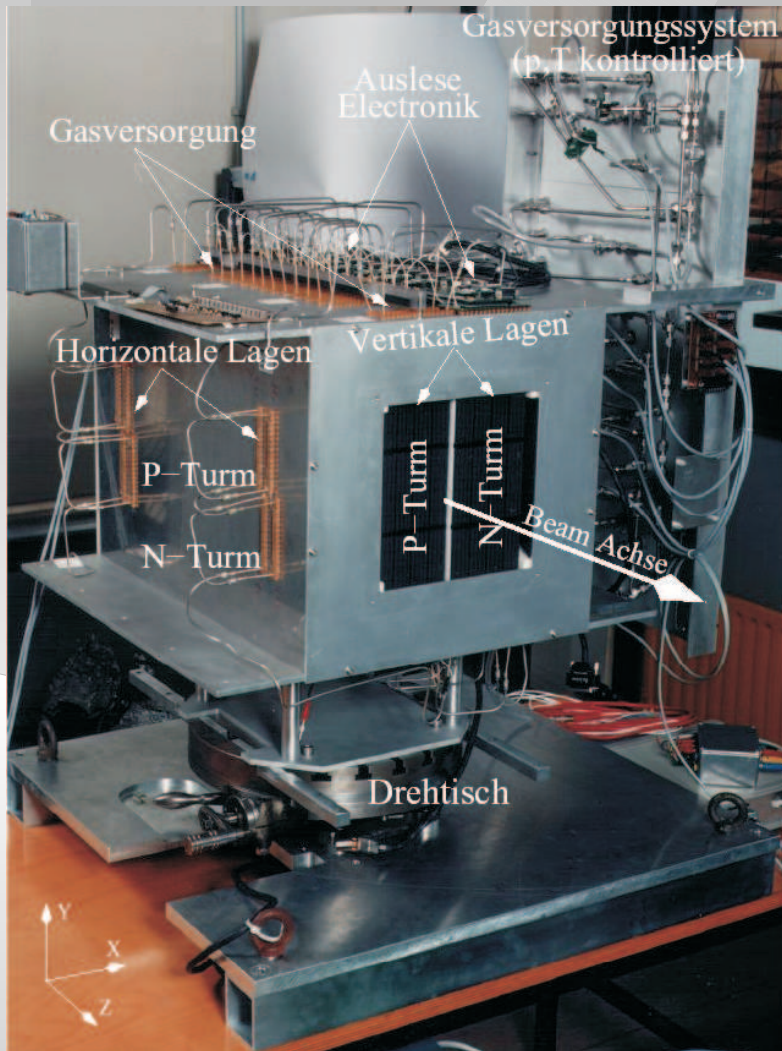
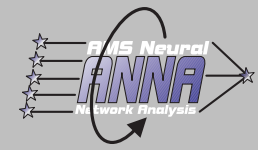


Finales TRD-Design:

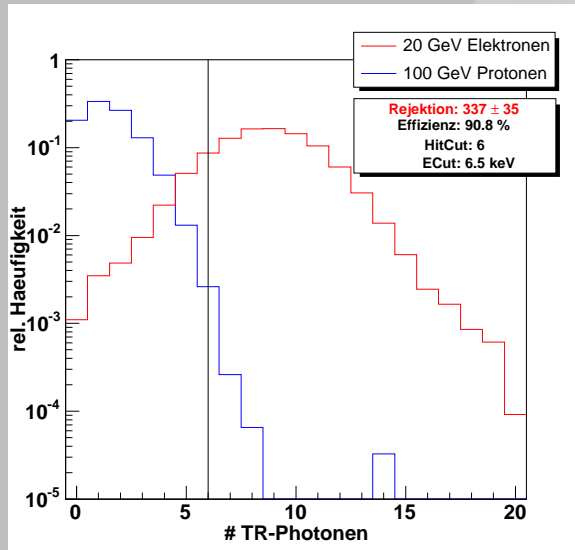
- ★ 20 Lagen aus 328 Modulen mit je 16 Proportionalkammern
- ★ gekreuzte Lagen zur 3D-Spurrekonstruktion
- ★ Gas: Xe/CO₂ im Verhältnis 80/20
- ★ zwischen den Lagen ATLAS Radiatorvlies
- ★ besondere Herausforderung: Präzisionsexperiment, was die Belastungen eines Shuttlestarts aushalten muss

Ziel: Teilchenidentifikation (z.B. Proton Rejection bis zu 10^3 für Positronidentifikation)

20-lagiger TRD-Prototyp



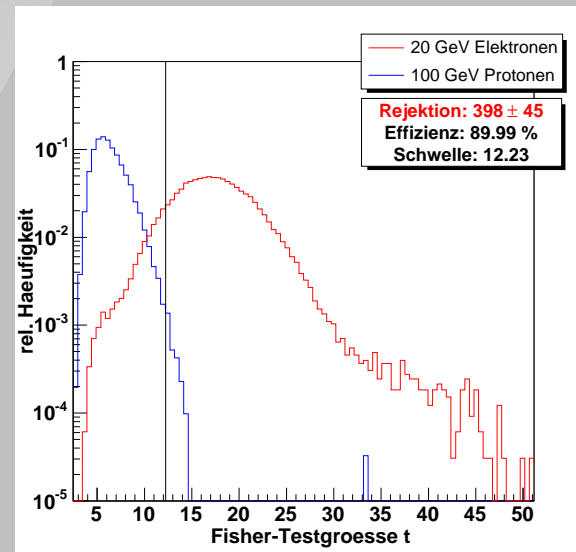
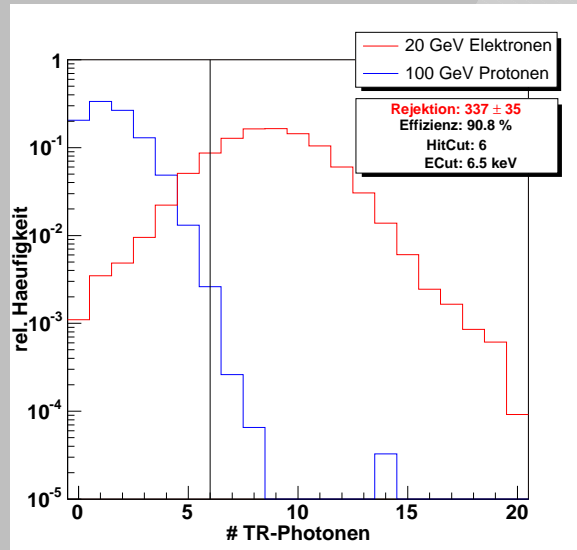
- ★ 20 Lagen, damit die Wahrscheinlichkeit der Übergangsstrahlung steigt.
- ★ Zwischen den Lagen: Radiatormaterial
- ★ Auswertung von Beamttests aus dem Jahr 2000
 - e^- : 20 GeV
 - p^+ : 20, 40, 60, 80, 100, 120, 140, 160, 180, 200, 250 GeV
- ★ Verwendung des Spurfits aus der Diss. von J. Orboeck



Cluster-Counting



Cluster-Counting: Es wird die Anzahl der hohen Energieeinträge pro Event bestimmt und als Kriterium zur Klassifikation verwendet.



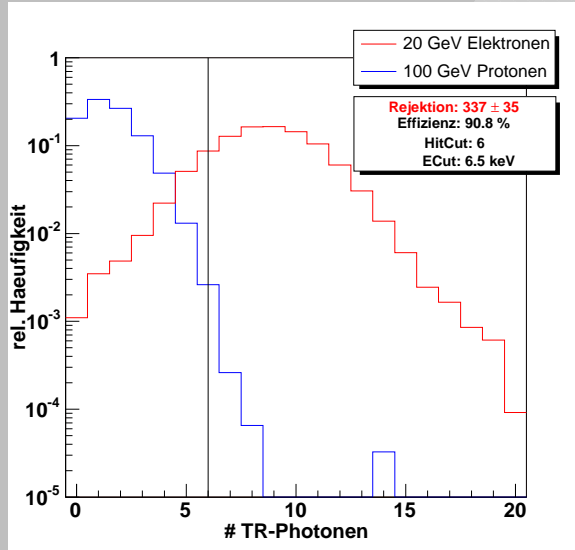
Cluster-Counting

★ **Cluster-Counting:** Es wird die Anzahl der hohen Energieeinträge pro Event bestimmt und als Kriterium zur Klassifikation verwendet.

★ **Fisher-Diskriminante:**
$$t = \sum_{i=1}^n f_i X_i - \frac{1}{2} \sum_{i=1}^n f_i (\bar{X}_i^{(1)} + \bar{X}_i^{(2)})$$

Es kann gezeigt werden, dass der Algorithmus bei Normalverteilung optimal ist.

Fisher-Diskriminante



Cluster-Counting

- ★ **Cluster-Counting:** Es wird die Anzahl der hohen Energieeinträge pro Event bestimmt und als Kriterium zur Klassifikation verwendet.

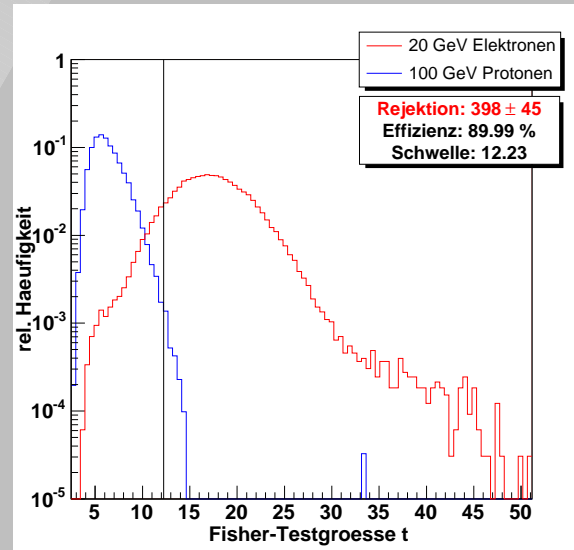
- ★ **Fisher-Diskriminante:**
$$t = \sum_{i=1}^n f_i X_i - \frac{1}{2} \sum_{i=1}^n f_i (\bar{X}_i^{(1)} + \bar{X}_i^{(2)})$$

Es kann gezeigt werden, dass der Algorithmus bei Normalverteilung optimal ist.

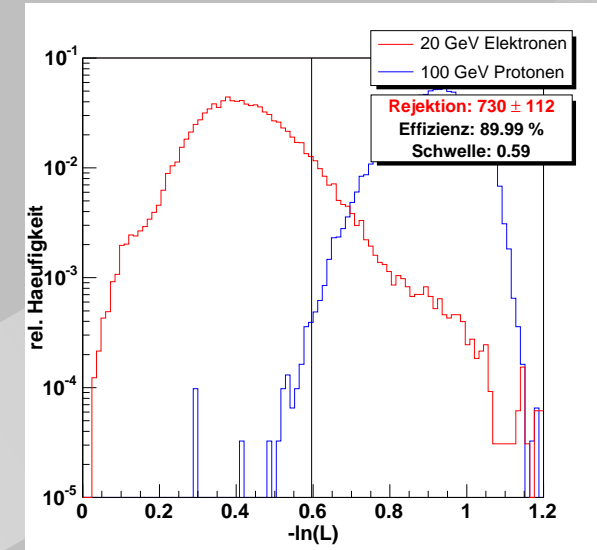
- ★ **Likelihood:** Ermittlung des mittleren LH-Wertes pro Event:
$$\bar{P}_{e/p} = \sqrt[n]{\prod_i P_{e/p}^{lay(i)}(E)}$$

Likelihood-Ratio:
$$L = \frac{\bar{P}_e}{\bar{P}_p + \bar{P}_e}$$

Verwendung analytischer Funktionen für $P_{e/p}(E)$, die an die Daten angepasst wurden.

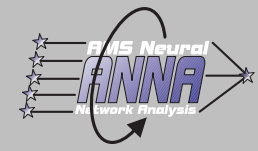


Fisher-Diskriminante



Likelihood-Analyse

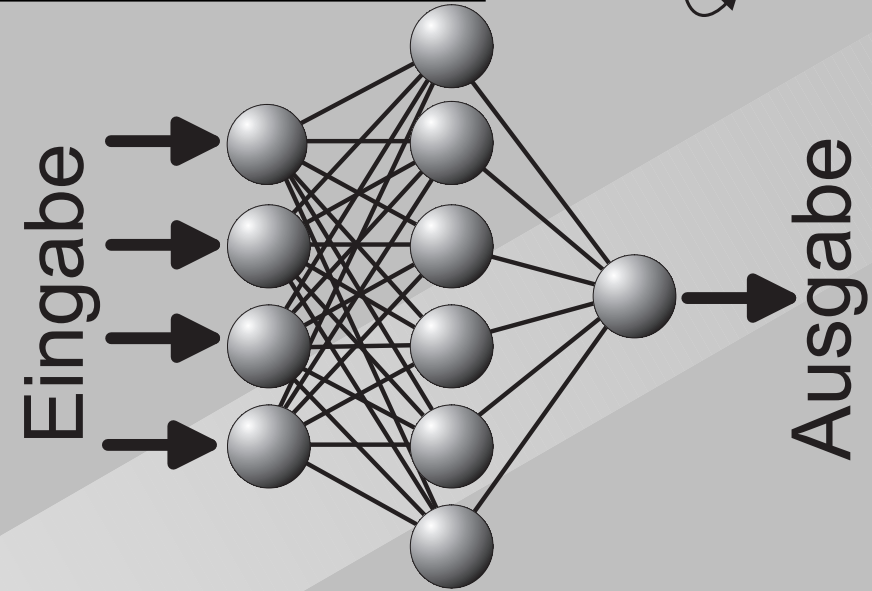
Kurze Einführung in Neuronale Netze (NN)



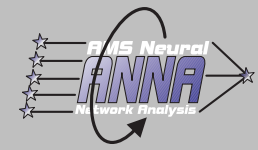
$\bar{\delta}$ - δ -Backpropagation-Lernregel:

$$F(\vec{w}) = \frac{1}{N} \sum_{k=1}^N \underbrace{(E(\vec{x}_k) - o_{\text{Netz}}(\vec{x}_k, \vec{w}))^2}_{f_k(\vec{w})}$$

$$\vec{w}(t+1) = \vec{w}(t) - \Delta \vec{w}(t+1)$$



Kurze Einführung in Neuronale Netze (NN)

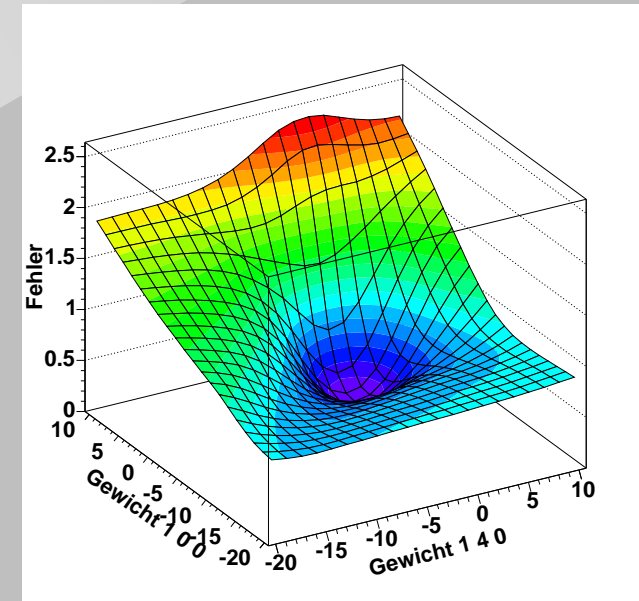
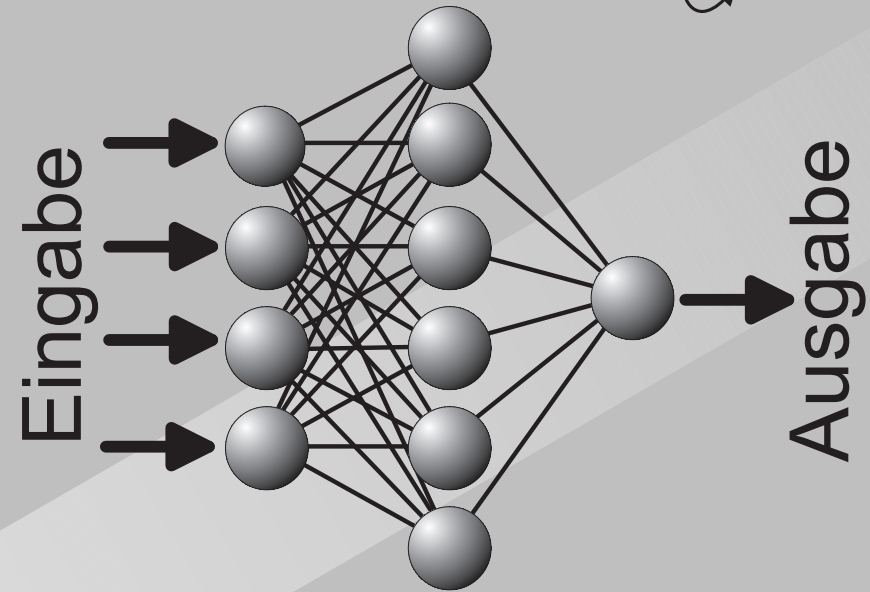


$\bar{\delta}$ - δ -Backpropagation-Lernregel:

$$F(\vec{w}) = \frac{1}{N} \sum_{k=1}^N \underbrace{(E(\vec{x}_k) - o_{\text{Netz}}(\vec{x}_k, \vec{w}))^2}_{f_k(\vec{w})}$$

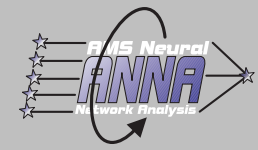
$$\vec{w}(t+1) = \vec{w}(t) - \Delta \vec{w}(t+1)$$

Ziel: Training bis zum minimalen Fehler!



Verlauf des Mean Square Errors ($F(\vec{w})$)
bei Variation eines Gewichtes

Kurze Einführung in Neuronale Netze (NN)



$\bar{\delta}$ - δ -Backpropagation-Lernregel:

$$F(\vec{w}) = \frac{1}{N} \sum_{k=1}^N \underbrace{(E(\vec{x}_k) - o_{\text{Netz}}(\vec{x}_k, \vec{w}))^2}_{f_k(\vec{w})}$$

$$\vec{w}(t+1) = \vec{w}(t) - \Delta \vec{w}(t+1)$$

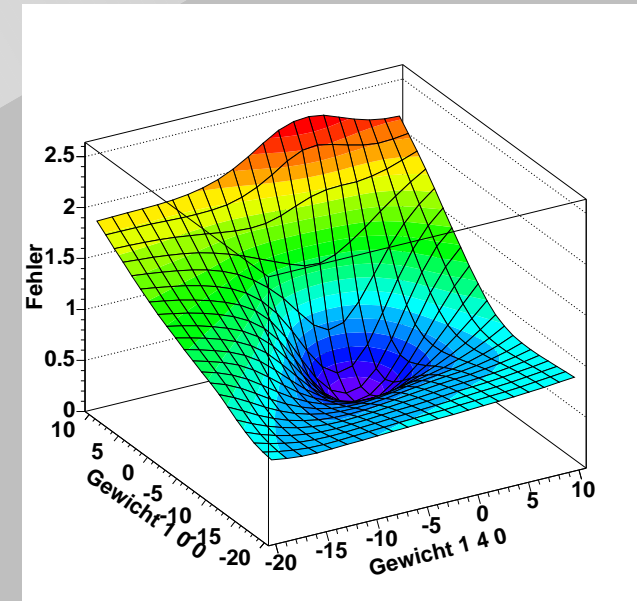
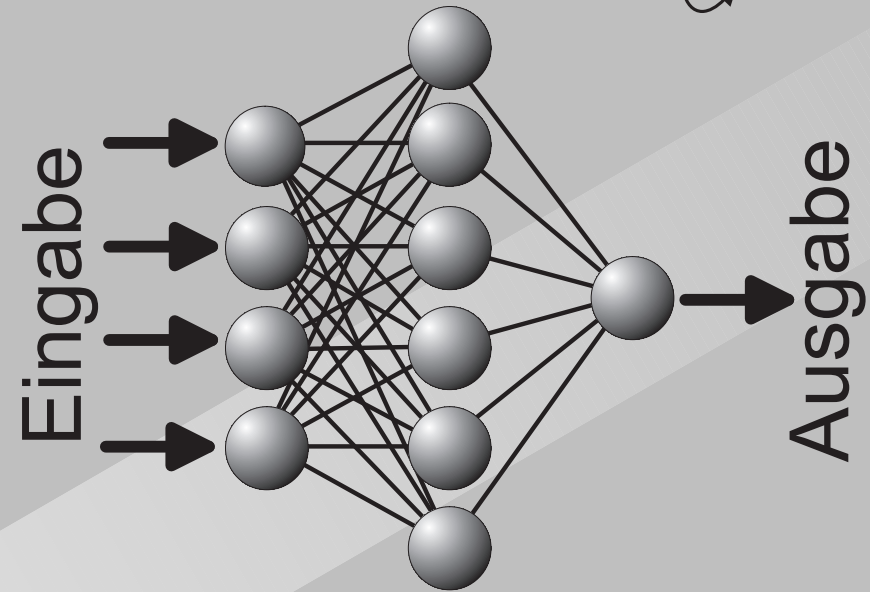
Ziel: Training bis zum minimalen Fehler!

$$\Delta w_i(t+1) = \eta_i(t+1) \cdot \frac{1}{N} \sum_{k=1}^N \frac{\partial f_k(\vec{w})}{\partial w_i}(t+1) + \alpha \cdot \Delta w_i(t)$$

η_i : individuelle Lernrate, α : Moment

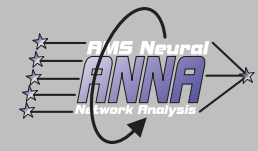
Veränderung der Lernrate:

$$\eta_i(t+1) = \begin{cases} \eta_i(t) \cdot (1 - \eta^-), & \frac{\partial f_k(\vec{w})}{\partial w_i}(t+1) \frac{\partial f_k(\vec{w})}{\partial w_i}(t) < 0, \\ \eta_i(t) + \eta^+, & \frac{\partial f_k(\vec{w})}{\partial w_i}(t+1) \frac{\partial f_k(\vec{w})}{\partial w_i}(t) > 0, \\ \eta_i(t), & \text{sonst.} \end{cases}$$



Verlauf des Mean Square Errors ($F(\vec{w})$) bei Variation eines Gewichtes

Teilchenidentifikation mit NN

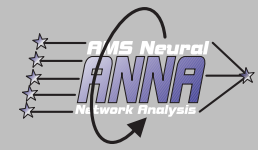


- ★ Anwendung von NN zur Separation von Teilchensorten mit folgender Abbildungsvorschrift:

$$\left. \begin{array}{l} \text{Elektronen} \rightarrow 1 \\ \text{Protonen} \rightarrow -1 \end{array} \right\} \rightarrow \text{Unterscheidungskriterium}$$

- ★ Eingabe in das NN:
 - analog zu anderen Analysemethoden: 20 Energien auf Spur (E_{Tube} -NN)
- ★ **Ziel:** nur 1 NN für alle Energien \Rightarrow Verwendung eines gemischten Datensatzes für die Protonen

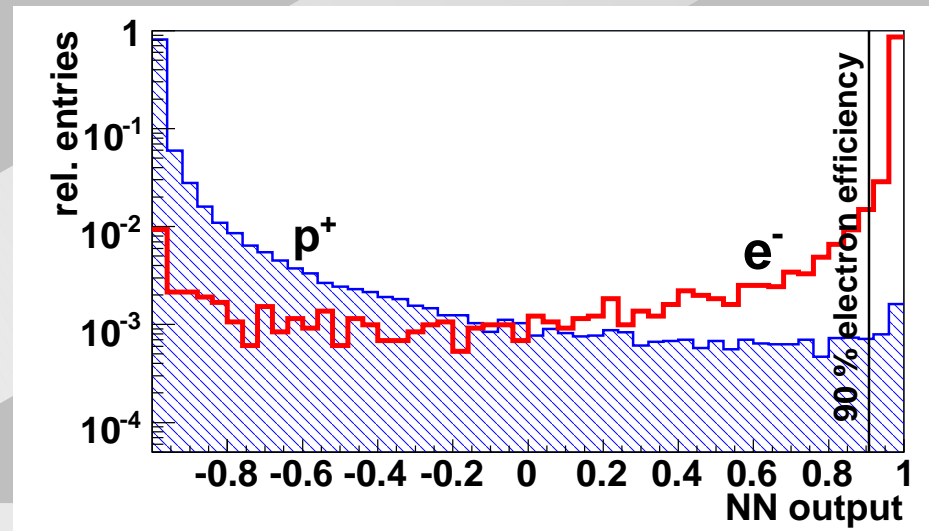
Teilchenidentifikation mit NN



- ★ Anwendung von NN zur Separation von Teilchensorten mit folgender Abbildungsvorschrift:

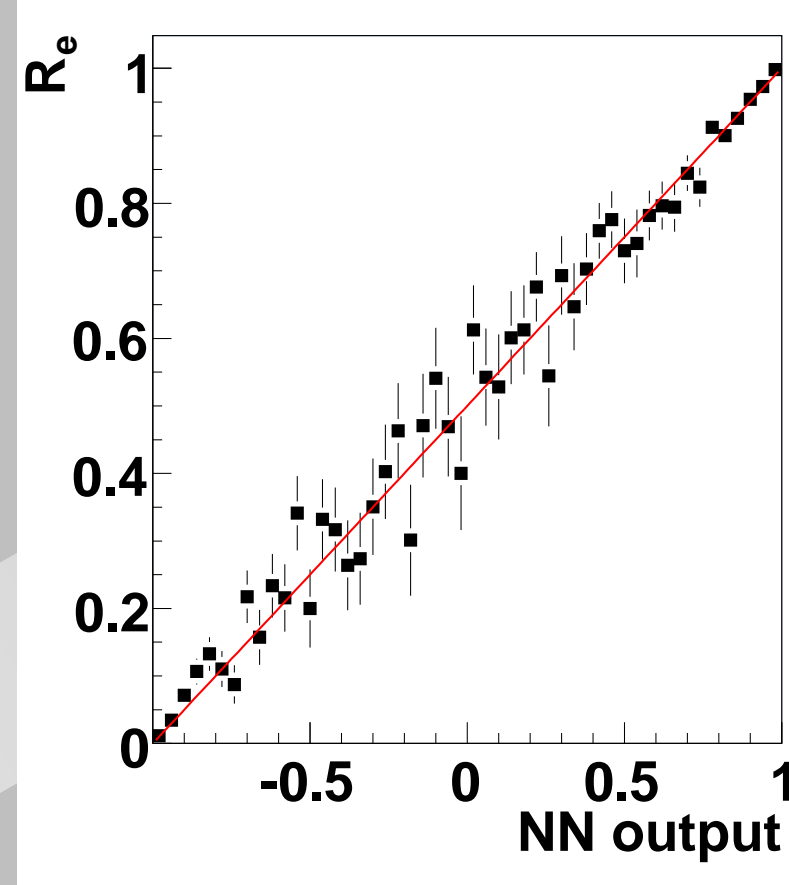
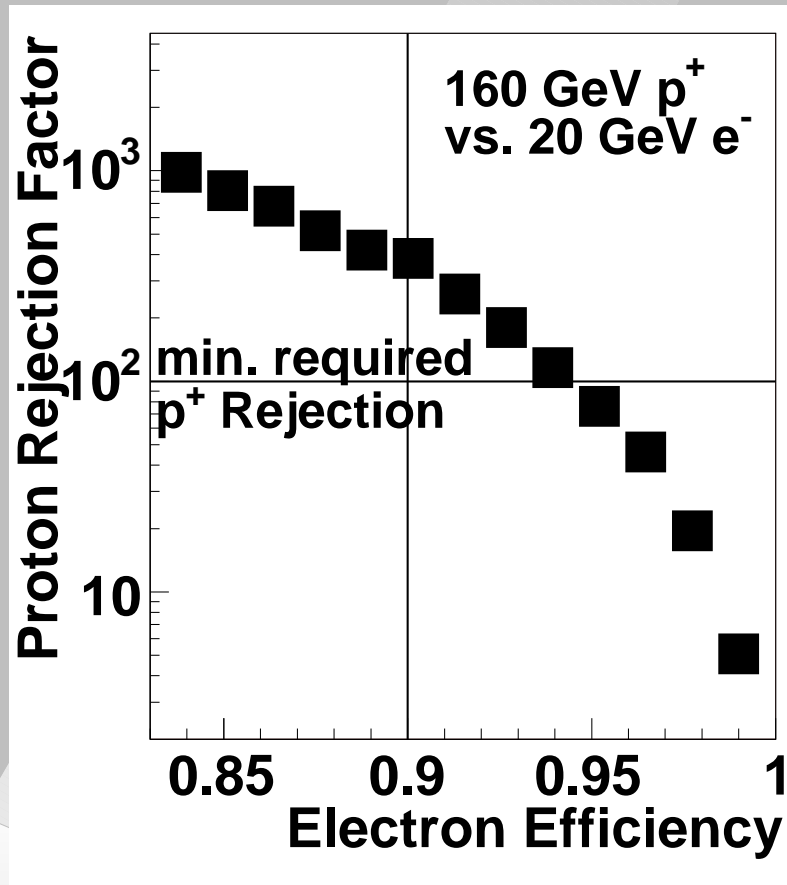
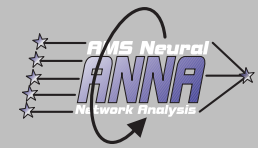
$$\left. \begin{array}{l} \text{Elektronen} \rightarrow 1 \\ \text{Protonen} \rightarrow -1 \end{array} \right\} \rightarrow \text{Unterscheidungskriterium}$$

- ★ Eingabe in das NN:
 - analog zu anderen Analysemethoden: 20 Energien auf Spur (E_{Tube} -NN)
- ★ **Ziel:** nur 1 NN für alle Energien \Rightarrow Verwendung eines gemischten Datensatzes für die Protonen



Ausgabe des trainierten NN

NN Eigenschaften



Variation der Effizienz hat glatten Verlauf

⇒ robustes Verhalten von NN bei Änderung der Effizienz

$$R_e = \frac{n_e}{n_p + n_e} = \frac{o_{\text{Netz}} + 1}{2}$$

gilt für optimal trainierte Netze

⇒ Netz ist gut trainiert!

- ☆ nach **Neyman-Pearson-Lemma** ist $\frac{P_0(\vec{x})}{P_1(\vec{x}) + P_0(\vec{x})} > c$ bester Hypothesentest
Likelihood arbeitet aber nur mit gemittelten Wahrscheinlichkeiten
⇒ **Verbesserung theoretisch möglich!**

☆ nach **Neyman-Pearson-Lemma** ist $\frac{P_0(\vec{x})}{P_1(\vec{x}) + P_0(\vec{x})} > c$ bester Hypothesentest

Likelihood arbeitet aber nur mit gemittelten Wahrscheinlichkeiten

⇒ **Verbesserung theoretisch möglich!**

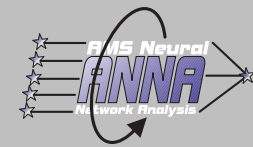
⇒ z.B. Eingabe von bisherigen Klassifikationsmethoden in ein **kombiniertes NN**

☆ Bedingungen für Verbesserung:

- jede Eingabe für sich sorgt schon für eine gute Trennung (*Likelihood, Zahl von Hits über 6.5 keV, E_{Tube} -NN, Fisher Testgröße, mittlere Energie*)

- Eingaben sollen möglichst unkorreliert sein

Korrelationsanalyse, Motivation eines weiteren Netzes



☆ nach **Neyman-Pearson-Lemma** ist $\frac{P_0(\vec{x})}{P_1(\vec{x}) + P_0(\vec{x})} > c$ bester Hypothesentest

Likelihood arbeitet aber nur mit gemittelten Wahrscheinlichkeiten

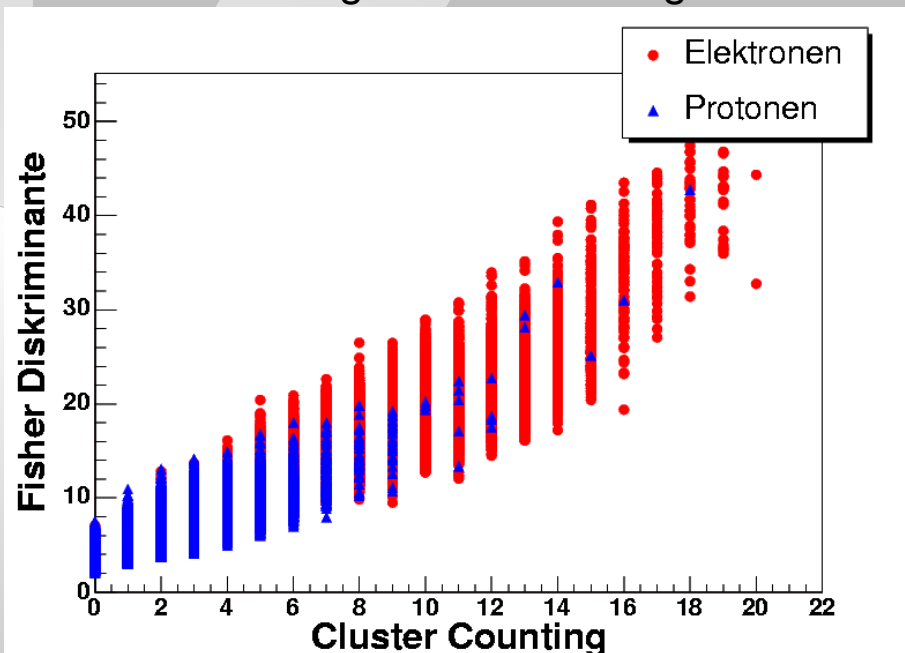
⇒ **Verbesserung theoretisch möglich!**

⇒ z.B. Eingabe von bisherigen Klassifikationsmethoden in ein **kombiniertes NN**

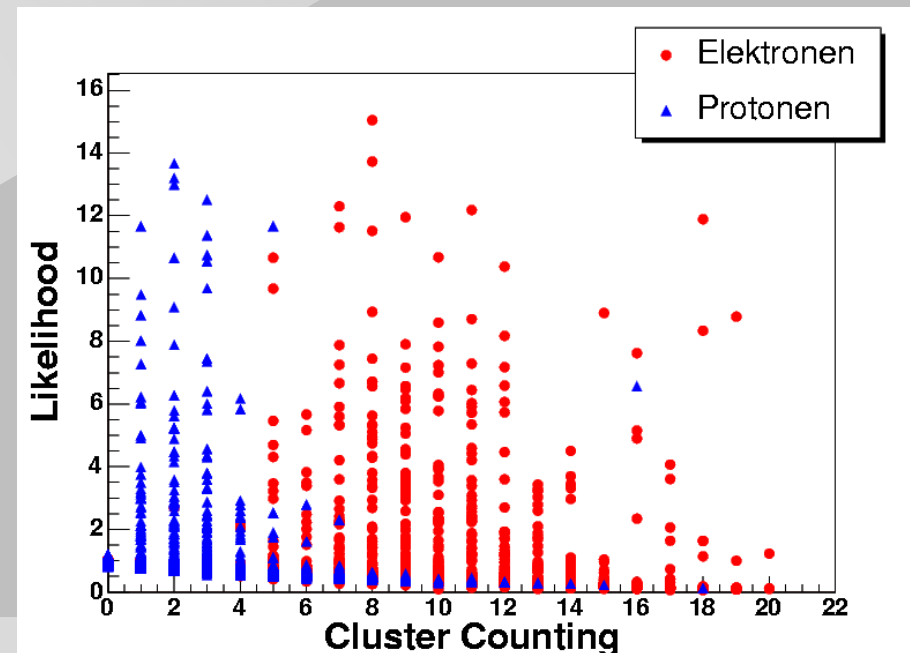
☆ Bedingungen für Verbesserung:

- jede Eingabe für sich sorgt schon für eine gute Trennung (*Likelihood, Zahl von Hits über 6.5 keV, E_{Tube} -NN, Fisher Testgröße, mittlere Energie*)

- Eingaben sollen möglichst unkorreliert sein

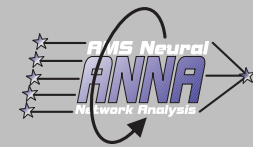


Abweichungen von perfekter Korrelation



geringe Korrelation

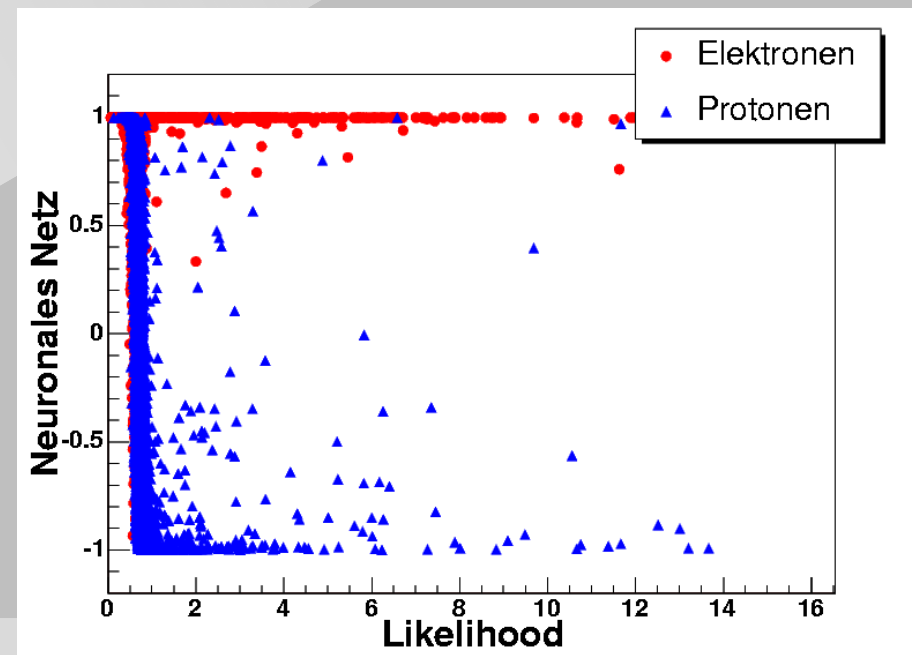
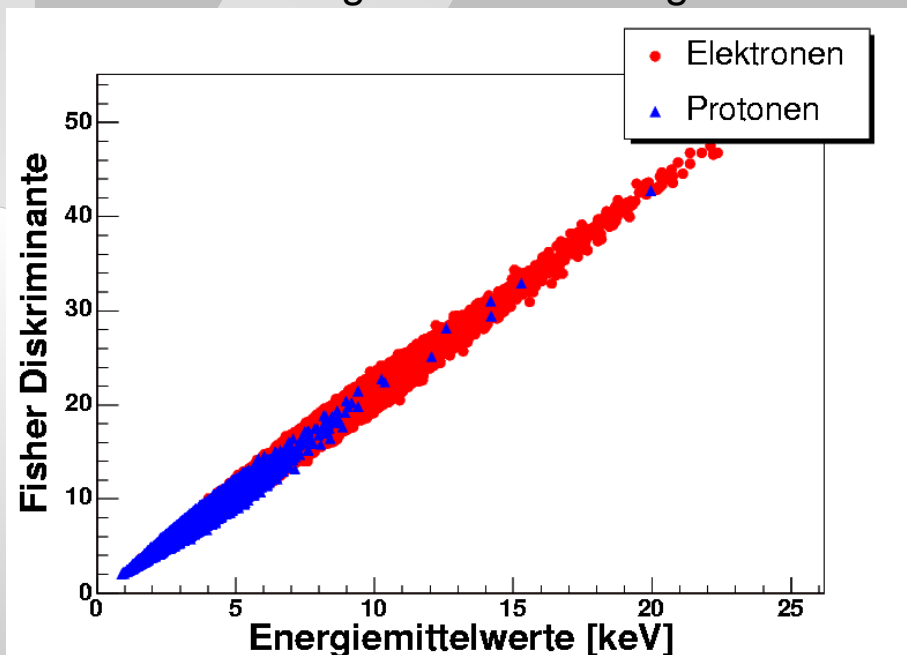
Korrelationsanalyse, Motivation eines weiteren Netzes



- ☆ nach **Neyman-Pearson-Lemma** ist $\frac{P_0(\vec{x})}{P_1(\vec{x}) + P_0(\vec{x})} > c$ bester Hypothesentest
Likelihood arbeitet aber nur mit gemittelten Wahrscheinlichkeiten
⇒ **Verbesserung theoretisch möglich!**

⇒ z.B. Eingabe von bisherigen Klassifikationsmethoden in ein **kombiniertes NN**

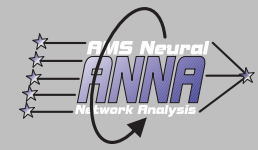
- ☆ Bedingungen für Verbesserung:
 - jede Eingabe für sich sorgt schon für eine gute Trennung (*Likelihood, Zahl von Hits über 6.5 keV, E_{Tube}-NN, Fisher Testgröße, mittlere Energie*)
 - Eingaben sollen möglichst unkorreliert sein



perfekte Korrelation ⇒ mittlere Energie nicht als Eingabe

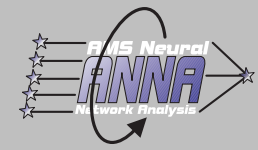
geringe Korrelation

Kombiniertes NN

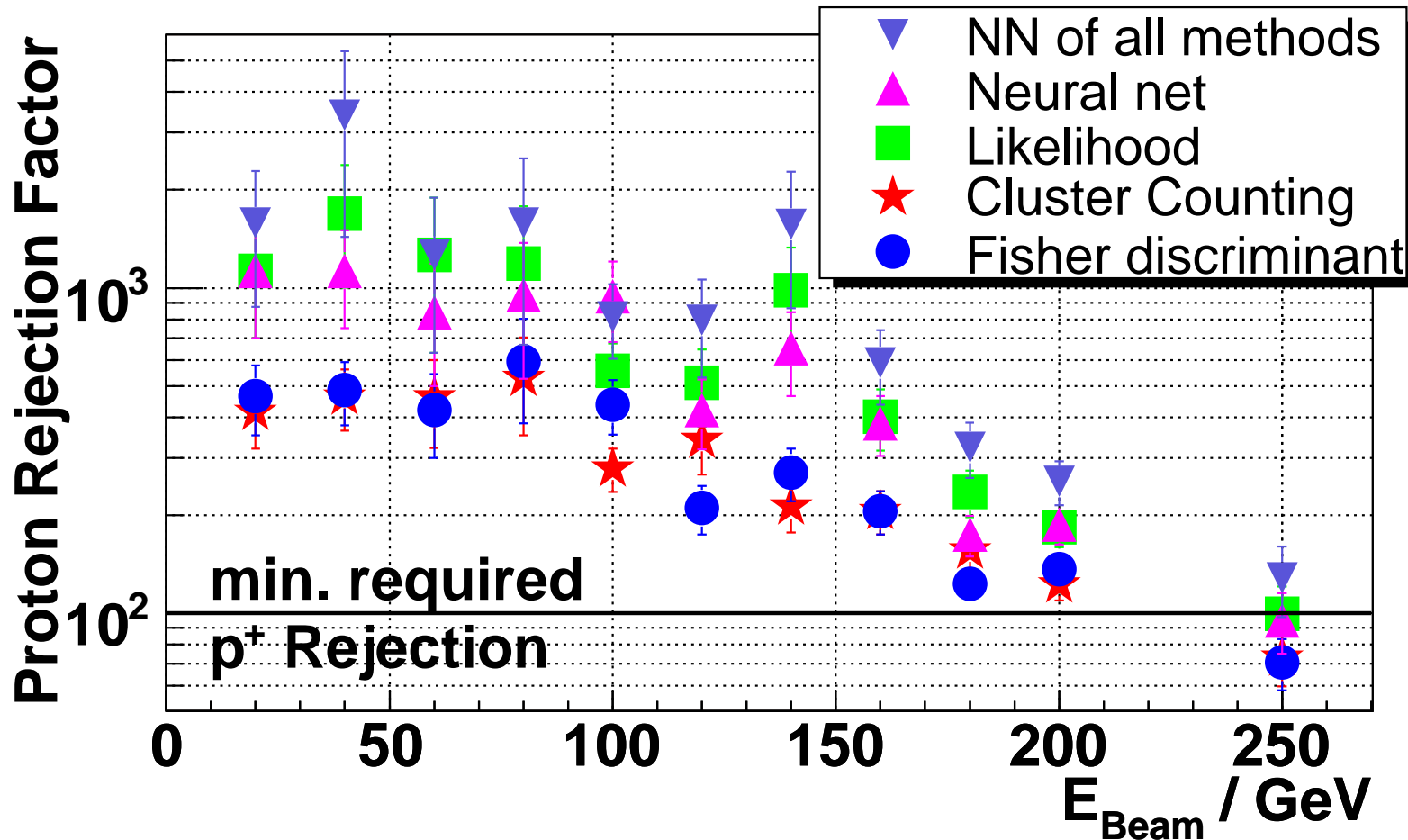


- ☆ Eingabe von *Likelihood, Zahl von Hits über 6.5 keV, E_{Tube} -NN, Fisher Testgröße*
- ☆ haben untereinander eine mittlere Korrelation von $\overline{|r|} \approx 0.7$
 - ⇒ deutliche Abweichung von perfekter Korrelation

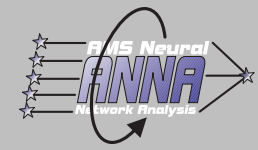
Kombiniertes NN



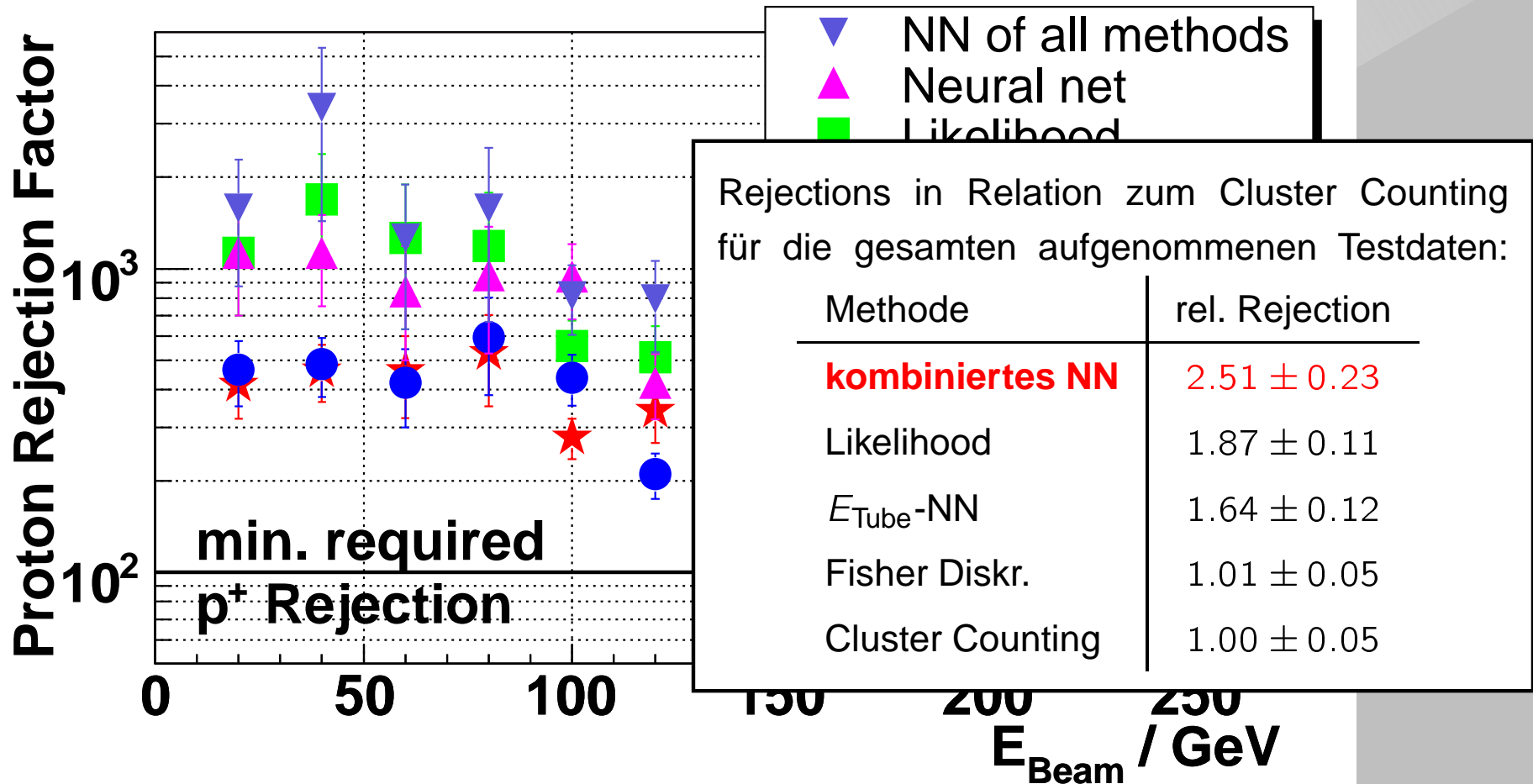
- ☆ Eingabe von *Likelihood, Zahl von Hits über 6.5 keV, E_{Tube}-NN, Fisher Testgröße*
- ☆ haben untereinander eine mittlere Korrelation von $|\overline{r}| \approx 0.7$
⇒ deutliche Abweichung von perfekter Korrelation



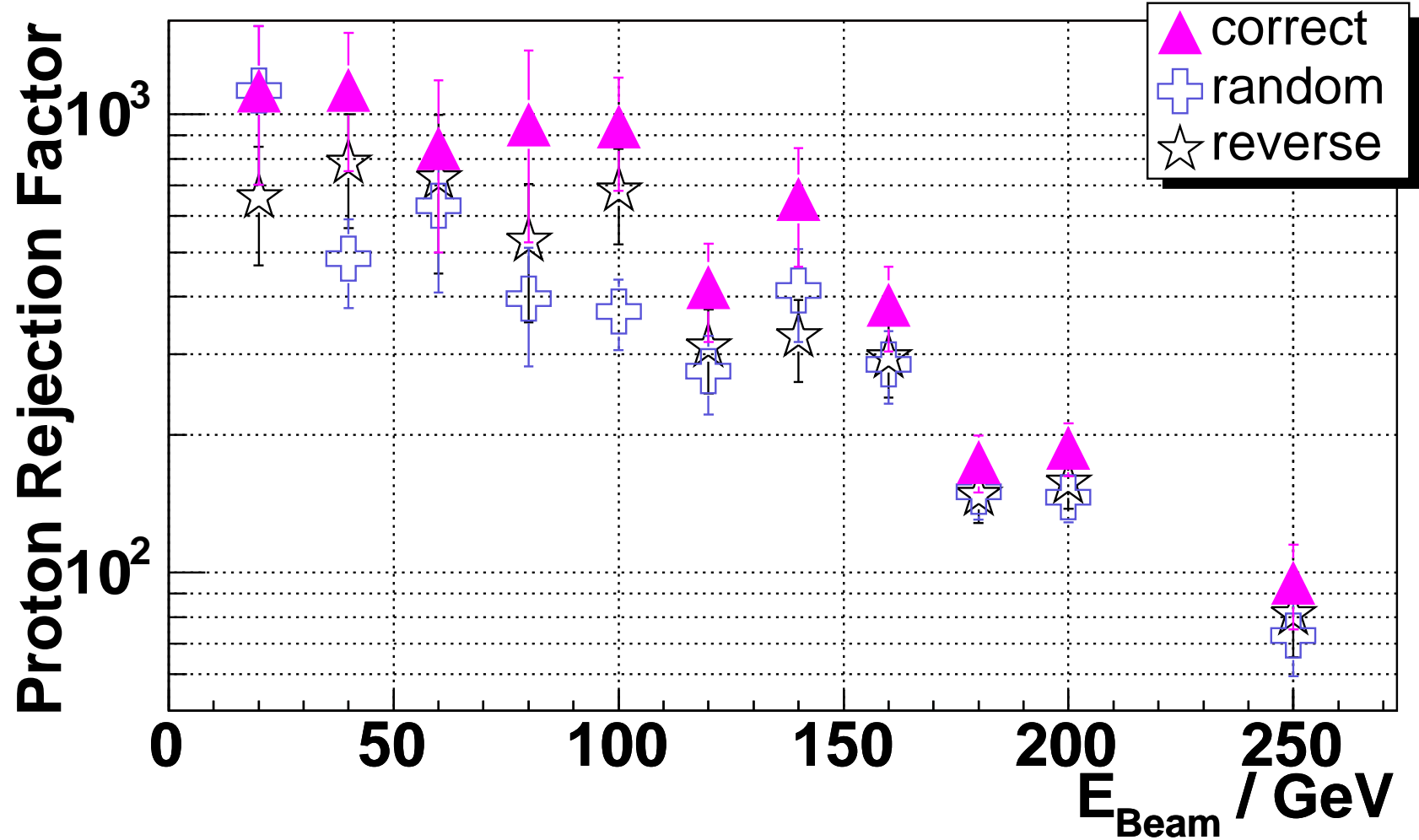
Kombiniertes NN



- ☆ Eingabe von *Likelihood, Zahl von Hits über 6.5 keV, E_{Tube} -NN, Fisher Testgröße*
 - ☆ haben untereinander eine mittlere Korrelation von $|\overline{r}| \approx 0.7$
- ⇒ deutliche Abweichung von perfekter Korrelation

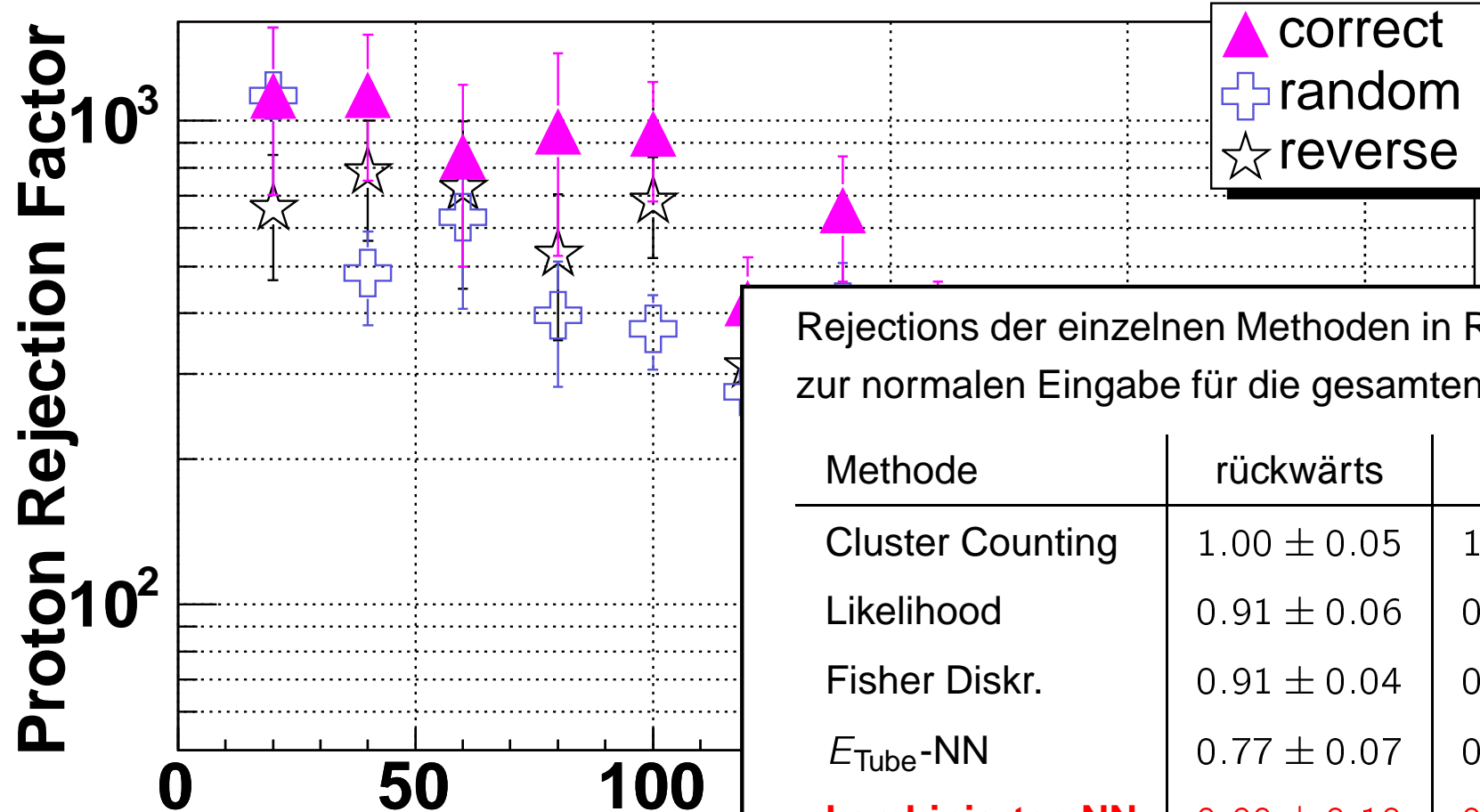


Sensitivität auf Eingabereihenfolge



★ E_{Tube} -NN ist sensitiv auf Eingabereihenfolge der Energien auf der Spur

Sensitivität auf Eingabereihenfolge

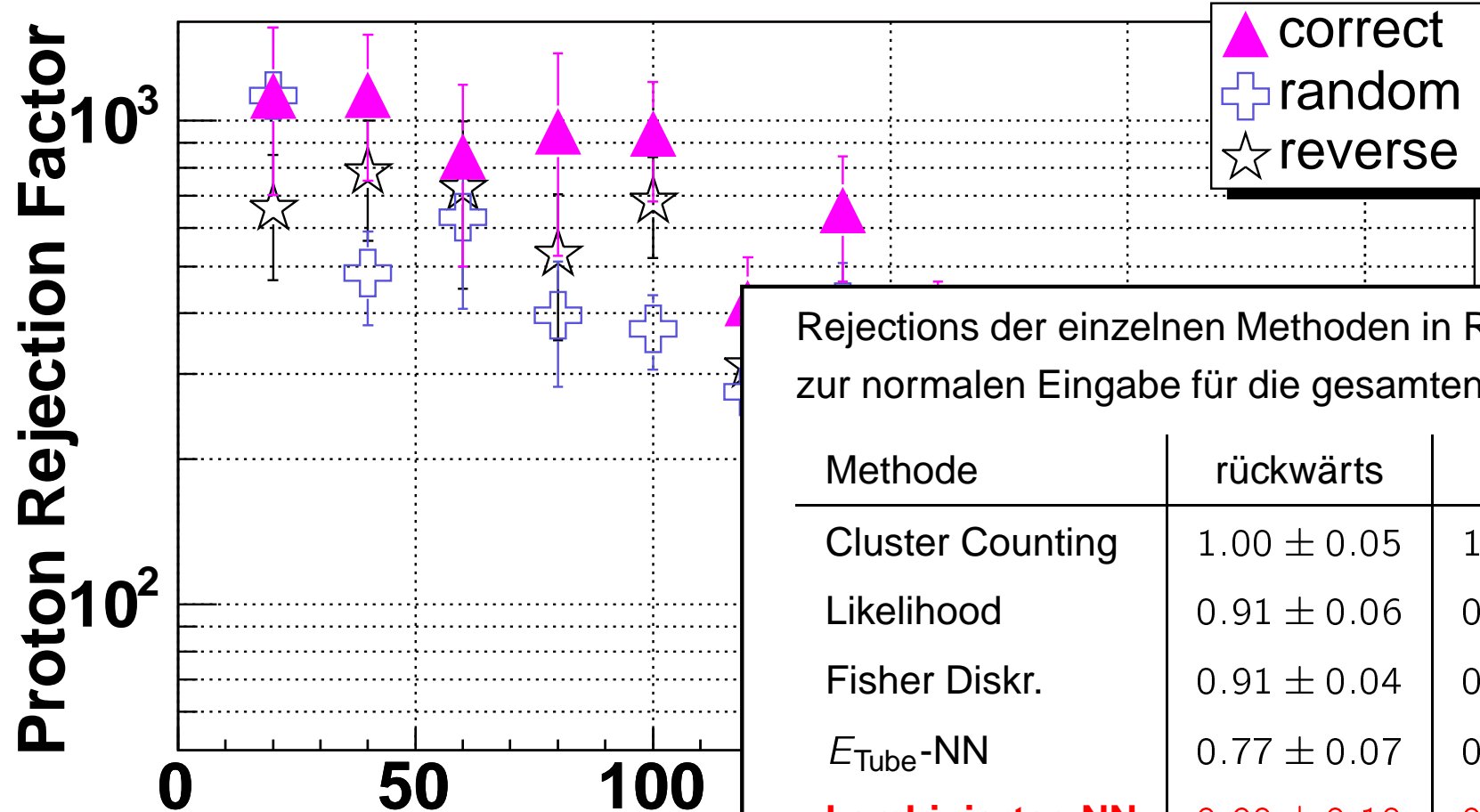
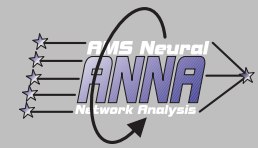


Rejections der einzelnen Methoden in Relation zur normalen Eingabe für die gesamten Testdaten:

Methode	rückwärts	zufällig
Cluster Counting	1.00 ± 0.05	1.00 ± 0.05
Likelihood	0.91 ± 0.06	0.93 ± 0.06
Fisher Diskr.	0.91 ± 0.04	0.82 ± 0.04
E_{Tube} -NN	0.77 ± 0.07	0.70 ± 0.06
kombiniertes NN	0.90 ± 0.10	0.88 ± 0.10

★ E_{Tube} -NN ist sensitiv auf Eingaberei

Sensitivität auf Eingabereihenfolge



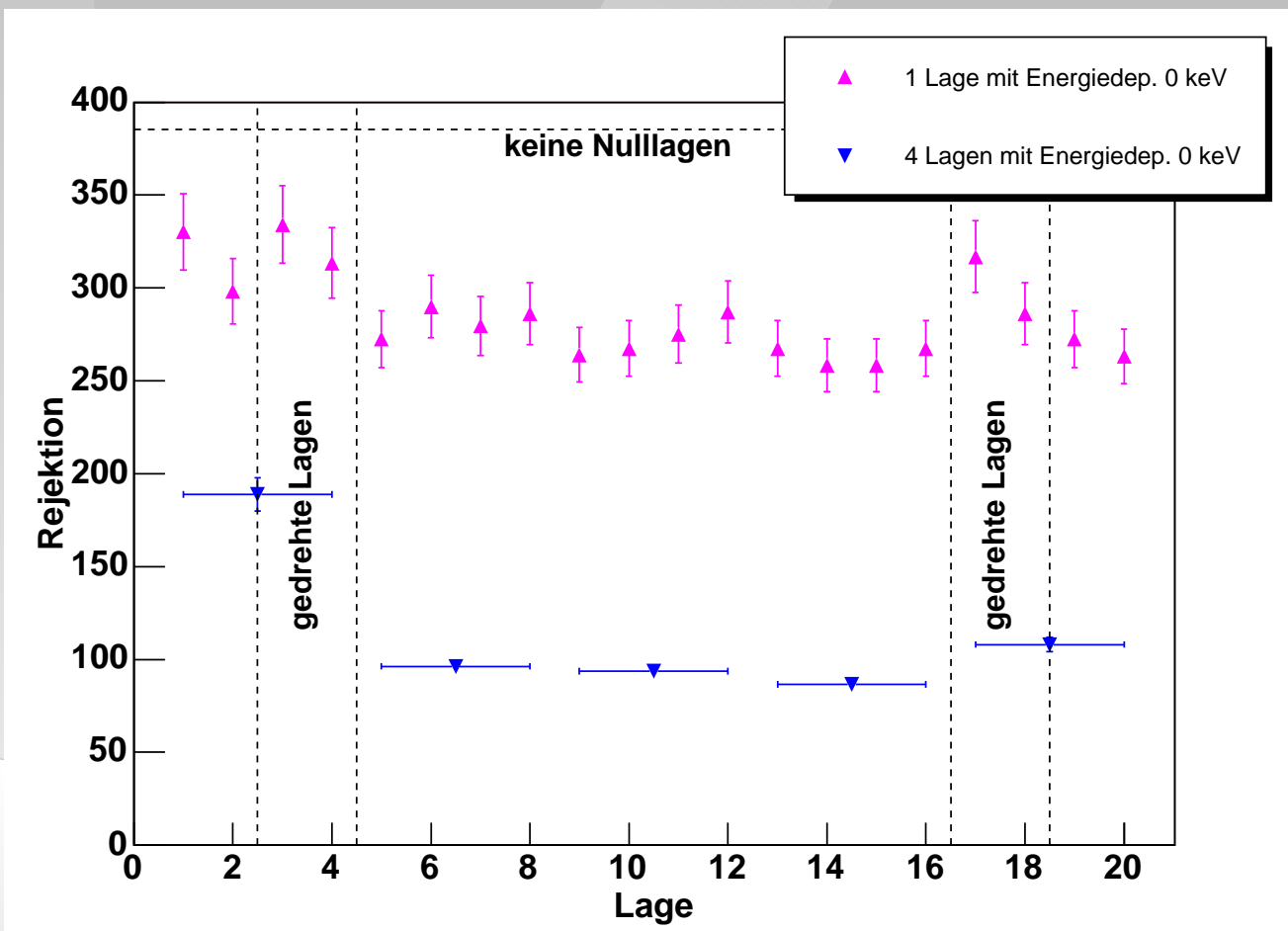
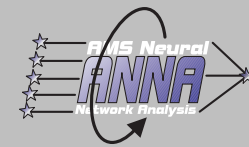
Rejections der einzelnen Methoden in Relation zur normalen Eingabe für die gesamten Testdaten:

Methode	rückwärts	zufällig
Cluster Counting	1.00 ± 0.05	1.00 ± 0.05
Likelihood	0.91 ± 0.06	0.93 ± 0.06
Fisher Diskr.	0.91 ± 0.04	0.82 ± 0.04
E_{Tube} -NN	0.77 ± 0.07	0.70 ± 0.06
kombiniertes NN	0.90 ± 0.10	0.88 ± 0.10

Steigerung der Rejection des kombinierten Netzes gegenüber der Likelihood also durch die **zusätzliche Richtungsinformation** aus E_{Tube} -NN

★ E_{Tube} -NN ist sensitiv auf Eingabereihenfolge

Einfluss der einzelnen Detektorlagen auf die Rejection

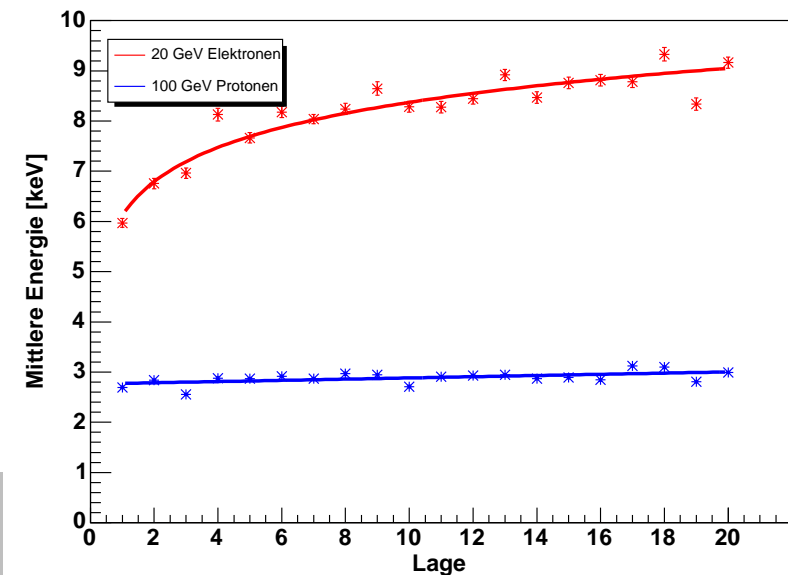
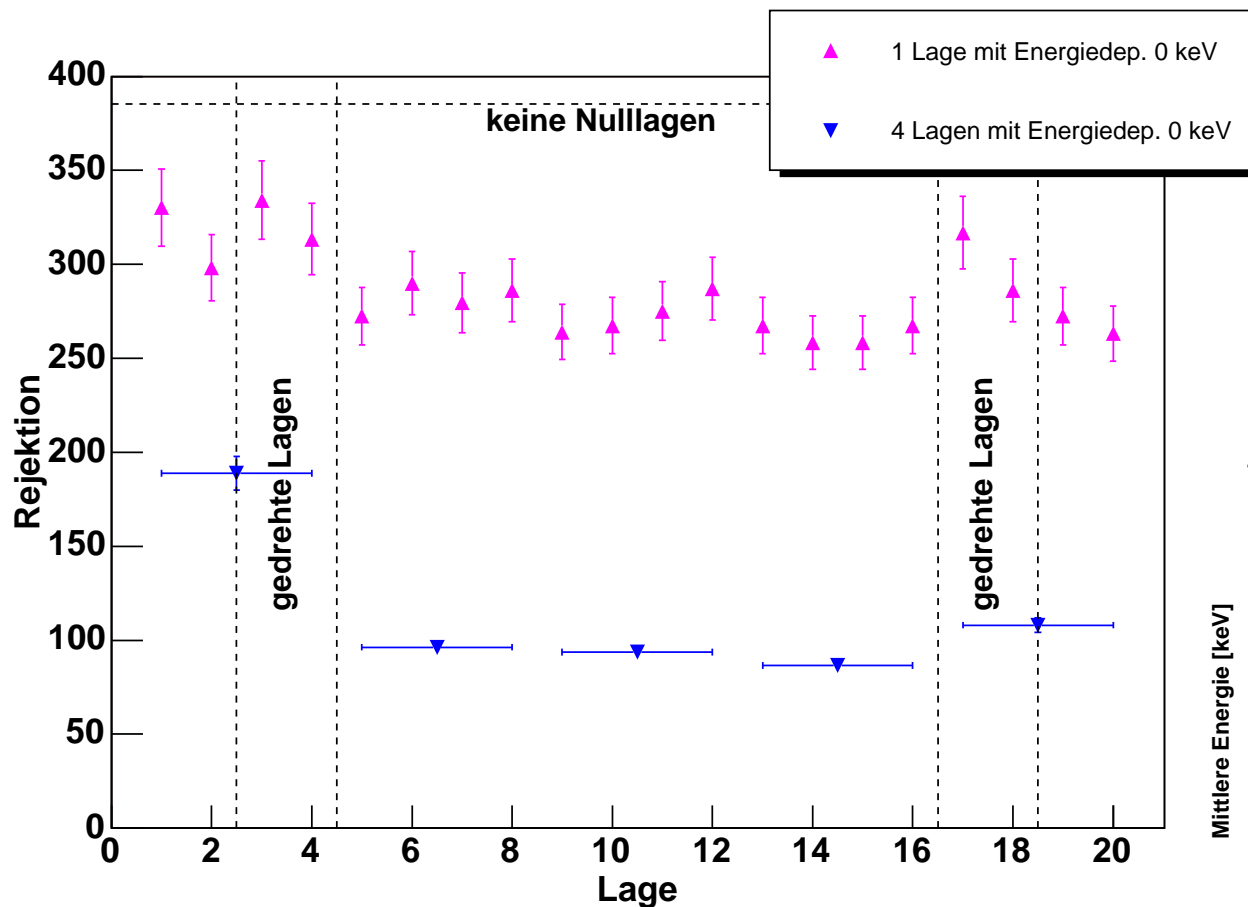
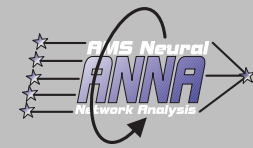


☆ Untersuchung mit E_{Tube} -NN

☆ Netz ist sensitiv auf Detektorgeometrie:

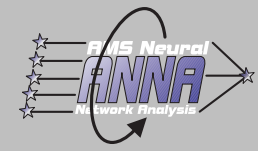
vor gedrehten Lagen ist weniger Radiator \Rightarrow geringerer Einfluss auf Rejection

Einfluss der einzelnen Detektorlagen auf die Rejection



- ☆ Untersuchung mit E_{Tube} -NN
- ☆ Netz ist sensitiv auf Detektorgeometrie:
vor gedrehten Lagen ist weniger Radiator \implies geringerer Einfluss auf Rejection
- ☆ vordere Lagen haben geringeren Einfluss, weil die mittlere Energie der Elektronen über die Lagen ansteigt

Rauschsimulation: Kalibrationsfehler



1 Zufallswert für jedes Röhrchen:

$$E' = E (1 + Z (\text{Gauss}(0, a)))$$

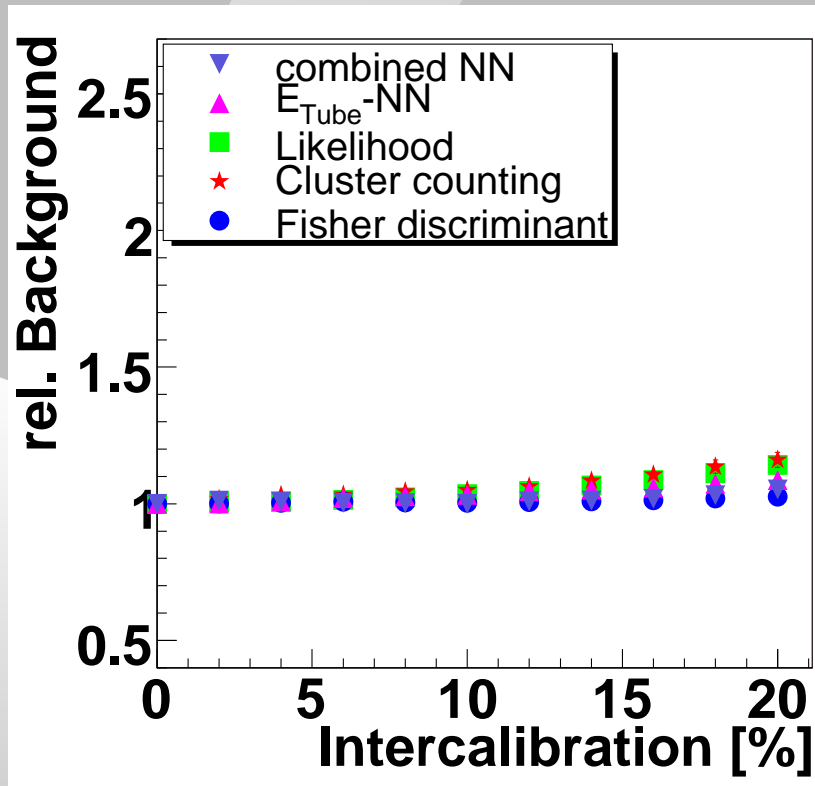
a ist die prozentuale Verschmierung, die für alle Röhrchen gleich ist.

Rauschsimulation: Kalibrationsfehler

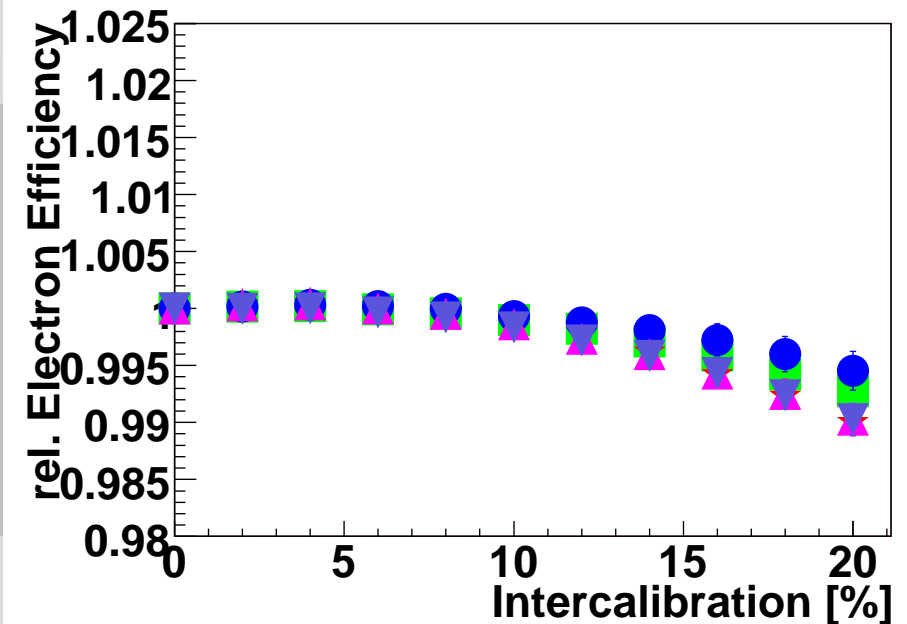
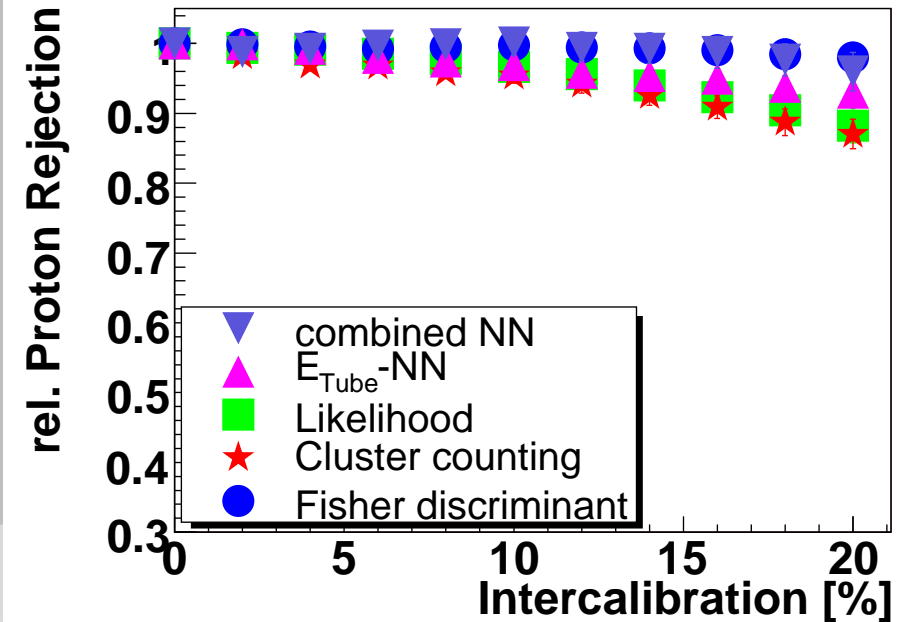
1 Zufallswert für jedes Röhrchen:

$$E' = E (1 + Z (\text{Gauss}(0, a)))$$

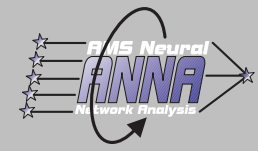
a ist die prozentuale Verschmierung, die für alle Röhrchen gleich ist.



⇒ geringe Abhängigkeit von der Kalibration



Rauschsimulation: abs. Energieverschmierung



1 Zufallswert für jeden Hit:

$$E' = E + Z (\text{Gauss}(0, E_{\text{Breite}}))$$

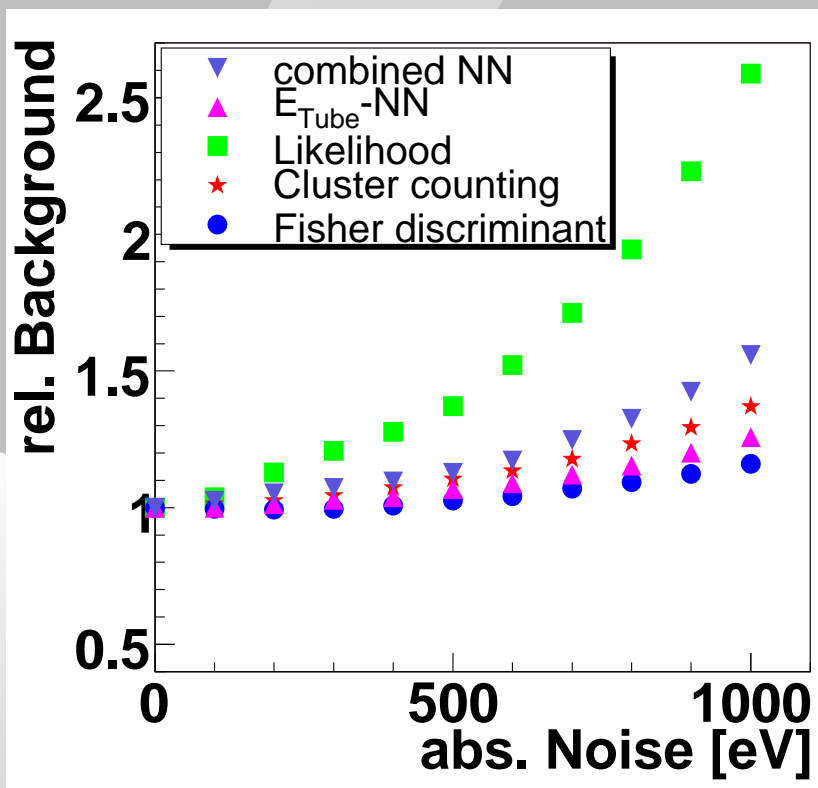
E_{Breite} ist die absolute Verschmierungsbreite, die für alle Hits gleich ist.

Rauschsimulation: abs. Energieverschmierung

1 Zufallswert für jeden Hit:

$$E' = E + Z (\text{Gauss}(0, E_{\text{Breite}}))$$

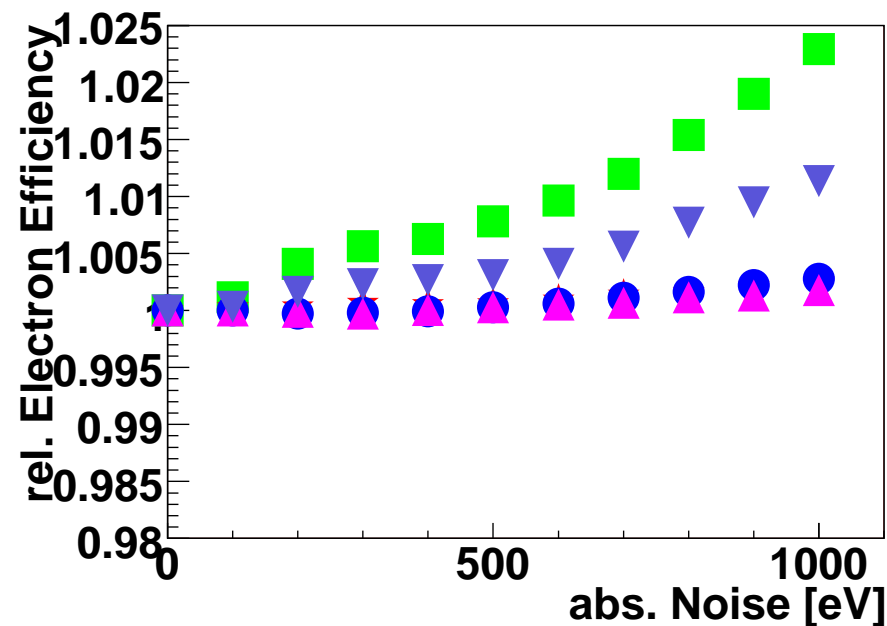
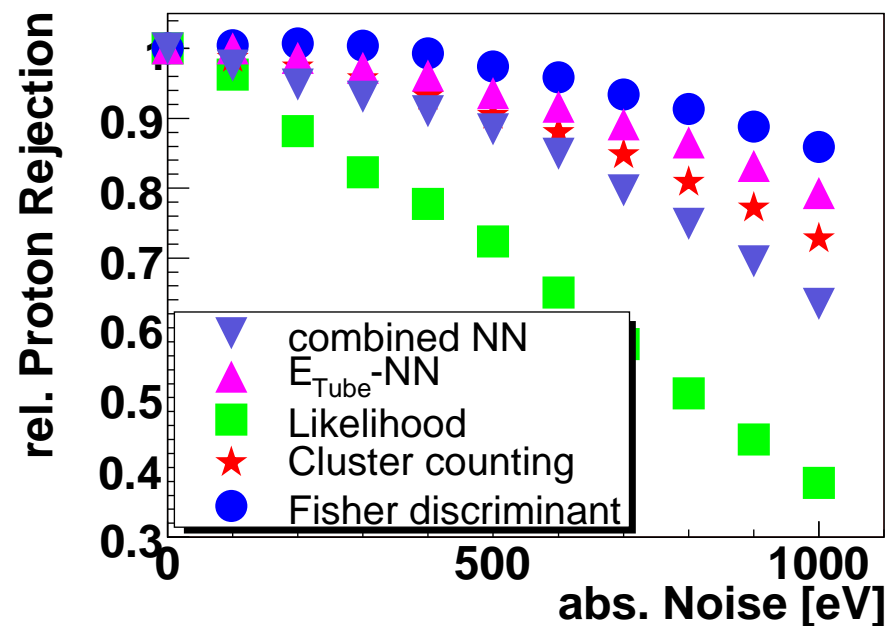
E_{Breite} ist die absolute Verschmierungsbreite, die für alle Hits gleich ist.



⇒ stärkere Abhängigkeit von Rauschbreite

ABER: elektronisches Rauschen nur bis ca. 50 eV

erwartet



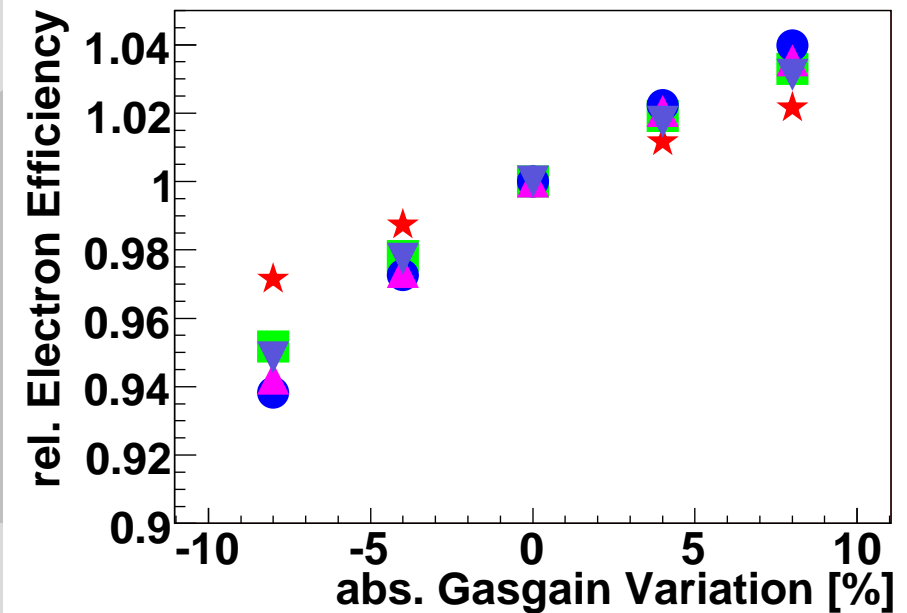
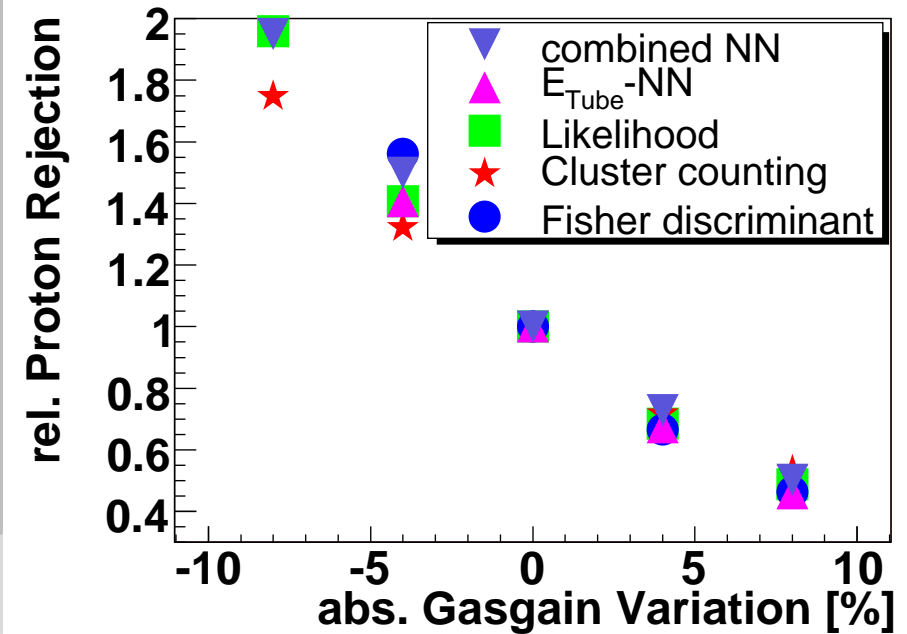
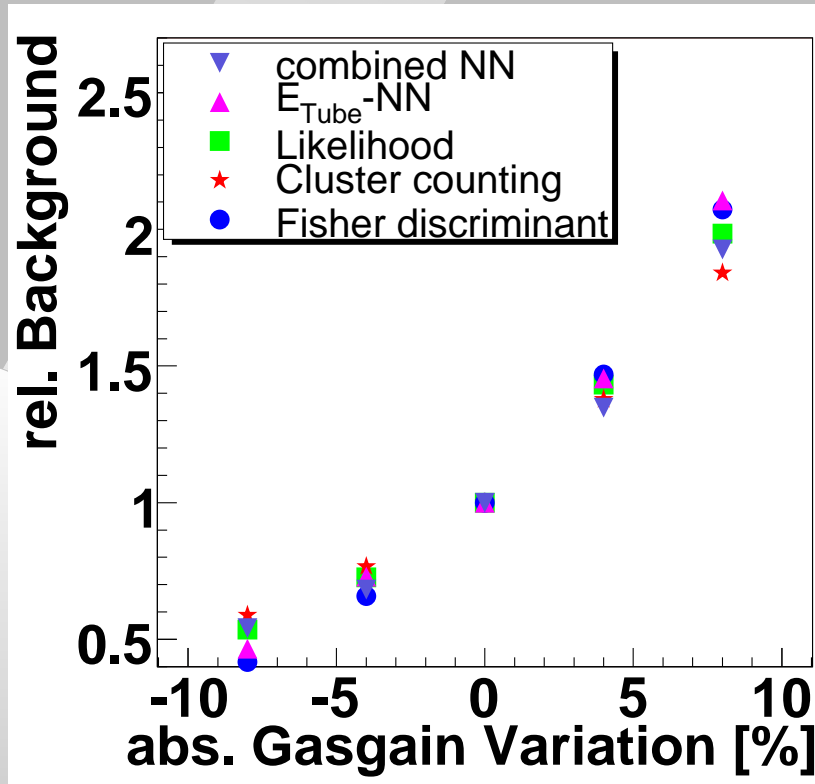
Jeder Hit wird um gleichen Prozentsatz verändert:

$$E' = E(1 + a)$$

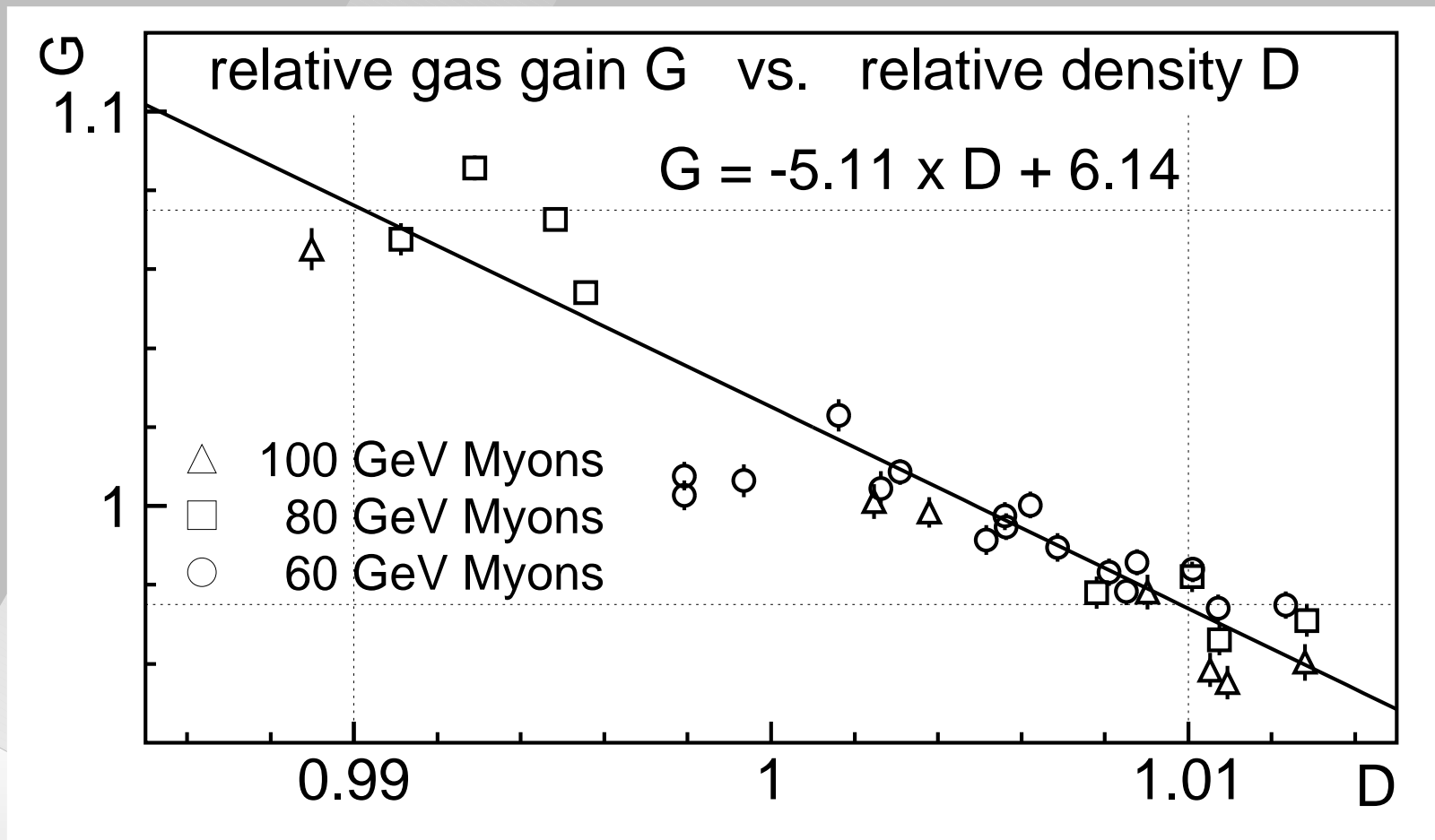
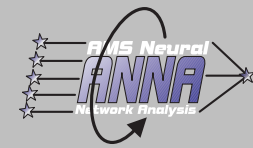
Rauschsimulation: absolute Änderung der Gasverst.

Jeder Hit wird um gleichen Prozentsatz verändert:

$$E' = E(1 + a)$$

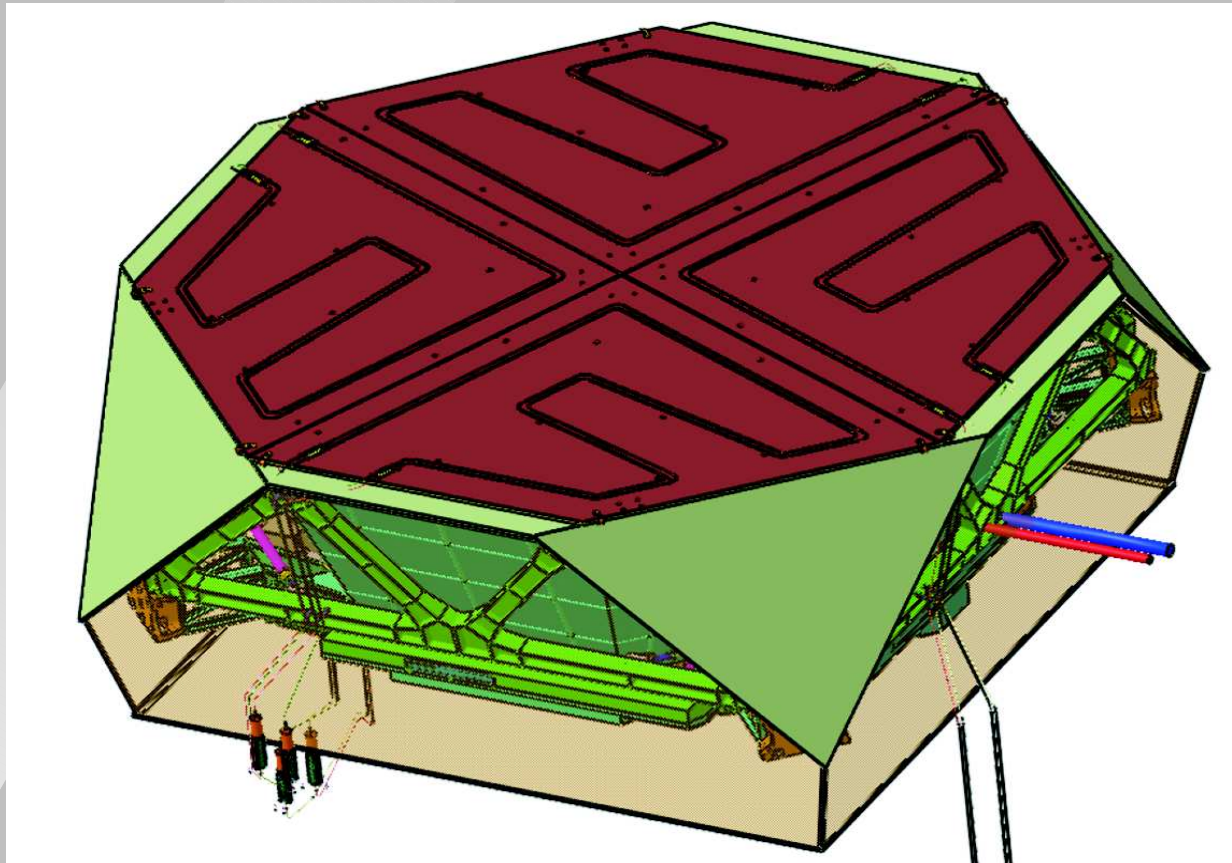


Dichte-Gasverstärkungs-Korrelation



- ★ 1 % Änderung der Dichte bewirkt im Mittel ca. 5 % Änderung der Gasverstärkung
- ⇒ Dichte muss möglichst konstant über ganzes Volumen sein.

Thermische Isolation mit MLI



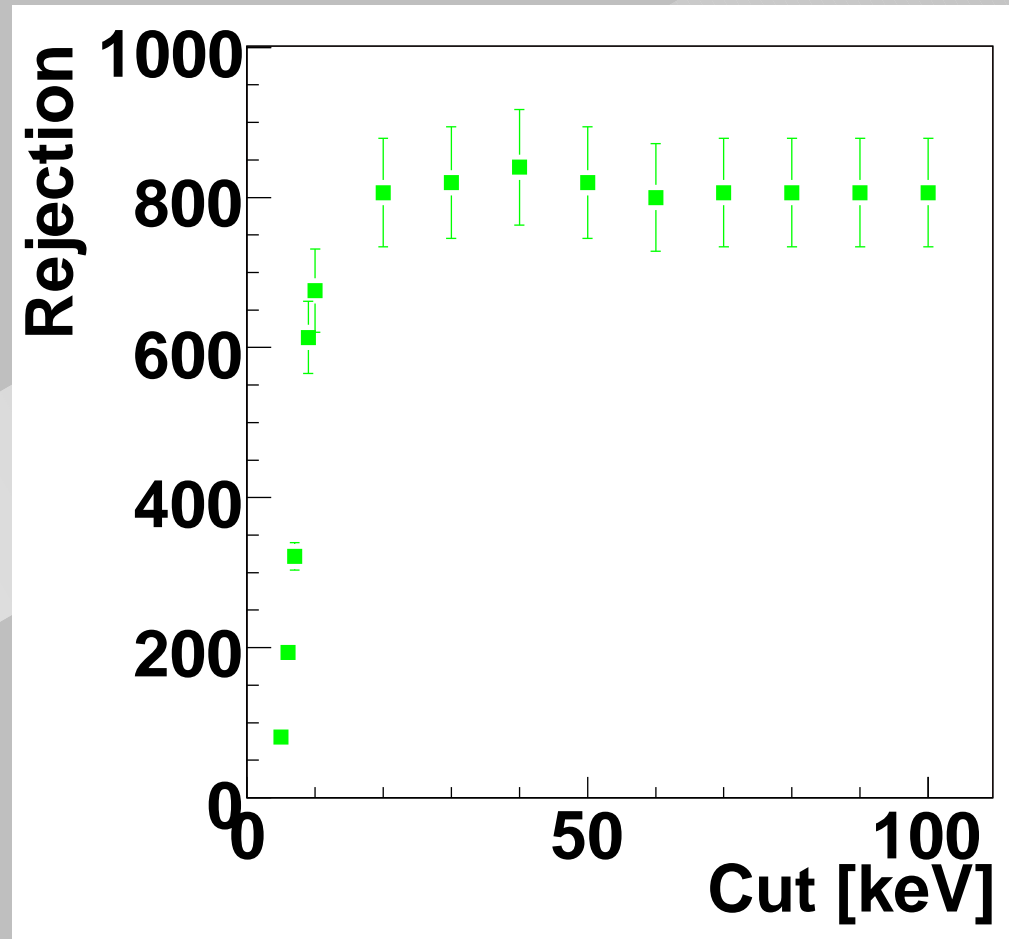
- ★ MLI (MultiLayer Insulation) sorgt für elektrische Abschirmung, Erdung und thermische Isolation (max. 1 K Gradient im Innern)
- ★ genaues Schneidern ist wesentlich für die Gewährleistung eines guten Betriebs bei möglichst geringem Gewicht
- ★ letzte Berechnungen ergeben eine Emissivität von 0.03

Toy-MC-Simulationen zum Energiebereich der Elektronik

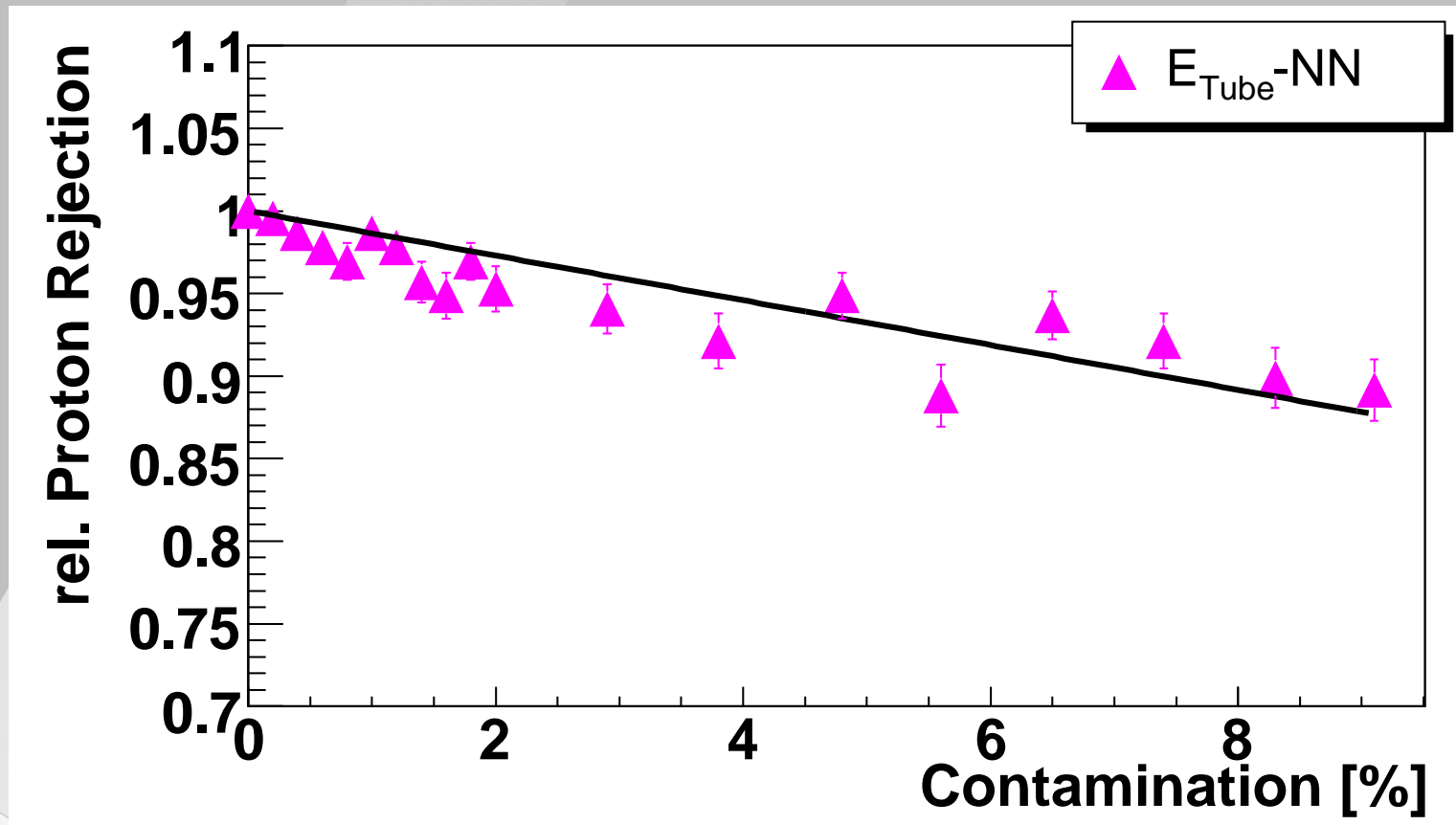
- ★ Elektronik hat nur Energiebereich bis ca. 30 keV
- ★ Würfeln mit an Spektren angepassten Funktionen für jede Lage ohne elektronischen Cut
- ★ Setzen und Variation des Cuts
- ★ Likelihood-Methode mit 100 GeV Protonen und 20 GeV Elektronen

Toy-MC-Simulationen zum Energiebereich der Elektronik

- ☆ Elektronik hat nur Energiebereich bis ca. 30 keV
- ☆ Würfeln mit an Spektren angepassten Funktionen für jede Lage ohne elektronischen Cut
- ☆ Setzen und Variation des Cuts
- ☆ Likelihood-Methode mit 100 GeV Protonen und 20 GeV Elektronen
- ☆ Ab ca. 20 keV ist die maximale Rejection erreicht und ein größerer Bereich hat keinen Einfluss mehr.

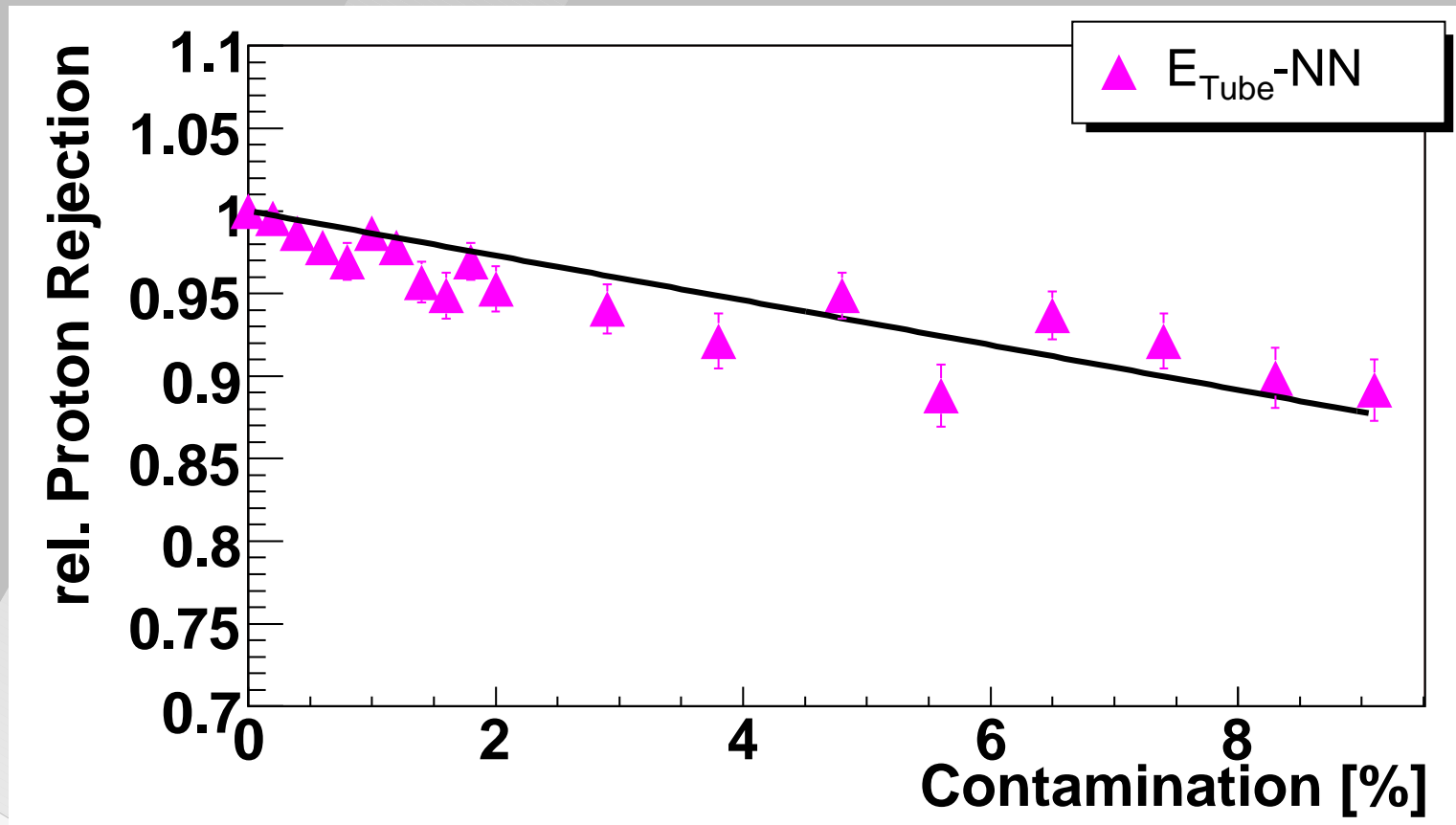


Kontamination des Kalibrationsdatensatzes



- ★ Kontamination des Elektrontrainings- und Elektronvalidationssamples mit einem Prozentsatz an Protonen.
- ★ linearer Zusammenhang:
3 % Kontamination entsprechen ca. 3 % Rejectionverlust.

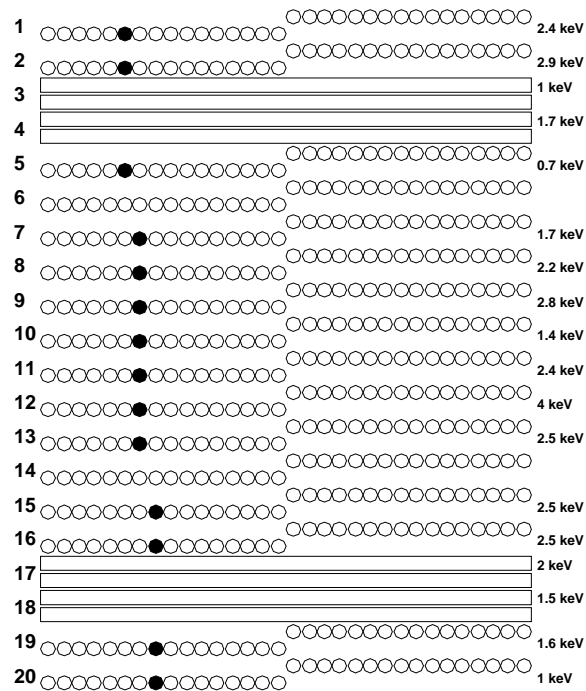
Kontamination des Kalibrationsdatensatzes



- ★ Kontamination des Elektrontrainings- und Elektronvalidationssamples mit einem Prozentsatz an Protonen.
- ★ linearer Zusammenhang:
3 % Kontamination entsprechen ca. 3 % Rejectionverlust.
- ★ Kalibrationsdatensatz aus ECal mit ca. Promille-Verunreinigung erwartet
⇒ kein großer Einfluss auf die Protonrejection

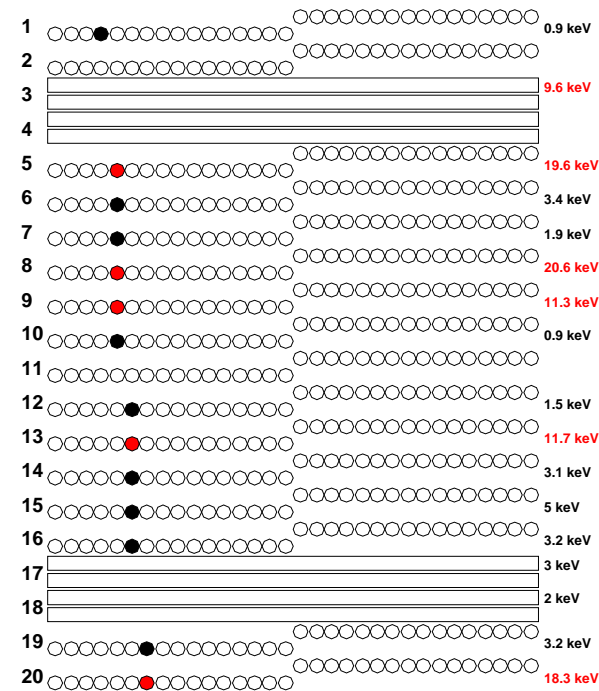
Beispiele für falsch erkannte Events

18447



falsch erkanntes Elektron:
keine hohen Einträge

4439

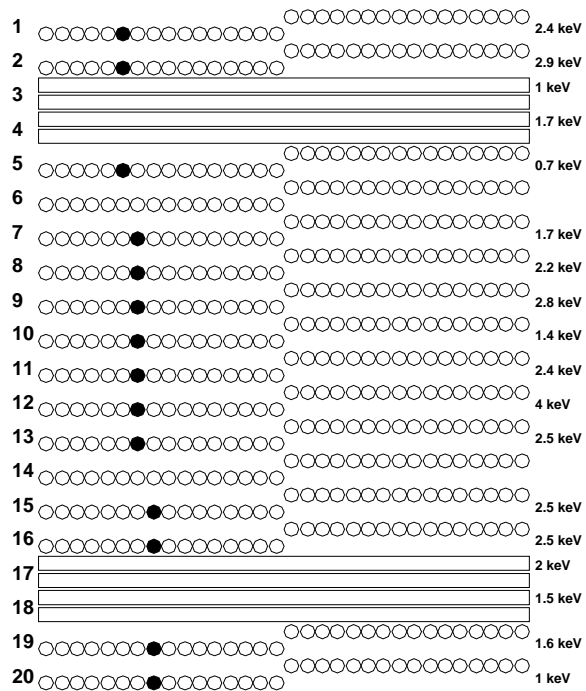


falsch erkanntes Proton:
wenige sehr hohe Einträge

- ☆ falsch erkannte Events resultieren evtl. aus Kontamination der Teilchenstrahlen (dann natürlich auch in Analysedatensätzen).
 - ☆ bei Elektronstrahl evtl. Pion- oder Myon-Verunreinigung
bei Protonstrahl evtl. Pion-Verunreinigung
- ⇒ existiert im Weltall nicht ⇒ Rejection wird höher!

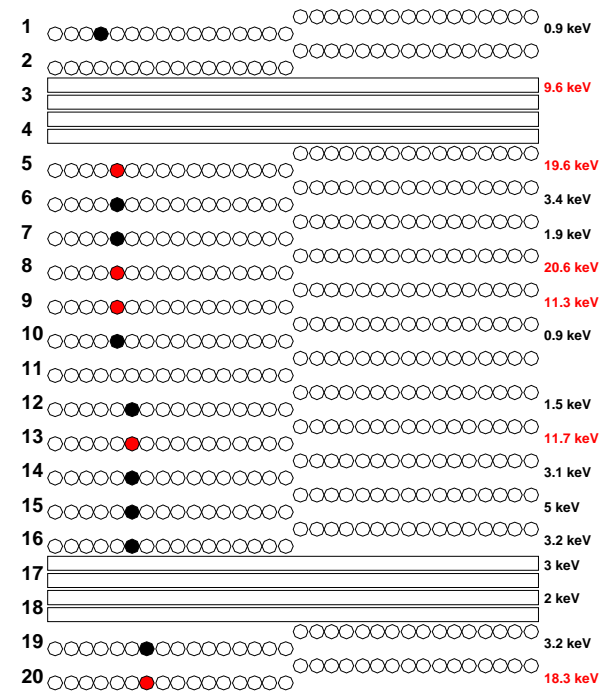
Beispiele für falsch erkannte Events

18447



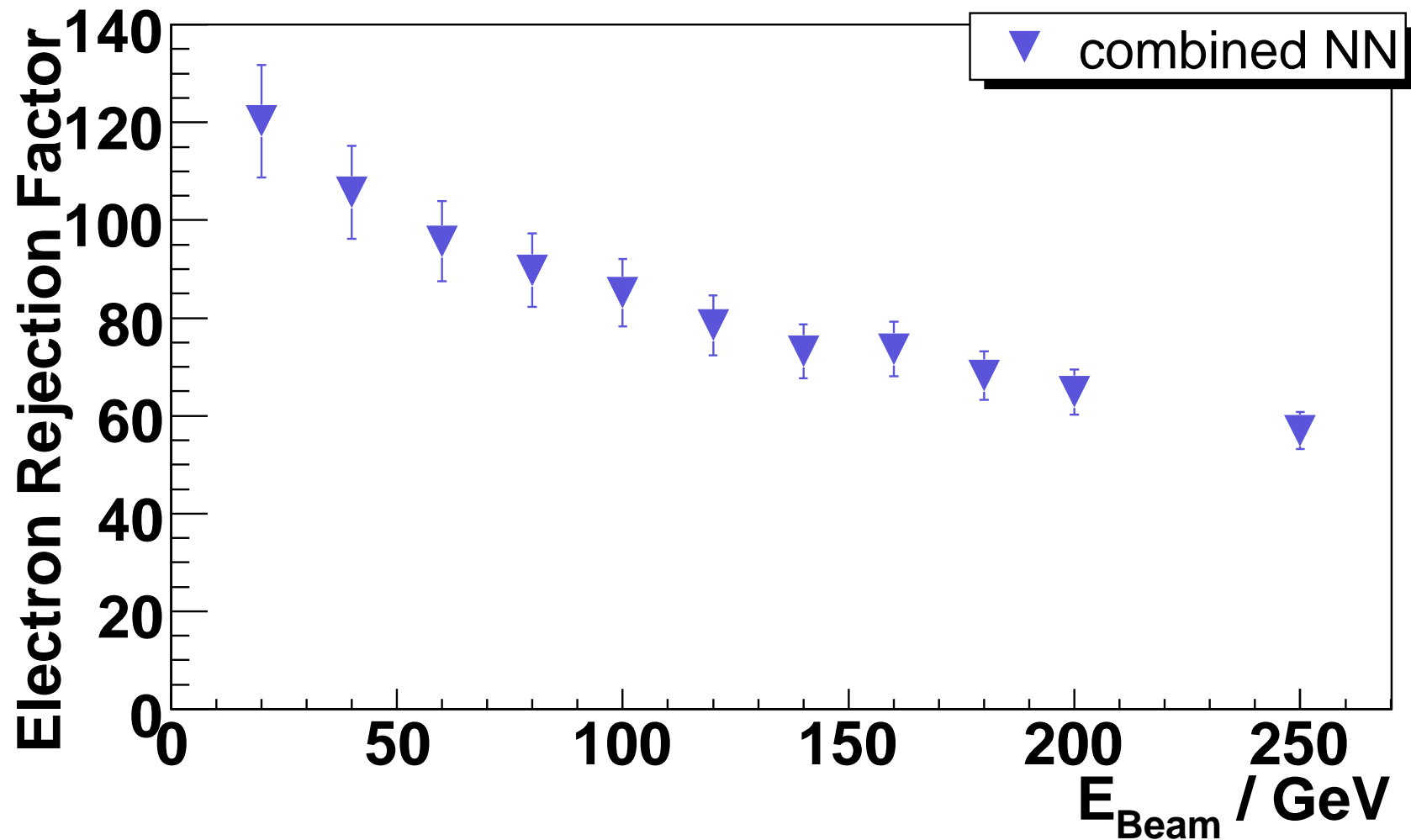
falsch erkanntes Elektron:
keine hohen Einträge

4439



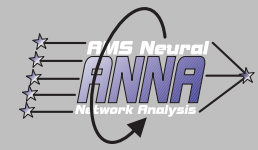
falsch erkanntes Proton:
wenige sehr hohe Einträge

- ☆ falsch erkannte Events resultieren evtl. aus Kontamination der Teilchenstrahlen (dann natürlich auch in Analysedatensätzen).
- ☆ bei Elektronstrahl evtl. Pion- oder Myon-Verunreinigung
bei Protonstrahl evtl. Pion-Verunreinigung
⇒ existiert im Weltall nicht ⇒ Rejection wird höher!
- ☆ Kontamination hat keinen großen Einfluss auf die Kalibration der Analysemethoden, jedoch evtl. auf die Bestimmung der Rejection



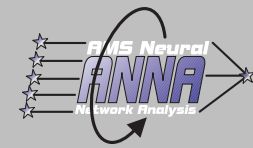
- ★ Berücksichtigung von Pionen oder Myonen als Untergrund im Analysedatensatz könnte die Elektronrejection um ca. $(150 \pm 50) \%$ erhöhen.

Zusammenfassung



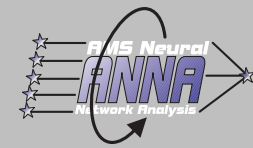
- ★ NN gute Möglichkeit zur Teilchenidentifikation: sensitiv auf Eingabereihenfolge, erkennt Eigenschaften der Detektorgeometrie, Kontamination des Kalibrationsdatensatzes hat geringen Einfluss auf Training
- ★ kombiniertes NN liefert beste Rejections

Zusammenfassung



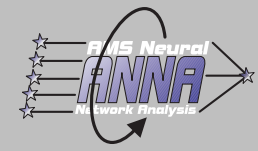
- ★ NN gute Möglichkeit zur Teilchenidentifikation: sensitiv auf Eingabereihenfolge, erkennt Eigenschaften der Detektorgeometrie, Kontamination des Kalibrationsdatensatzes hat geringen Einfluss auf Training
- ★ kombiniertes NN liefert beste Rejections
- ★ TRD erreicht die geforderten Proton Rejections von $10^2 - 10^3$ für Protonenergien bis 250 GeV
- ★ Trägt auch wesentlich zur Elektronunterdrückung bei mit 120 - 60 bei Antiprotonenergien bis 250 GeV
- ★ Rejections sind über realistische Bereiche möglicher Kalibrationsfehler und Rauschen stabil
- ★ äußerst wichtig: konstante Gasverstärkung für gleichmäßige Rejections \implies gute Temperaturisolation notwendig!

Zusammenfassung

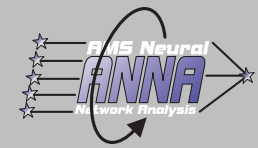


- ★ NN gute Möglichkeit zur Teilchenidentifikation: sensitiv auf Eingabereihenfolge, erkennt Eigenschaften der Detektorgeometrie, Kontamination des Kalibrationsdatensatzes hat geringen Einfluss auf Training
- ★ kombiniertes NN liefert beste Rejections
- ★ TRD erreicht die geforderten Proton Rejections von $10^2 - 10^3$ für Protonenergien bis 250 GeV
- ★ Trägt auch wesentlich zur Elektronunterdrückung bei mit 120 - 60 bei Antiprotonenergien bis 250 GeV
- ★ Rejections sind über realistische Bereiche möglicher Kalibrationsfehler und Rauschen stabil
- ★ äußerst wichtig: konstante Gasverstärkung für gleichmäßige Rejections \implies gute Temperaturisolation notwendig!
- ★ Berücksichtigung einer Kontamination der Analysedatensätze führt zu höheren Rejections

Ausblick



Ausblick



- ★ Publikation der Beamtestanalyse muss abgeschlossen werden.
- ★ Fertigstellung der AMS-02-TRD Software: Rekonstruktion und Teilchenidentifikation
- ★ volle Detektorsimulation mit Spektren aus Modellen zur kosmischen Strahlung
- ★ Fertigstellung der Flight Hardware und Test

Ausblick

- ★ Publikation der Beamtestanalyse muss abgeschlossen werden.
- ★ Fertigstellung der AMS-02-TRD Software: Rekonstruktion und Teilchenidentifikation
- ★ volle Detektorsimulation mit Spektren aus Modellen zur kosmischen Strahlung
- ★ Fertigstellung der Flight Hardware und Test

⇒ beten für die Shuttles



DON'T



DO