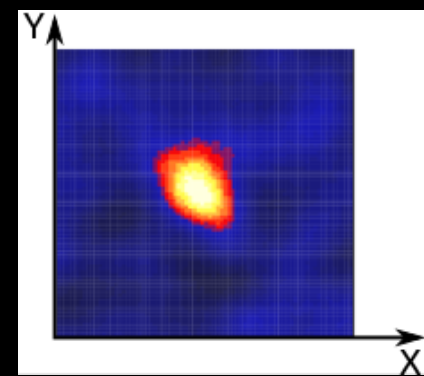
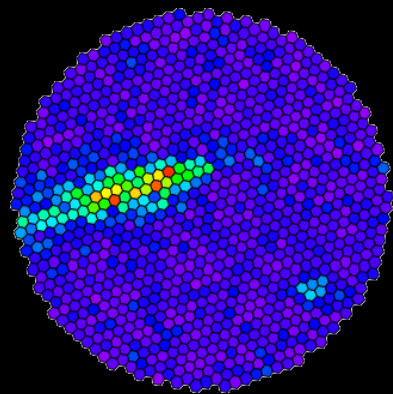
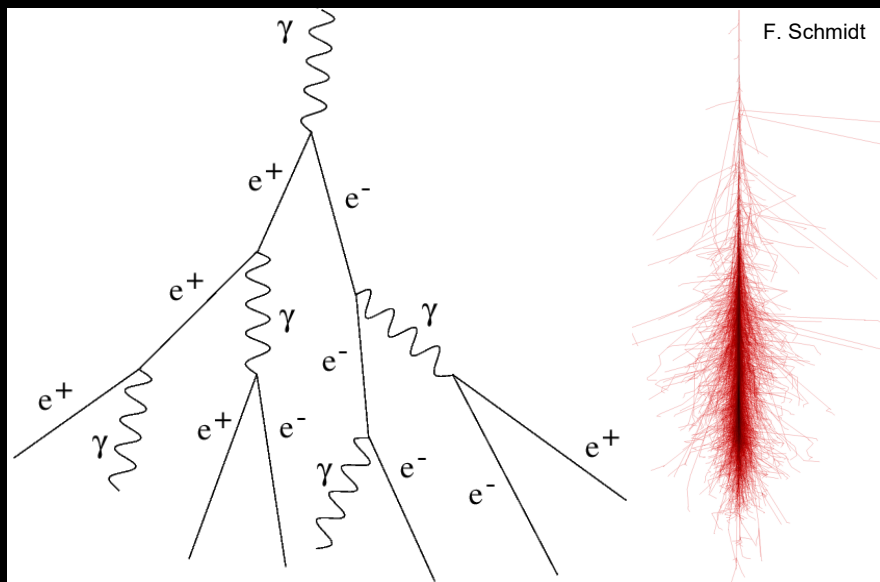


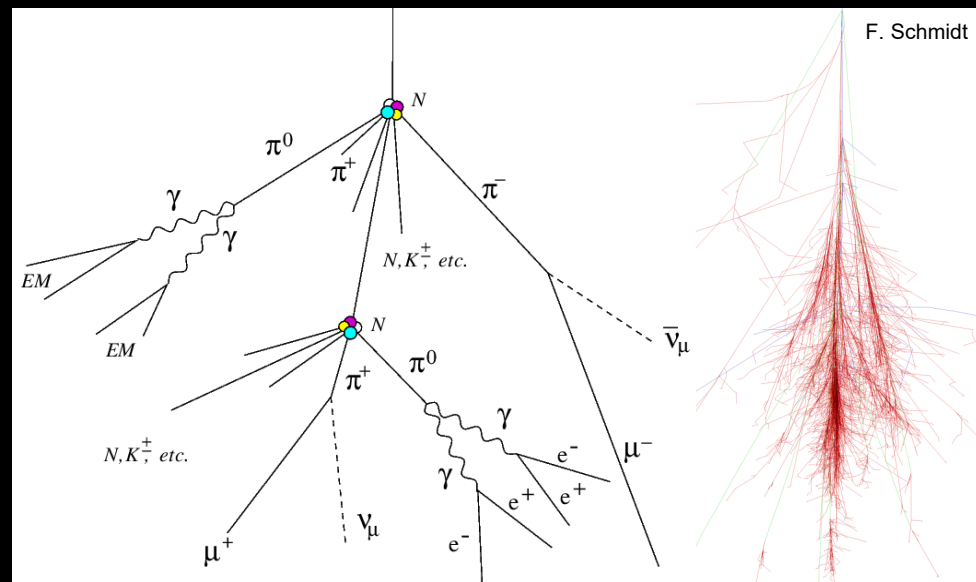
# Datenanalyse & Quiz zur Ereignisklassifizierung



Martin Will

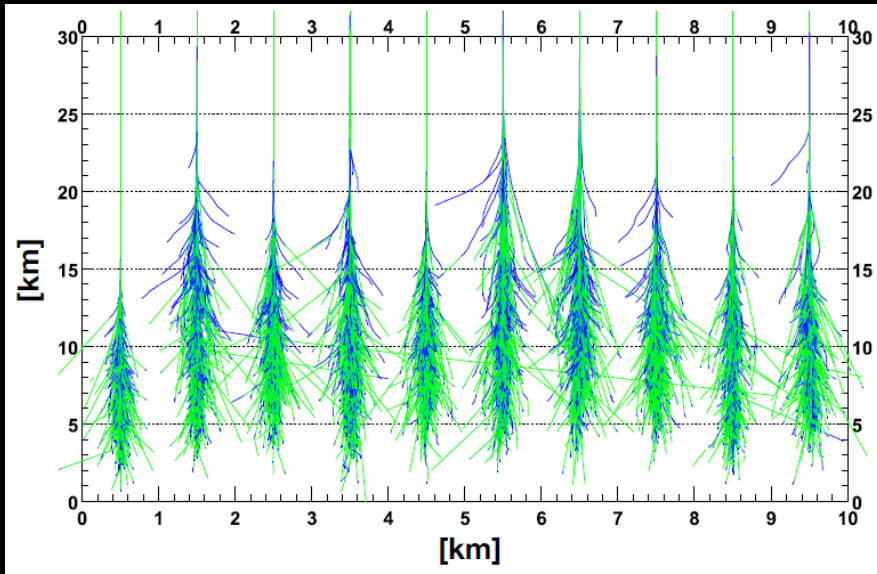


Gammastrahlen  
(Photonen)

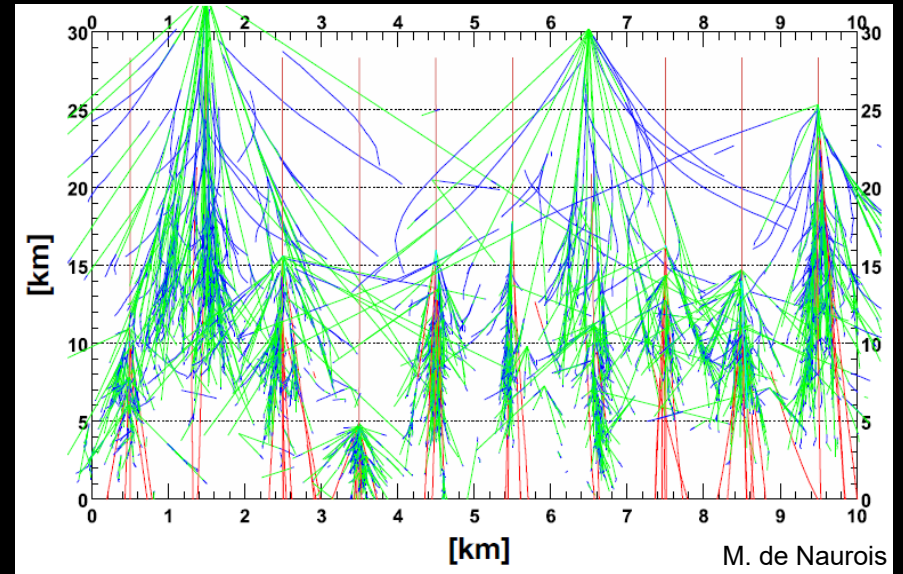


Geladene Teilchen  
(Protonen, Atomkerne)

# 300 GeV Photon vs. Proton



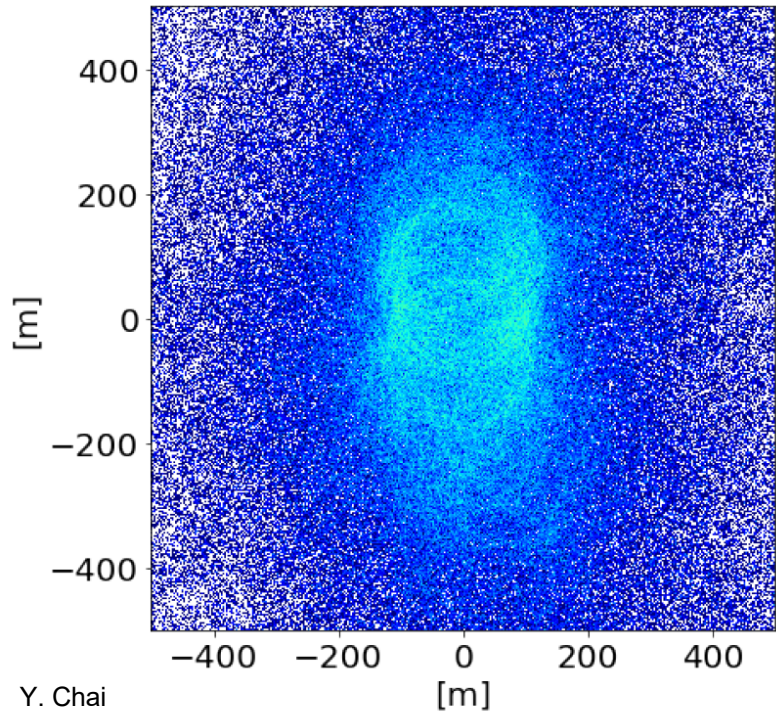
Gammastrahlen  
(Photonen)



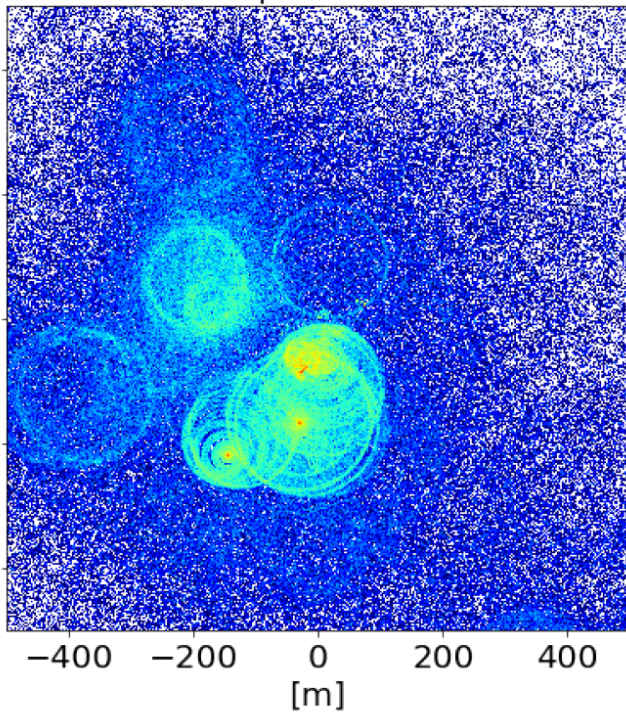
Geladene Teilchen  
(Protonen, Atomkerne)

M. de Naurois

100 GeV Gamma at zenith



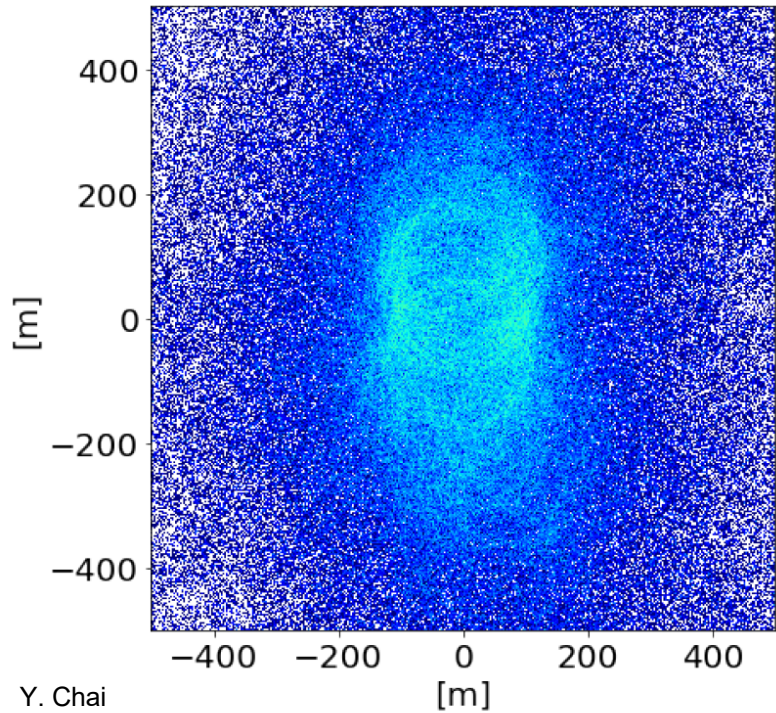
300GeV proton at zenith



Gammastrahlen  
(Photonen)

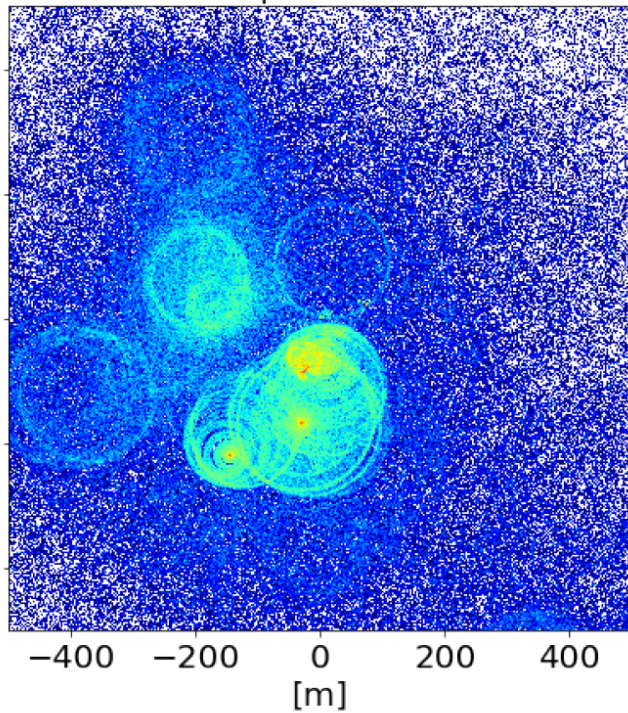
Geladene Teilchen  
(Protonen, Atomkerne)

100 GeV Gamma at zenith

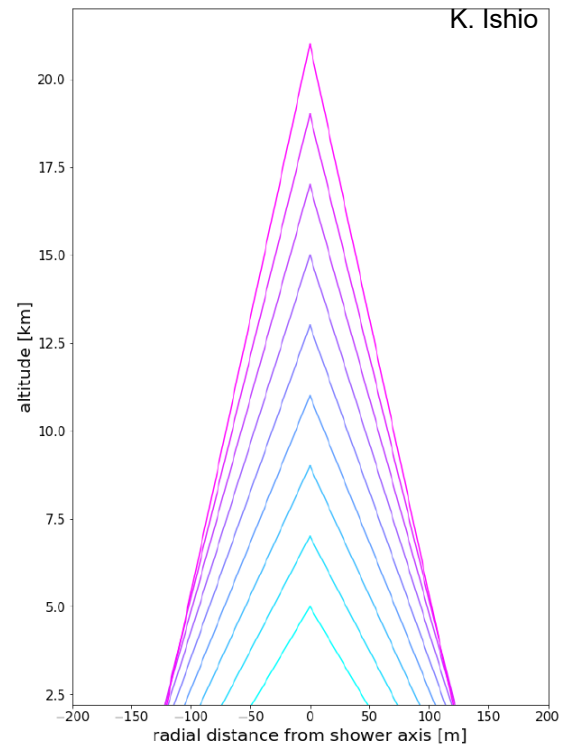


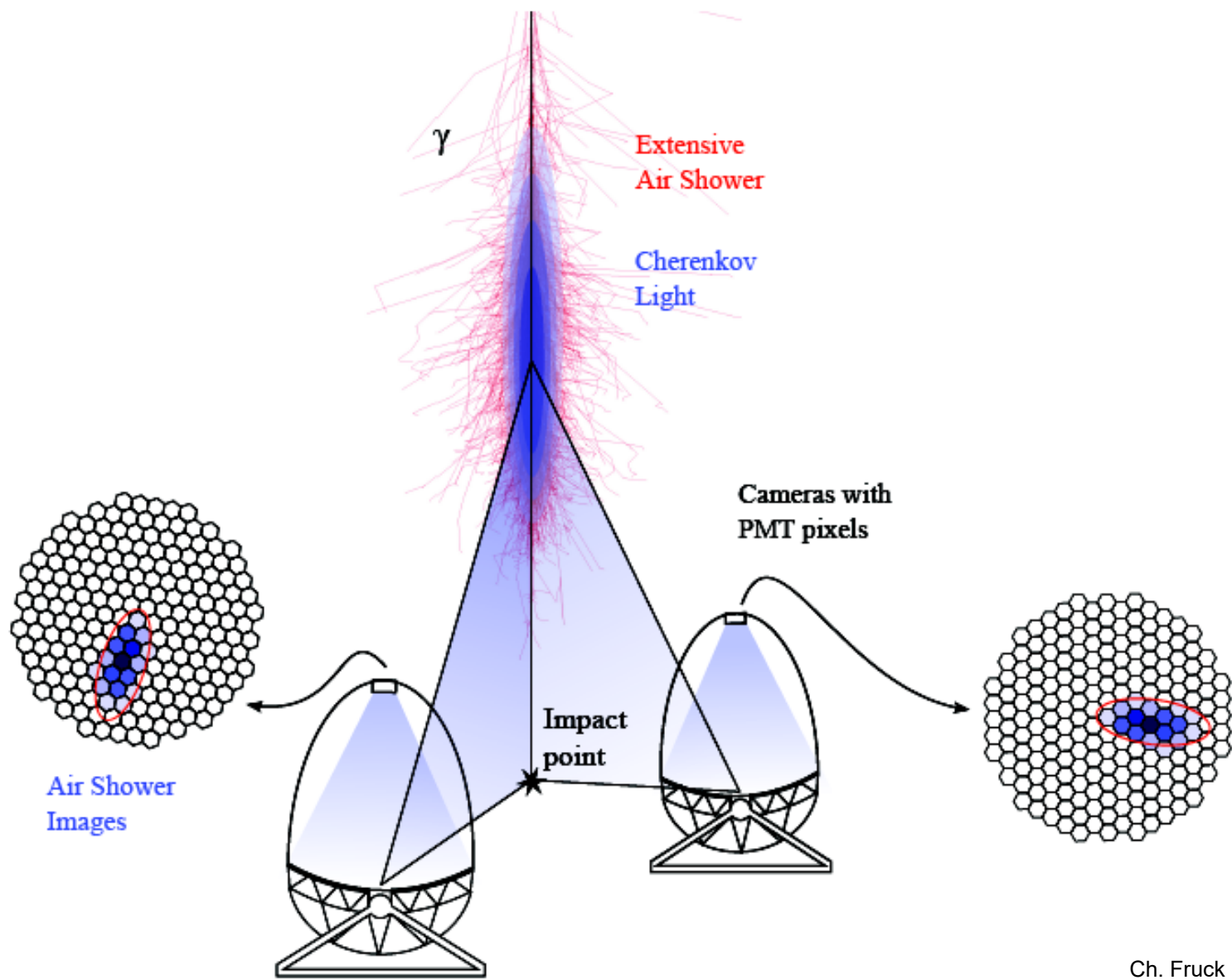
Gammastrahlen  
(Photonen)

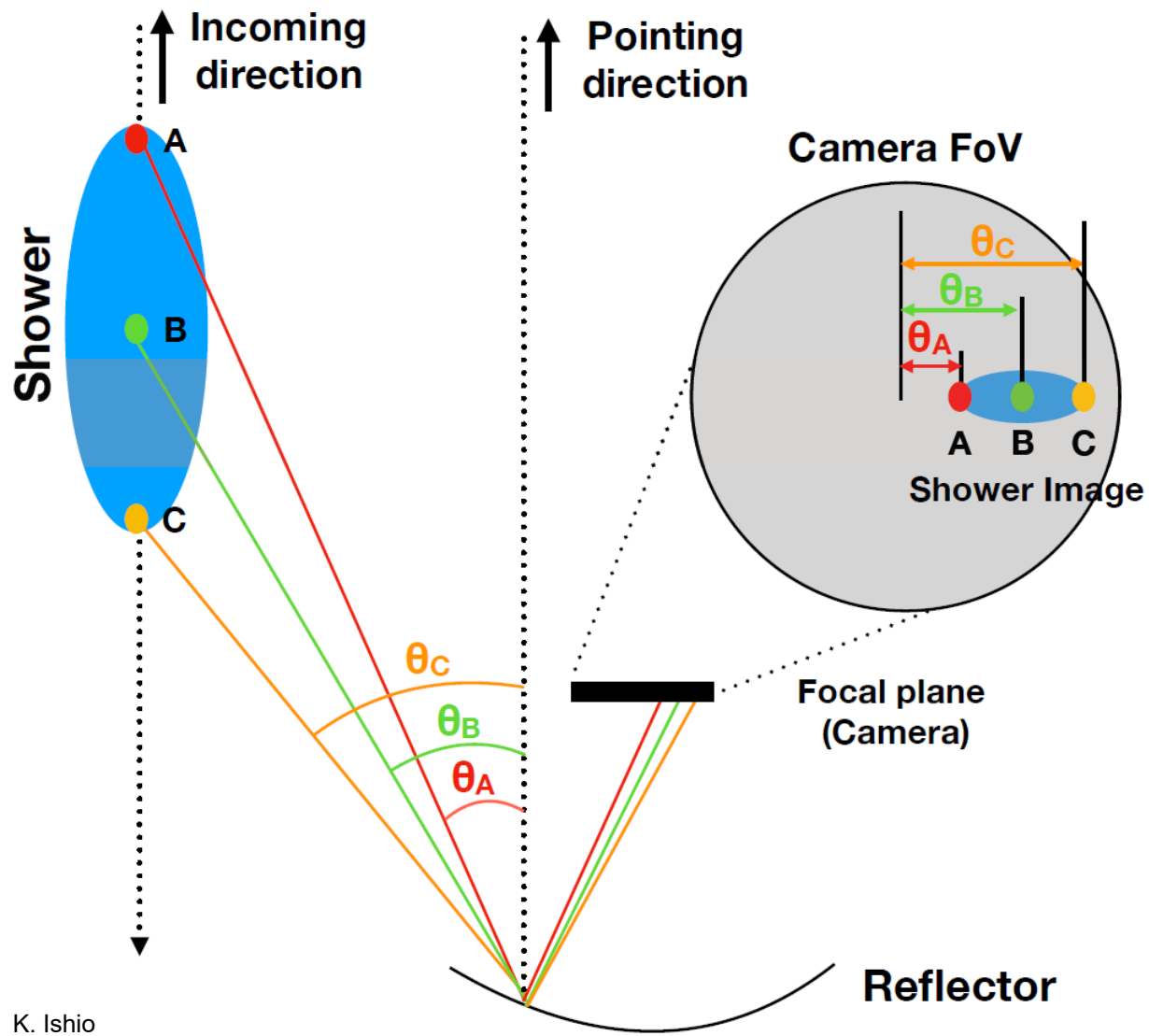
300GeV proton at zenith

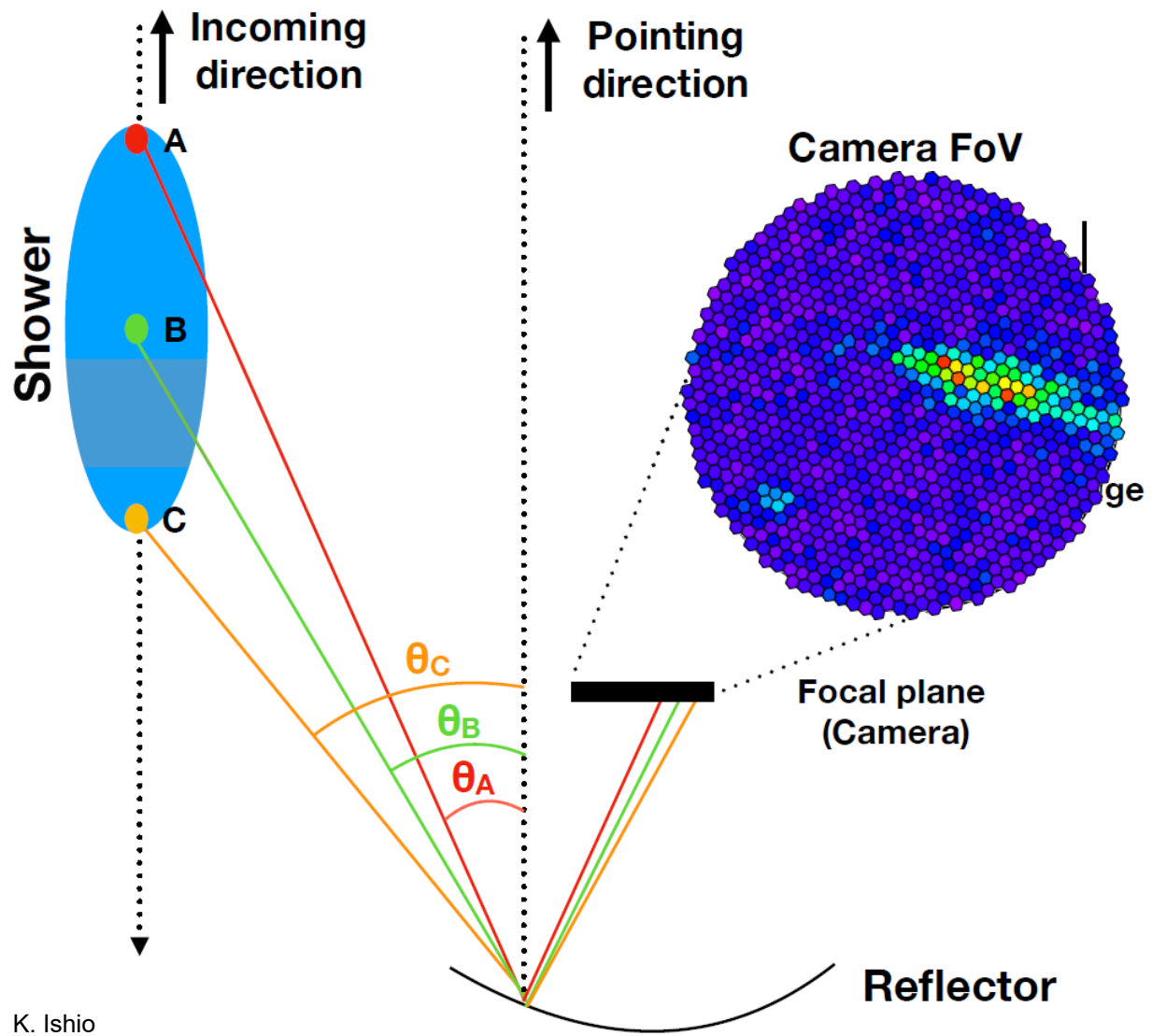


Geladene Teilchen  
(Protonen, Atomkerne)

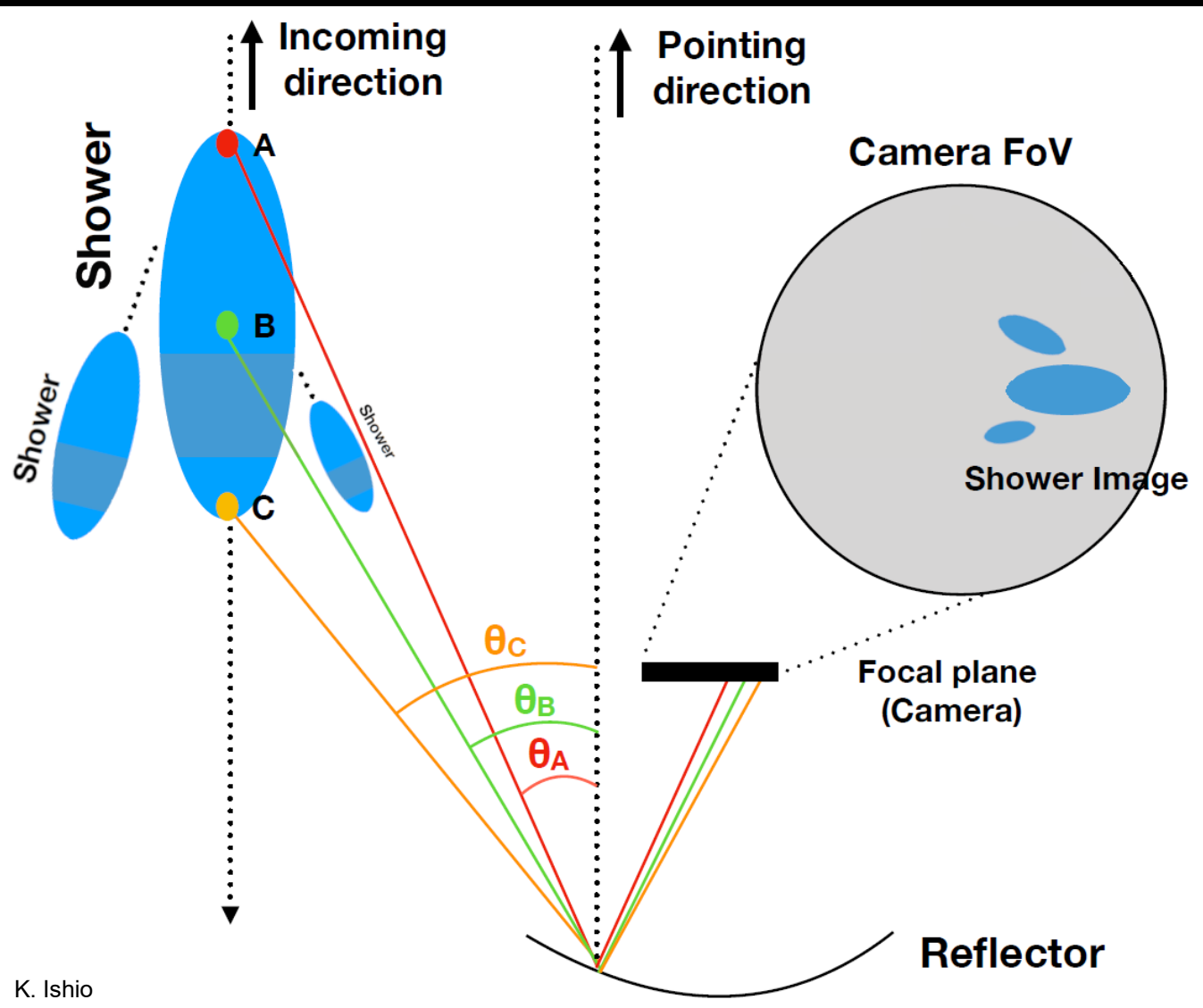


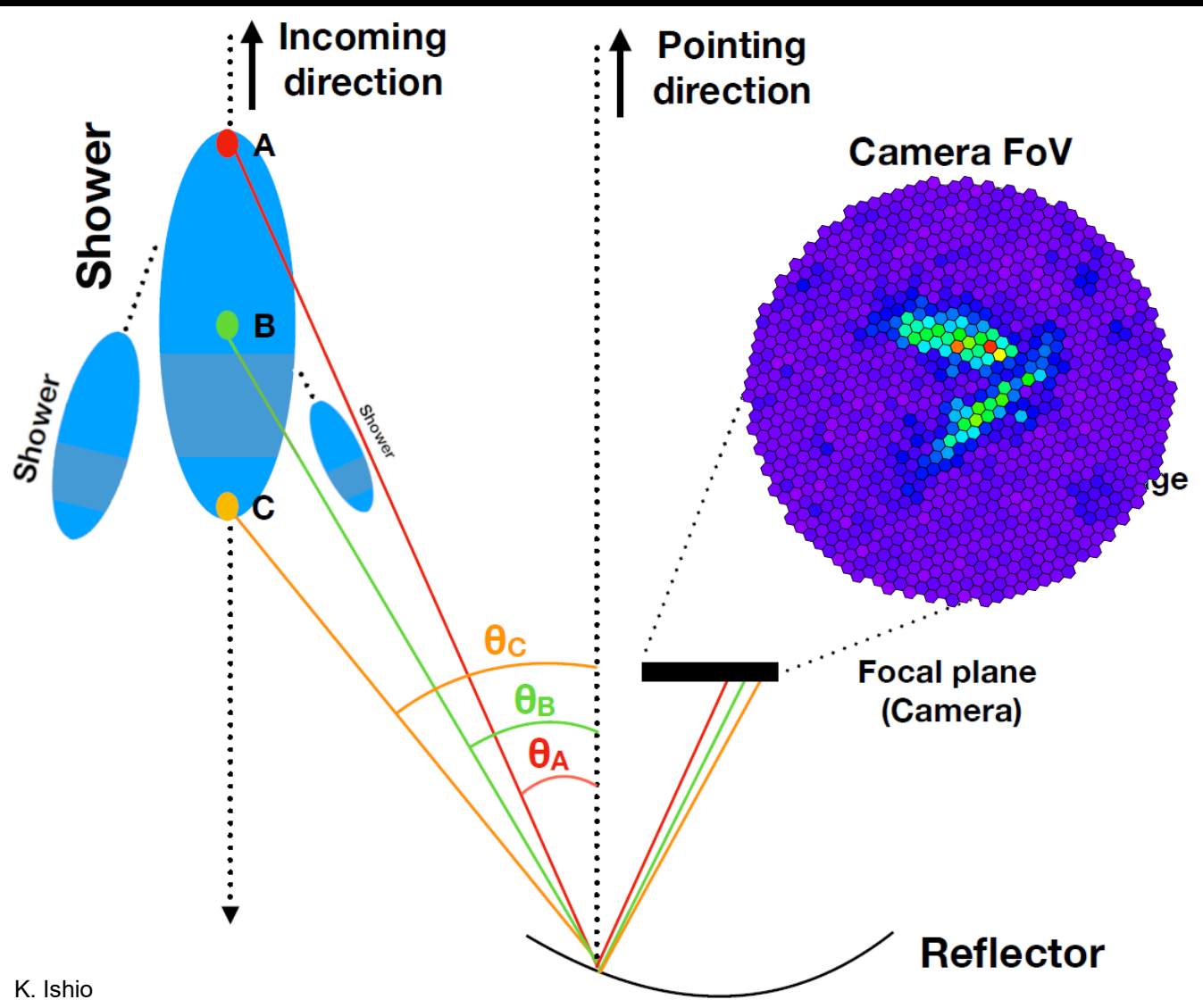


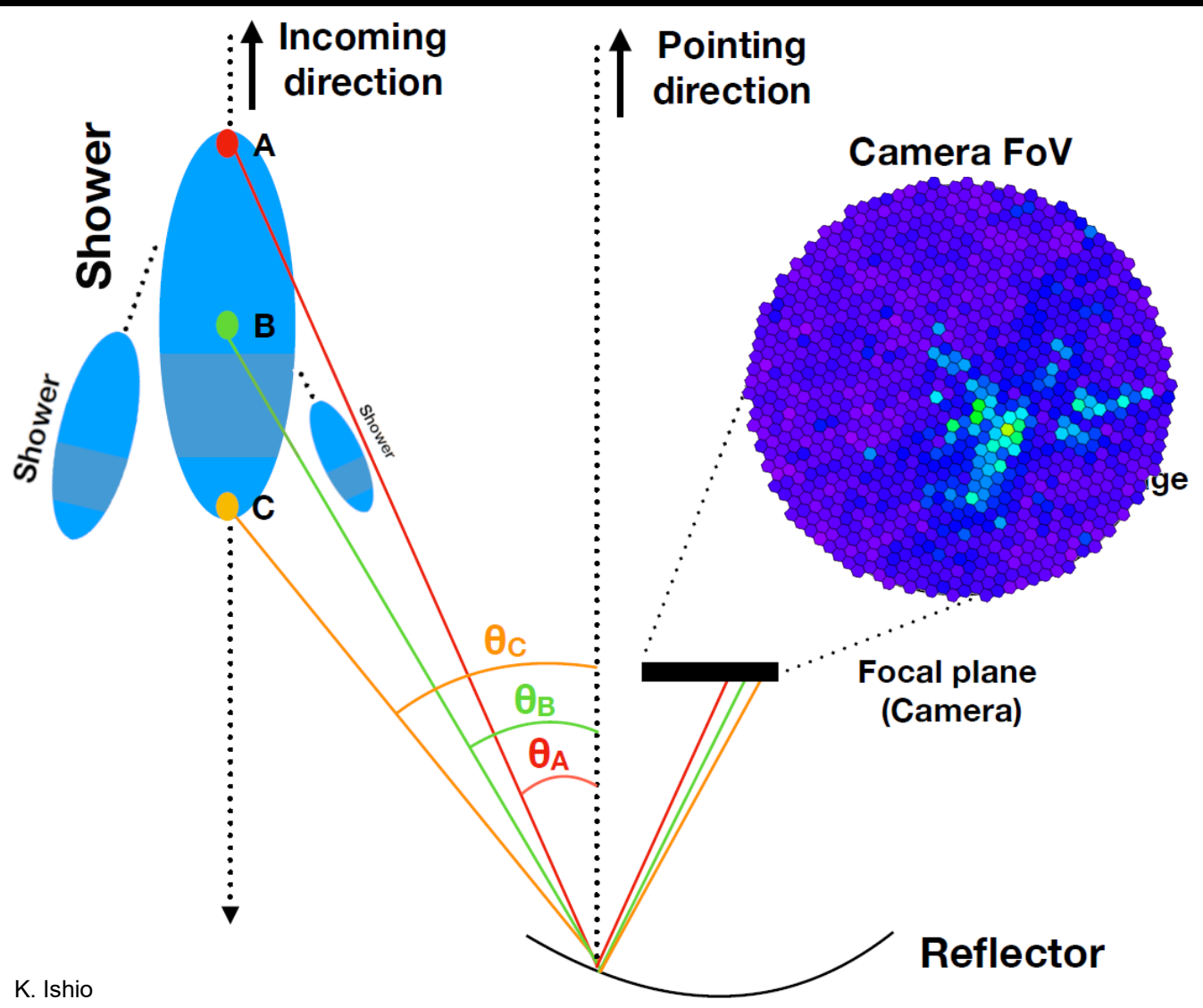


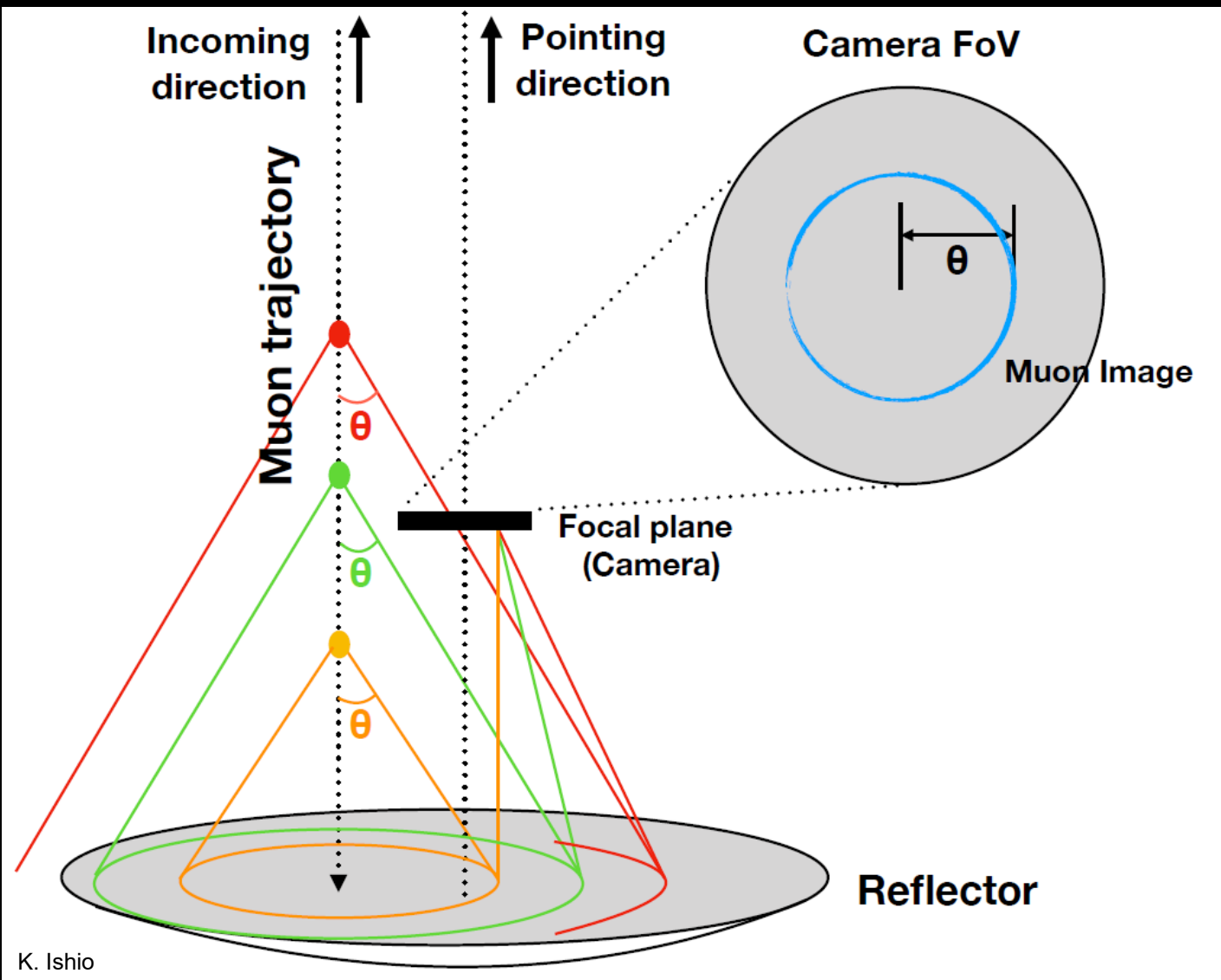


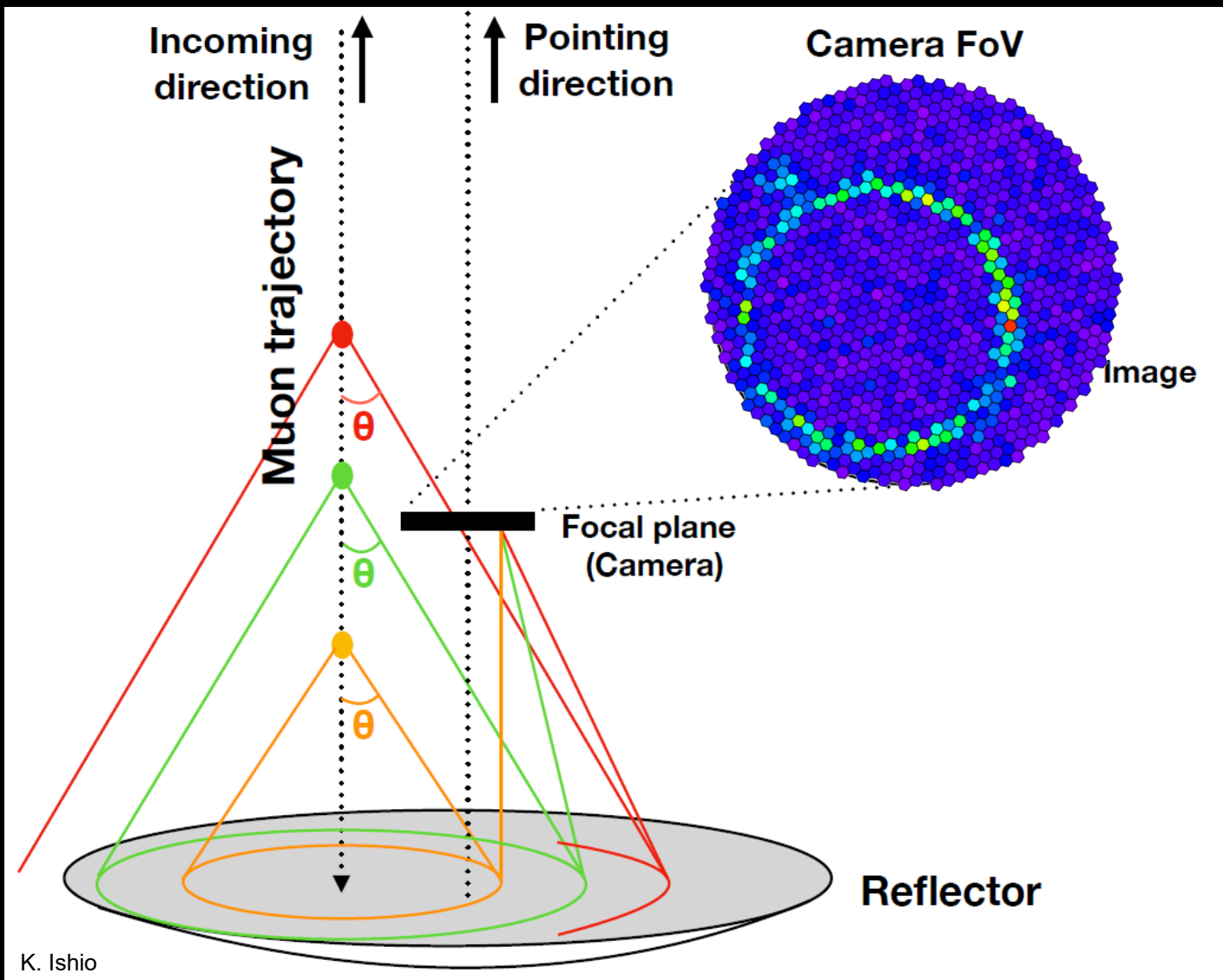










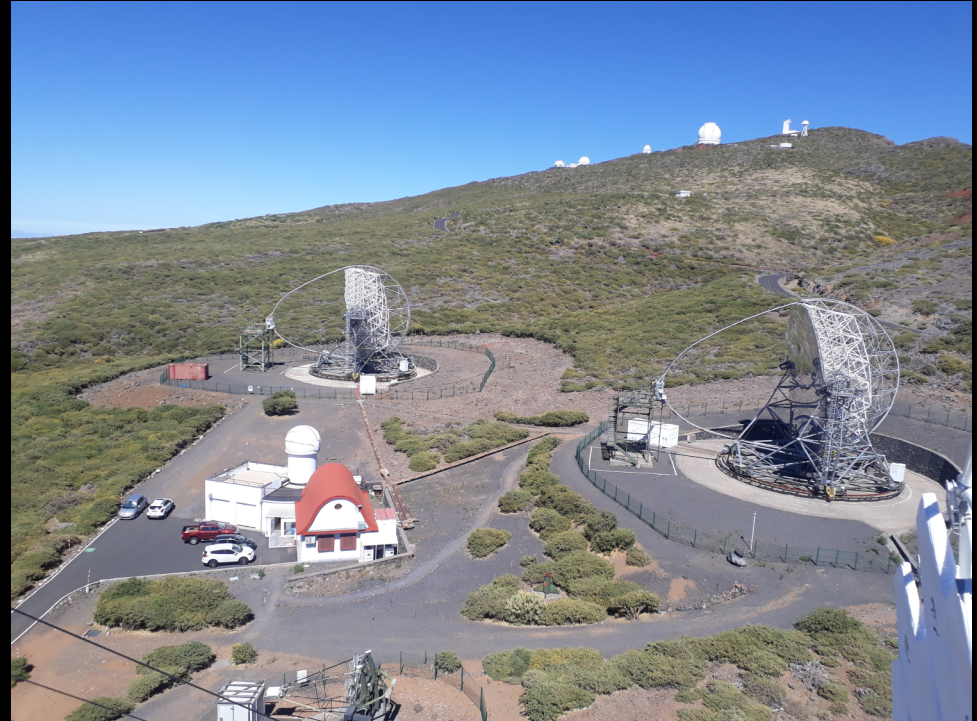


**PMT-Kamera**



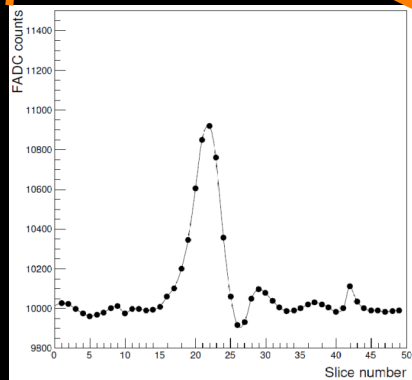
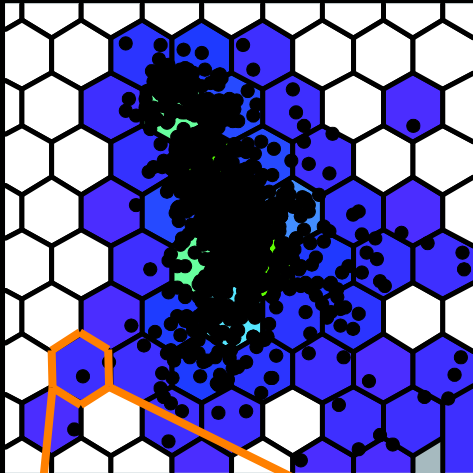
**Optische Faser /  
Lichtleiter**

**Auslese-Elektronik**



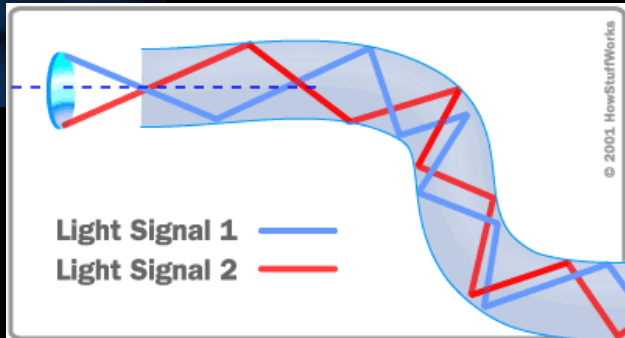
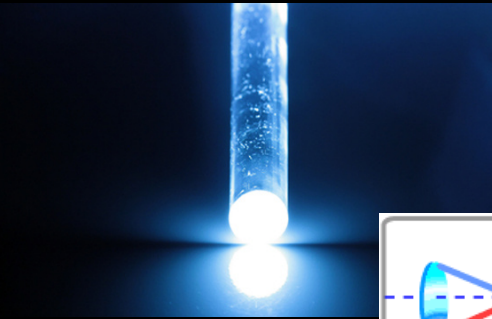
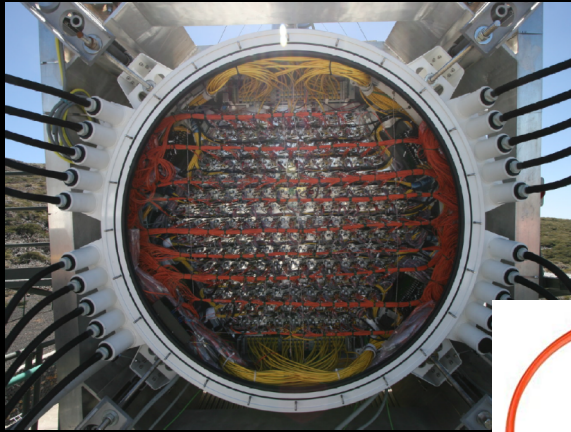
# PMT-Kamera

Photon 60 GeV



Pixel: 2 x 1039 x 700 000 Hz

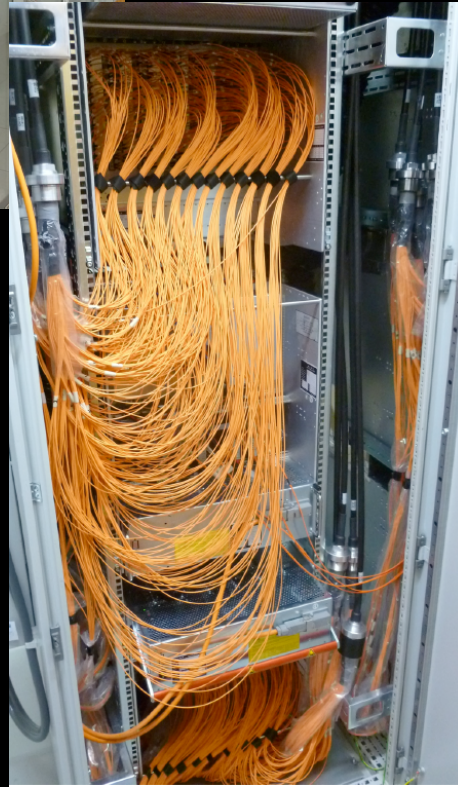
# 150 Meter Lichtleiter



Kameras: 2 x 20 000 Hz



# Auslese-Elektronik



Stereo: 2 x 300 Hz

**MAGIC 1**

**1–2 GB / min**

**2 TB / Nacht**



**MAGIC 2**

**1–2 GB / min**

**Und nun?**

**Wie bekommen wir diese Datenmenge reduziert und extrahieren die wichtigen Informationen um Physik zu machen?**

# MAGIC 1

1–2 GB / min



Kalibrierung /  
Signal-Extraktion

60 MB / min

70 GB / Nacht



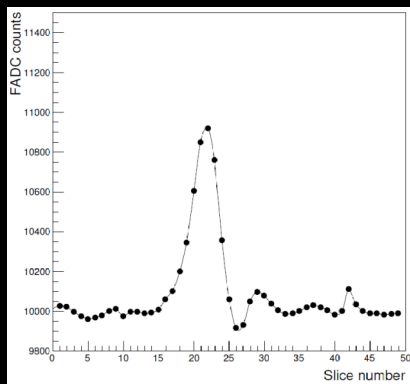
# MAGIC 2

1–2 GB / min

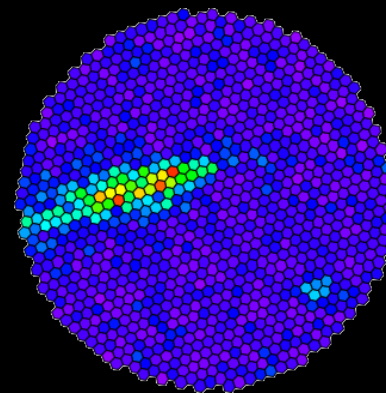


Kalibrierung /  
Signal-Extraktion

60 MB / min



Pixel mit Signal



Alle Pixel

## MAGIC 1

1–2 GB / min

Kalibrierung /  
Signal-Extraktion

60 MB / min

Image  
Cleaning  
5 MB / min

6 GB / Nacht



## MAGIC 2

1–2 GB / min

Kalibrierung /  
Signal-Extraktion

60 MB / min

Image  
Cleaning  
5 MB / min

Mehr dazu gleich...

**MAGIC 1**

**1–2 GB / min**

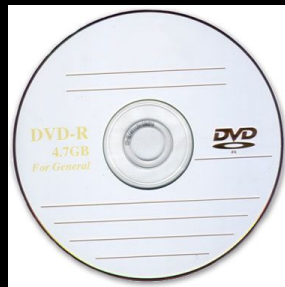
**Kalibrierung /  
Signal-Extraktion**

**60 MB / min**

**Image  
Cleaning**  
**5 MB / min**

**Stereo  
Rekonstruktion**  
**5 MB / min**

**3 GB / Nacht**



**MAGIC 2**

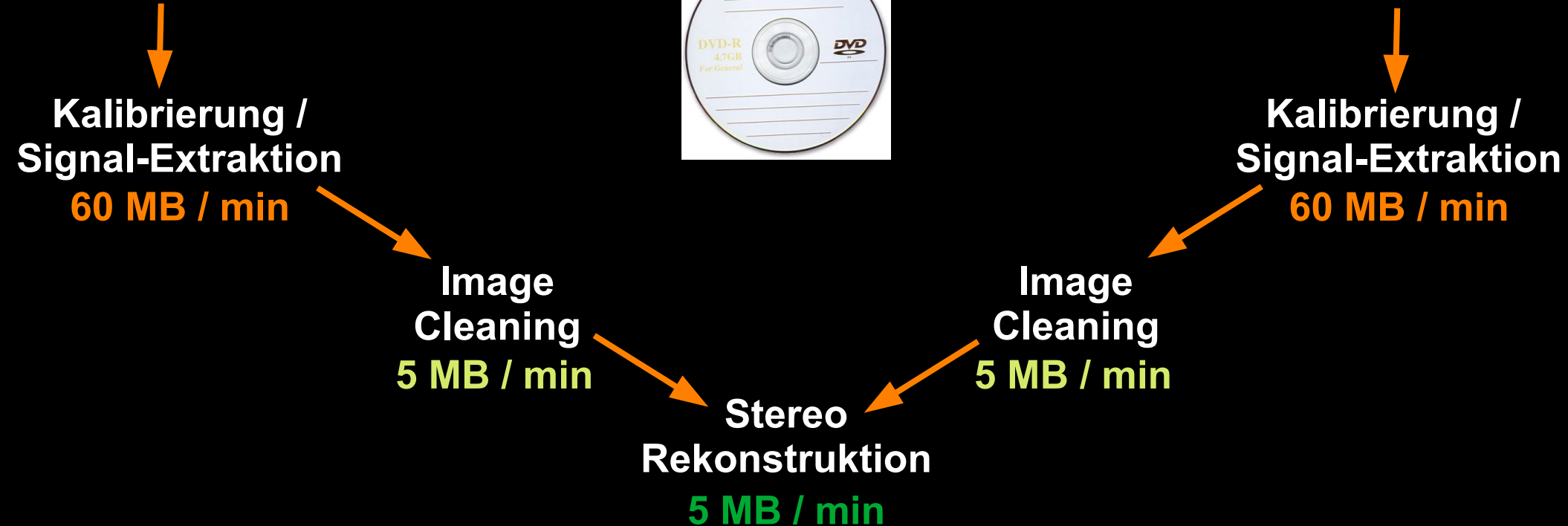
**1–2 GB / min**

**Kalibrierung /  
Signal-Extraktion**

**60 MB / min**

**Image  
Cleaning**  
**5 MB / min**

**Stereo  
Rekonstruktion**  
**5 MB / min**



**MAGIC 1**

**1–2 GB / min**

**Kalibrierung /  
Signal-Extraktion**

**60 MB / min**

**Image  
Cleaning**  
**5 MB / min**

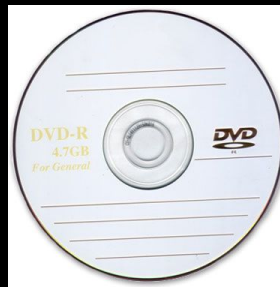
**Stereo  
Rekonstruktion**

**5 MB / min**

**Trennung von  $\gamma$  / h**

**5 MB / min**

**3 GB / Nacht**



**MAGIC 2**

**1–2 GB / min**

**Kalibrierung /  
Signal-Extraktion**

**60 MB / min**

**Image  
Cleaning**  
**5 MB / min**

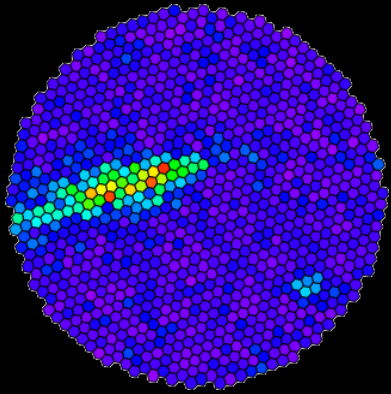
**Stereo  
Rekonstruktion**

**5 MB / min**

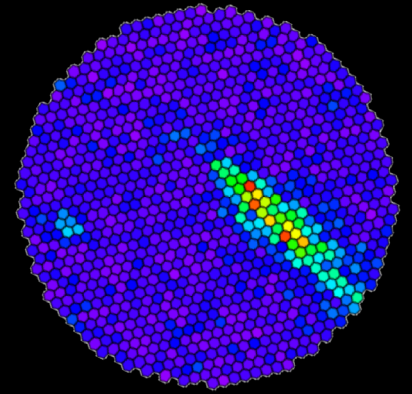
**Trennung von  $\gamma$  / h**

**5 MB / min**

# Image Cleaning

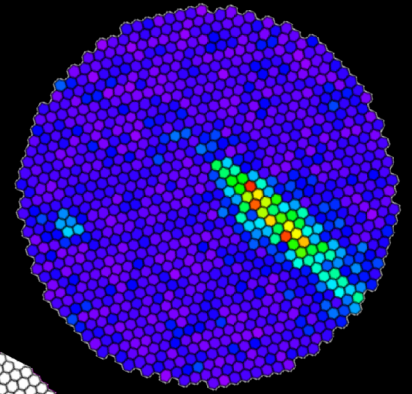
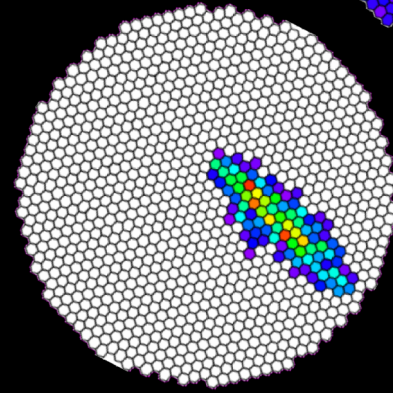
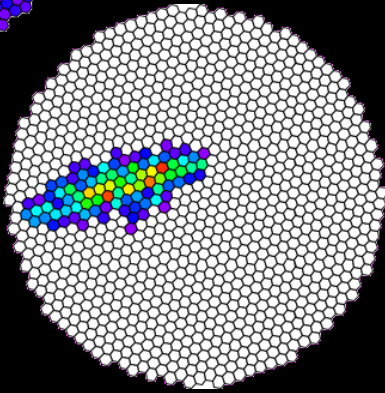
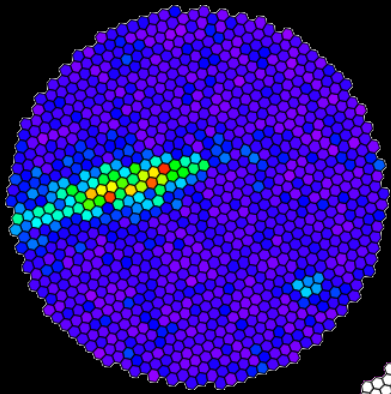


**Bild eines Photons in  
MAGIC-1 und MAGIC-2**



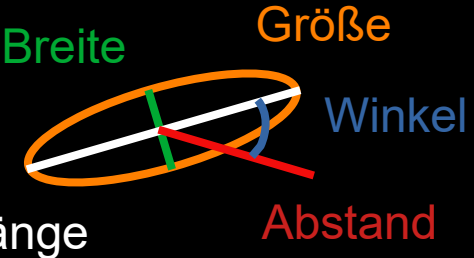
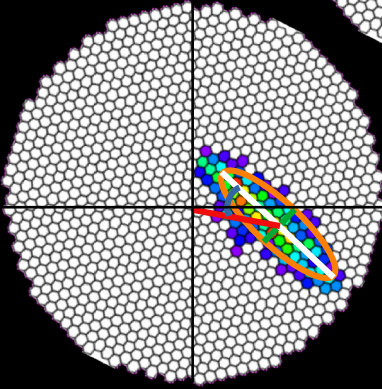
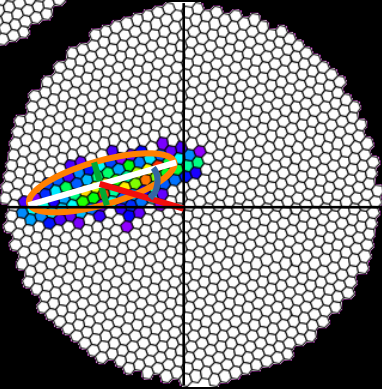
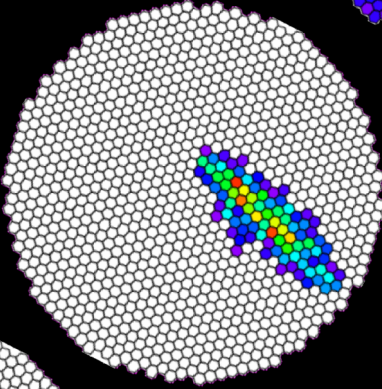
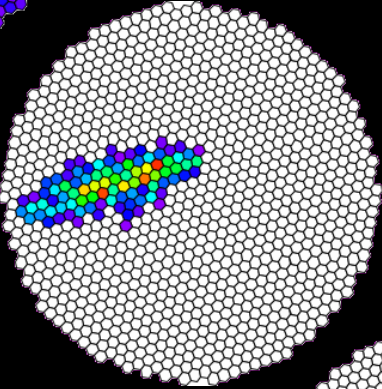
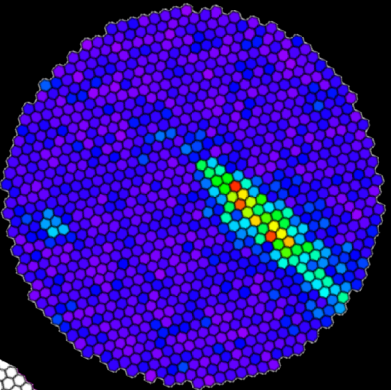
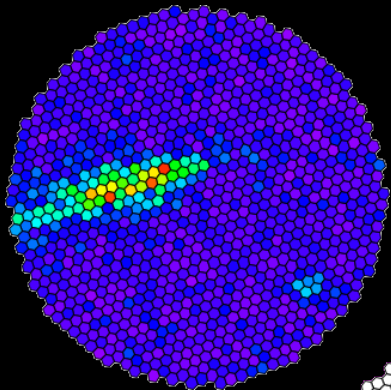
# Image Cleaning

Ausschneiden des Signals,  
Entfernen des Hintergrunds





# Schauer-Parameter extrahieren



Breite

Größe

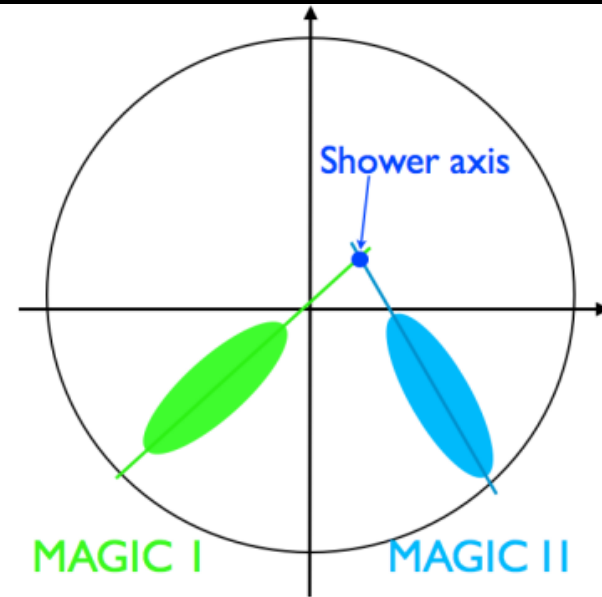
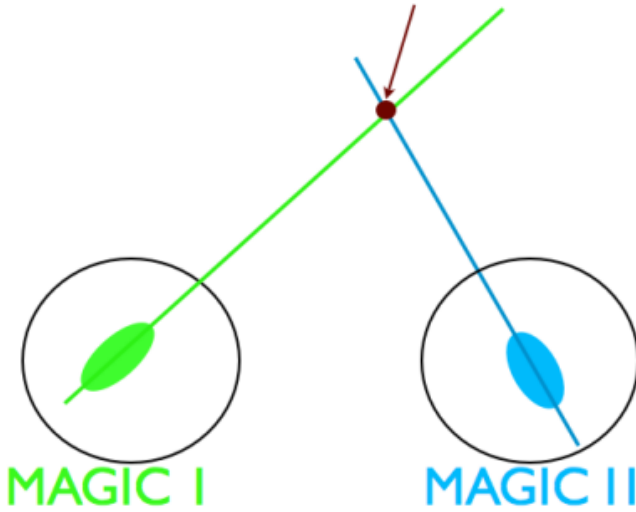
Winkel

Länge

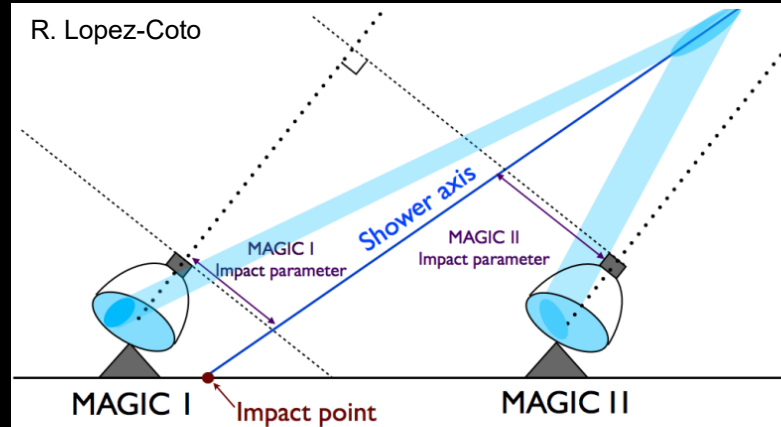
Abstand

R. Lopez-Coto

Impact point

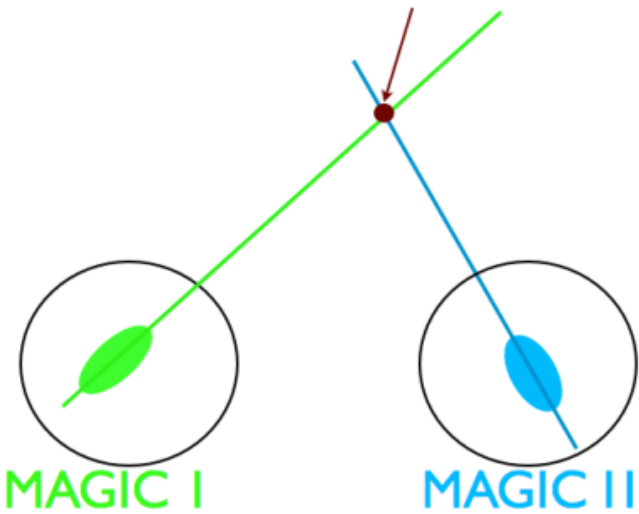


R. Lopez-Coto

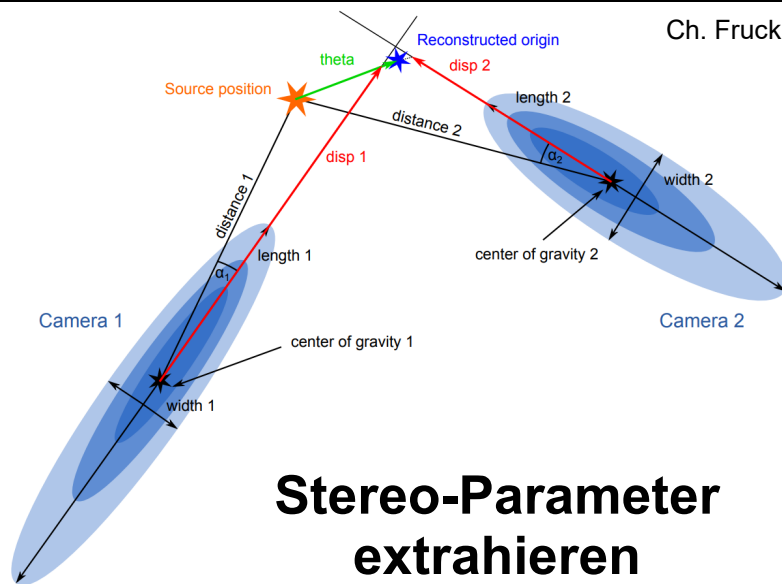


R. Lopez-Coto

Impact point

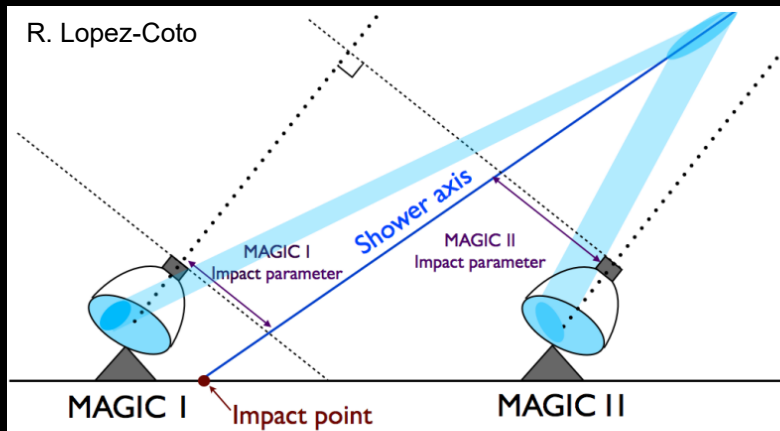


Ch. Fruck



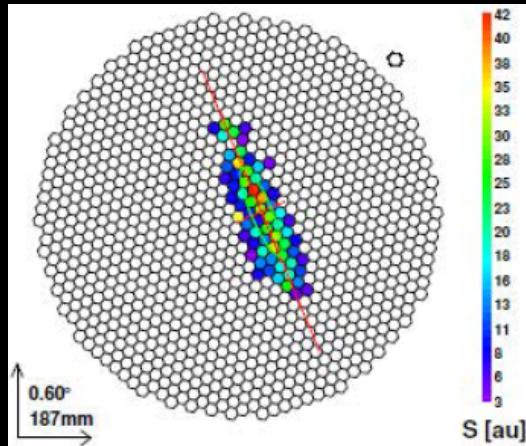
Stereo-Parameter extrahieren

R. Lopez-Coto

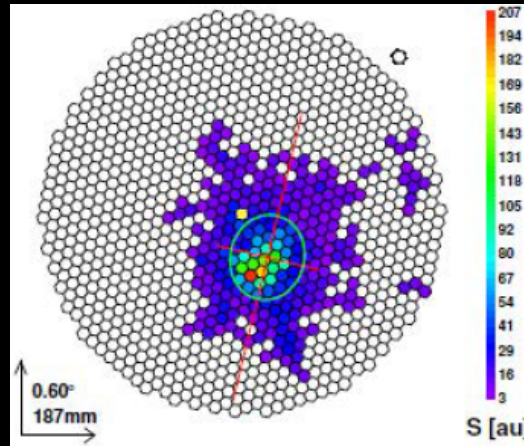


# Schauer- und Stereo-Parameter für alle Ereignisse extrahiert

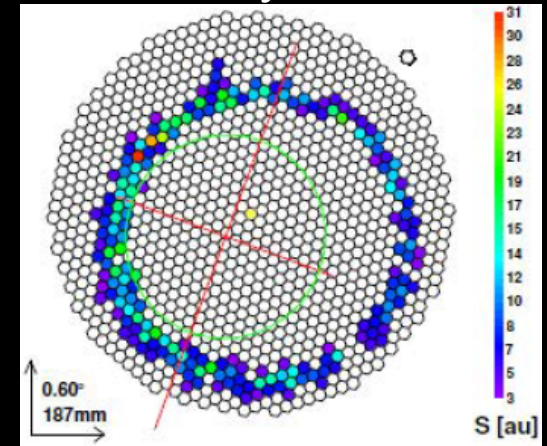
Photon



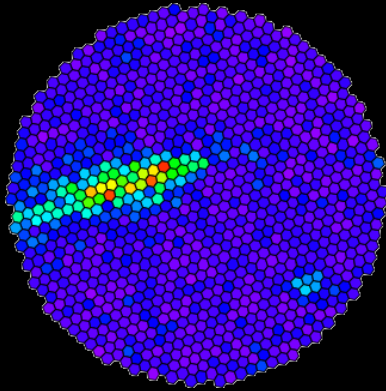
Proton



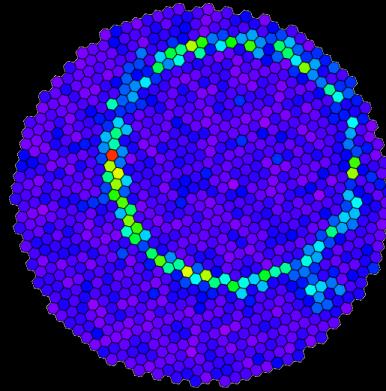
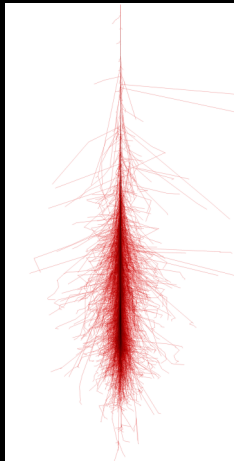
Myon



# Quiz zur Ereignisklassifizierung

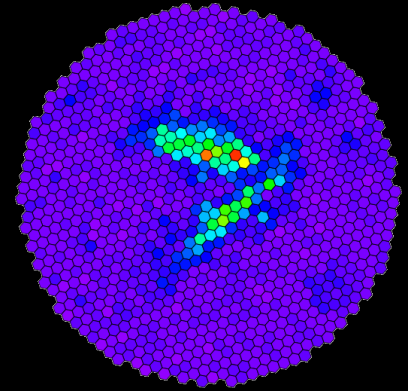


Photon

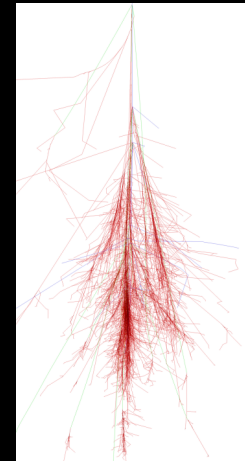


Myon

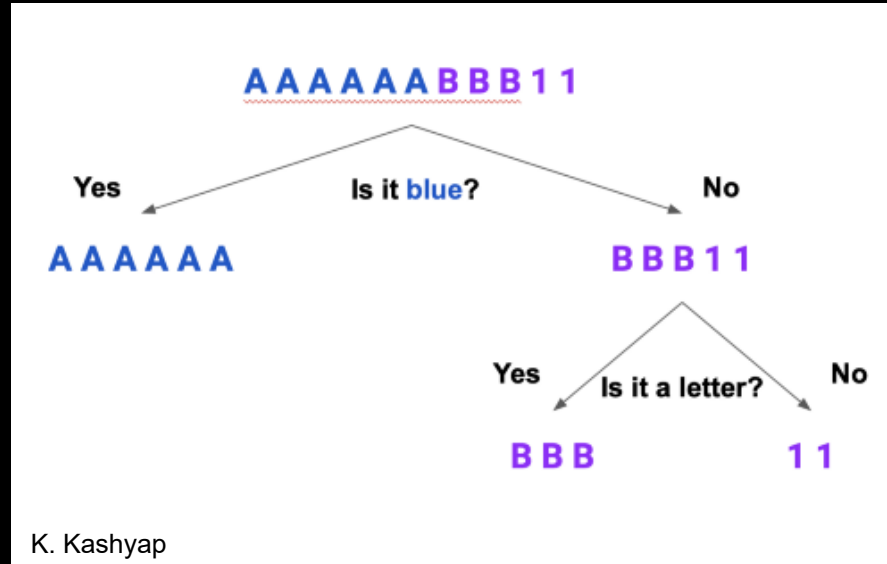
Lea Heckmann &  
Martin Will



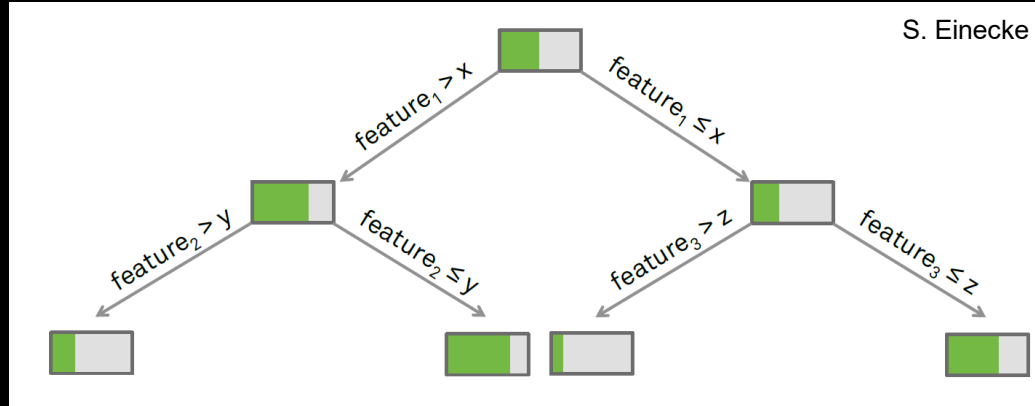
Proton



# Trennung von $\gamma$ / h „Random Forest“

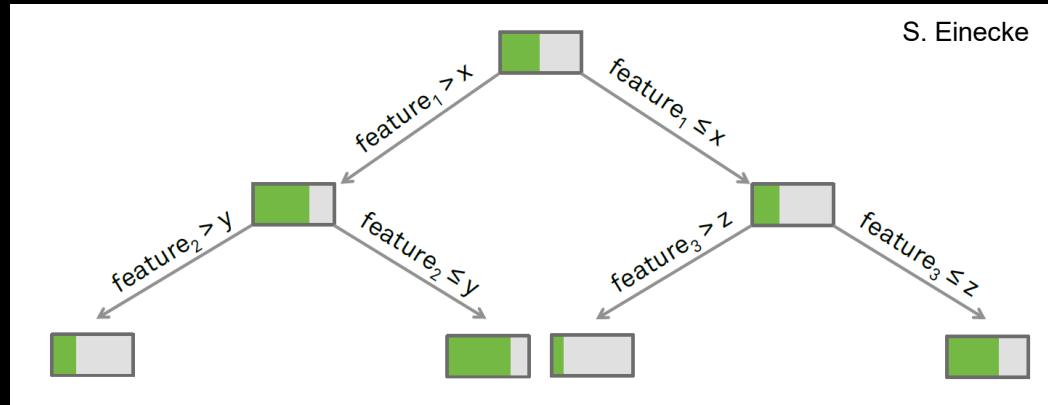


# Trennung von $\gamma$ / $h$ „Random Forest“



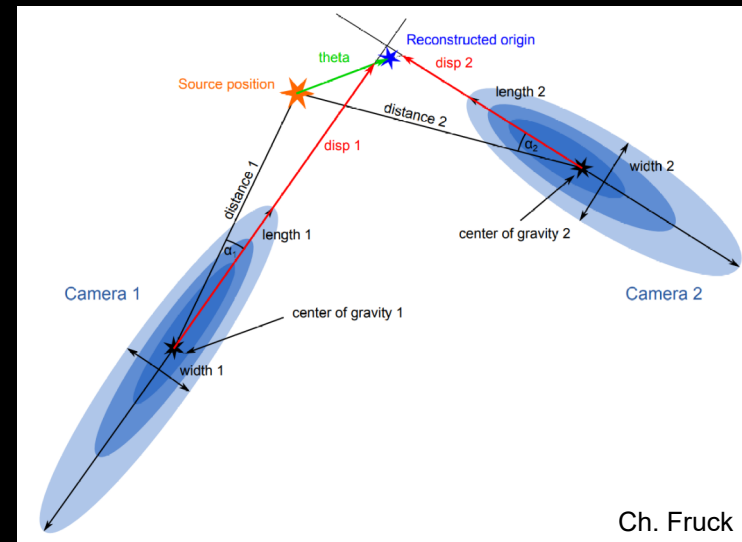
# Trennung von $\gamma / h$

# „Random Forest“



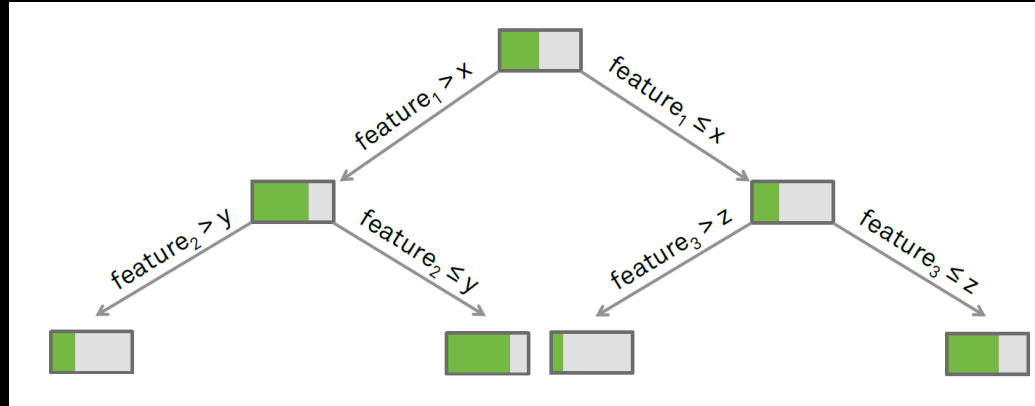
## Mögliche Parameter:

- Ellipse (Größe, Breite, Länge)
- Zeitliche Entwicklung des Bildes
- Rekonstruktion des Schauers (Höhe, Entfernung)



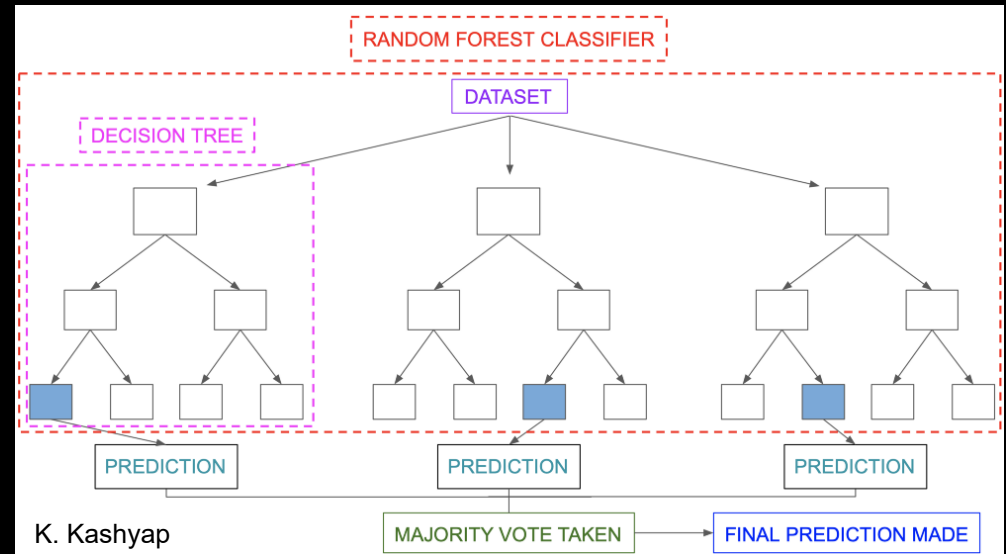


# Trennung von $\gamma$ / $h$ „Random Forest“



**Training mit Simulationen  
(Wahrheit ist bekannt!)  
zum Gewichten der Parameter**

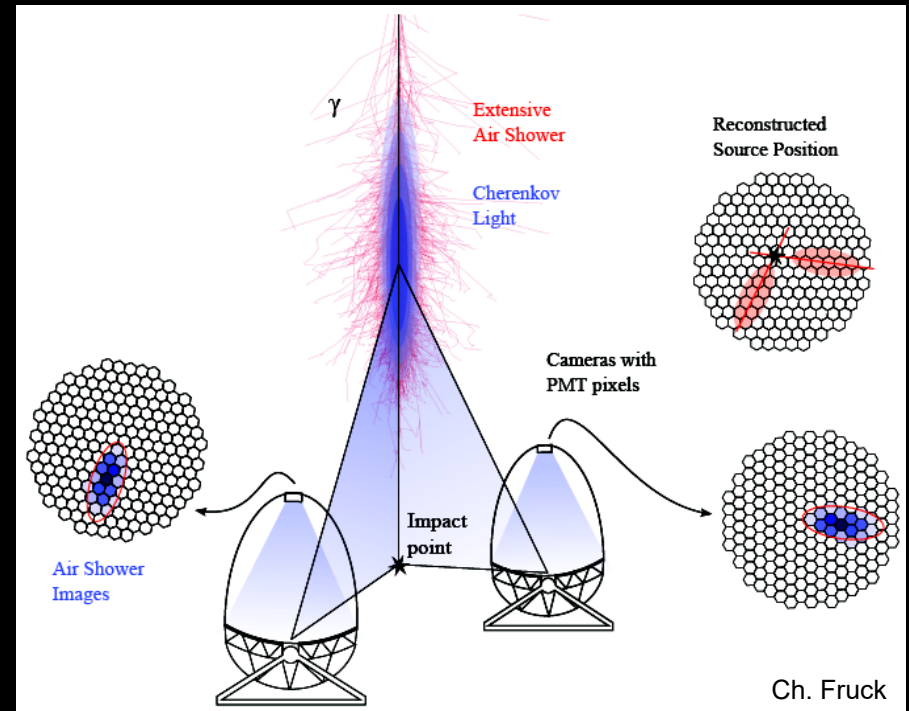
**Fertiger „Baum“ wird auf die  
echten Daten angewendet um  
Photonen vom Rest zu trennen**



**Wir haben nun alles beisammen.**

**Für jedes verbleibende Ereignis kennen wir:**

- Wahrscheinlichkeit der Teilchenart
- Abschätzung der Energie
- Abschätzung der Richtung



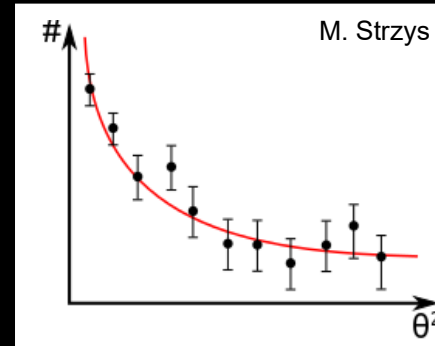
**Nun beginnt die eigentliche Arbeit der Physiker, die Selektion der Ereignisse anhand der verfügbaren Parameter:**

- **Wie wahrscheinlich soll das Ereignis ein Photon sein?**  
(Je höher, umso weniger Hadronen-Hintergrund, aber auch weniger Photonen)
- **Wie weit von der erwarteten Quellposition darf die Richtung weg sein?**  
(Bei weit entfernten Punktquellen eher streng,  
bei nahen oder ausgedehnten Quellen eher weniger strikt)

**Die meiste Zeit wird auf die Optimierung der Selektion und das wiederholte Durchlaufen der vorherigen Rekonstruktionsschritte**

**Und was kommt nun am Ende dabei raus?**

→ **Quellendetektion**  
Ist das Signal echt  
oder nur Zufall?



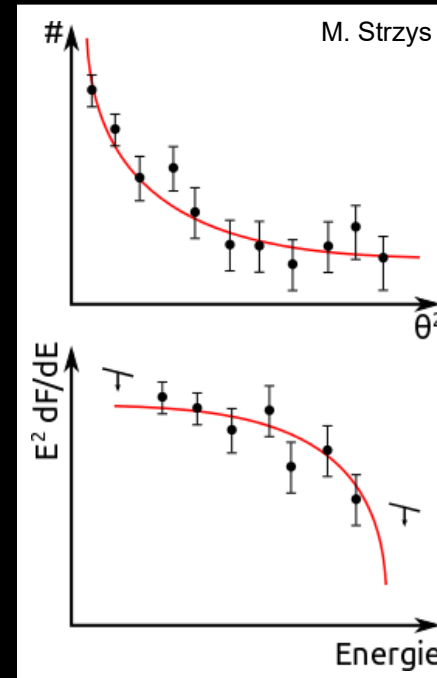
Signal gegen  
Winkelabstand  
zur Quelle

→ **Quellendetektion**

Ist das Signal echt  
oder nur Zufall?

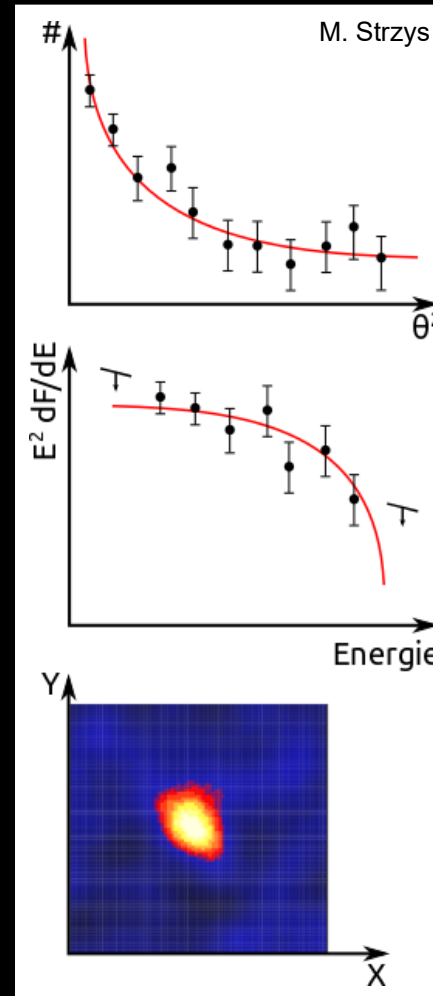
→ **Energiespektrum**

Bei welcher Energie  
erreicht uns wie viel Strahlung?



Fluss gegen  
Energie der  
Photonen

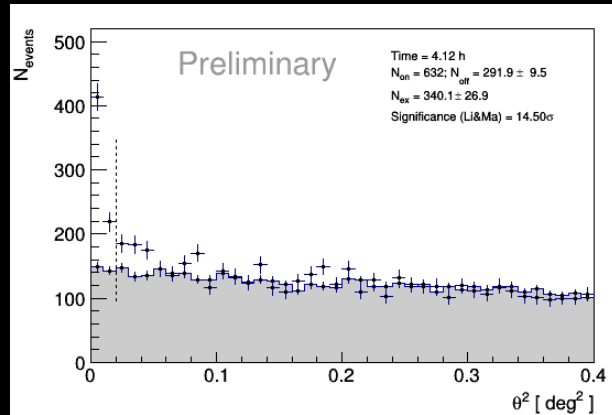
- **Quellendetektion**  
Ist das Signal echt  
oder nur Zufall?
- **Energiespektrum**  
Bei welcher Energie  
erreicht uns wie viel Strahlung?
- **Himmelskarte**  
Aus welcher Richtung  
kommt die Strahlung?



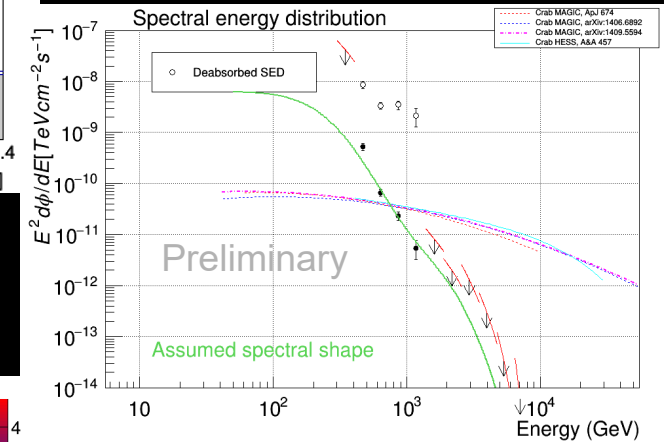
Richtungen  
der Photonen

# GRB190114C: Der erste Gammastrahlenblitz der von einem Cherenkov-Teleskop (MAGIC) nach 15 Jahren Suche entdeckt wurde!

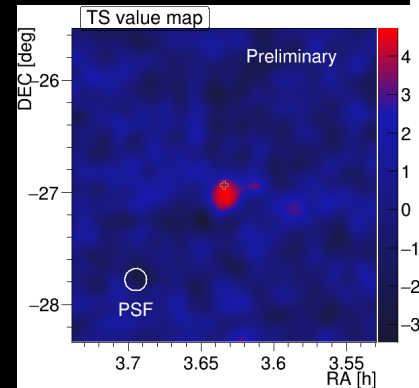
→ **Quellendetektion**  
Ist das Signal echt oder nur Zufall?



→ **Energiespektrum**  
Bei welcher Energie erreicht uns wie viel Strahlung?



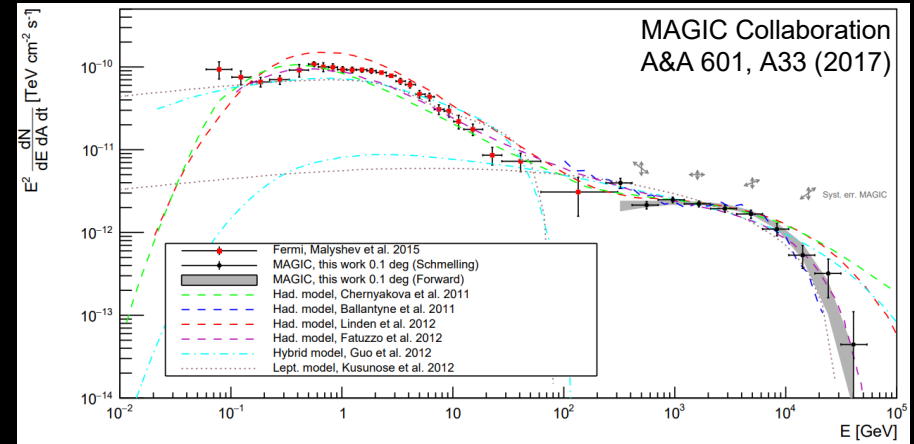
→ **Himmelskarte**  
Aus welcher Richtung kommt die Strahlung?



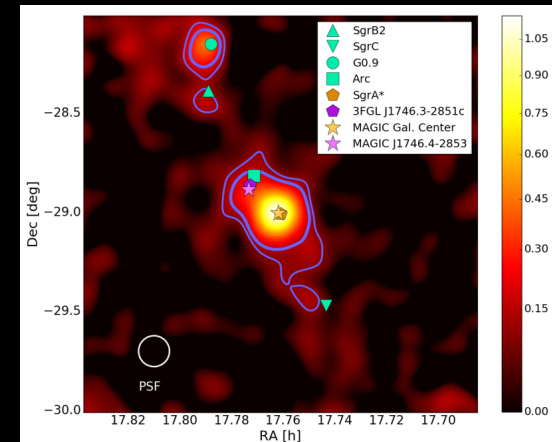
MAGIC Collaboration  
Nature 575, p455–458 (2019)

# Sagittarius A\*: Das Schwarze Loch im Zentrum unserer Galaxie

→ **Energiespektrum**  
Bei welcher Energie erreicht uns wie viel Strahlung?



→ **Himmelskarte**  
Aus welcher Richtung kommt die Strahlung?





Aber wir sind noch nicht fertig, jetzt fängt der Spaß erst an:

- Die Interpretation der Ergebnisse (was passiert bei der Quelle?)
- Der Vergleich der Messungen mit den verfügbaren Theorien (stimmt die Theorie oder nicht?)

