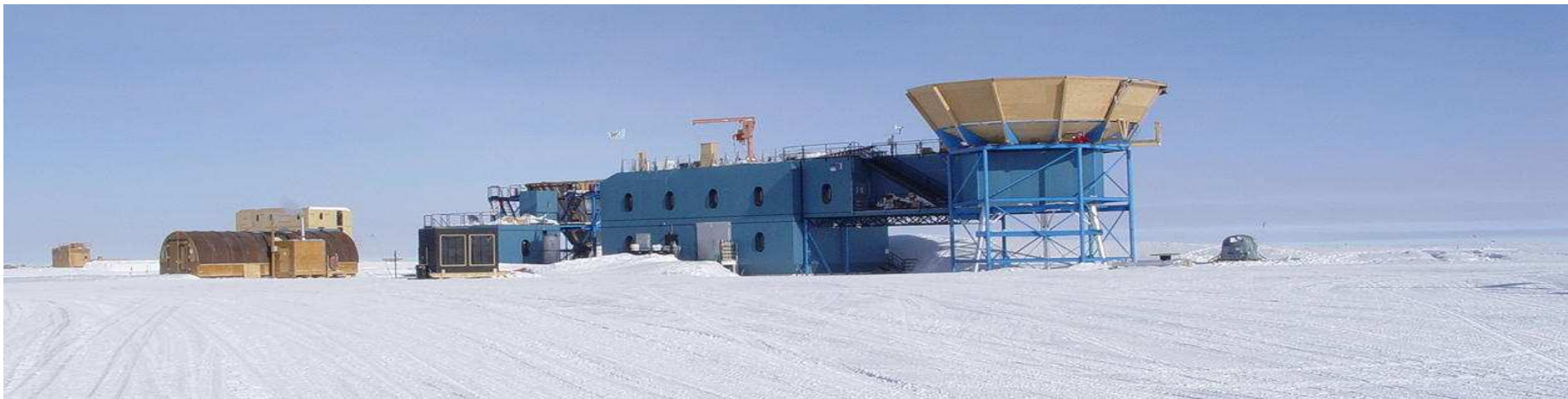
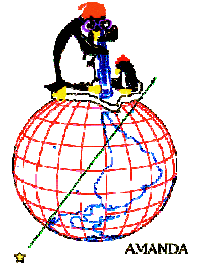


# TWRDaq – Ein Datennahme- und Triggersystem für das AMANDA\* Neutrinooteleskop

\*Antarctic Muon and Neutrino Detector Array

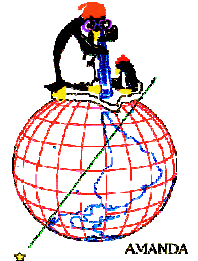


# Inhalt



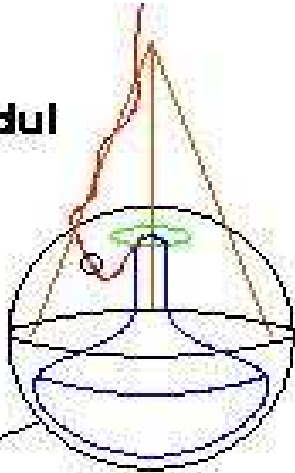
- Der Nachweis von hochenergetischen Neutrinos
- Das AMANDA Experiment
- Das neue Datennahmesystem (TWRDaq)
- Verifikation: Vergleich MuonDaq / TWRDaq
- Erste Rekonstruktion mit Daten der TWRDaq
- Aufbau eines Softwaretriggersystems
- Integration von AMANDA in IceCube
- Zusammenfassung

# Der Nachweis von hochenergetischen Neutrinos

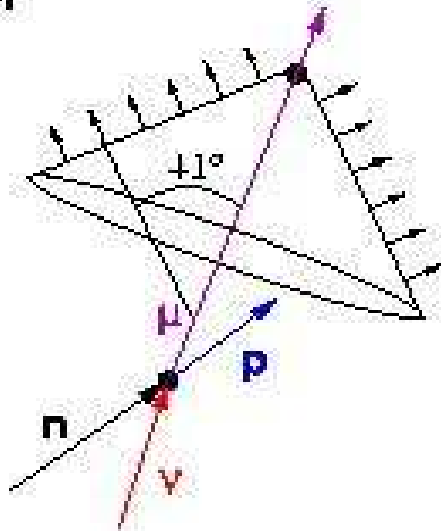


Optisches Modul

Glaskugel

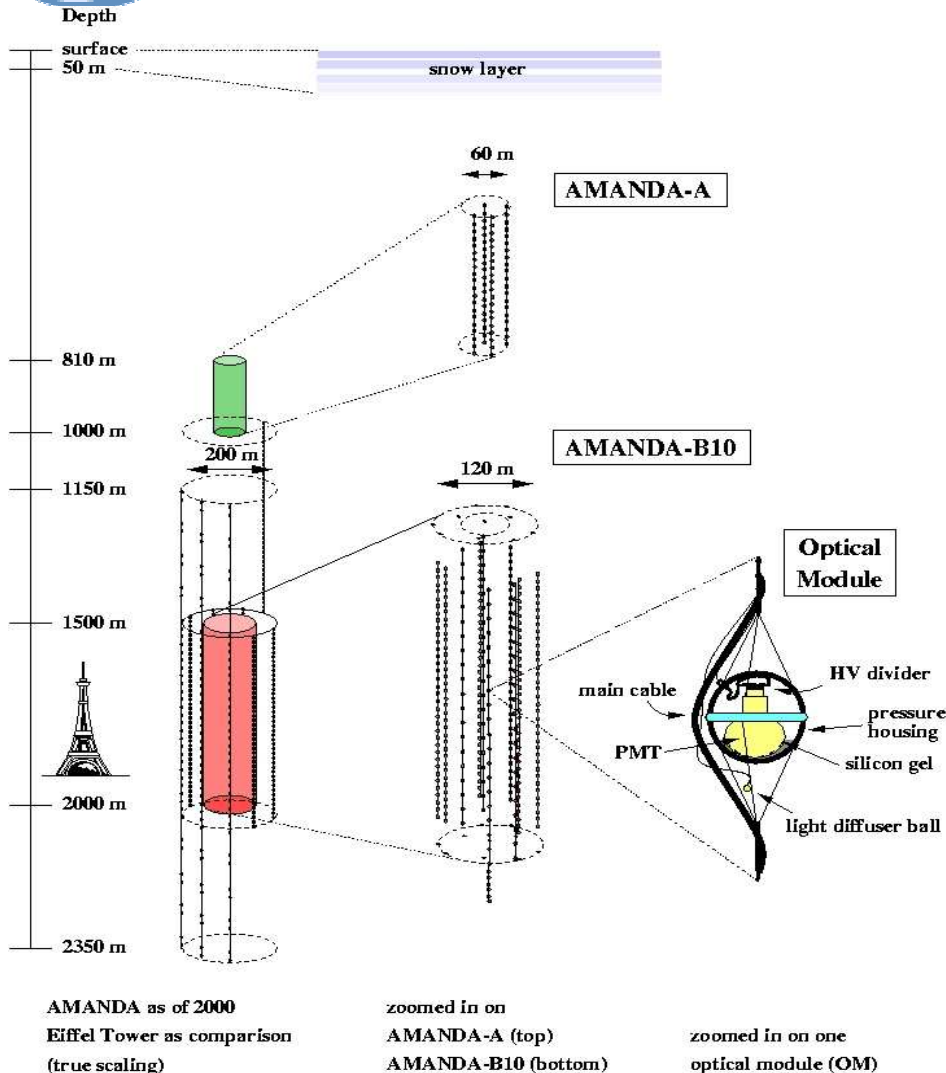
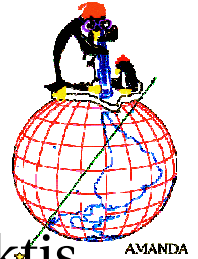


Photomultiplier



- Produktion eines Leptons:  $\nu + x \rightarrow l + y$
- Lepton erhält etwa 1/3 bis 1/2 der Energie des Neutrinos  $\Rightarrow$  Winkel zwischen Neutrino und Lepton  $< 1^\circ$
- $\mu$  erzeugen Tscherenkow - Licht im Eis (Kegel mit Öffnungswinkel von  $41^\circ$ ).
- Das Tscherenkow - Licht wird in einer großen Anzahl von Photomultipliern registriert.
- Bestimmung der Teilchenspur durch Rekonstruktion des Tscherenkow - Kegels.
- Energierekonstruktion durch z.B. die Intensität oder die Länge der Spur.

# Der AMANDA-Detektor



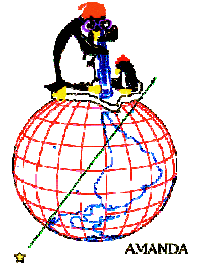
- Geographischer Südpol/Antarktis
- Eis als Detektionsmedium für das Tscherenkow - Licht
- 677 Photomultiplier PMT in 19 Ketten, Signale analog übertragen zur DAQ an der Oberfläche
- Tiefe ~1500 -2000 m
- ✓ Große Absorptionslänge (~100 m)
- ✗ Kleine Streulänge (~27 m)
- ✓ Sehr reines Medium, keine radioaktiven Isotope, wie z.B.  $K^{40}$  vorhanden.
- ✓ Geringes Rauschen der PMTs durch niedrige Temperaturen
- ✓ Amundsen Scott Station...





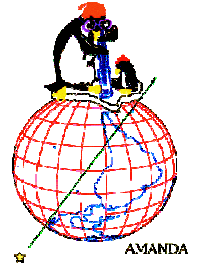


# Wissenschaftliche Ziele



- Messung des isotropen (kosmischen) Neutrinoflusses und des Energiespektrums in einem Bereich von 50 GeV bis zu mehreren PeV ==> **Grosser dynamischer Bereich, gute Auflösung für die Photonenzahl.**
- Identifizierung von astronomischen Neutrinoquellen ==> **Gute Winkelauflösung, stabiles System.**
- Identifizierung von transienten astronomischen Neutrinoquellen, z.B. Gamma Ray Bursts (GRB), Aktive Galaktische Kerne (AGN) flares ==> **Gute Winkelauflösung, gute Zeitauflösung.**
- Detektierung von Supernovae ==> **Stabiles System, kleine Totzeit.**

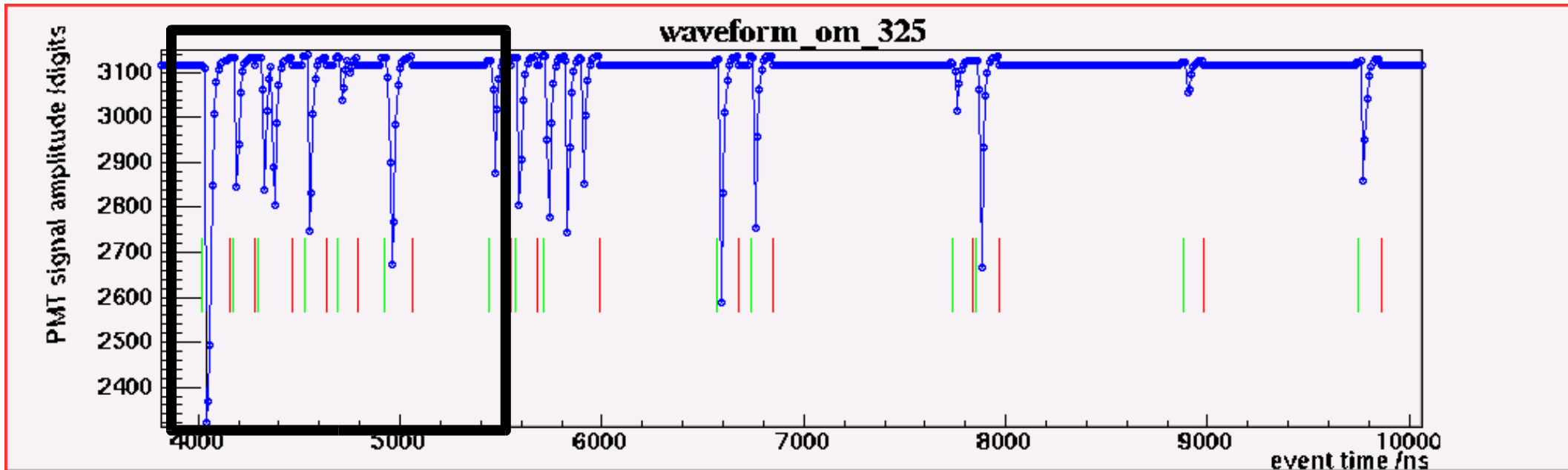
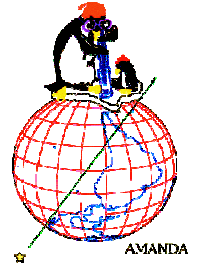
# Wissenschaftliche Ziele



- Nachweis von exotischen Teilchen, z.B.:
  - Weakly Interacting Massive Particles WIMPs (Dunkle Materie), die sich in grossen Massen (Erde, Sonne, Zentrum der Galaxis) ansammeln und annihilieren . Nachweis durch Häufung von Neutrinos mit kleiner Energie aus bestimmter Richtung.  
**==> Kleine Energieschwelle.**
  - Magnetische Monopole **==> Triggerbedingung problematisch, da sich die Teilchen sehr langsam bewegen.**
- Analyse des atmosphärischen Myonenflusses zur Kalibration des Detektors und zur Messung der chemischen Zusammensetzung der Kosmischen Strahlung.

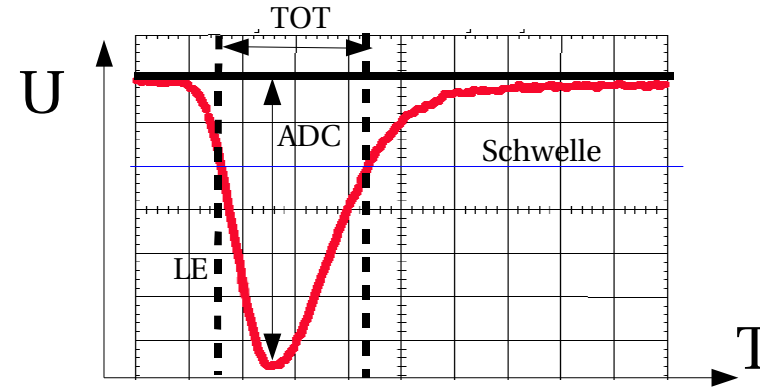
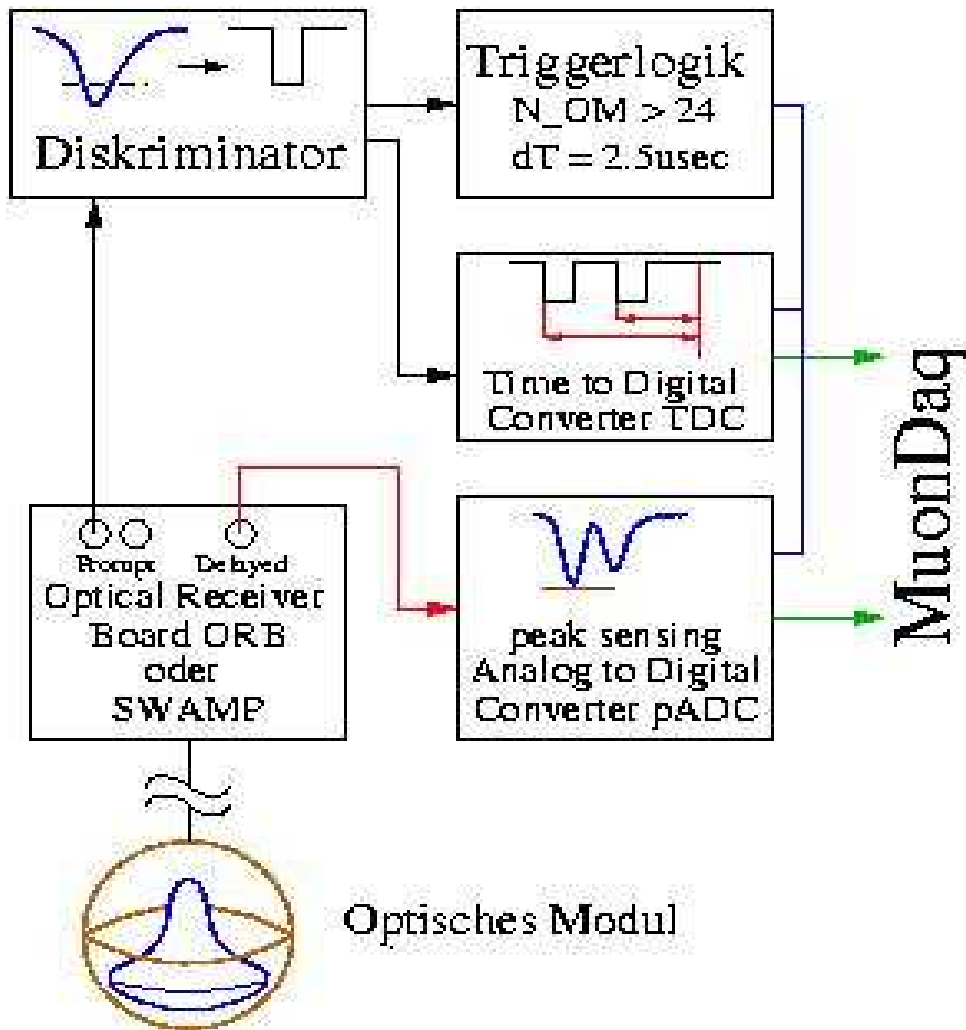
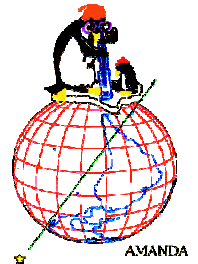


# Wie sehen die Ereignisse aus ?



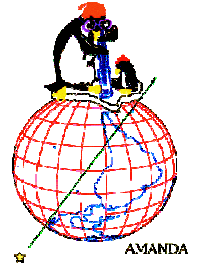
Photomultiplierpulse werden analog zur Oberfläche übertragen.  
 Problem: Limitierung des alten Datenahmesystems MuonDaq:  
 maximal **8 Pulse** und **1 Amplitude**  
 ==> Hochenergetische Ereignisse werden nicht komplett “gesehen”.

# Bisherige Datennahme System MuonDaq



- Übertragung der analogen Photomultiplierpulse über 2km an die Oberfläche.
- Messen des **Maximums** der Signalpulse durch einen pADC (Analog to Digital Converter) ==> **nur ein Wert pro Ereignis.**
- Aufnahme der **einzelnen Pulsflanken** durch einen TDC (Time to Digital Converter) ==> **nur maximal 16 Pulsflanken <==> 8 Pulse.**
- Totzeit der MuonDaq ca. 2.2 ms (15 % Datenverlust).

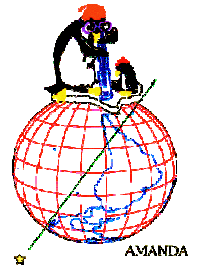
# Anforderungen an ein neues Datennahme System



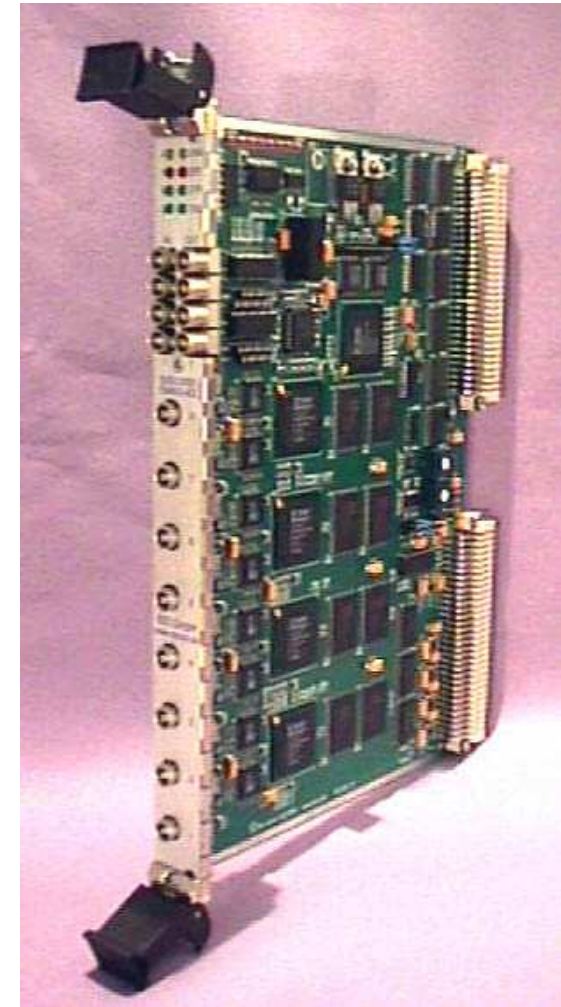
- Keine Beschränkung der Anzahl der Pulse
  - Amplitudeninformation für jeden Puls
  - Gute Auflösung von Pulsen
  - Gute Zeitauflösung für den Pulsbeginn  $< 5\text{ns}$
  - Totzeitfreie Datennahme
  - Flexibles Triggersystem
- ==> Messung der gesamten Wellenform mit  
einem Transient Waveform Recorder TWR

# Der TWR

## Technische Daten

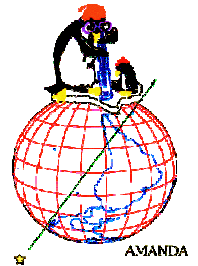


- Transient Waveform Recorder SIS 3300  
Flash ADC von Struck in Hamburg
- 8 Kanäle
- 12 bit Auflösung
- 5V Meßbereich
- 100 MHz <--> 10 nsec/Meßpunkt
- Zeitfenster 10 µsec (variabel)
- 2 Speicher Bänke
- ausgerüstet mit programmierbaren  
Logikbausteinen (FPGA)





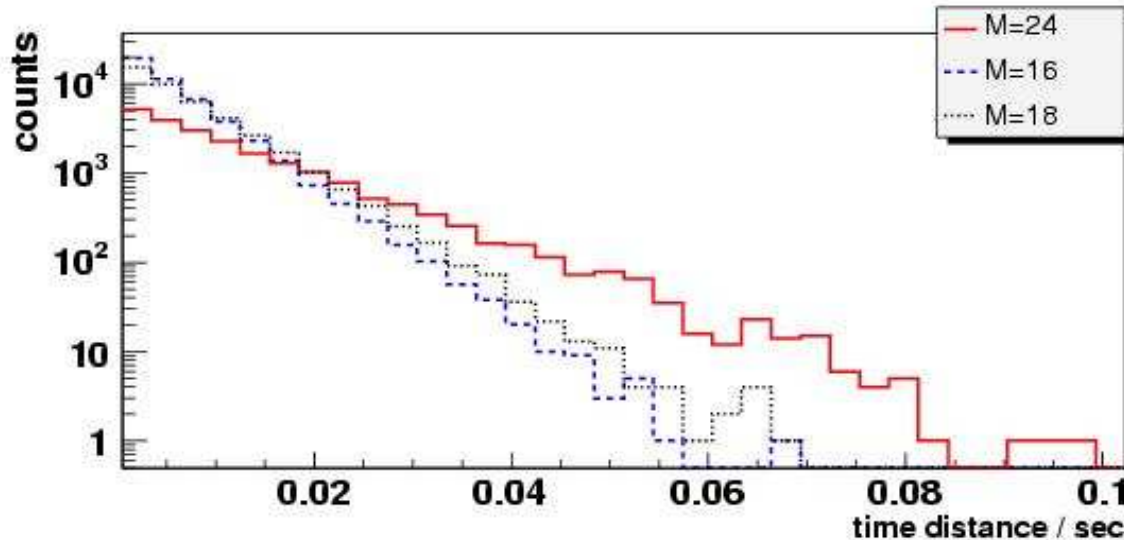
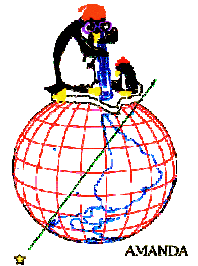
# Die Entwicklung der TWRDaq Aktivitäten am Südpol



- 2001-2004: Aufbau und schrittweise Erweiterung des Systems TWRDaq auf 598 von 677 optischen Modulen.
- TWRDaq wird extern vom Multiplizitätstrigger der MuonDaq gestartet ( $M=n$ : Event wird getriggert, wenn mehr als  $n$  Kanäle in  $2.5 \mu\text{s}$  oberhalb der Schwelle).
- 2003: Betrieb mit  $M=24$  Multiplizitätsniveau und Triggerfrequenz:  $\sim 90 \text{ Hz}$
- 2004: Verringerung des Multiplizitätsniveaus auf  $M=18$  resultiert in Triggerfrequenz von  $\sim 150 \text{ Hz}$ .
- 2005: Aufbau eines Softwaretriggersystems, Triggerfrequenz von  $\sim 190 \text{ Hz}$



# Totzeit der TWRDaq – 2004



Zeitlicher Abstand zwischen zwei aufeinanderfolgenden Ereignis-triggern folgt einer Exponential-Verteilung.

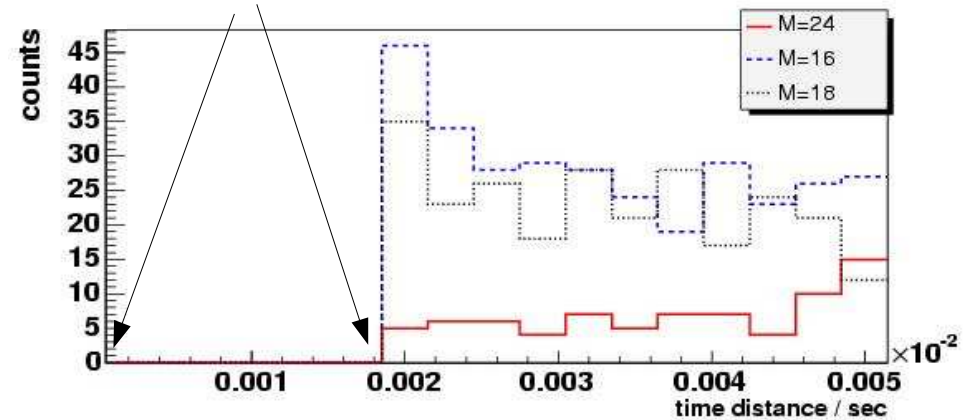
==> Abschätzung der Totzeit in % der verlorenen Daten möglich.

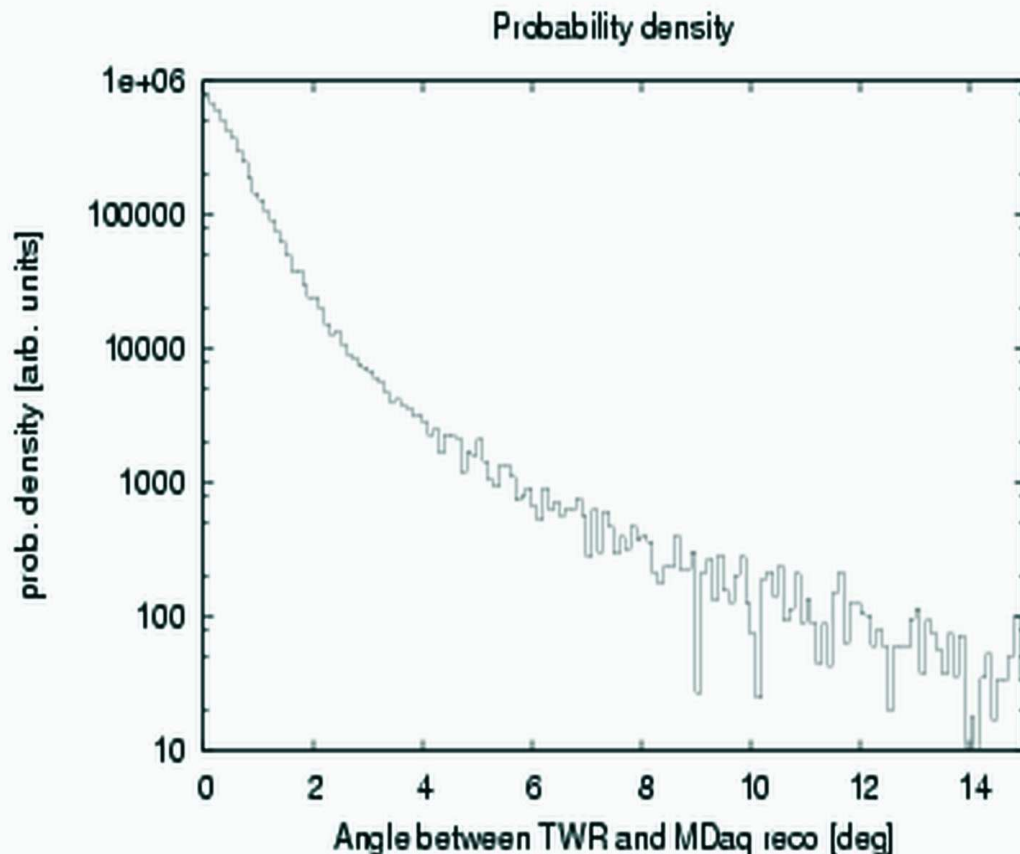
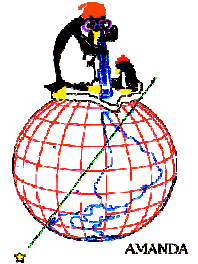
Einstellung einer festen Totzeit von 20  $\mu$ s resultiert in einen Datenverlust von

$0.015 \pm 0.010$  % für M=24,  
 $0.018 \pm 0.013$  % für M=18.

==> TWRDaq arbeitet fast totzeitfrei.

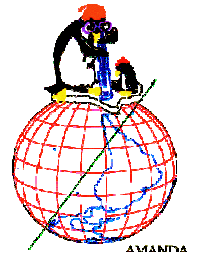
## Künstliche Totzeit





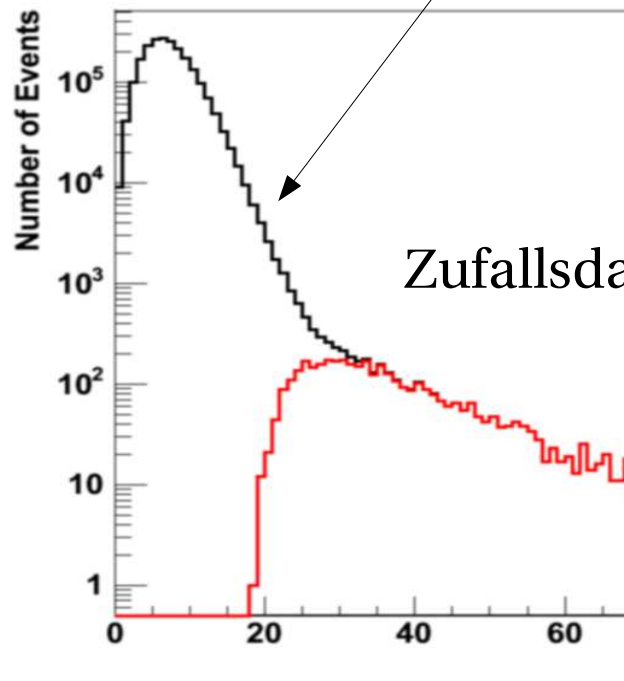
1. Rekonstruktion der Teilchenrichtung mit den jeweiligen Daten mithilfe der Standardrekonstruktion.
2. Vergleich der Resultate aus TWRDaq und MuonDaq.

==> Der Median des Differenzwinkels ( $\sim 1^\circ$ ) ist kleiner als die Winkelauflösung der gegenwärtigen AMANDA Rekonstruktion ( $\sim 3^\circ$ ).

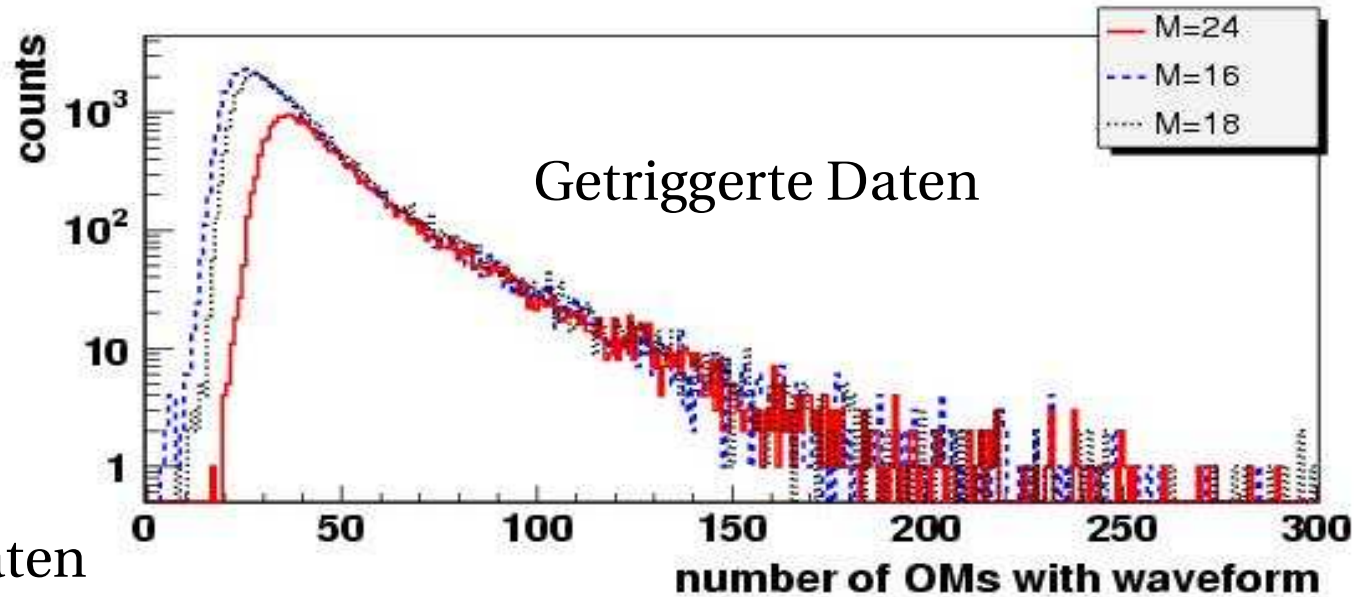


==> Zunahme von niederenergetischen Ereignissen.

Zufällige Koinzidenzen



Zufallsdaten

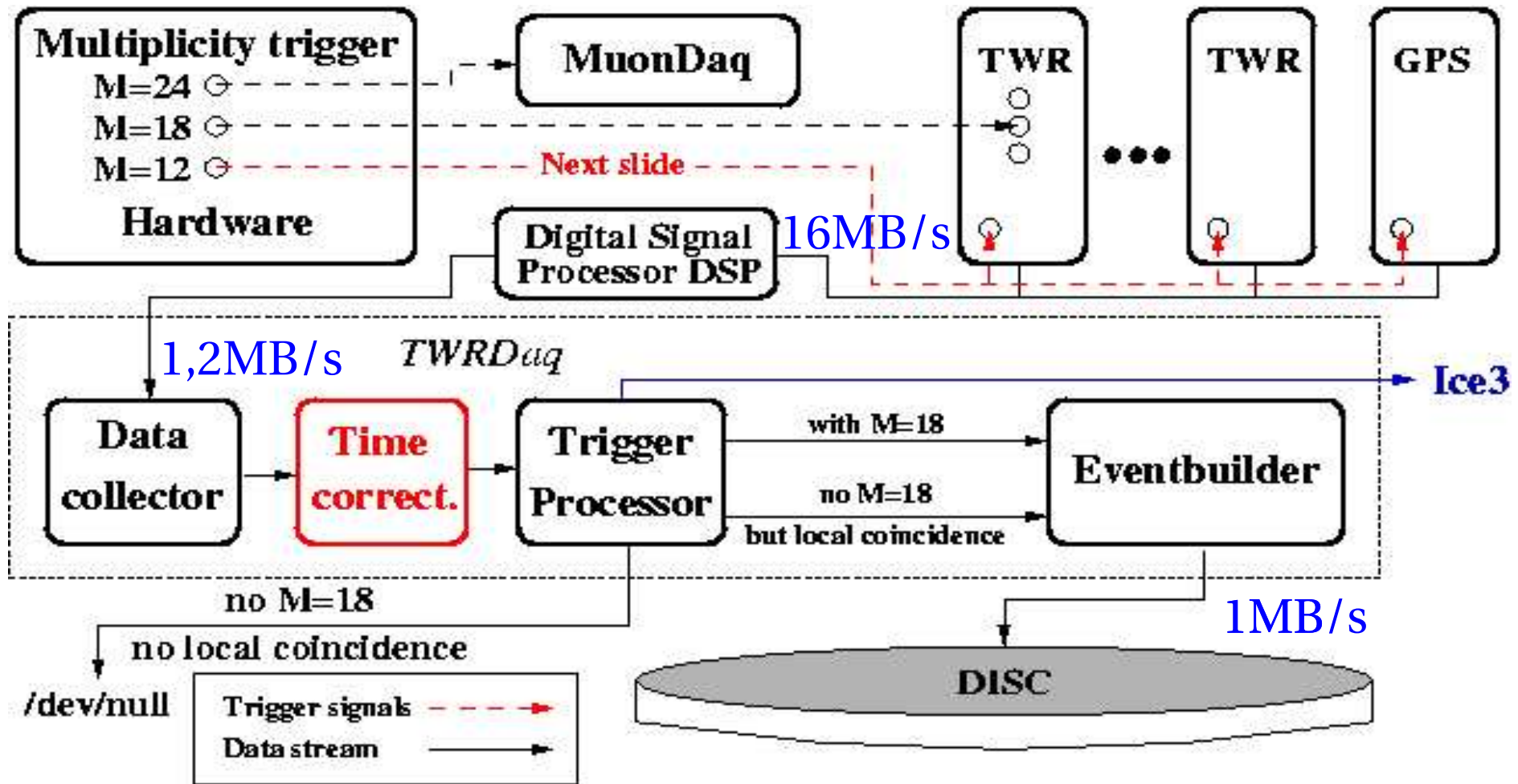
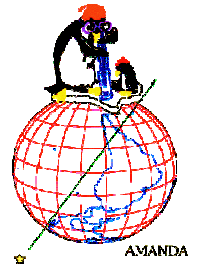


Getriggerte Daten

“Echte” Ereignisse

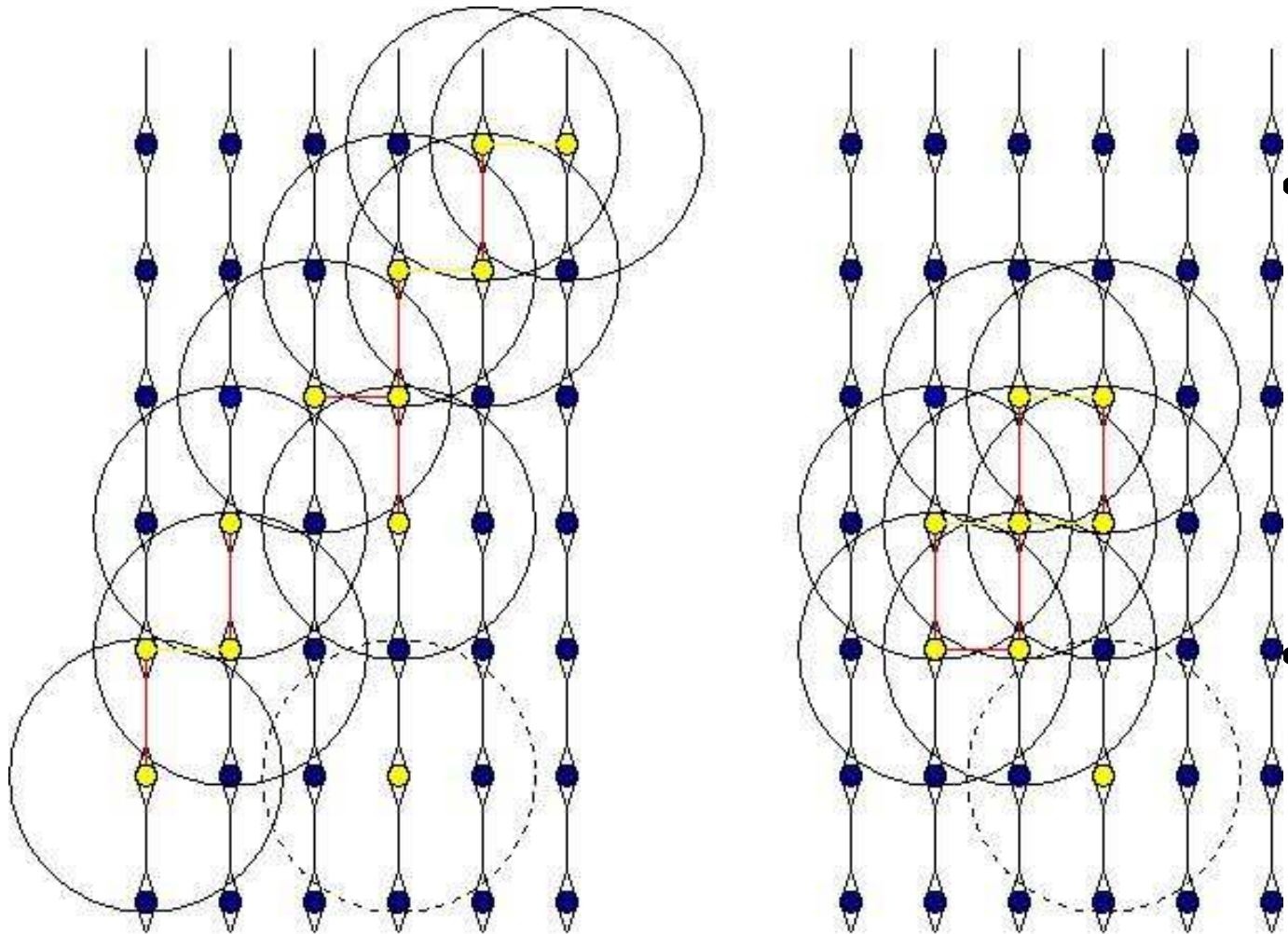
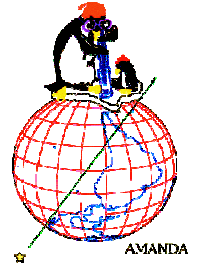
==> Vermeiden zufällige Koinzidenzen mit echten Ereignissen zu verwechseln

# TWRDaq 2005 - Softwaretrigger



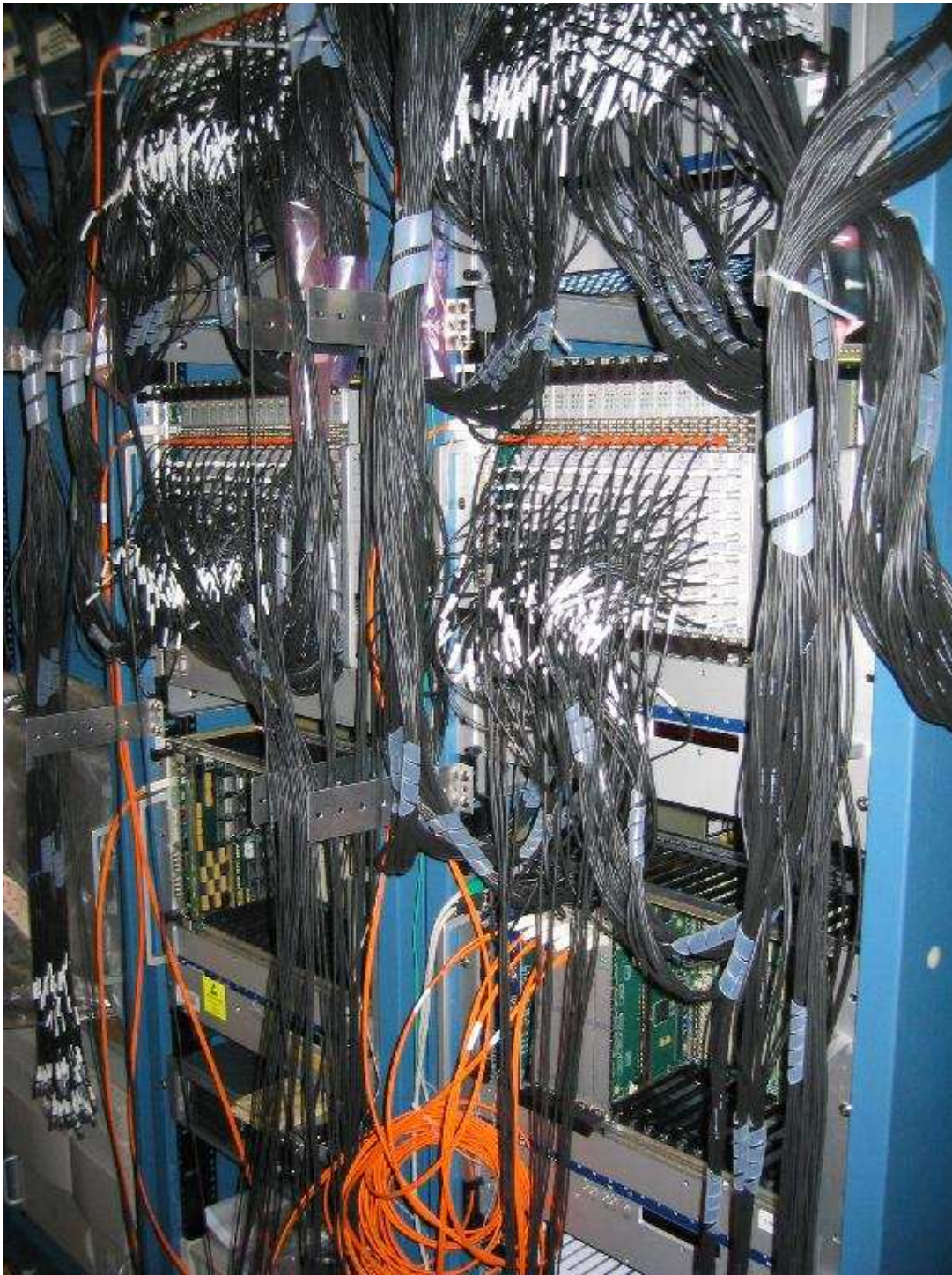


# Lokale Koinzidenzen



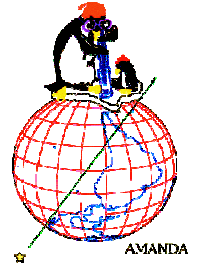
- Idee:
  - Zähle Module mit **mindestens einem** benachbarten OM
  - Zähle Koinzidenzen **paarweise**
- Gleichsam sensitiv auf **Kaskaden und Spuren**





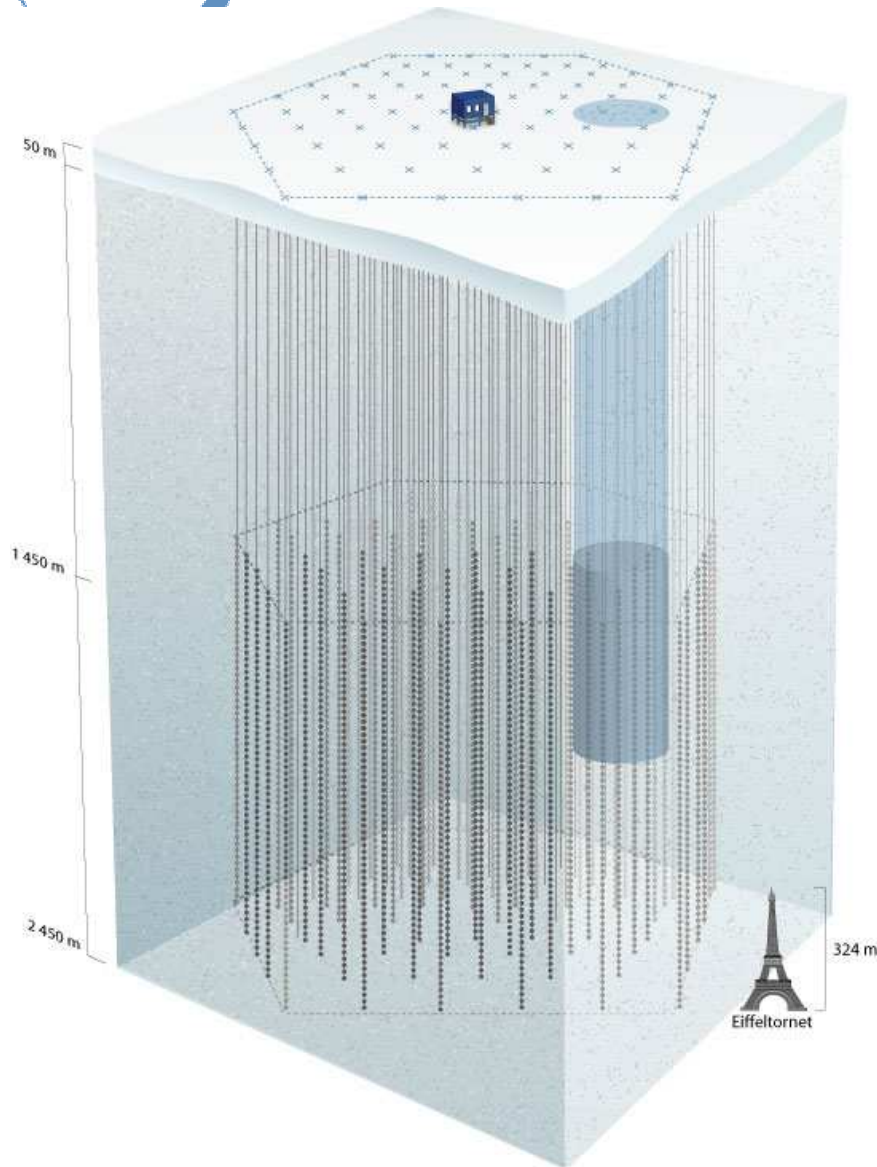
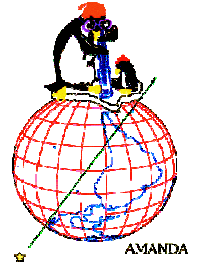


# Mögliche Trigger



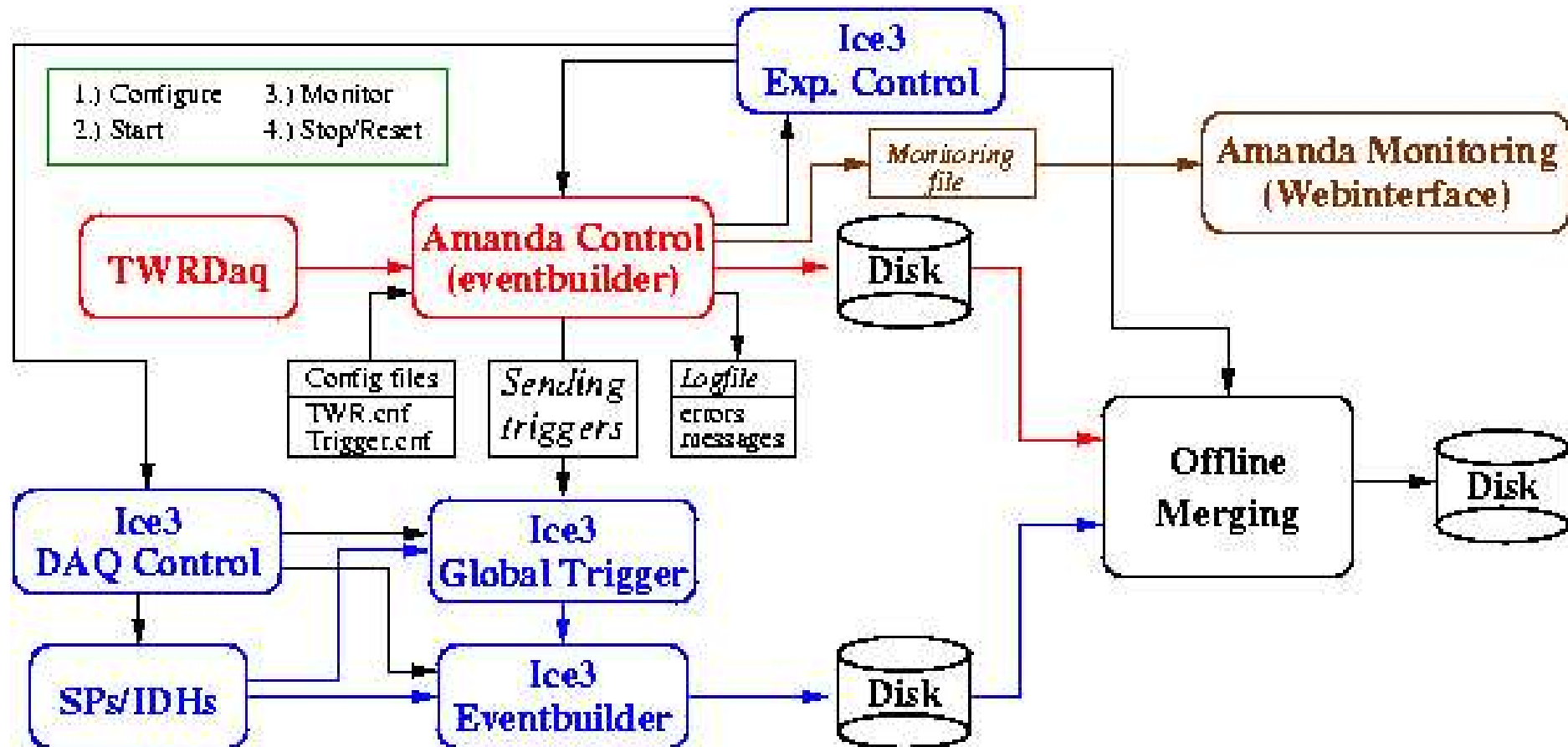
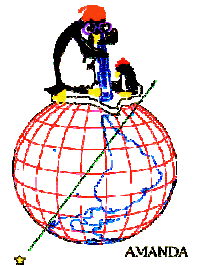
- Multiplizitätstrigger (2005)
- Lokale Koinzidenzen (2005)
- Externe Trigger
  - Kalibration (2006)
  - Randomtrigger (2006)
  - Airshower Array (2006)
- Spezielle Trigger
  - GRB (2006 ??)
  - Exotische Teilchen (2006 ??)

# Die Zukunft: IceCube



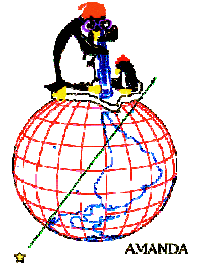
- **80 Strings** mit je **60 DOMs** (Digitale Optischen Modulen)
- 160 Tanks mit 320 DOMs bilden das IceTop Air Shower Array
- Der Aufbau begann im **Januar 2005** mit dem Versenken des ersten Strings.
- **1 km<sup>3</sup>** instrumentiertes Volumen.
- **AMANDA Teleskop** integriert als Subdetektor von IceCube.
- **AMANDA triggert IceCube...**

# AMANDA/IceCube Integration





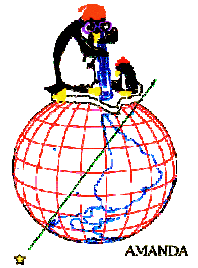
# Zusammenfassung



- Aufbau einer neuen Datennahme für das AMANDA Teleskop (TWRDaq seit Januar 2003 Daten in Betrieb).
- TWRDaq läuft stabil, arbeitet fast totzeitfrei und die Triggerrate konnte von 90 auf 190 Hz erhöht werden  
==> geringere Energieschwelle.
- Dynamischer Bereich für die Anzahl der Pulse pro Ereignis konnte erweitert werden  
==> Verbesserung der Energieauflösung.
- Aufbau eines Triggersystems – Suche nach lokalen Koinzidenzen
- Integration des AMANDA Teleskopes in IceCube begonnen.



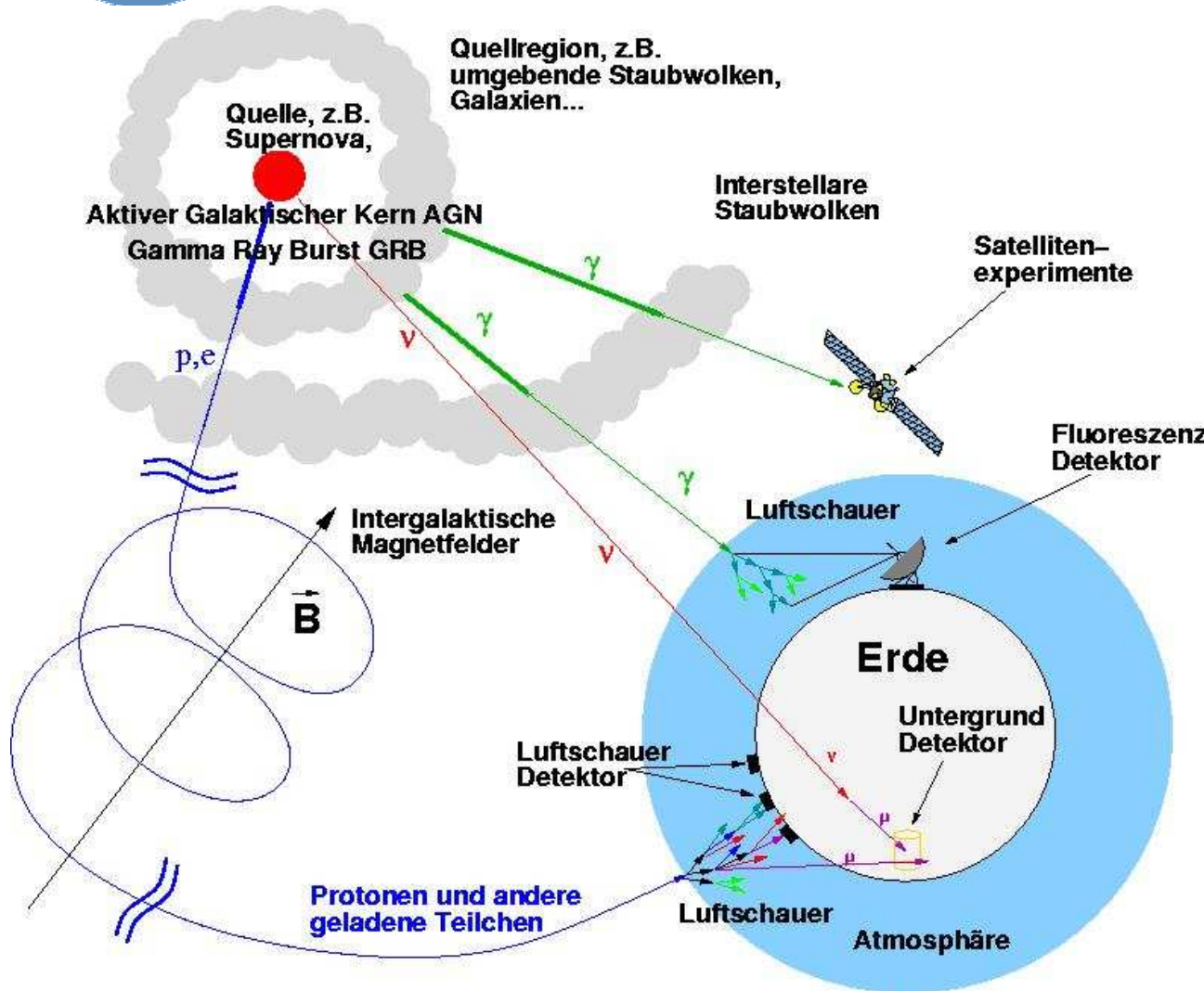
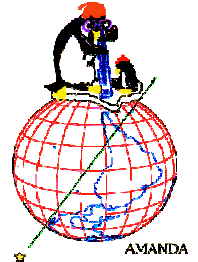
# Erstes Neutrino am Südpol gefunden



Vielen Dank für  
die  
Aufmerksamkeit



# Warum Astronomie mit Neutrinos ?



- Geladene Teilchen abgelenkt von Magnetfeldern ==> keine Richtungsinformation
- Photonen absorbiert von Materie
- Außerdem Wechselwirkung mit 3 K / Infrarot-Hintergrundstrahlung
- Neutrinos: kaum Wechselwirkung mit Materie.
- Aber: geringe Rate...



# Hochenergetische Neutrinos in Untergrund-Detektoren

