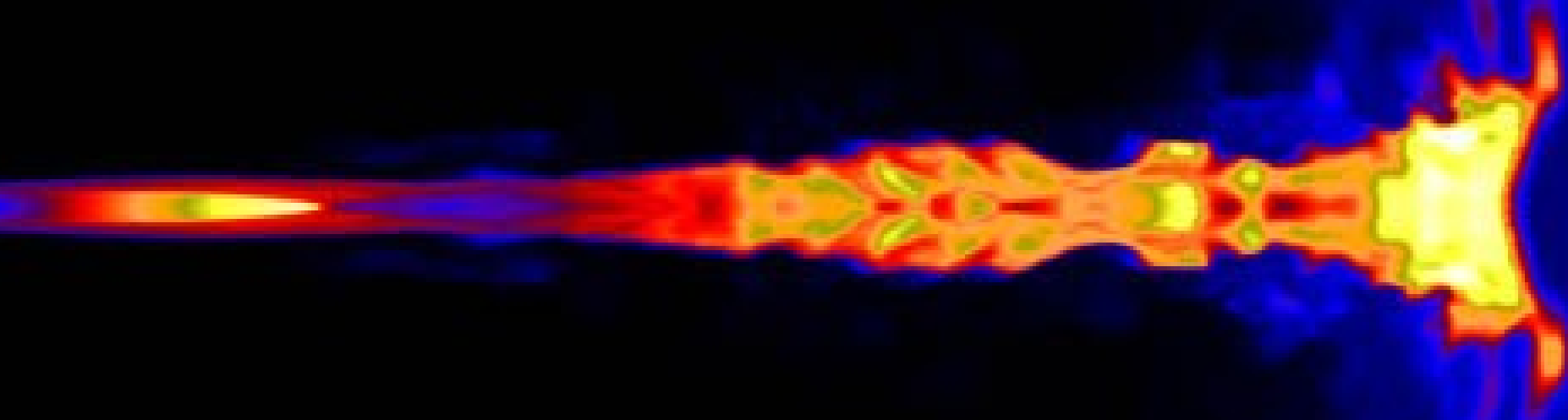
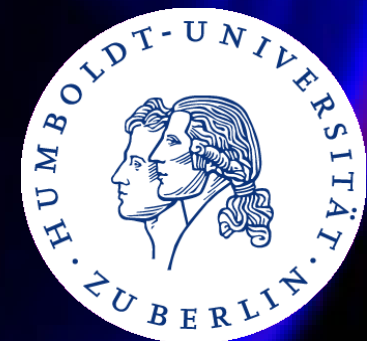


# Optischer Follow-Up von IceCube Neutrino-Bursts



**Anna Franckowiak**  
**Humboldt Universität zu Berlin**



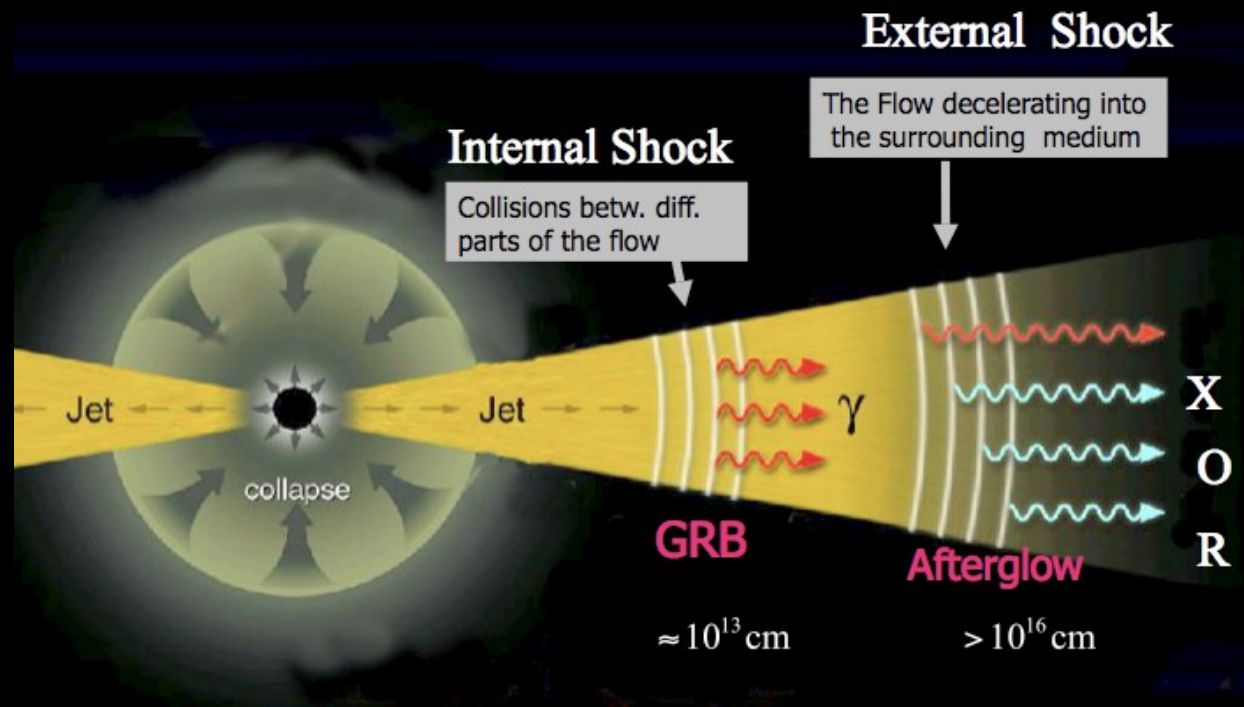
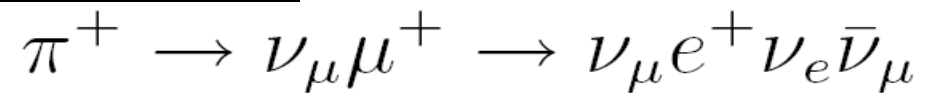
# Inhalt



- Physikalische Motivation
  - Quellen: GRBs und SNe
- Technische Implementierung
- Auswertung der Analyse

# Neutrino-Quellen: GRBs

- Fireball Shock Modell (Meszaros, Rees 1994)
  - Relativistische Jets mit Variationen ( $\sim 1$ s)

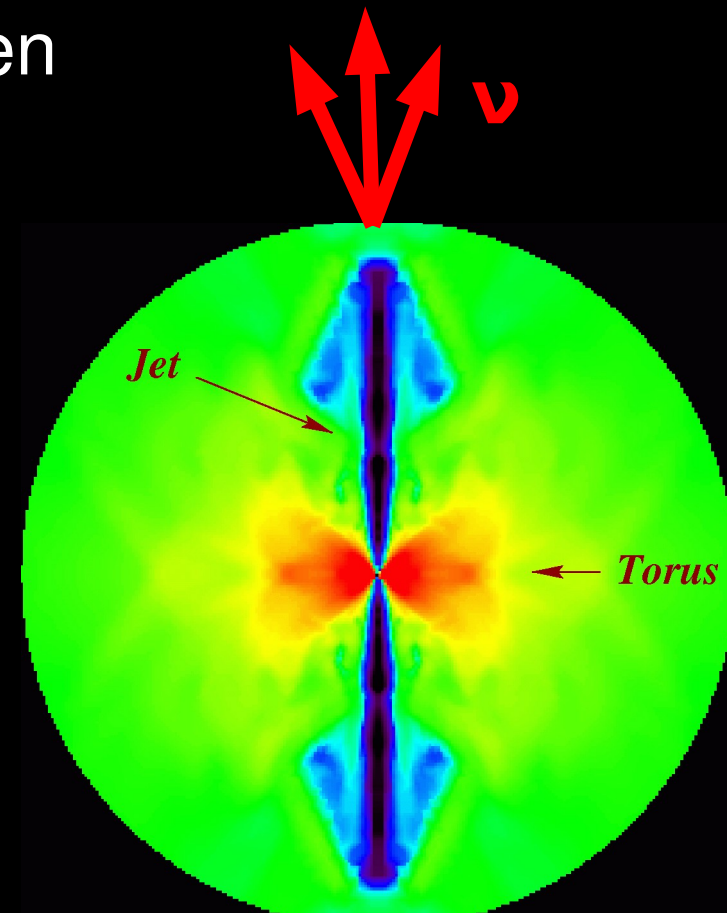


# Neutrinos-Quellen: SNe

- Ando & Beacom (PRL2005): Ein Teil der SNe bildet einen leicht relativistischen Jet ( $\Gamma \sim O(1)$ )
  - Jet bleibt in der Sternhülle stecken
  - Photonen werden absorbiert

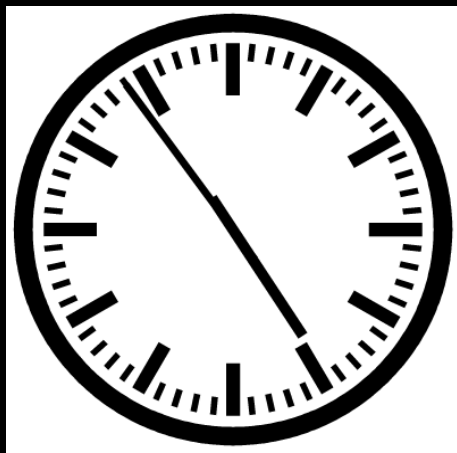
Vorhersage:

Ein  $1\text{km}^3$  Detektor misst 30  
Neutrinos in 10s von einer SN im  
Abstand 10 Mpc innerhalb



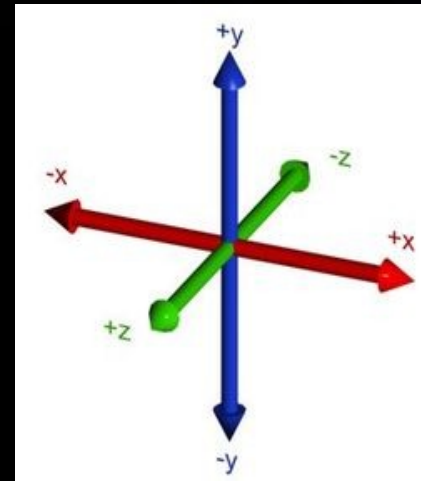
# Erwartetes Signal

## Neutrino Bursts – Koinzident in



Zeit zwischen Events  
 $\Delta T < 100 \text{ s}$

&



Raumwinkelabstand zwischen  
rekonstruierten Richtungen  
 $\Delta \Psi < 4^\circ$

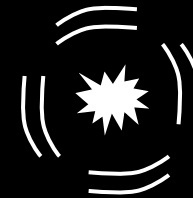
Vorteil: Unterdrückung des Hintergrundes durch  
atmosphärische Neutrinos

# Optischer Follow-Up

Iridium



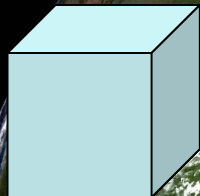
SN/GRB



Optische  
Teleskope  
ROTSE III

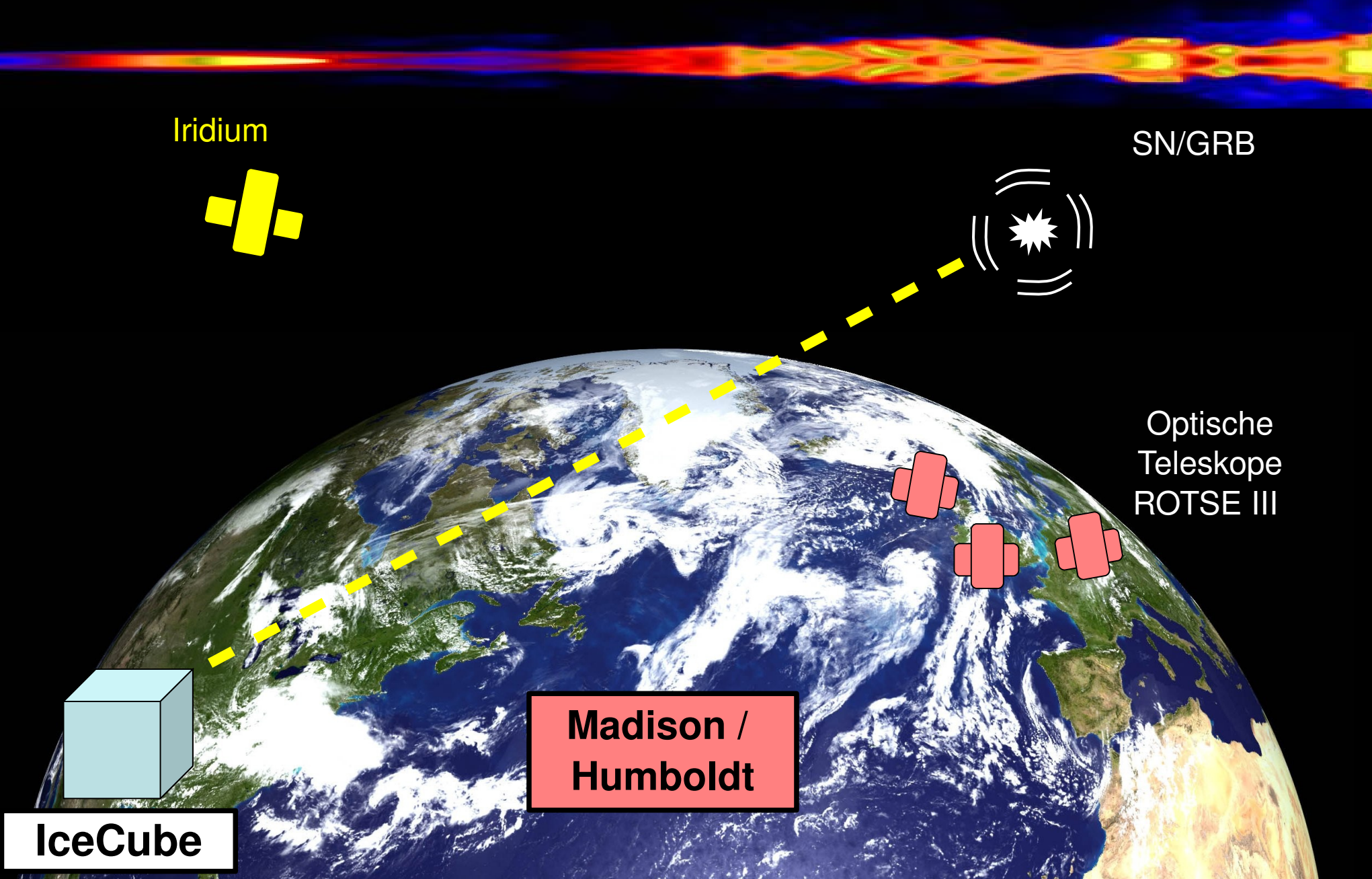


Madison /  
Humboldt

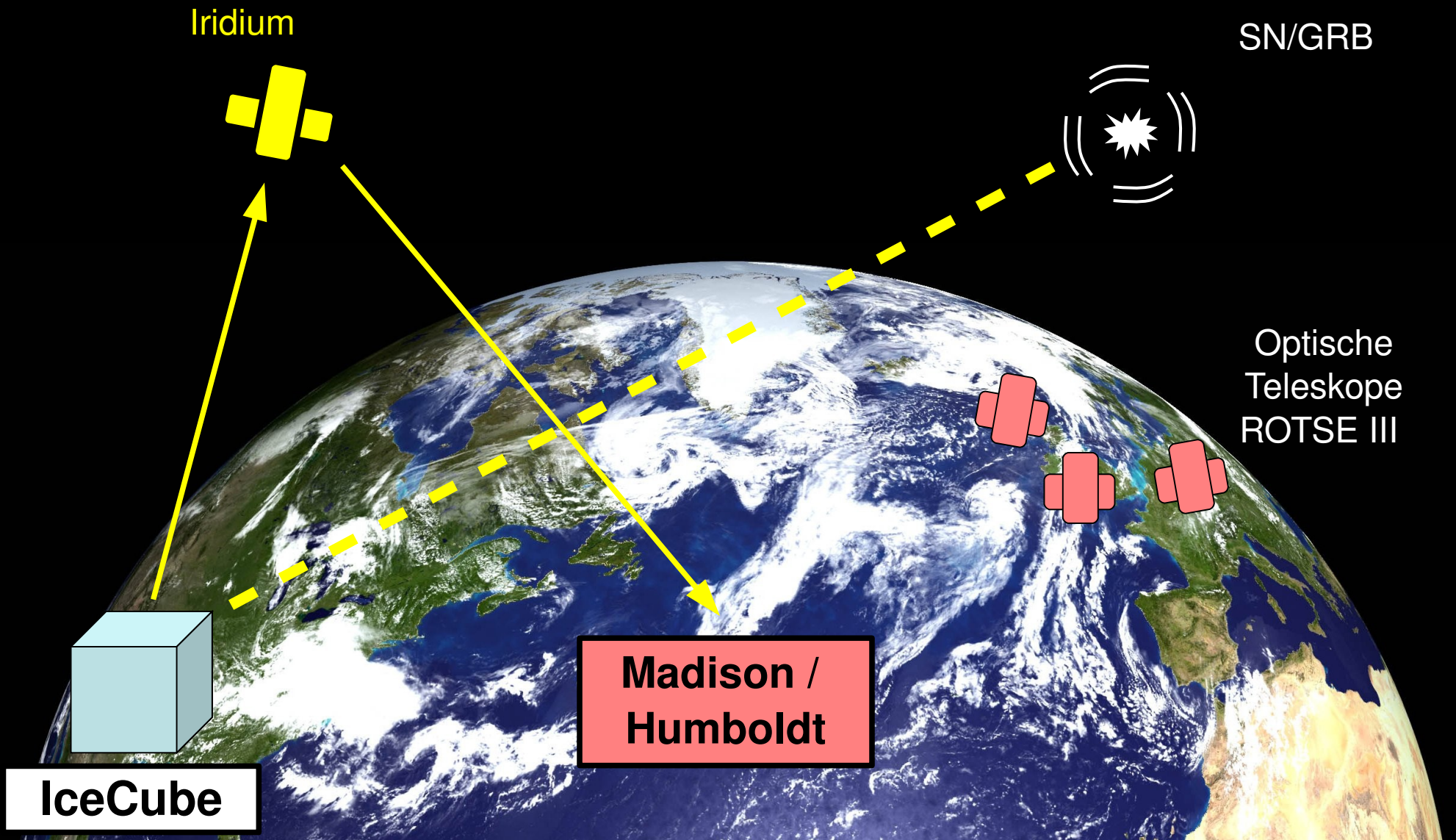


IceCube

# Optischer Follow-Up

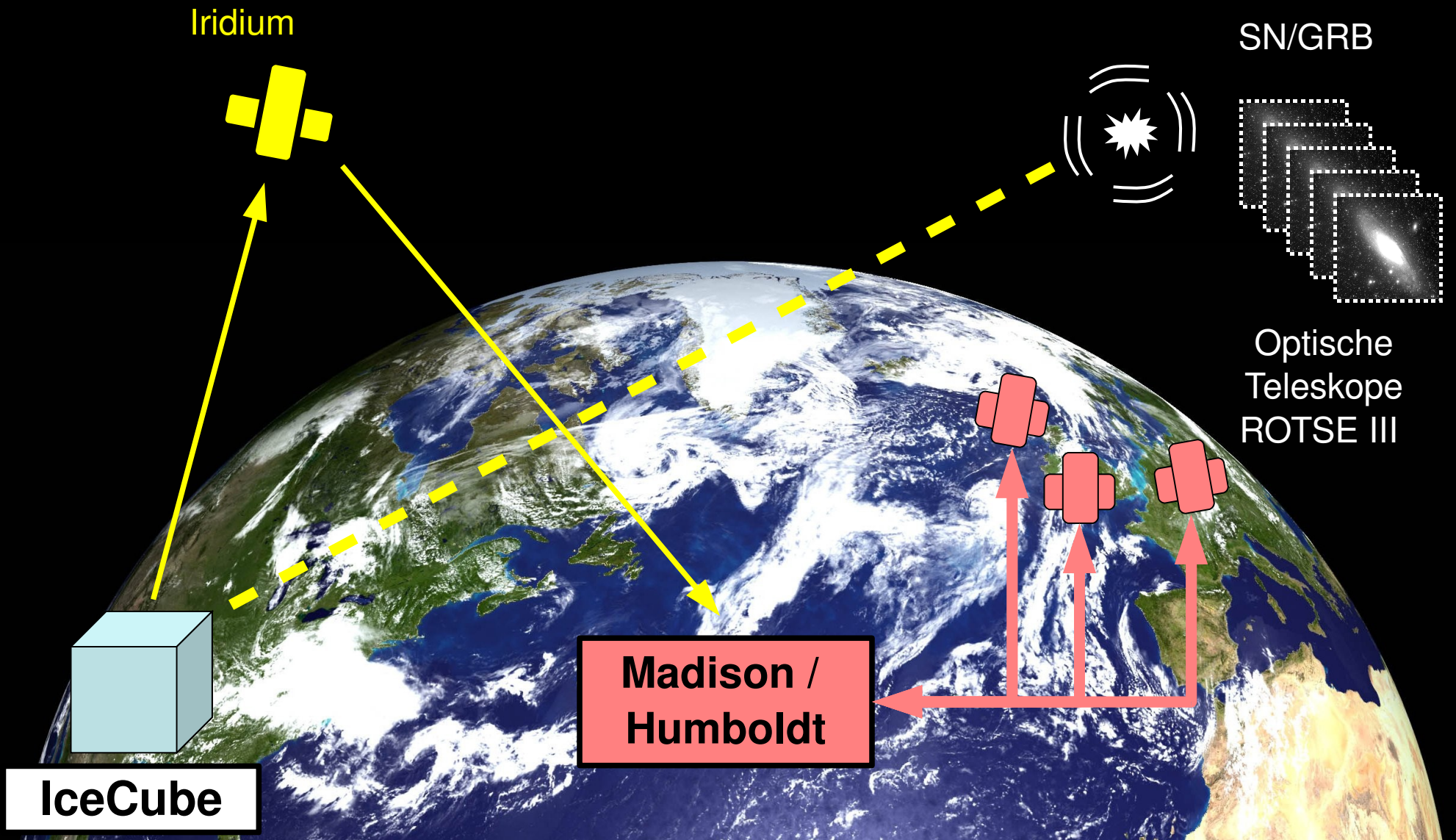


# Optischer Follow-Up





# Optischer Follow-Up

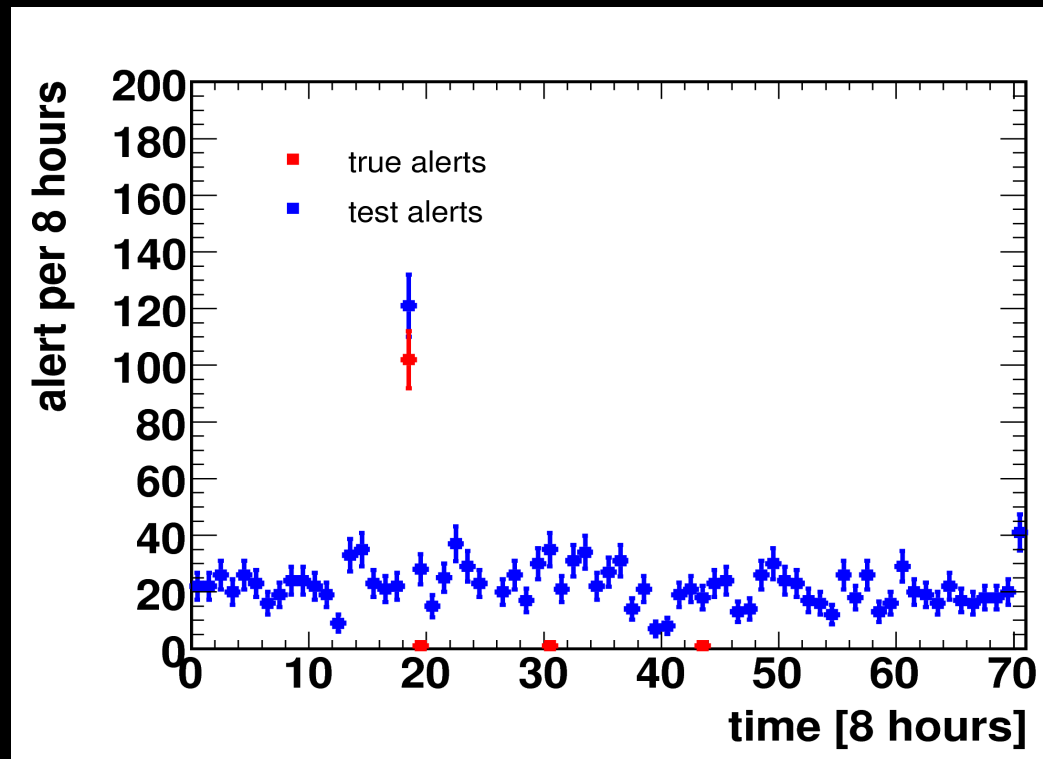


# Doublet Filter am Pol

- Input-Rate:  $\sim 1000\text{Hz}$
- Bedingung:  $\sim 25$  zufällige Doublets pro Jahr ( $\sim 1.7\text{mHz}$ )
  - Beschränkung auf Nord-Hemisphere:  $\text{Zenith} > 85^\circ$
  - Rekonstruktions-Qualität:  $R_{\log L} \leq 8.85$  AND (( $N_{\text{DirC}} \geq 7$  AND  $L_{\text{dirC}} \geq 225$ ) OR  $N_{\text{ch}} \geq 200$ )

# Doublet Filter am Pol

- System läuft stabil:
  - Alerts ( $\Delta\Psi < 4^\circ$ , 25 pro Jahr)
  - Test-Alerts ( $4^\circ < \Delta\Psi < 7^\circ$ , 120 pro Tag)
- Gelöstes Problem:
  - Künstliche Lichtquellen (Flashers) im Detektor



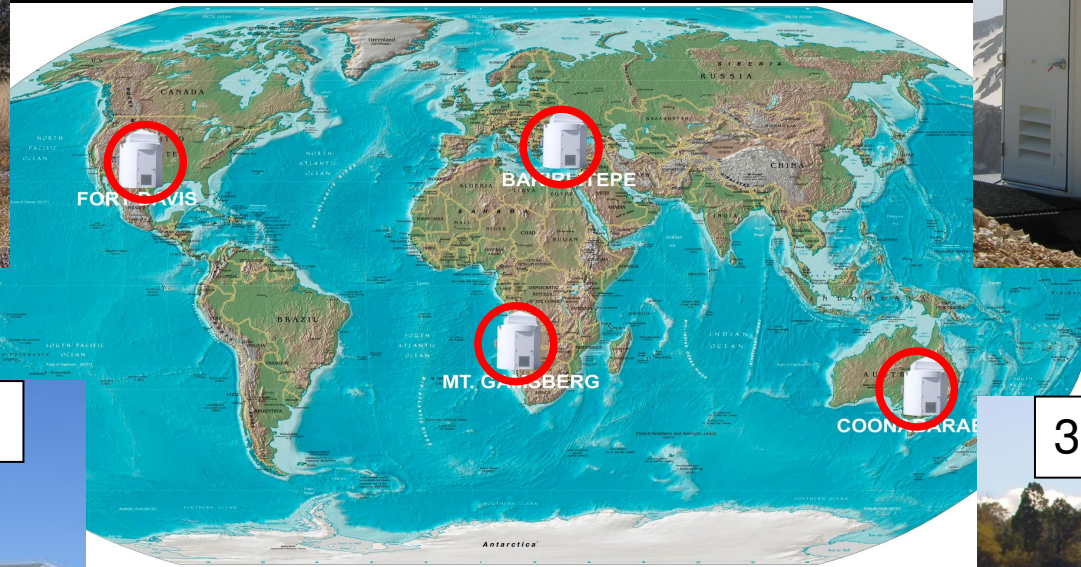
# Optische Nachfolge: ROTSE

3b, McDonald, Texas



4 x 0.45m  
FoV: 2° x 2°

3d, TUG, Turkey



3c, H.E.S.S., Namibia



3a, SSO, Australia

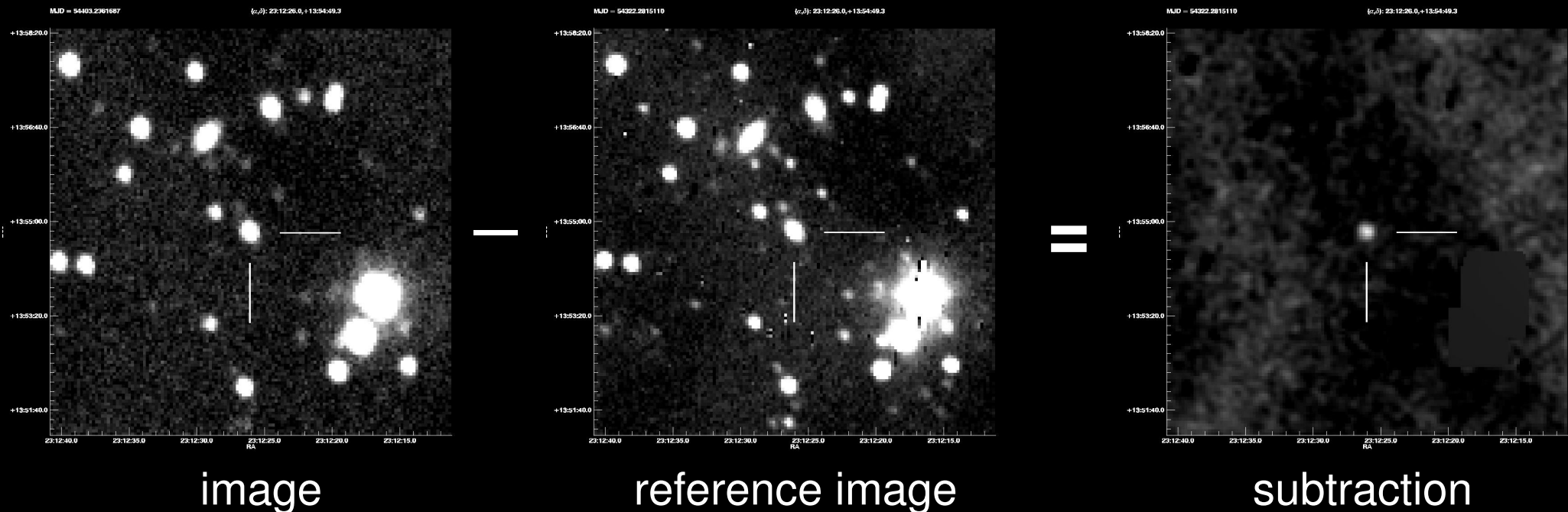


schneller Follow-Up  
Komplett automatisierte  
Steuerung

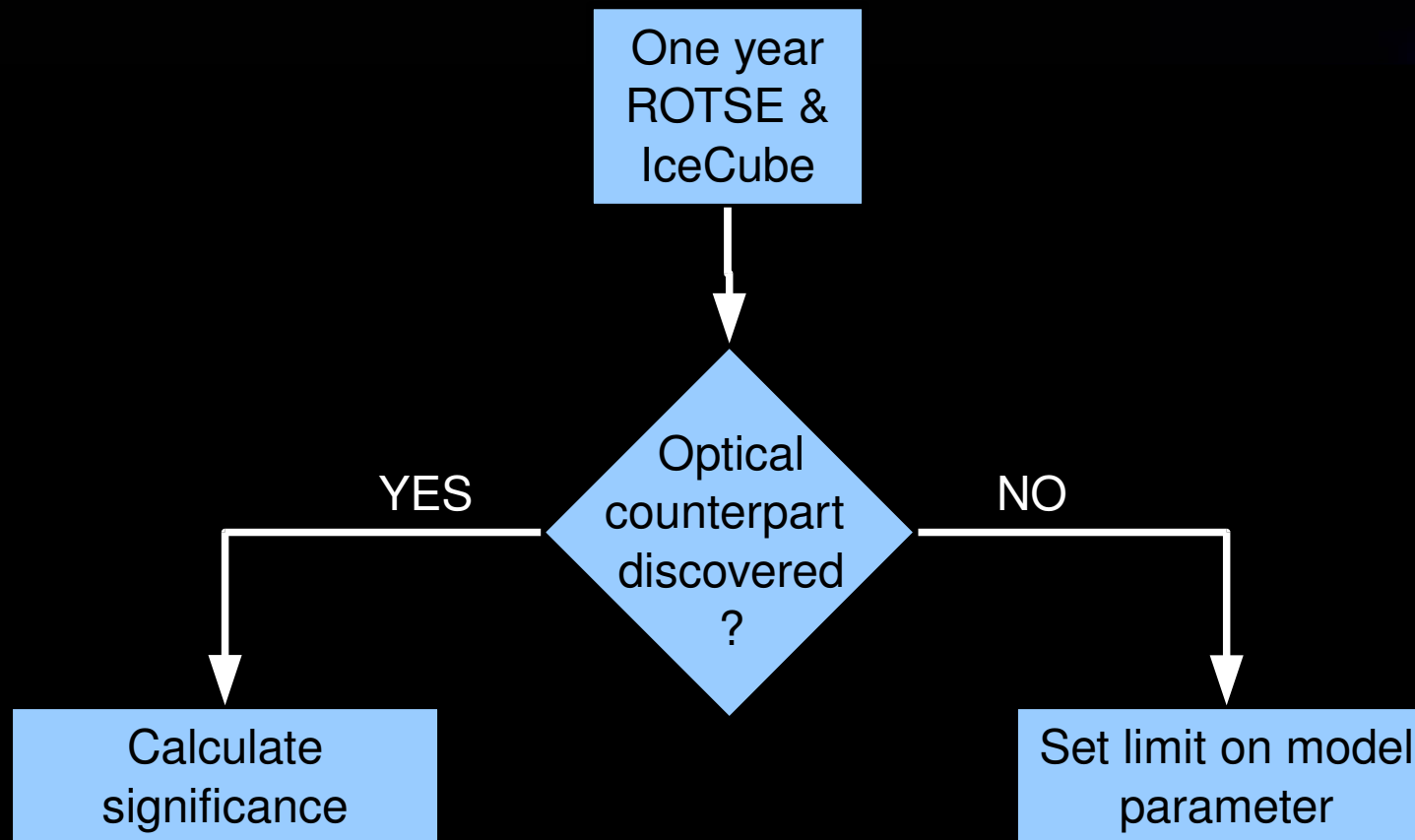
# ROTSE

- Erhaltene Trigger werden nach Priorität abgearbeitet: IceCube Trigger habe zweit-höchste Priorität nach GCN Triggern
  - Erste Nacht: zehn 5 sec, zehn 20 sec, zwanzig 60 sec Aufnahmen
  - 14 folgende Nächte: Acht 60 sec Aufnahmen jede Nacht

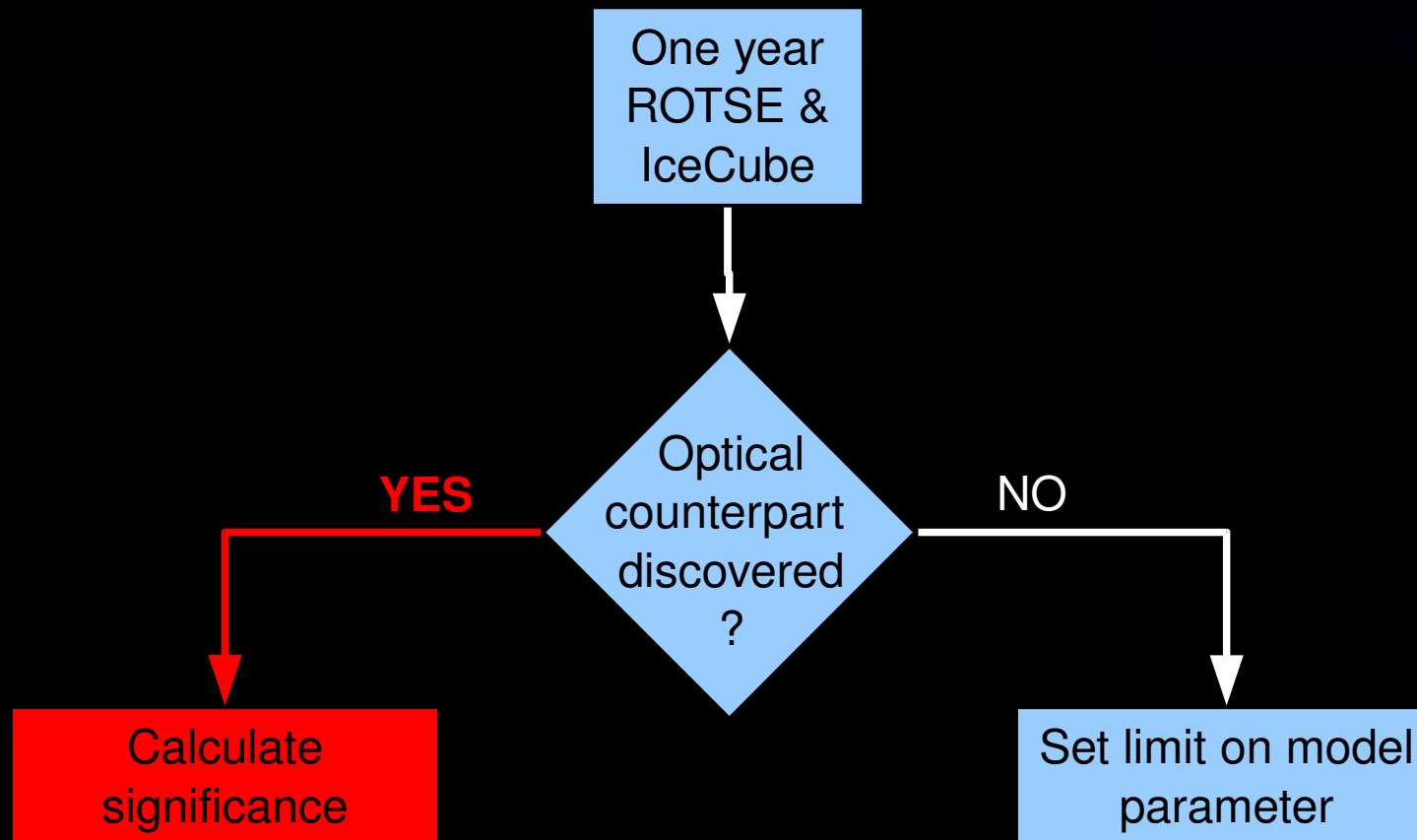
## → Image subtraction



# Auswertung der Analyse

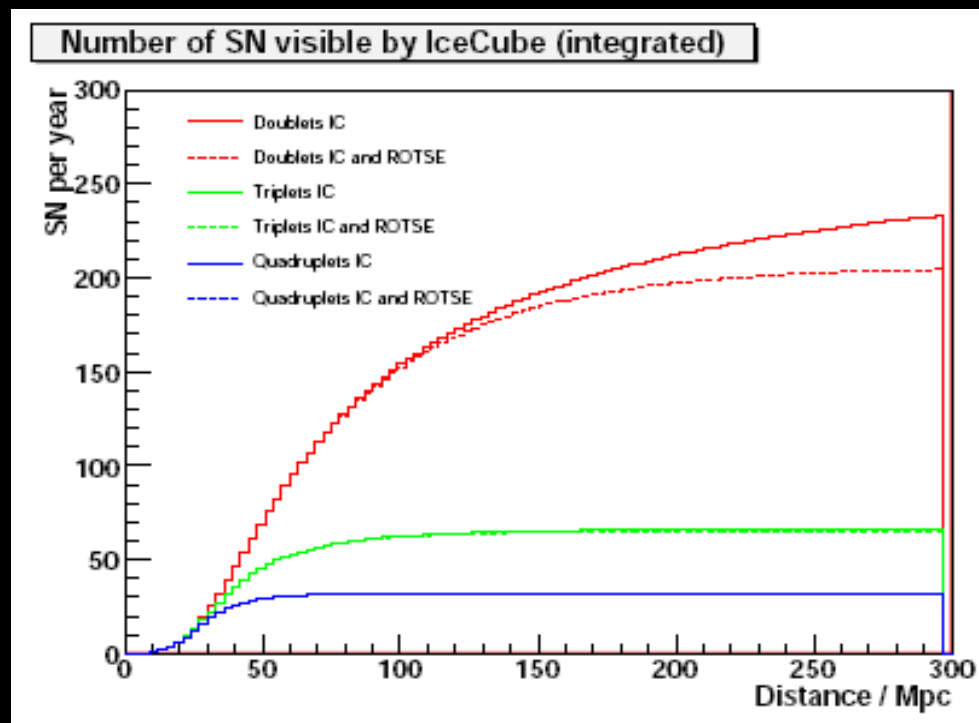


# Optischer Counterpart entdeckt



# Sensitivität: ROTSE und IceCube

- ROTSE: limitierende Magnitude: 18.5
- IceCube: Modell von Ando und Beacom
- Annahme: gleichmäßig verteilte SN mit Mag. -18

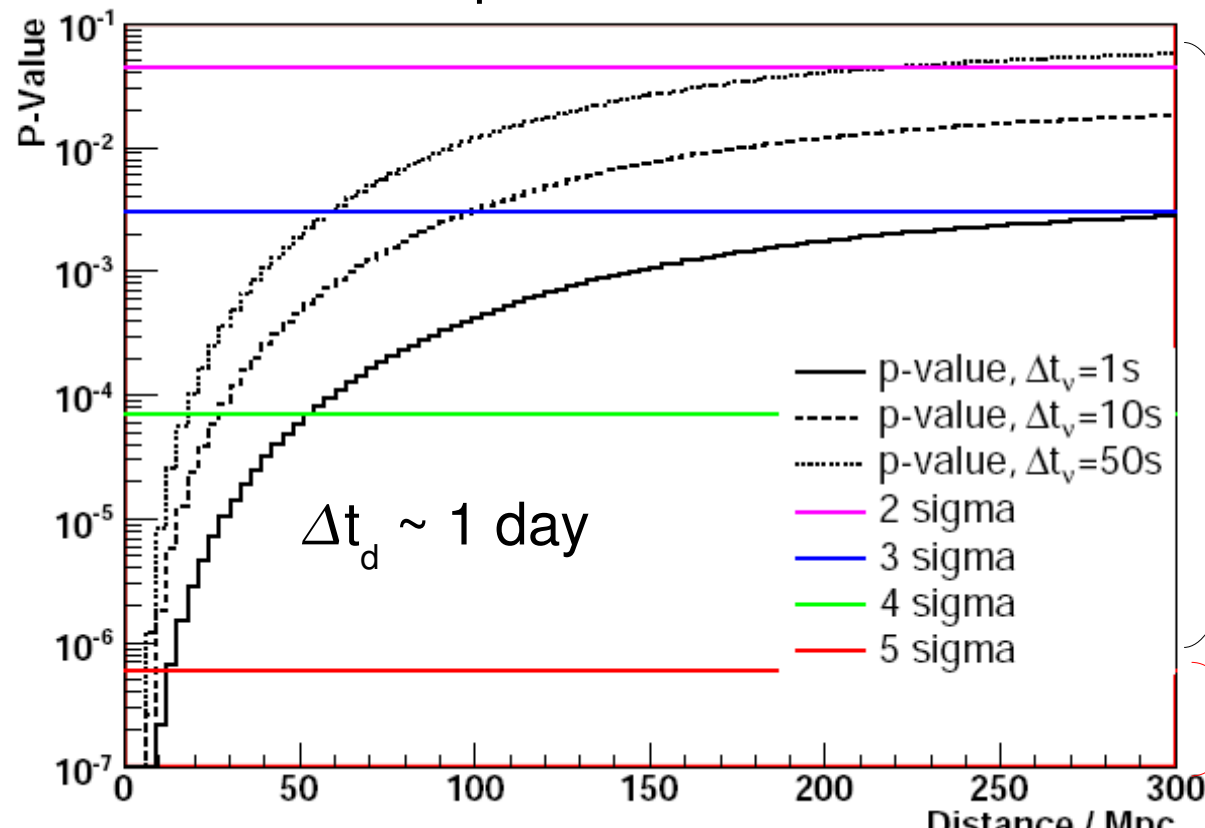




# Signifikanz

- Zufällige Koinzidenzen: 
$$N_{\text{bg}} = N_{\text{alerts}} N_{\text{ROTSE}} \frac{\Delta\Omega}{4\pi} \times \frac{\Delta t_d}{\text{yr}} = 0.056 \frac{\Delta t_d}{\text{d}}$$
- Zeitliche Korrelation zwischen Neutrinos aus Multiplet:  $p_t = \Delta t_\nu / 100\text{s}$
- Abstandsabhängigkeit:  $p_d = N_{\text{ROTSE}}(d) / N_{\text{ROTSE}}$

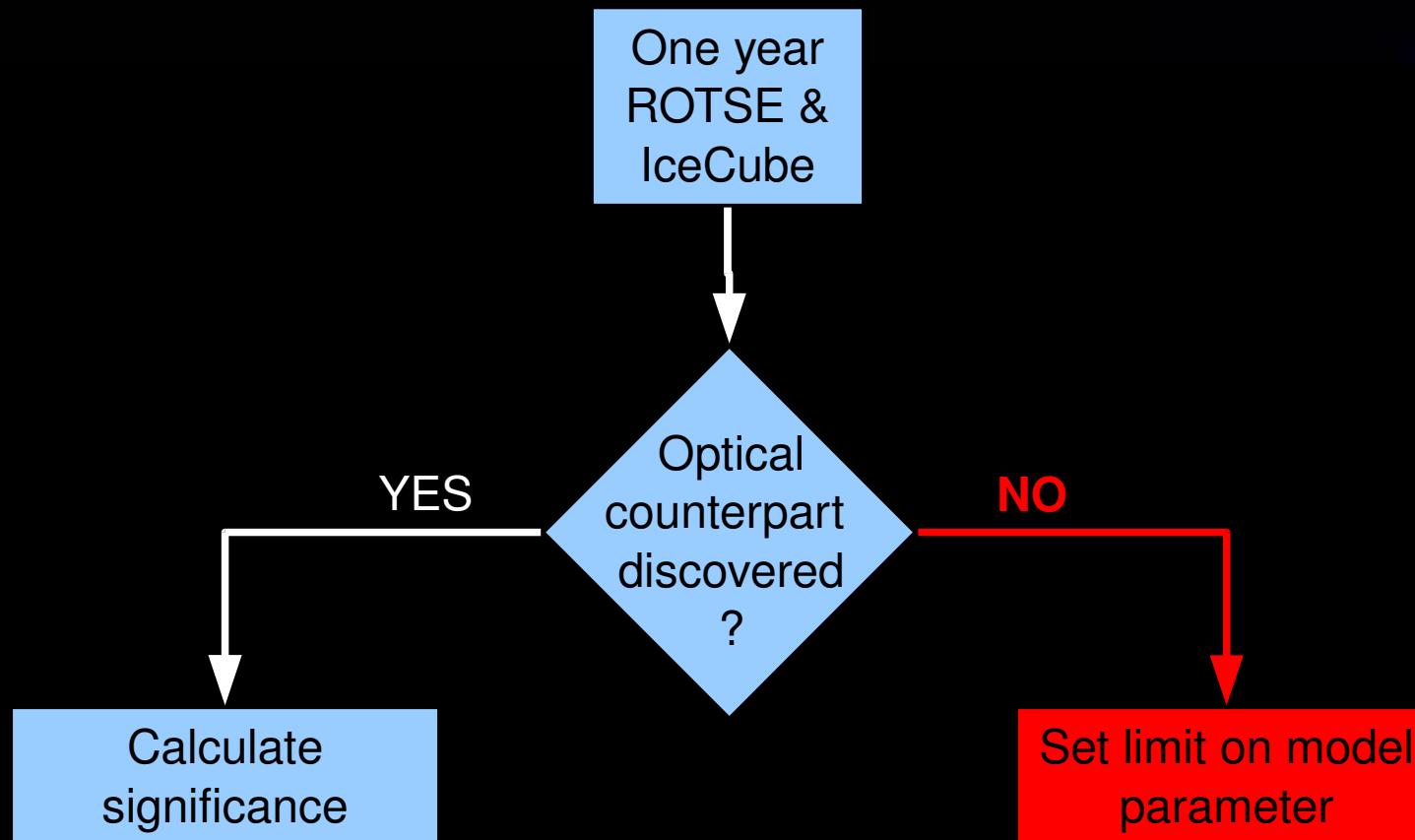
p-value



p-value < 5σ:  
Oberes Limit

p-value > 5σ: Entdeckung

# Keine Optischer Counterpart



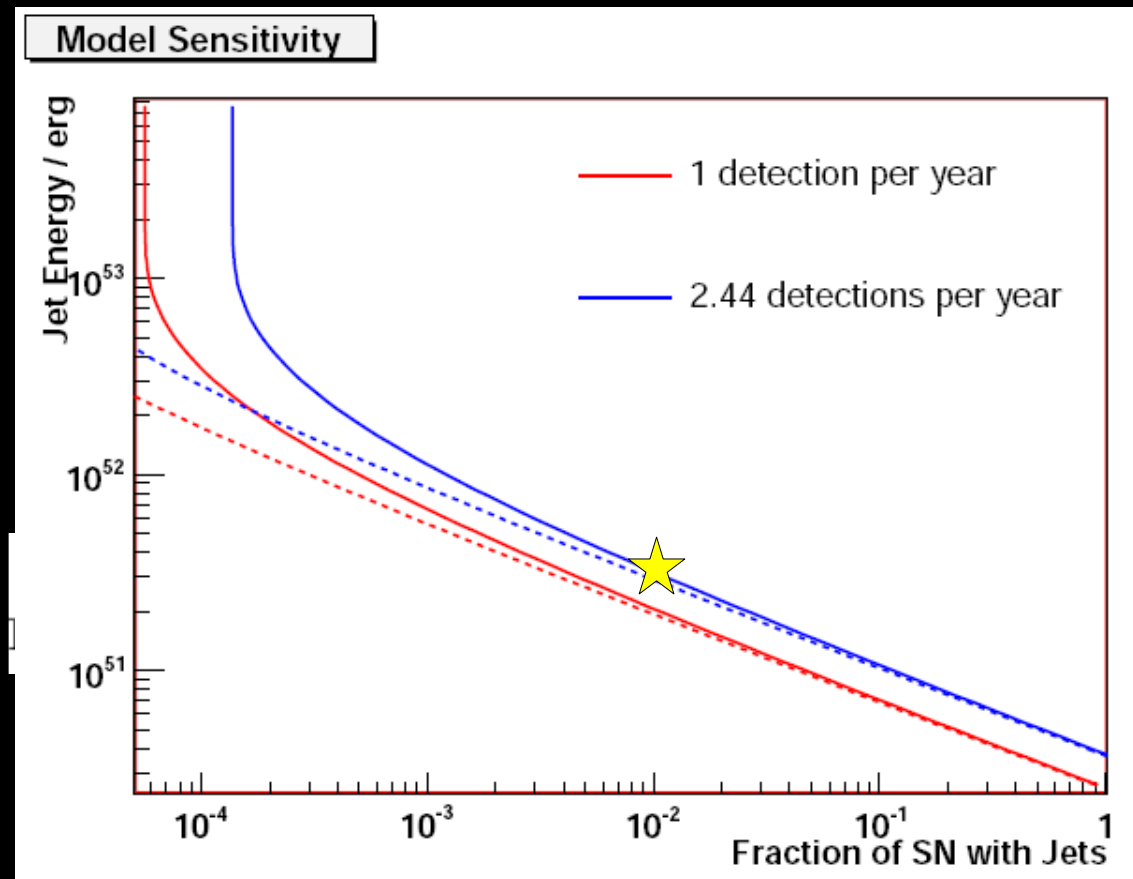
# Limit auf Modellparameter

- Oberes Limit auf Zahl von SNe, die eine Koinzidenz hätten erzeugen können

$$N_{\text{ROTSE}}^{\text{IC}} < 2.44 \text{ (for 90\% CL)}$$

- Diese Zahl hängt von der Jetenergie und dem Anteil der SN die eine Jet produzieren ab:

$$\rho_{2e-4}^{\text{SN}} (\epsilon_{3e51}^{\text{jet}})^{3/2}$$



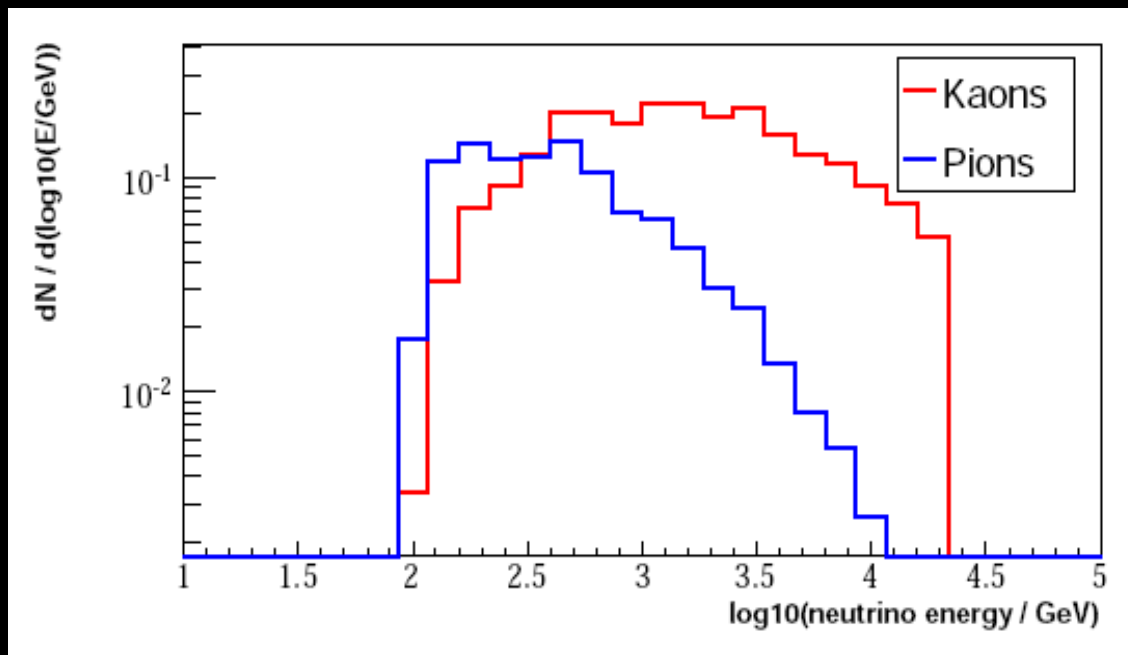
# Zusammenfassung



- Modell-Vorhersage: GRBs und SNe erzeugen Neutrino-Bursts
  - Neutrinos können in IceCube gemessen werden
  - Optischer Counterpart mit ROTSE
- Technische Implementierung der Filters abgeschlossen
- Weiterleitung der Trigger an ROTSE ab Ende Oktober

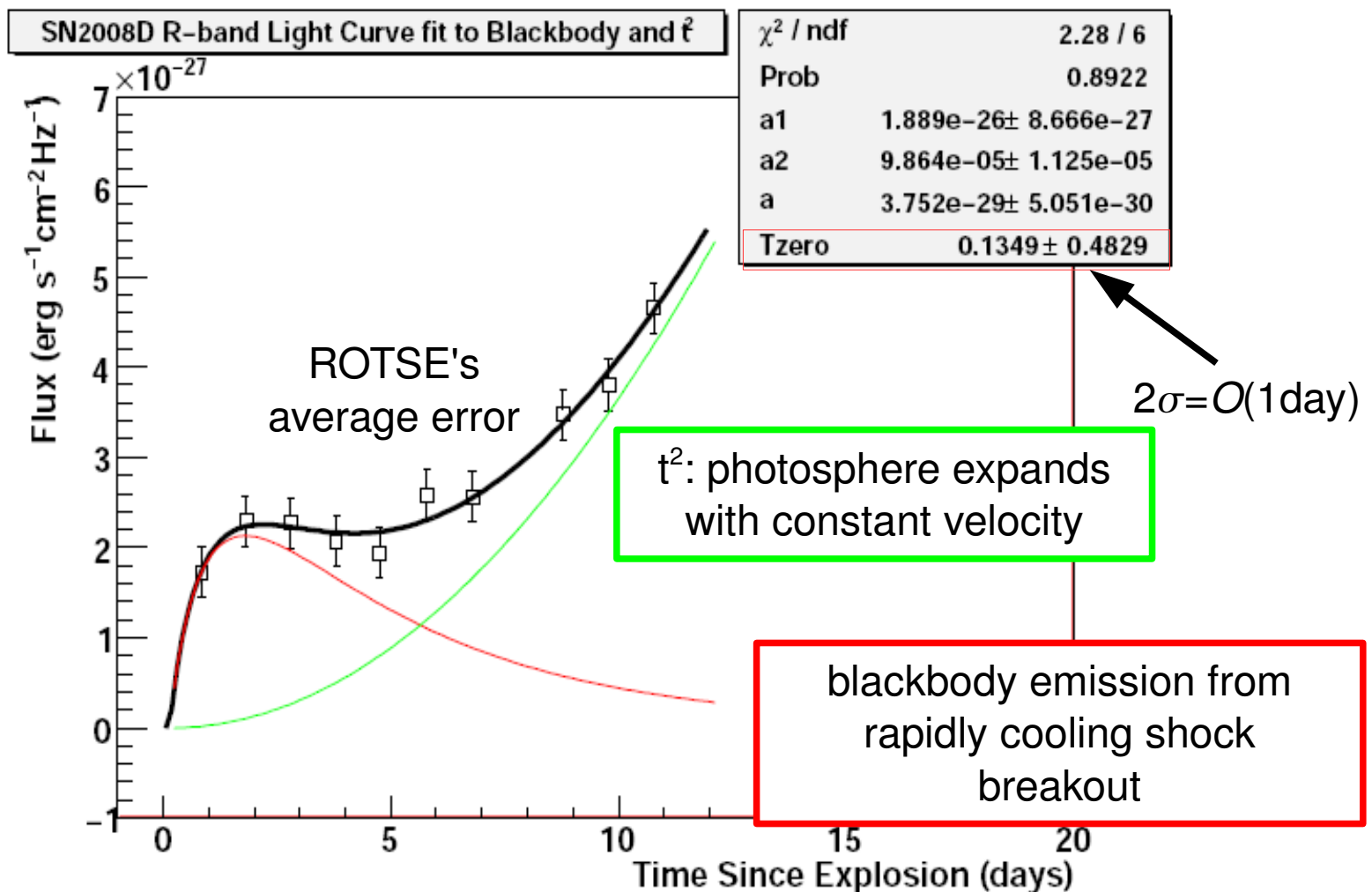
# SN Neutrino Spektrum

- Neutrinos-Spektrum nach Vorhersage von Ando&Beacom

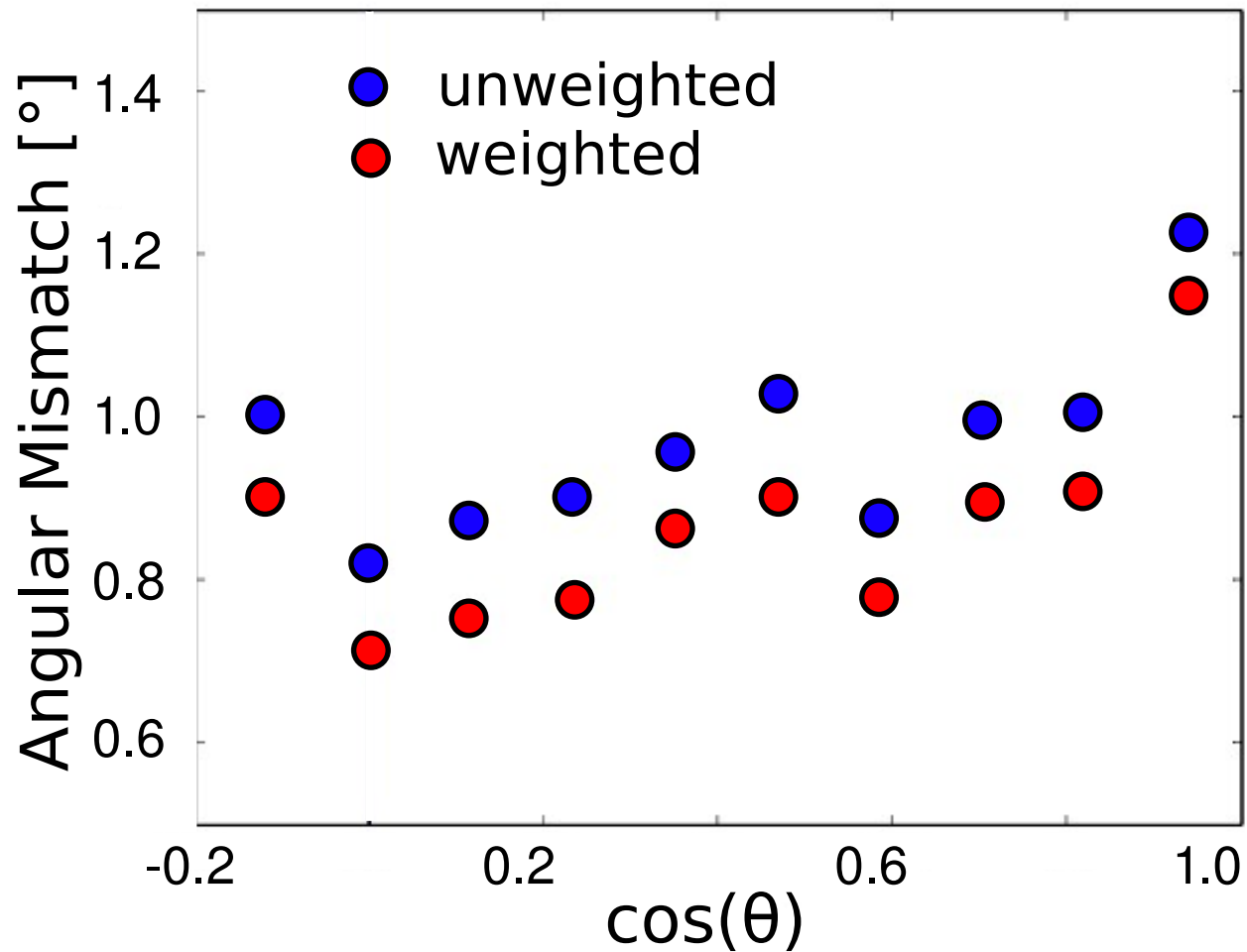


# $\Delta t_d$ -Bestimmung

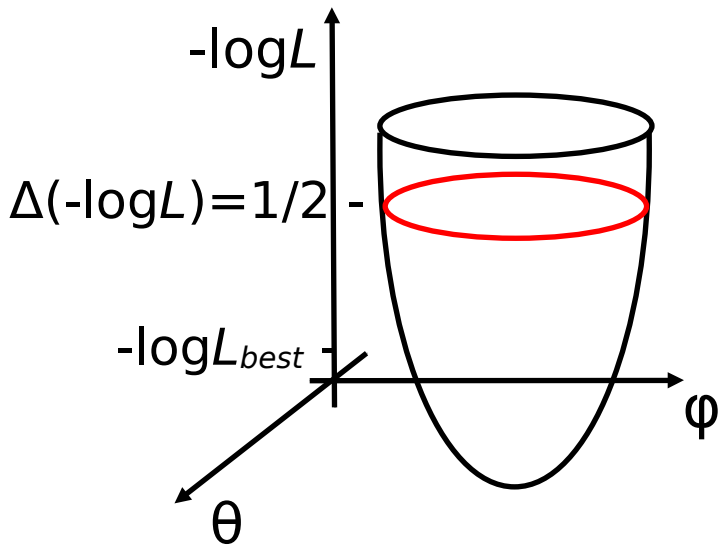
Real life example: SN2008D, explosion time known by initial x-ray flash



# Auflösung

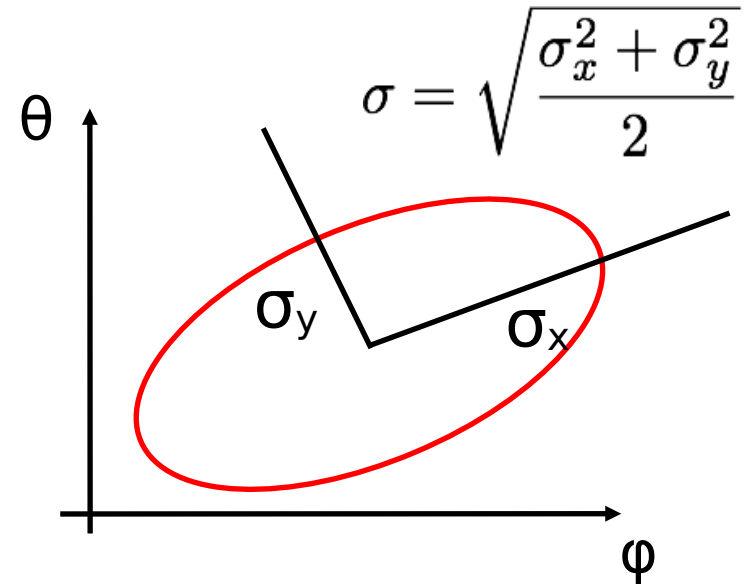


# Doublet-Richtung



**Weighted Mean:**

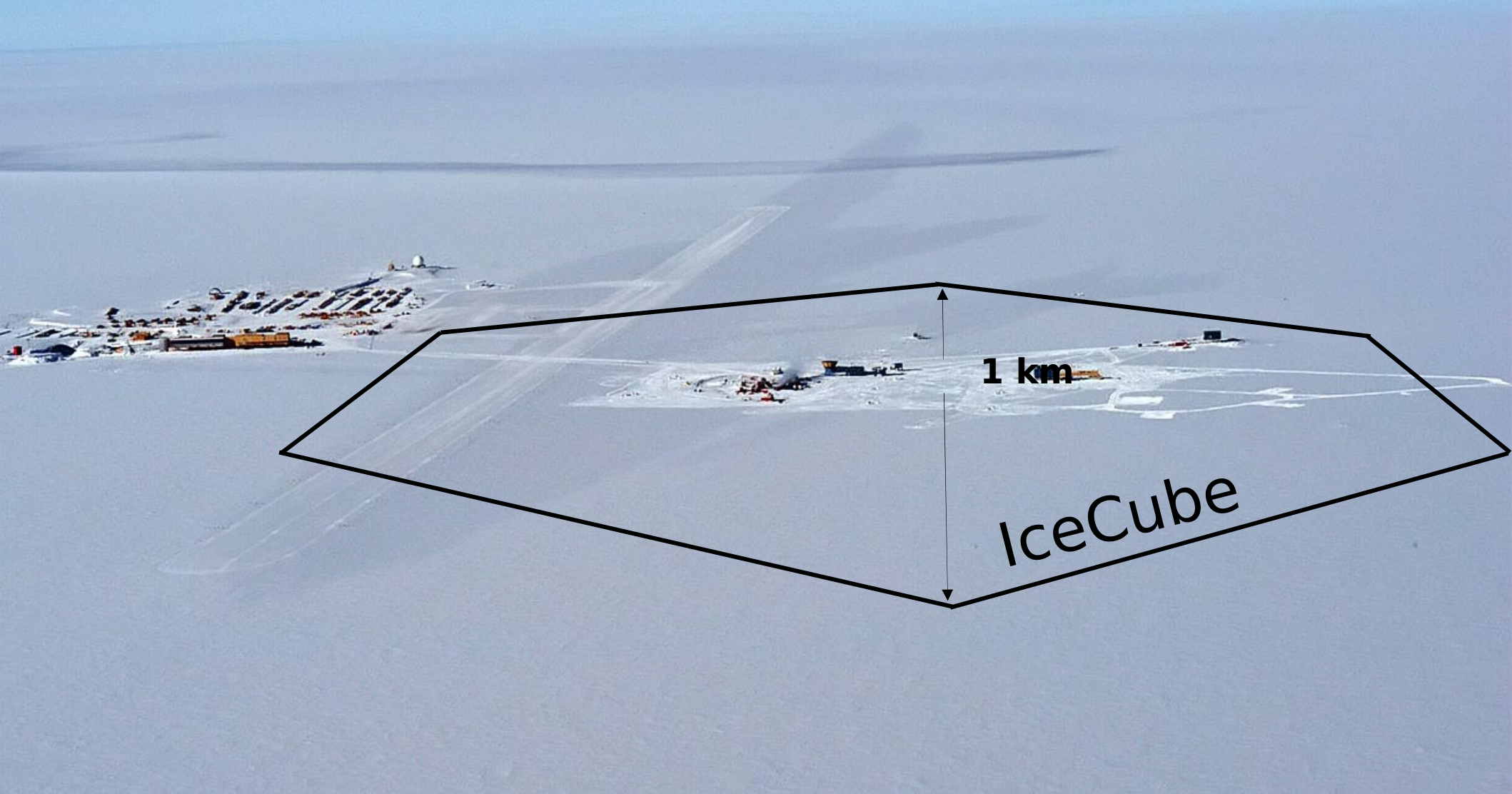
Ellipse



$$\langle \vec{N}_{reco} \rangle = \frac{1}{1/\sigma_1^2 + 1/\sigma_2^2} \left( \frac{\vec{N}_{reco,1}}{\sigma_1^2} + \frac{\vec{N}_{reco,2}}{\sigma_2^2} \right)$$



# IceCube: ein Kubikkilometer großer Neutrinodetektor



2007-2008:  
18 strings

2006-2007:  
13 Strings

2005-2006: 8 Strings

2004-2005 : 1 String

## IceTop

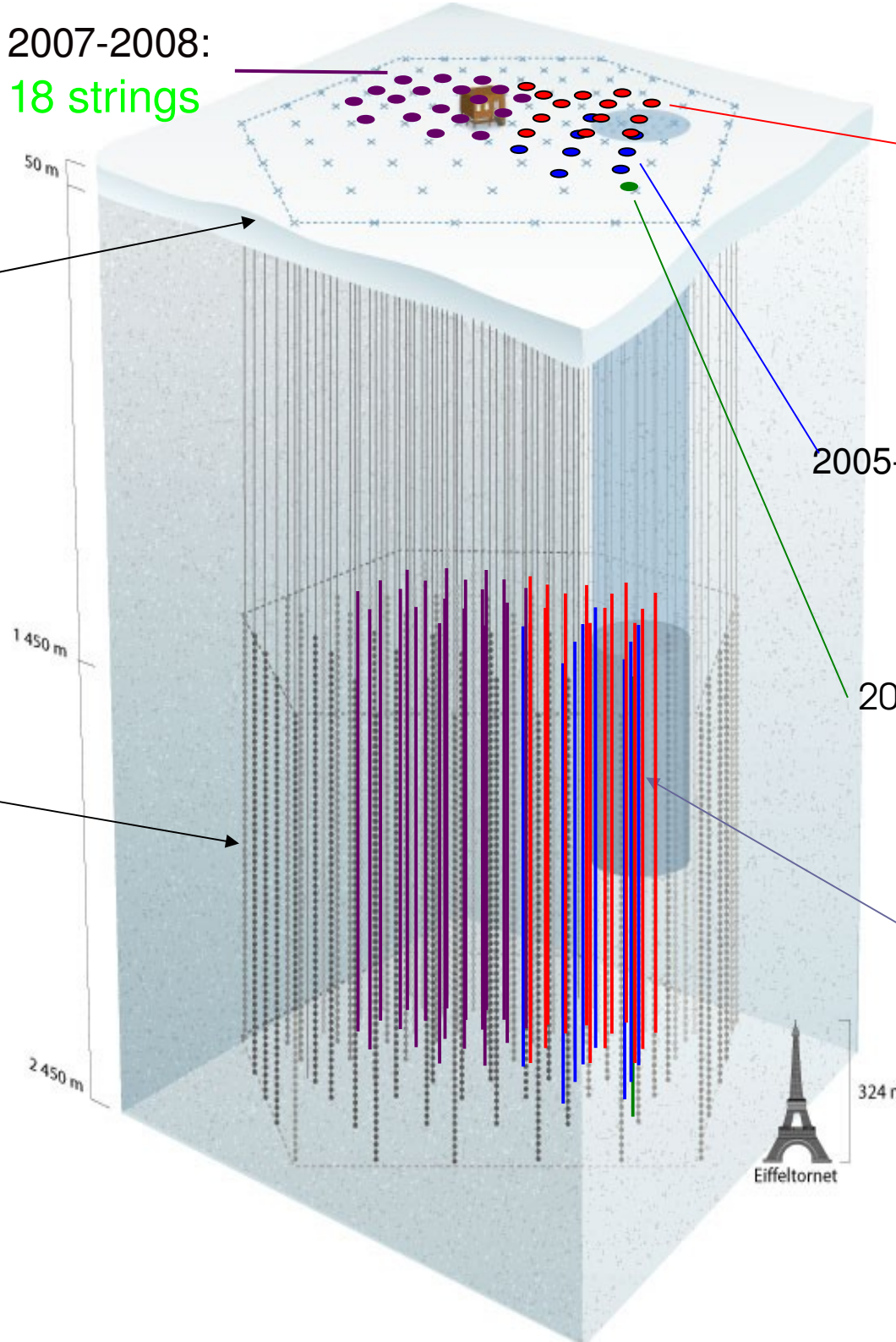
Luftschauer-Detektor

## InIce

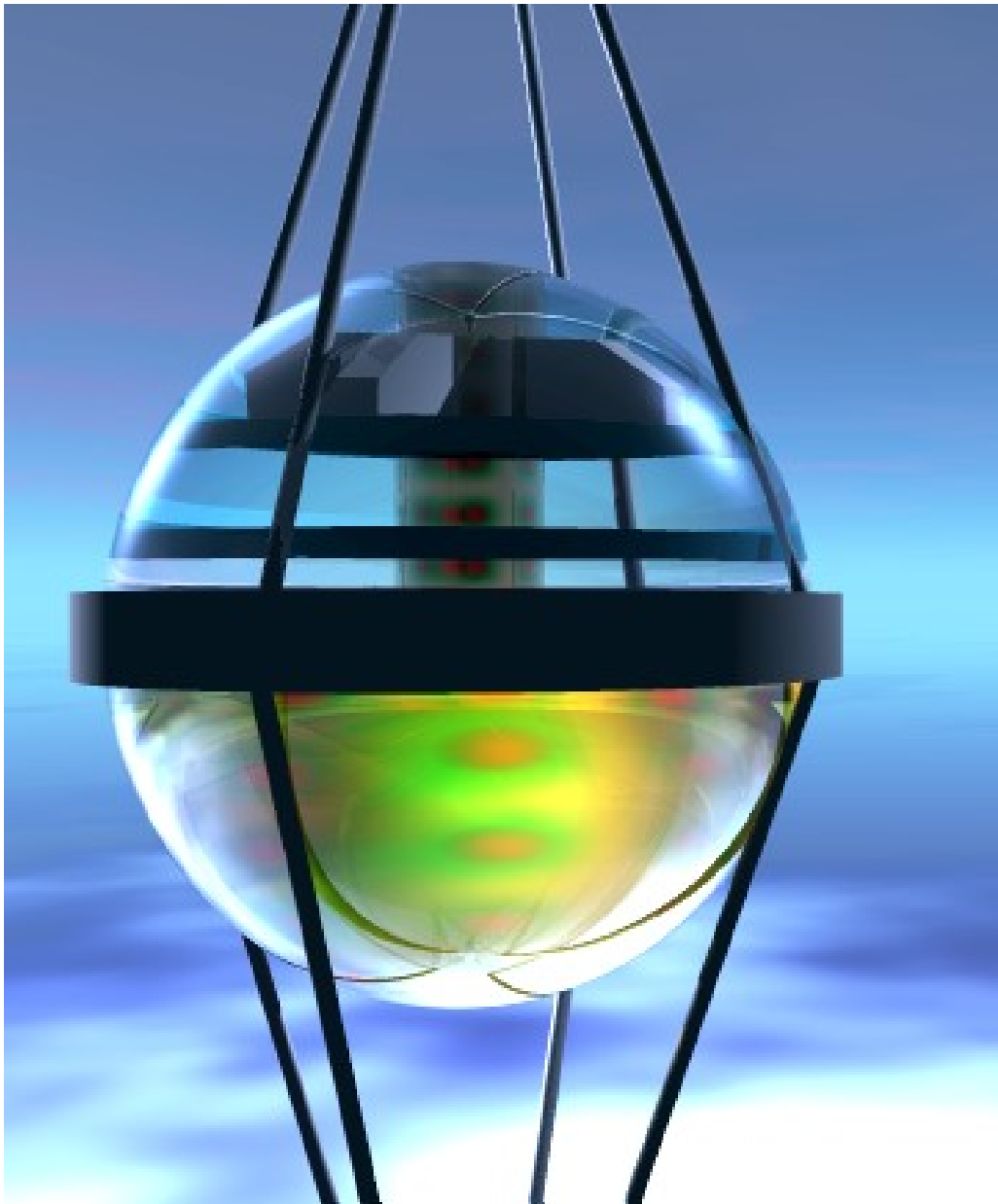
70-80 Strings ,  
60 Optische Module  
17 m zwischen Module  
125 m zwischen Strings

## AMANDA

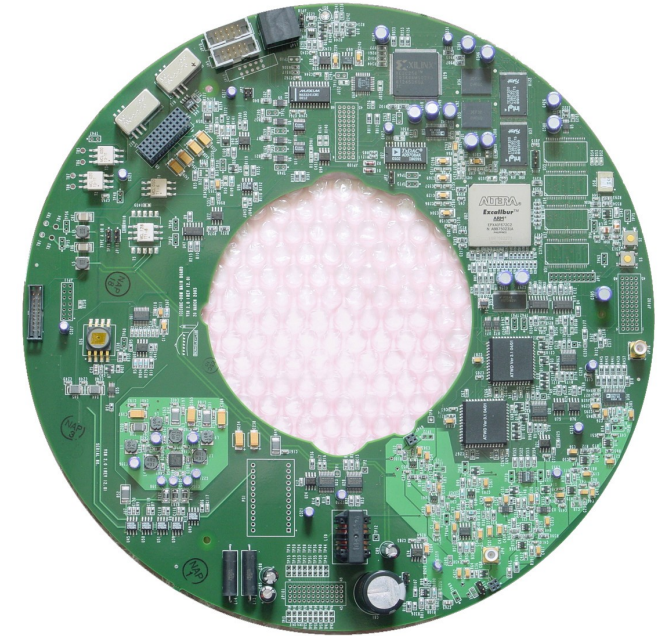
19 Strings  
677 Modules



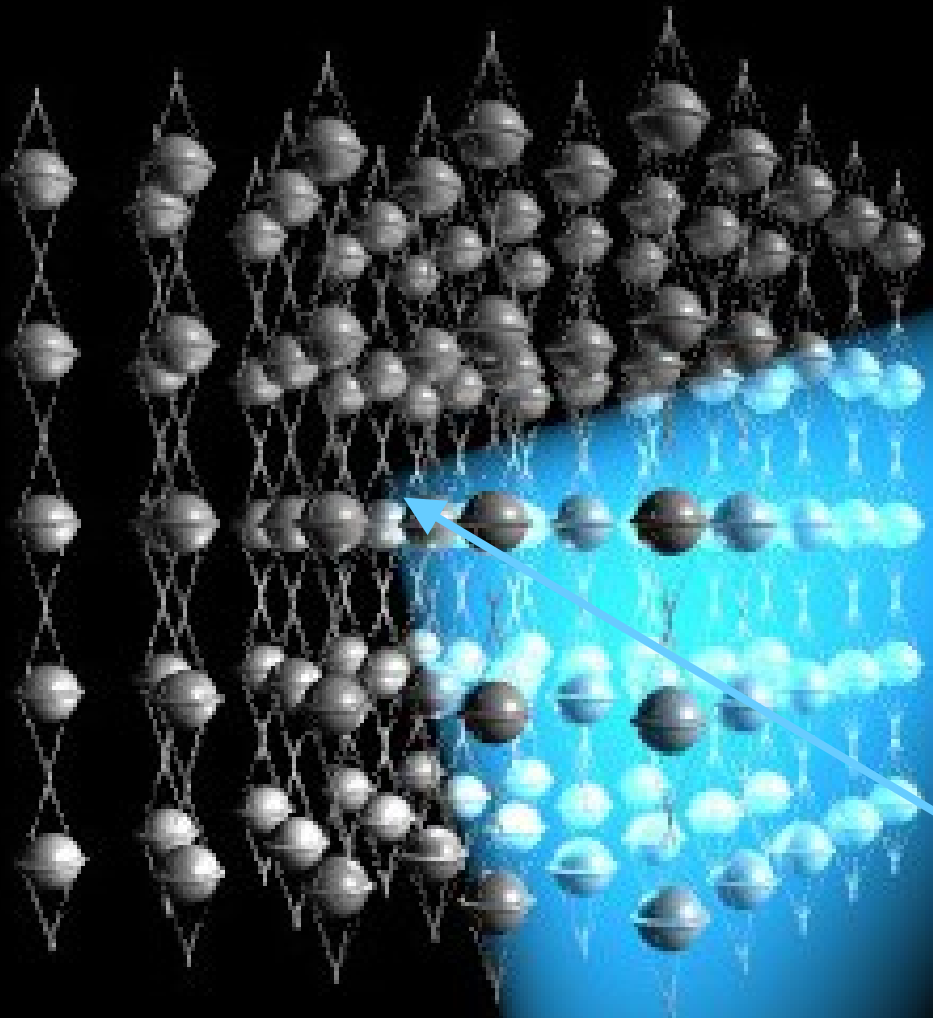
# Digitale Auslese-Elektronik



Photonvervielfacher Röhre



# Neutrino- Nachweis



Detektor

**Wechselwirkung**

**Myon**



**Neutrino**