Akustische Neutrinodetektoren

Martin Hierholzer

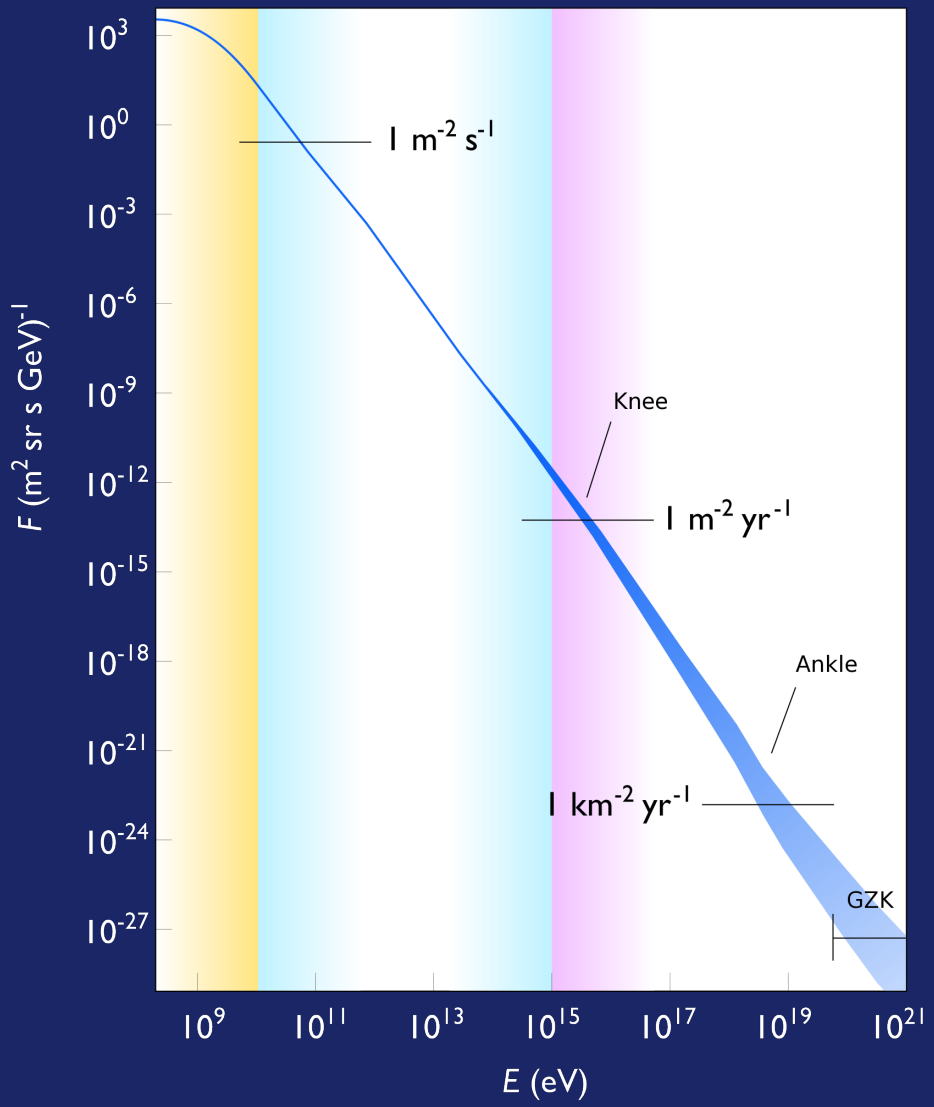
20.11.2007

Universität Hamburg

Inhalt

1. Einleitung
   - Ultra High Energetic Cosmic Rays
   - Konventionelle Experimente
   - Detektionsprinzip
2. Experimente
   - SAUND
   - ANTARES / AMADEUS
   - IceCube / SPATS
3. Zusammenfassung

Energiespektrum kosmischer Strahlung



- „nieder"energetischer Bereich gut vermessen
- UHECR: HiRes, AGASA, Auger, ... (Luftschauer)
- Auger und HiRes bestätigen GZK, AGASA steht im Widerspruch
- vermutete Quelle der UHECRs: Active Galactic Nuclei

Greisen-Zatsepin-Kuzmin Limit

- Streuung der UHECR am Mikrowellenhintergrund:

$$p + \gamma \longmapsto \Delta^+ \longmapsto p + \pi^0$$
$$p + \gamma \longmapsto \Delta^+ \longmapsto n + \pi^+$$

- Reaktionsschwelle: $\sim 6 \cdot 10^{19}\,\mathrm{eV}$
- Geladene Teilchen oberhalb der Schwelle können keine intergalaktischen Strecken zurücklegen
- $\Rightarrow$ werden solche UHECR beobachtet, muss die Quelle in unserer Galaxis liegen
- Ungeladene Teilchen (γ, ν, ...) sind nicht vom GZK-Cutoff betroffen
- π aus der GZK-Rekation zerfallen und produzieren ν

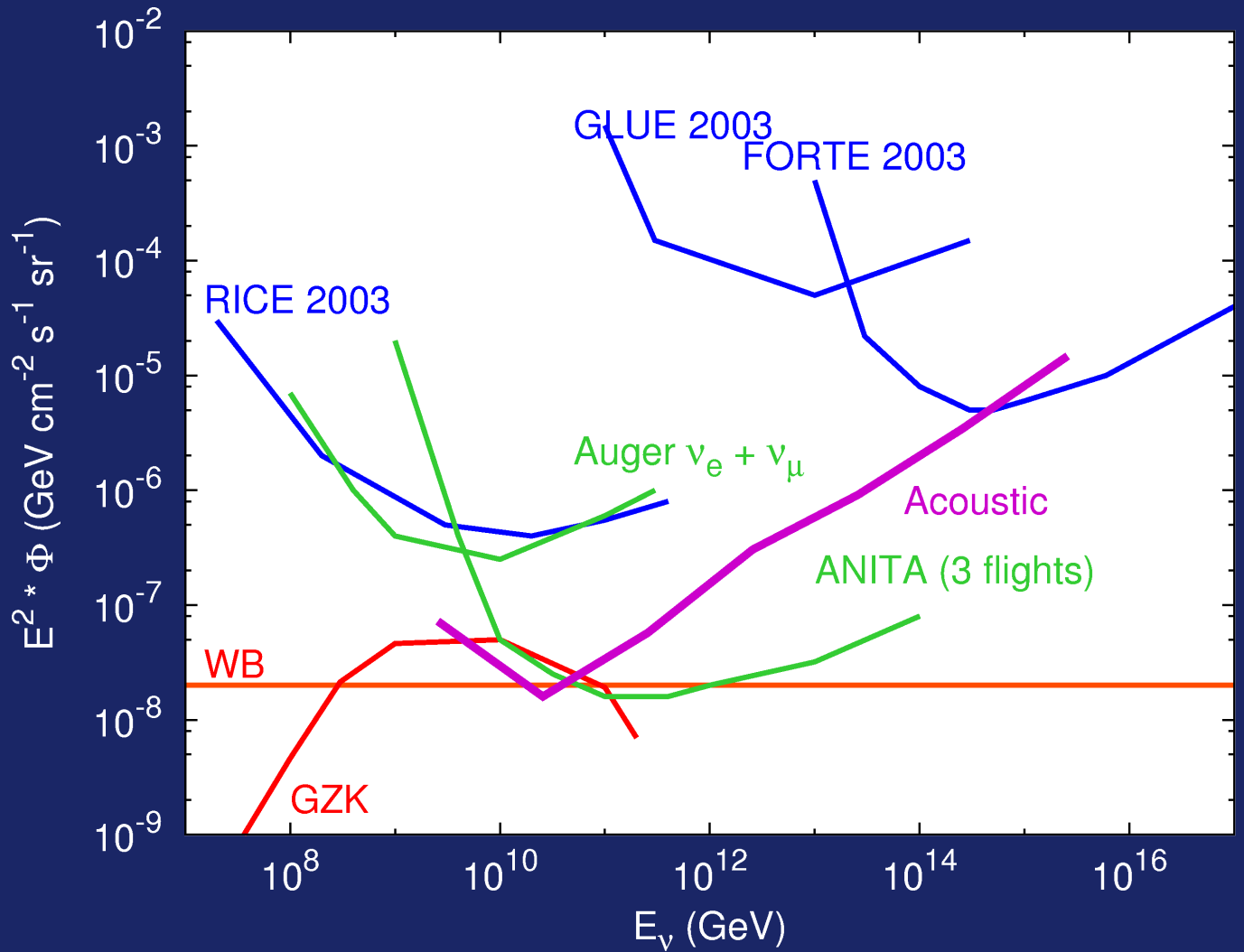
Greisen-Zatsepin-Kuzmin Limit

- Streuung der UHECR am Mikrowellenhintergrund:

$$p + \gamma \longmapsto \Delta^+ \longmapsto p + \pi^0$$
$$p + \gamma \longmapsto \Delta^+ \longmapsto n + \pi^+$$

- Reaktionsschwelle: $\sim 6 \cdot 10^{19}\,\mathrm{eV}$
- Geladene Teilchen oberhalb der Schwelle können keine intergalaktischen Strecken zurücklegen
- $\Rightarrow$ werden solche UHECR beobachtet, muss die Quelle in unserer Galaxis liegen
- Ungeladene Teilchen (γ, ν, ...) sind nicht vom GZK-Cutoff betroffen
- π aus der GZK-Rekation zerfallen und produzieren ν

GZK-Neutrinos



Acoustic: Limit für $1500\,\mathrm{m}^3$-Detektor

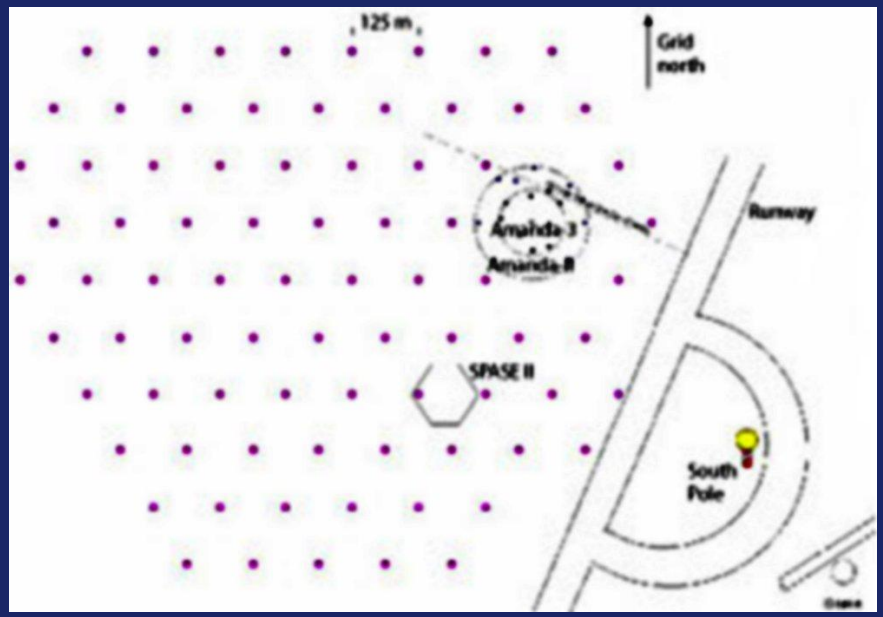
WB = Waxman-Bahcall-Limit für hochenergetische Neutrinos

Konventionelle Neutrinoteleskope

- Target: Wasser oder Eis
- Detektion des Čerenkov-Licht der sekundären Teilchen
- Sensitiv auf CC-Rekationen von ν_μ, da optimiert auf lange Tracks
- gute Winkelauflösung: 0.5° (Wasser) bzw. 2° (Eis)
- Energiebereich: $10^{11}\,\mathrm{eV} \sim 10^{21}\,\mathrm{eV}$ (je nach Größe)

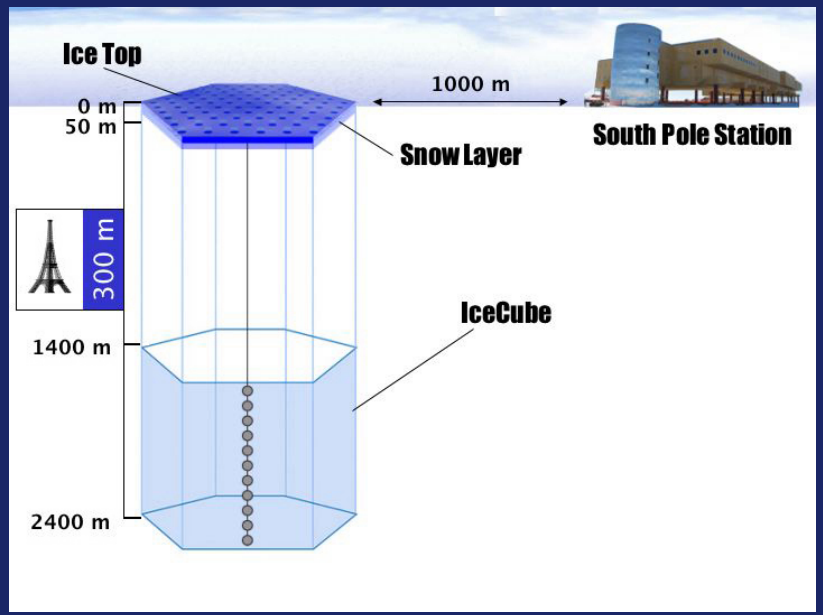
IceCube

- Am geographischen Südpol ($\Rightarrow$ Eis als Detektormedium)
- Nachfolger des kleineren AMANDA
- 70 Strings á 60 PMTs in $1450\,\mathrm{m}$ bis $2450\,\mathrm{m}$ Tiefe
- beobachtet nur Events von ,,unten", also die nördlichen Hemisphäre



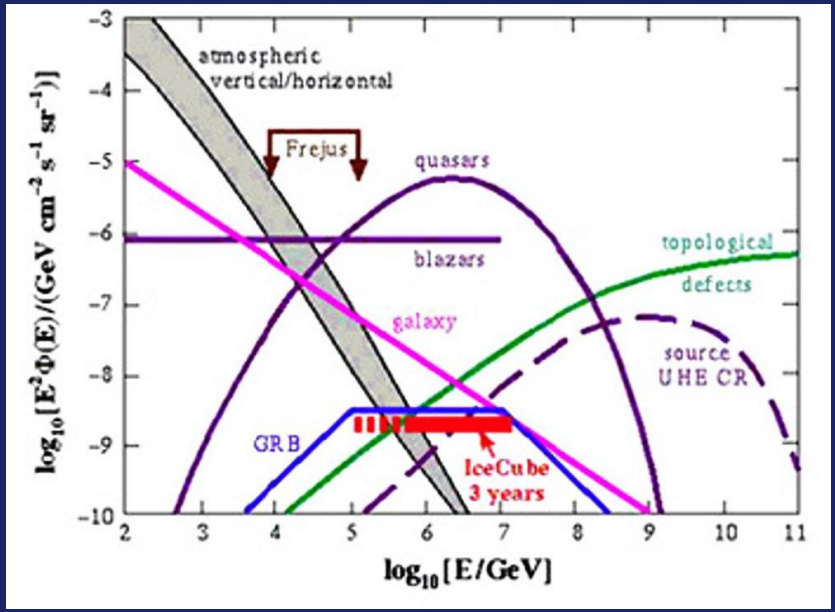
IceCube

- Am geographischen Südpol ($\Rightarrow$ Eis als Detektormedium)
- Nachfolger des kleineren AMANDA
- 70 Strings á 60 PMTs in $1450\,\mathrm{m}$ bis $2450\,\mathrm{m}$ Tiefe
- beobachtet nur Events von „unten”, also die nördlichen Hemisphäre



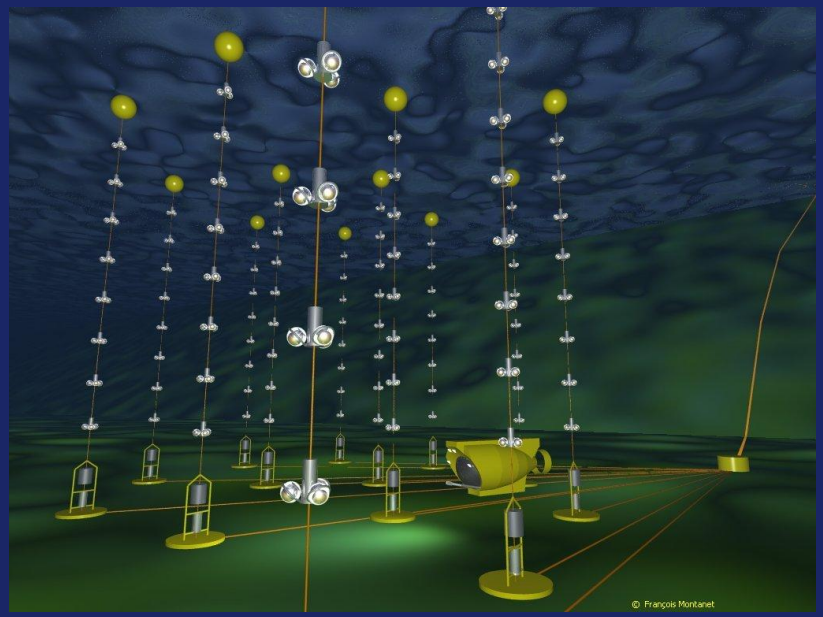
IceCube

- Am geographischen Südpol ($\Rightarrow$ Eis als Detektormedium)
- Nachfolger des kleineren AMANDA
- 70 Strings á 60 PMTs in $1450\,\mathrm{m}$ bis $2450\,\mathrm{m}$ Tiefe
- beobachtet nur Events von ,,unten", also die nördlichen Hemisphäre



ANTARES

- Im Mittelmeer vor der Küste bei Toulon ($\Rightarrow$ Wasser als Detektormedium)
- 12 Lines á 75 Storeys á 3 PMTs
- Lines sind $300\,\mathrm{m}$ lang und $\sim 70\,\mathrm{m}$ voneinander entfernt
- Zusätzlich 1 Instrumentation Line zur Kalibration etc.



ANTARES

- Im Mittelmeer vor der Küste bei Toulon ($\Rightarrow$ Wasser als Detektormedium)
- 12 Lines á 75 Storeys á 3 PMTs
- Lines sind $300\,\mathrm{m}$ lang und $\sim 70\,\mathrm{m}$ voneinander entfernt
- Zusätzlich 1 Instrumentation Line zur Kalibration etc.

Warum akustische Detektoren?

- Čerenkov-Licht basierte Detektoren funktionieren gut im ,,Mittel"-energetischen Bereich
- Für GZK-Neutrinos und noch höhere Energien: Größere Detektoren wegen geringerer Rate nötig
- Čerenkov-Licht hat relativ kurze Dämpfungslängen in Wasser/Eis ($\sim 100\,\mathrm{m}$)
- Instrumentierungsdichte kann nicht geringer werden als bei aktuellen Experimenten
- Schallwellen hingegen können sich über mehrere km in Wasser/Eis ausbreiten
- Das erlaubt eine geringere Instrumentierungsdichte ($\Rightarrow$ geringere Kosten)

Warum akustische Detektoren?

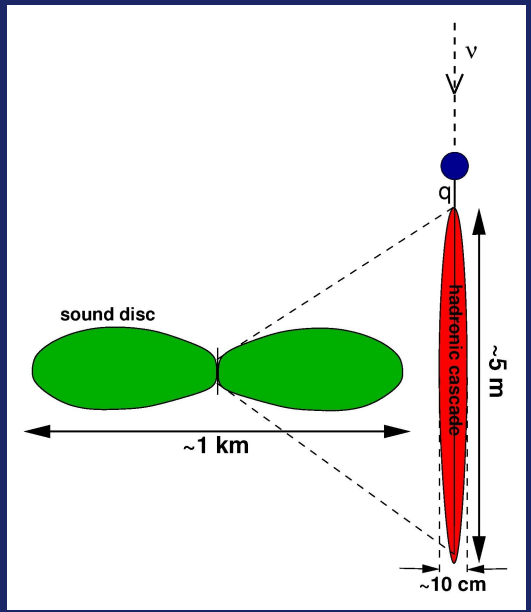
- Čerenkov-Licht basierte Detektoren funktionieren gut im ,,Mittel"-energetischen Bereich
- Für GZK-Neutrinos und noch höhere Energien: Größere Detektoren wegen geringerer Rate nötig
- Čerenkov-Licht hat relativ kurze Dämpfungslängen in Wasser/Eis ($\sim 100\,\mathrm{m}$)
- Instrumentierungsdichte kann nicht geringer werden als bei aktuellen Experimenten
- Schallwellen hingegen können sich über mehrere km in Wasser/Eis ausbreiten
- Das erlaubt eine geringere Instrumentierungsdichte ($\Rightarrow$ geringere Kosten)

Warum akustische Detektoren?

- Čerenkov-Licht basierte Detektoren funktionieren gut im ,,Mittel"-energetischen Bereich
- Für GZK-Neutrinos und noch höhere Energien: Größere Detektoren wegen geringerer Rate nötig
- Čerenkov-Licht hat relativ kurze Dämpfungslängen in Wasser/Eis ($\sim 100\,\mathrm{m}$)
- Instrumentierungsdichte kann nicht geringer werden als bei aktuellen Experimenten
- Schallwellen hingegen können sich über mehrere km in Wasser/Eis ausbreiten
- Das erlaubt eine geringere Instrumentierungsdichte ($\Rightarrow$ geringere Kosten)

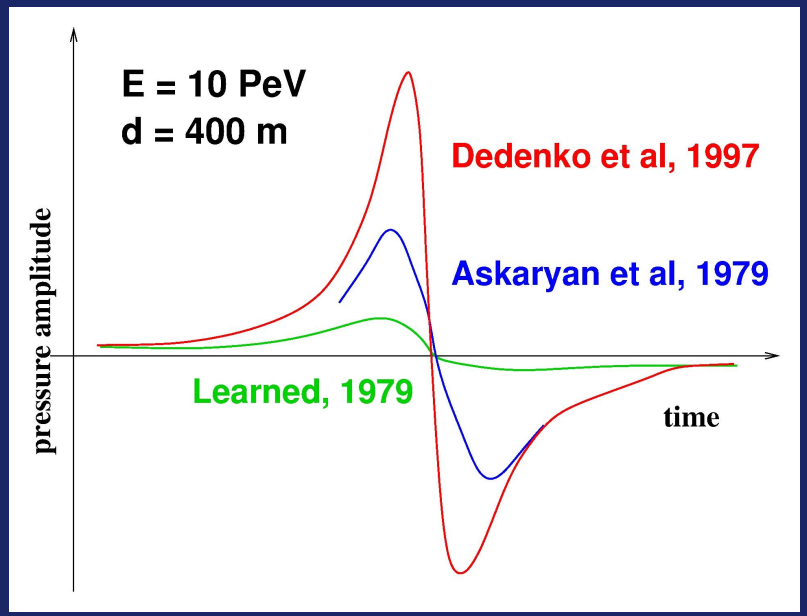
Thermo-akustisches Modell

- Neutrino produziert Lepton (80% d. Energie) und hadr. Schauer
- Hadr. Schauer erhitzt Medium instantan auf einer Länge von $\sim 5\,\mathrm{m}$
- Ausbreitung einer Schallwelle innerhalb einer Scheibe
- Bipolarer Puls, Frequenzen im Bereich $1 \sim 100\,\mathrm{kHz}$, Max. bei $20\,\mathrm{kHz}$
- Reichweite mehrere km (selbst in Meerwasser)
- Amplitude: $\sim 100\,\mu\mathrm{Pa}$ (menschliche Hörschwelle bei $1\,\mathrm{kHz}$: $20\,\mu\mathrm{Pa}$)



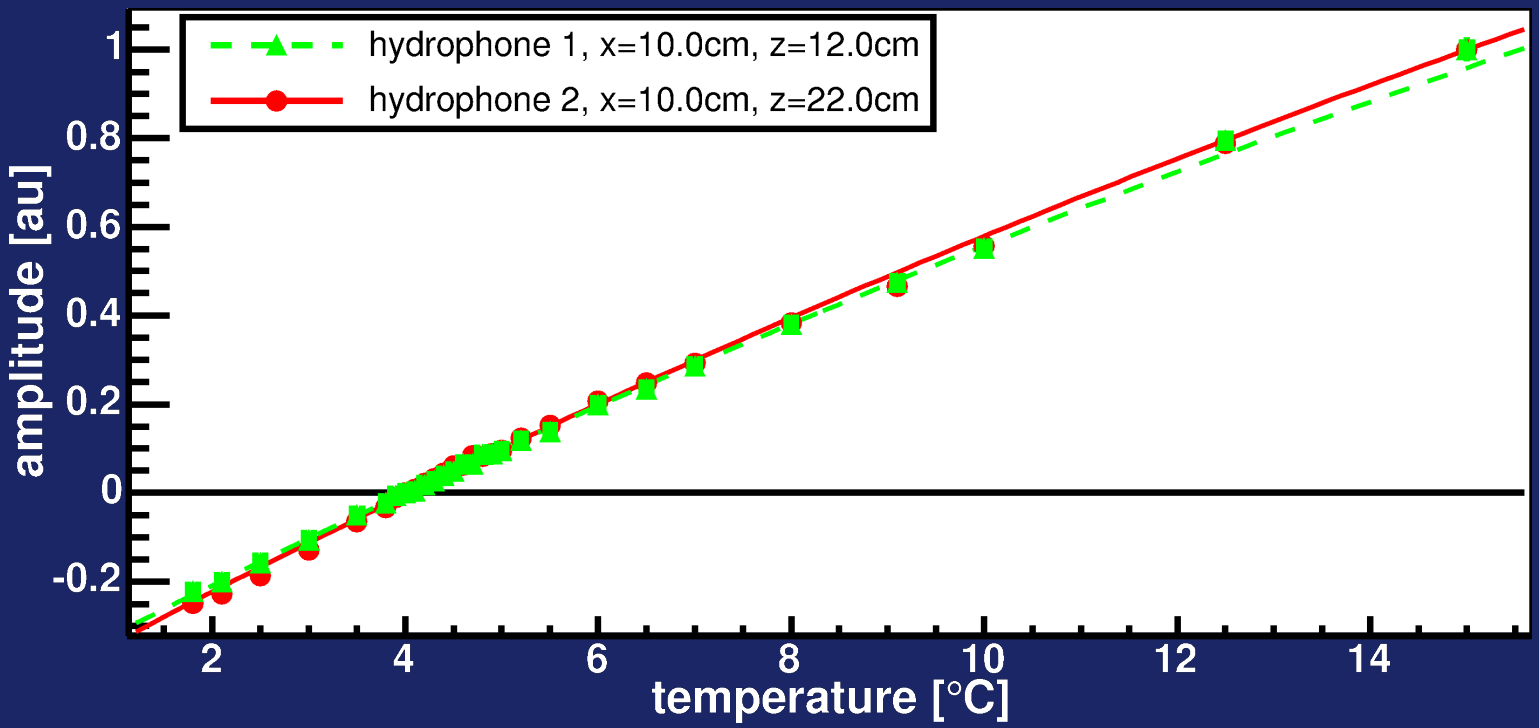
Thermo-akustisches Modell

- Neutrino produziert Lepton (80% d. Energie) und hadr. Schauer
- Hadr. Schauer erhitzt Medium instantan auf einer Länge von $\sim 5\,\mathrm{m}$
- Ausbreitung einer Schallwelle innerhalb einer Scheibe
- Bipolarer Puls, Frequenzen im Bereich $1 \sim 100\,\mathrm{kHz}$, Max. bei $20\,\mathrm{kHz}$
- Reichweite mehrere km (selbst in Meerwasser)
- Amplitude: $\sim 100\,\mu\mathrm{Pa}$ (menschliche Hörschwelle bei $1\,\mathrm{kHz}$: $20\,\mu\mathrm{Pa}$)



Temperaturabhängigkeit

- Amplitude abhängig vom Grüneisenparameter: $\gamma = \frac{c_s^2 \cdot \alpha}{C_p}$
  (c_s: Schallgeschwindigkeit; α: Ausdehnungskoeffizient; C_p: spezifische Wärme)
- Amplitude in Wasser (gemessen mit Protonenstrahl):



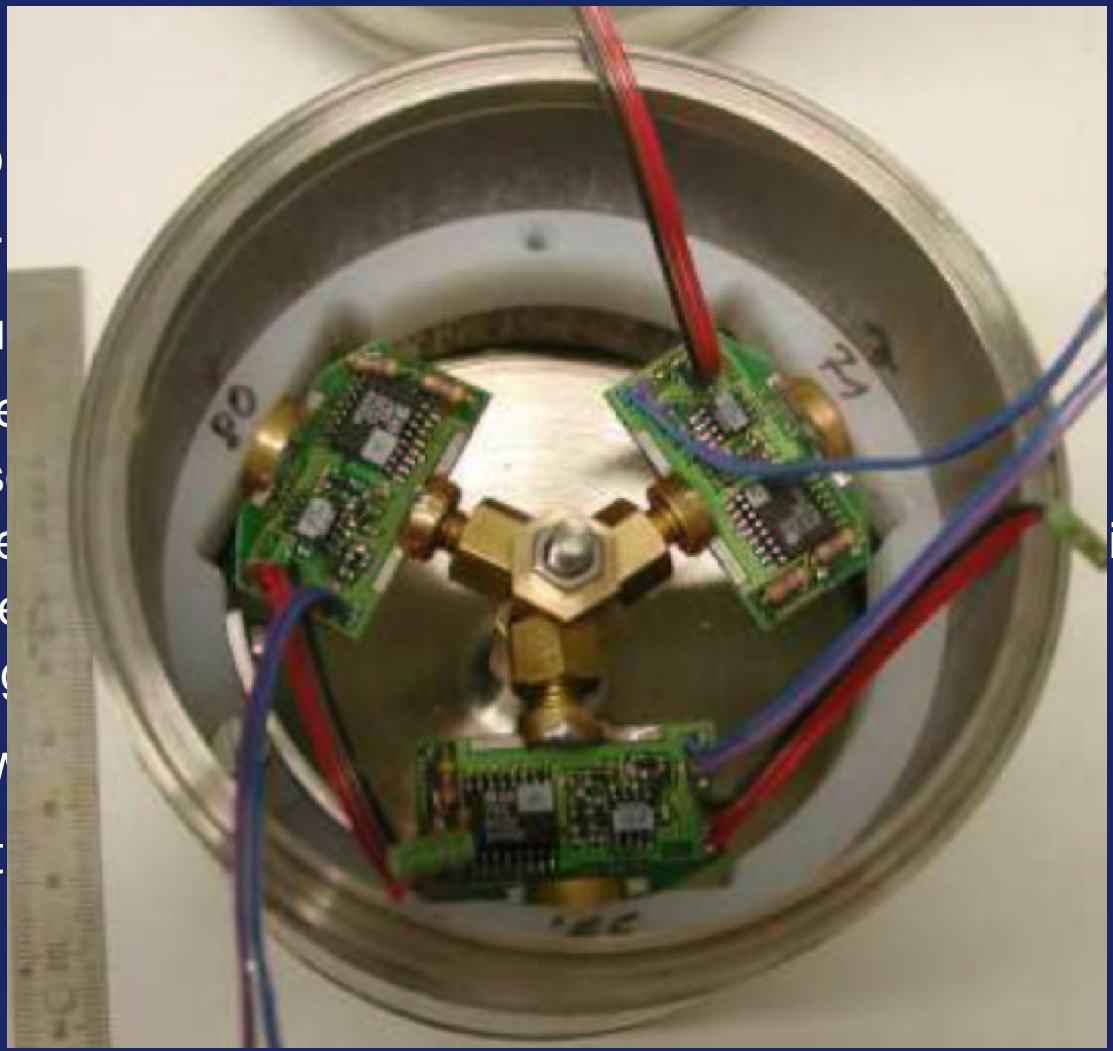
- in Eis: umgekehrte Signalform!

Sensor: Hydrophon

- Hydrophone kommerziell erhältlich
- Arrays für verschiedene zivile und militärische Zwecke
- Anforderungen für Neutrinodetektion:
  - flacher Frequenzgang im Bereich $5 \sim 50\,\mathrm{kHz}$
  - Rauschen geringer als kleinster Untergrund
  - flache Richtungscharakteristik, richtungsunabhängige Signalform
  - Tiefseetauglich, Drücke von bis zu $250\,\mathrm{bar}$
  - geringere Kosten als kommerzielle Produkte
- typischerweise piezoelektrische Elemente
- Modul mit integriertem Verstärker und AD-Wandler

Sensor: Hydrophon

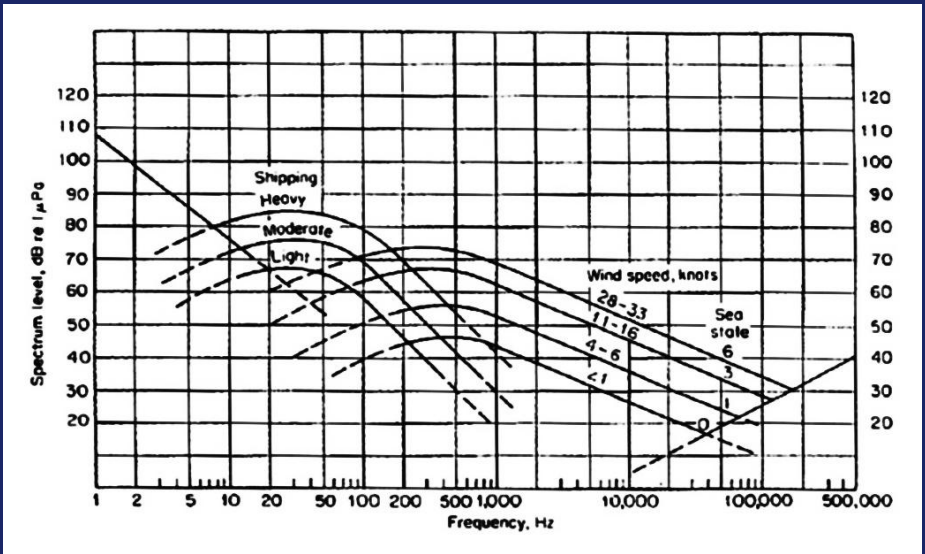
- Hydropho
- Arrays für
- Anforderu
  - flache
  - Raus
  - flache
  - Tiefse
  - gerin
- typischerv
- Modul mit



ignalform

Undergrundquellen in der Tiefsee

- Unterer Frequenzbereich (ungefährlich): Schifffahrt etc.
- Hoher Frequenzbereich: thermische Molekularbewegung, sehr konstant
- Mittlerer Frequenzbereich (kritisch): Platzen von Luftblasen (korreliert mit Seegang)
- Geräusche organischen Ursprungs (Walgesänge...) sehr verschieden vom Signal

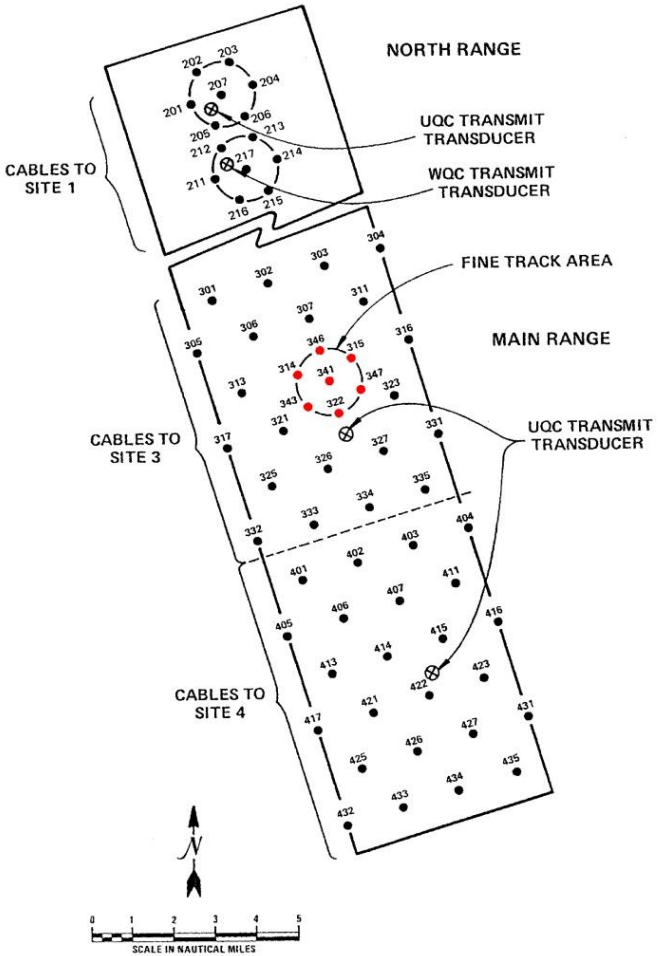


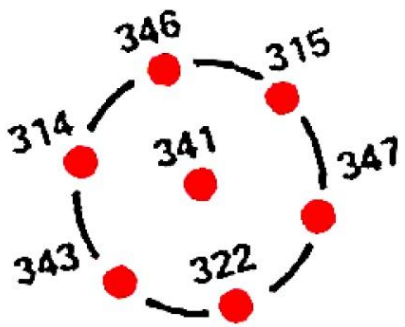
SAUND

- ”Study of Acoustic Ultra-high-energy Neutrino Detection”
- Verwendet militärisches Array in den Bahamas (AUTEC)
- 7 einzelne Hydrophone, Abstand ca. $1.5\,\mathrm{km}$, Tiefe ca. $1600\,\mathrm{m}$
- keine Neutrinos, aber:
  - 200 Tage Livetime, 25 mio. Events
  - Messung des Untergrundes
  - Brechung durch Dichtegradient
  - Entfernungs- und Energiemessung
  - Diverse Cuts zur Untergrundreduktion
  - Rekonstruierte Events: keine im Fiducial Volume (vgl. Simulation)
  - Obergrenze für den Neutrinofluss
- Nachfolger SAUND II nimmt bereits Daten
  - 50 Hydrophone mit höherer und uniformer Empfindlichkeit
  - Erste Kalibrationstests abgeschlossen

SAUND

- ”Study of Acoustic Ultra-high-energy Neutrino Detection”
- Verw
- 7 ei
- kein
- Nac

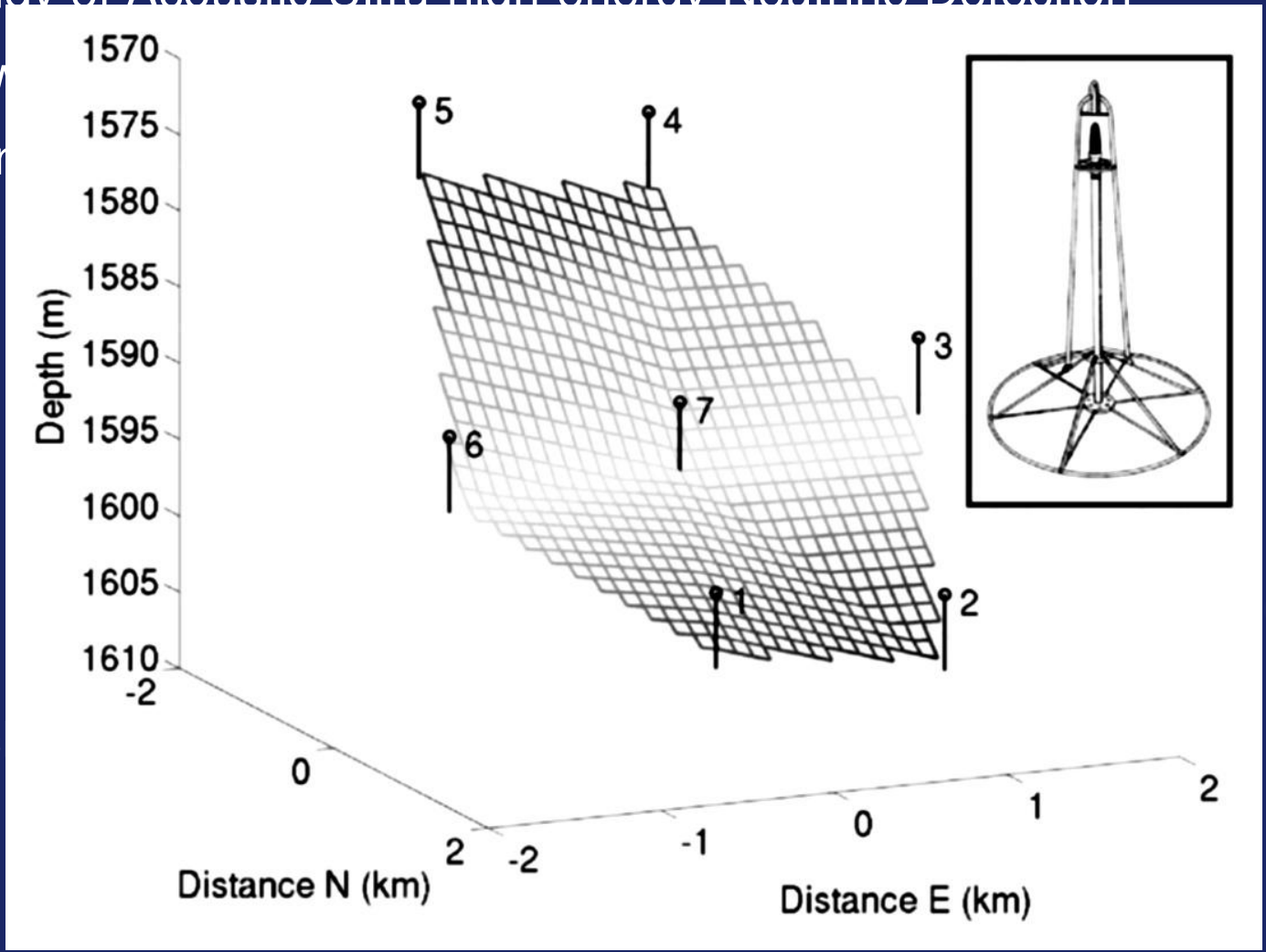




SAUND
7 km^2

SAUND

- ”Study of Acoustic Ultra-high-energy Neutrino Detection”
- Verw
- 7 ei
- kein
- Nac

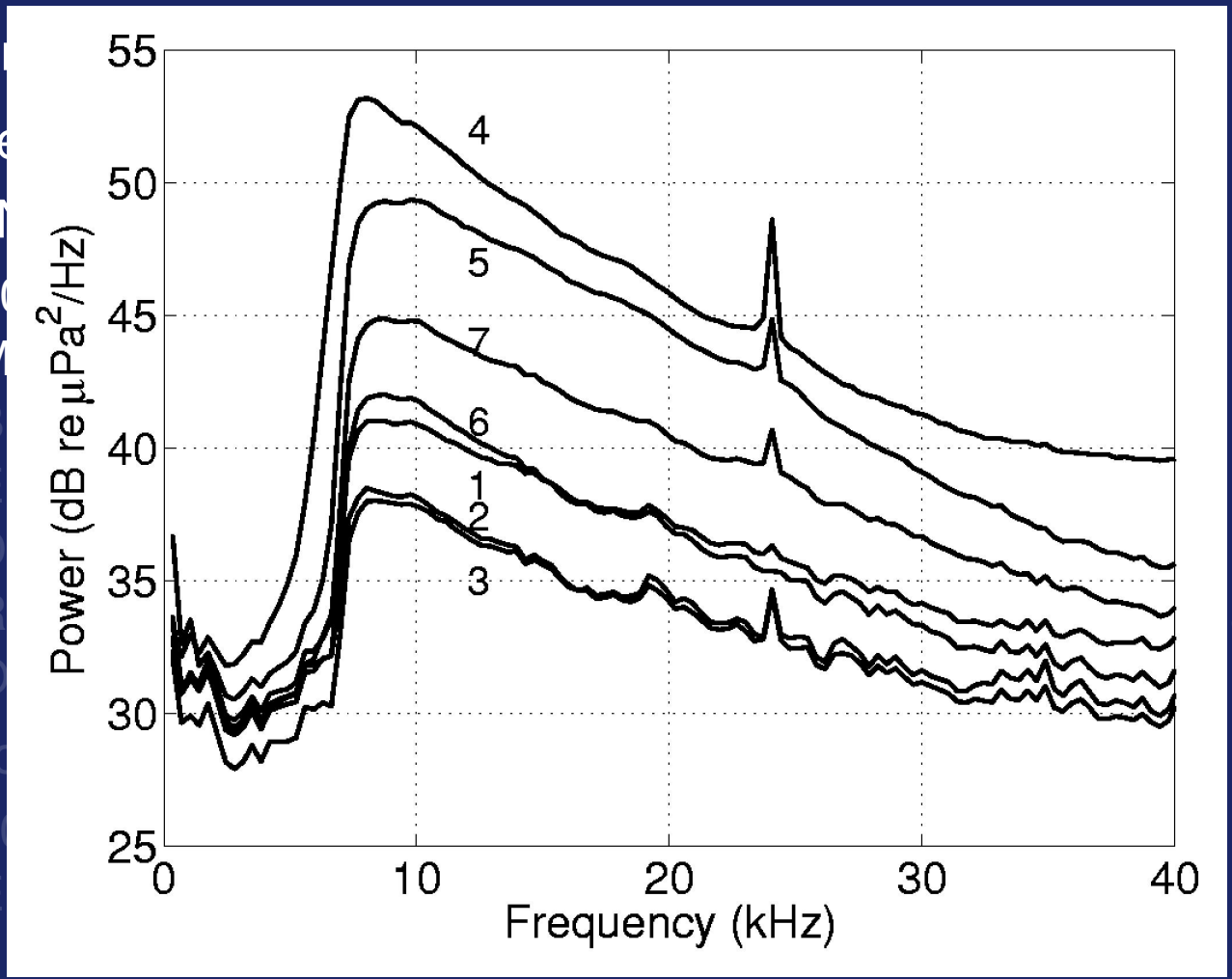


SAUND

- ”Study of Acoustic Ultra-high-energy Neutrino Detection”
- Verwendet militärisches Array in den Bahamas (AUTEC)
- 7 einzelne Hydrophone, Abstand ca. $1.5\,\mathrm{km}$, Tiefe ca. $1600\,\mathrm{m}$
- keine Neutrinos, aber:
  - 200 Tage Livetime, 25 mio. Events
  - Messung des Untergrundes
  - Brechung durch Dichtegradient
  - Entfernungs- und Energiemessung
  - Diverse Cuts zur Untergrundreduktion
  - Rekonstruierte Events: keine im Fiducial Volume (vgl. Simulation)
  - Obergrenze für den Neutrinofluss
- Nachfolger SAUND II nimmt bereits Daten
  - 50 Hydrophone mit höherer und uniformer Empfindlichkeit
  - Erste Kalibrationstests abgeschlossen

SAUND

- ”Study of Acoustic Ultra-high-energy Neutrino Detection”
- Verwe
- 7 einze m
- keine N
  - 2
  - M
    - B
    - E
    - D
    - R ation)
    - C
- Nachfo
  - 5
  - E

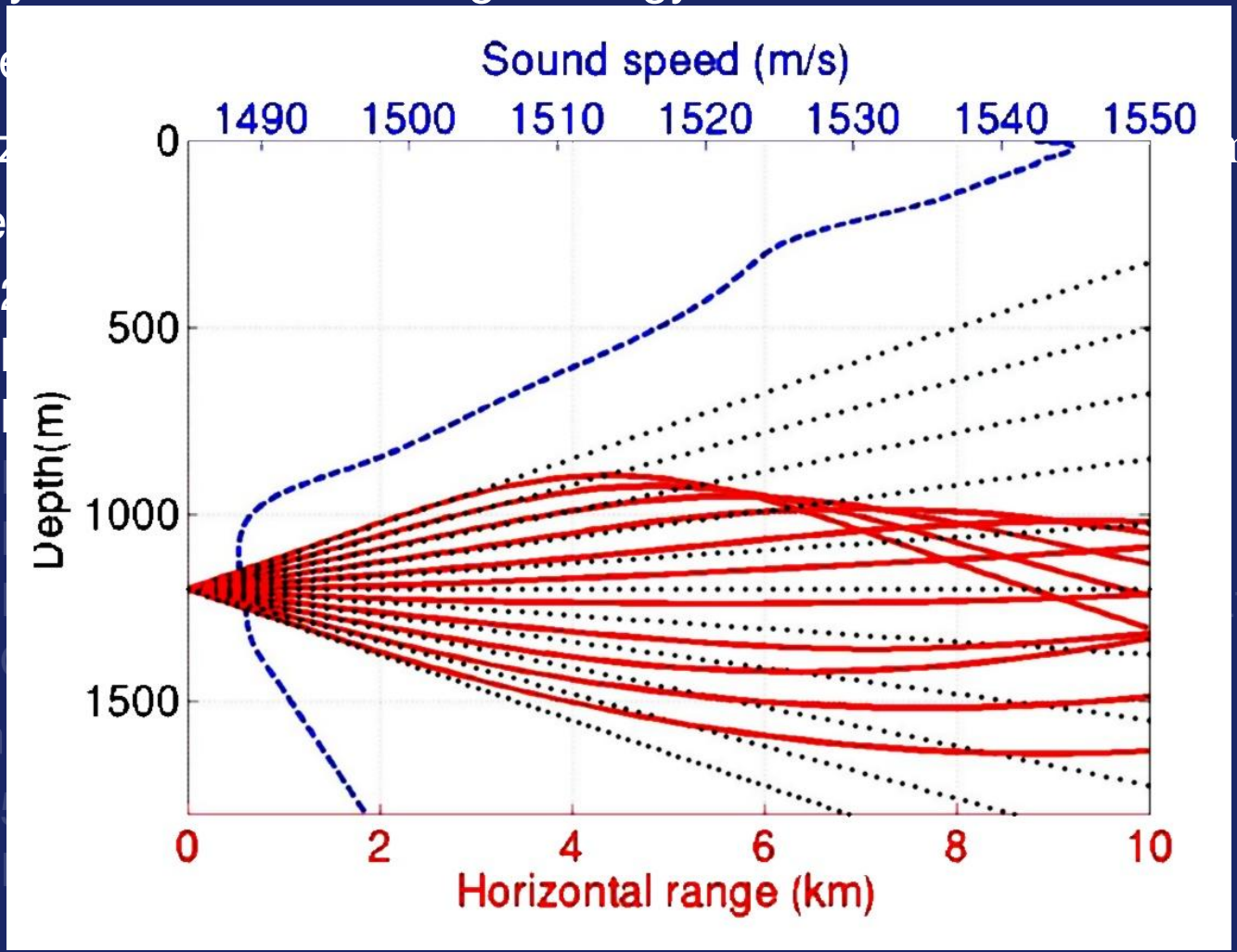


SAUND

- ”Study of Acoustic Ultra-high-energy Neutrino Detection”
- Verwendet militärisches Array in den Bahamas (AUTEC)
- 7 einzelne Hydrophone, Abstand ca. $1.5\,\mathrm{km}$, Tiefe ca. $1600\,\mathrm{m}$
- keine Neutrinos, aber:
  - 200 Tage Livetime, 25 mio. Events
  - Messung des Untergrundes
  - Brechung durch Dichtegradient
  - Entfernungs- und Energiemessung
  - Diverse Cuts zur Untergrundreduktion
  - Rekonstruierte Events: keine im Fiducial Volume (vgl. Simulation)
  - Obergrenze für den Neutrinofluss
- Nachfolger SAUND II nimmt bereits Daten
  - 50 Hydrophone mit höherer und uniformer Empfindlichkeit
  - Erste Kalibrationstests abgeschlossen

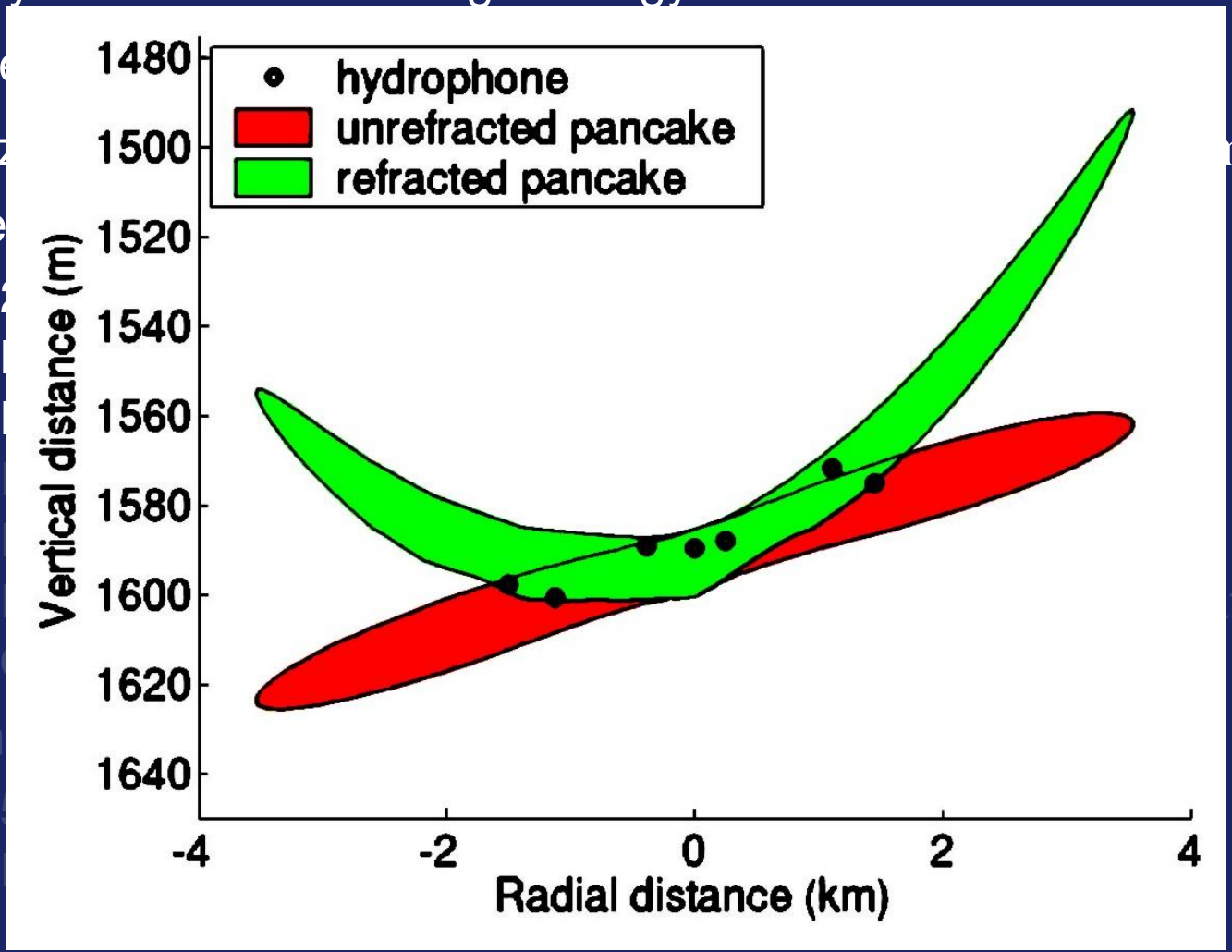
SAUND

- ”Study of Acoustic Ultra-high-energy Neutrino Detection”
- Verwe
- 7 einz n
- keine
  - 2
  -
  -
  -
  -
  - tion)
  -
- Nach
  -
  -



SAUND

- ”Study of Acoustic Ultra-high-energy Neutrino Detection”
- Verwe
- 7 einz n
- keine
  - 2
  -
  -
  -
  -
  -
  - tion)
  -
- Nach
  -
  -

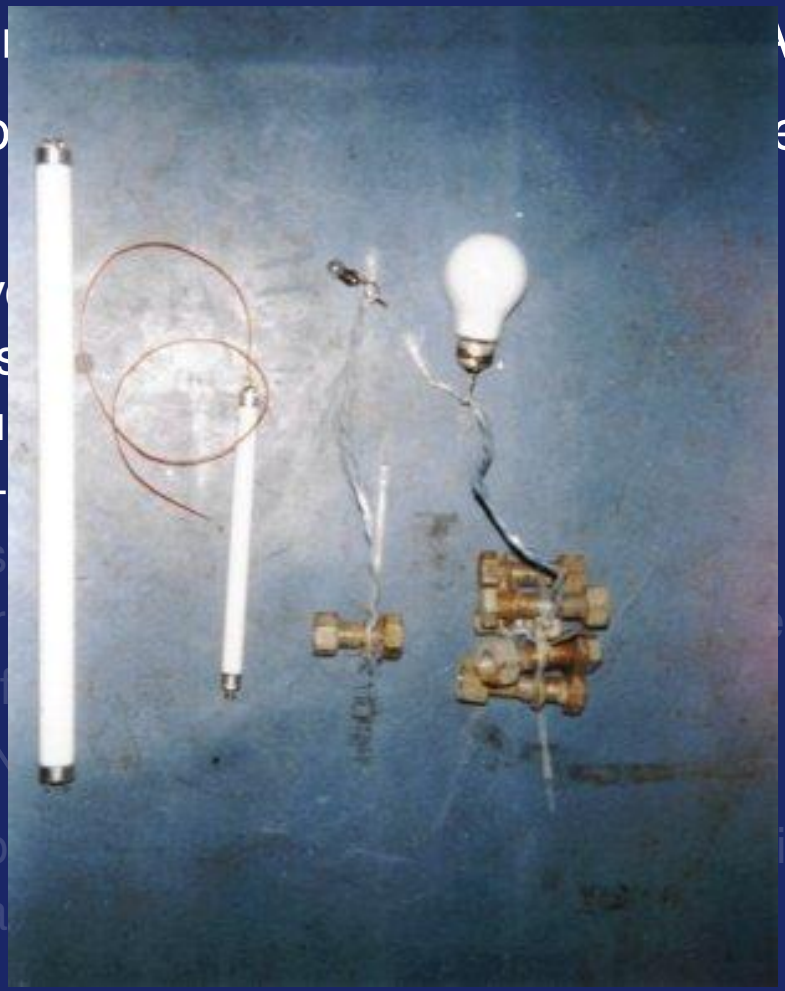


SAUND

- ”Study of Acoustic Ultra-high-energy Neutrino Detection”
- Verwendet militärisches Array in den Bahamas (AUTEC)
- 7 einzelne Hydrophone, Abstand ca. $1.5\,\mathrm{km}$, Tiefe ca. $1600\,\mathrm{m}$
- keine Neutrinos, aber:
  - 200 Tage Livetime, 25 mio. Events
  - Messung des Untergrundes
  - Brechung durch Dichtegradient
  - Entfernungs- und Energiemessung
  - Diverse Cuts zur Untergrundreduktion
  - Rekonstruierte Events: keine im Fiducial Volume (vgl. Simulation)
  - Obergrenze für den Neutrinofluss
- Nachfolger SAUND II nimmt bereits Daten
  - 50 Hydrophone mit höherer und uniformer Empfindlichkeit
  - Erste Kalibrationstests abgeschlossen

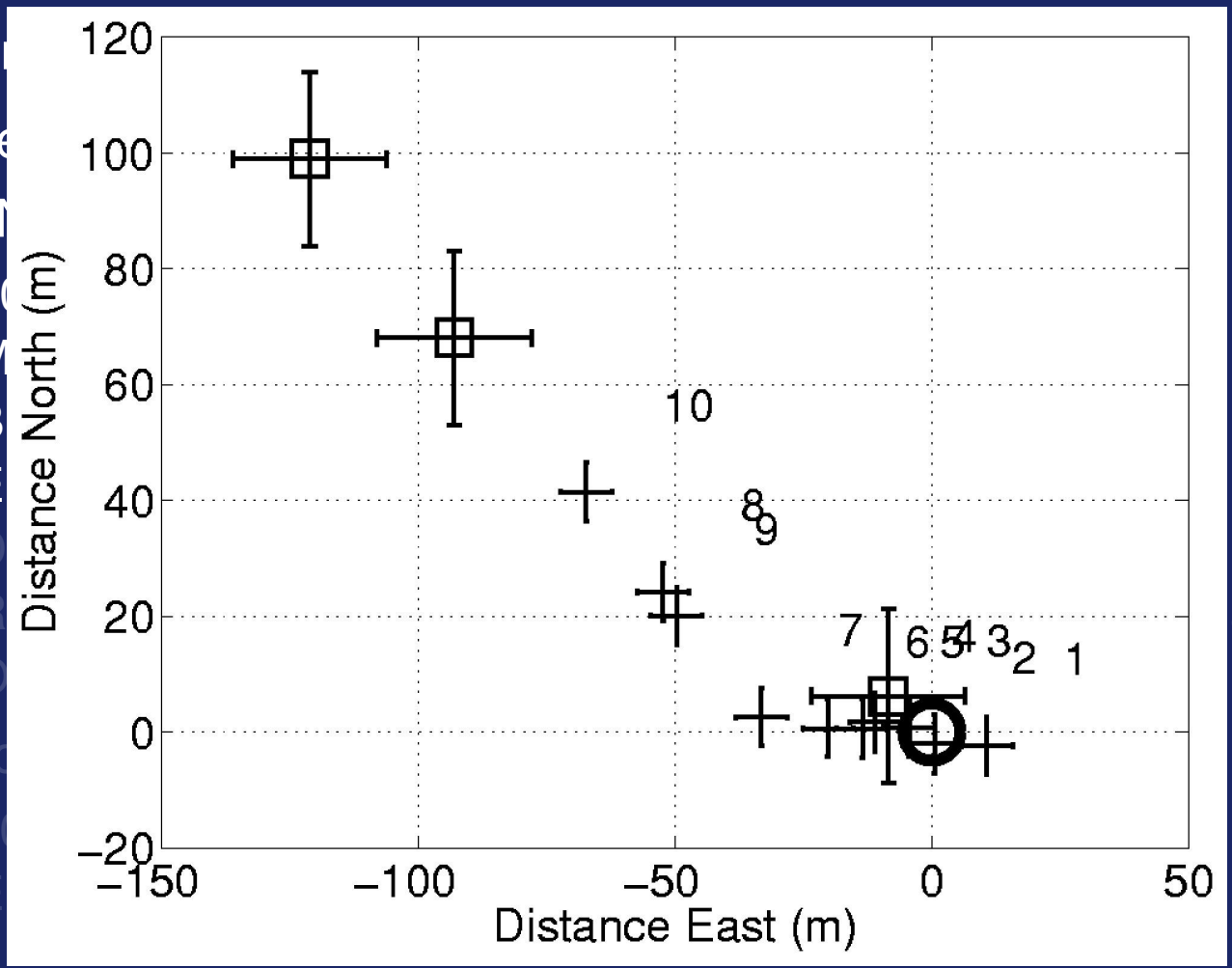
SAUND

- ”Study of Acoustic Ultra-high-energy Neutrino Detection”
- Verwendet militä \UTEC)
- 7 einzelne Hydro e ca. $1600\,\mathrm{m}$
- keine Neutrinos,
  - 200 Tage Liv
  - Messung des
  - Brechung du
  - Entfernungs-
  - Diverse Cuts
  - Rekonstruier (vgl. Simulation)
  - Obergrenze f
- Nachfolger SAU
  - 50 Hydropho indlichkeit
  - Erste Kalibra



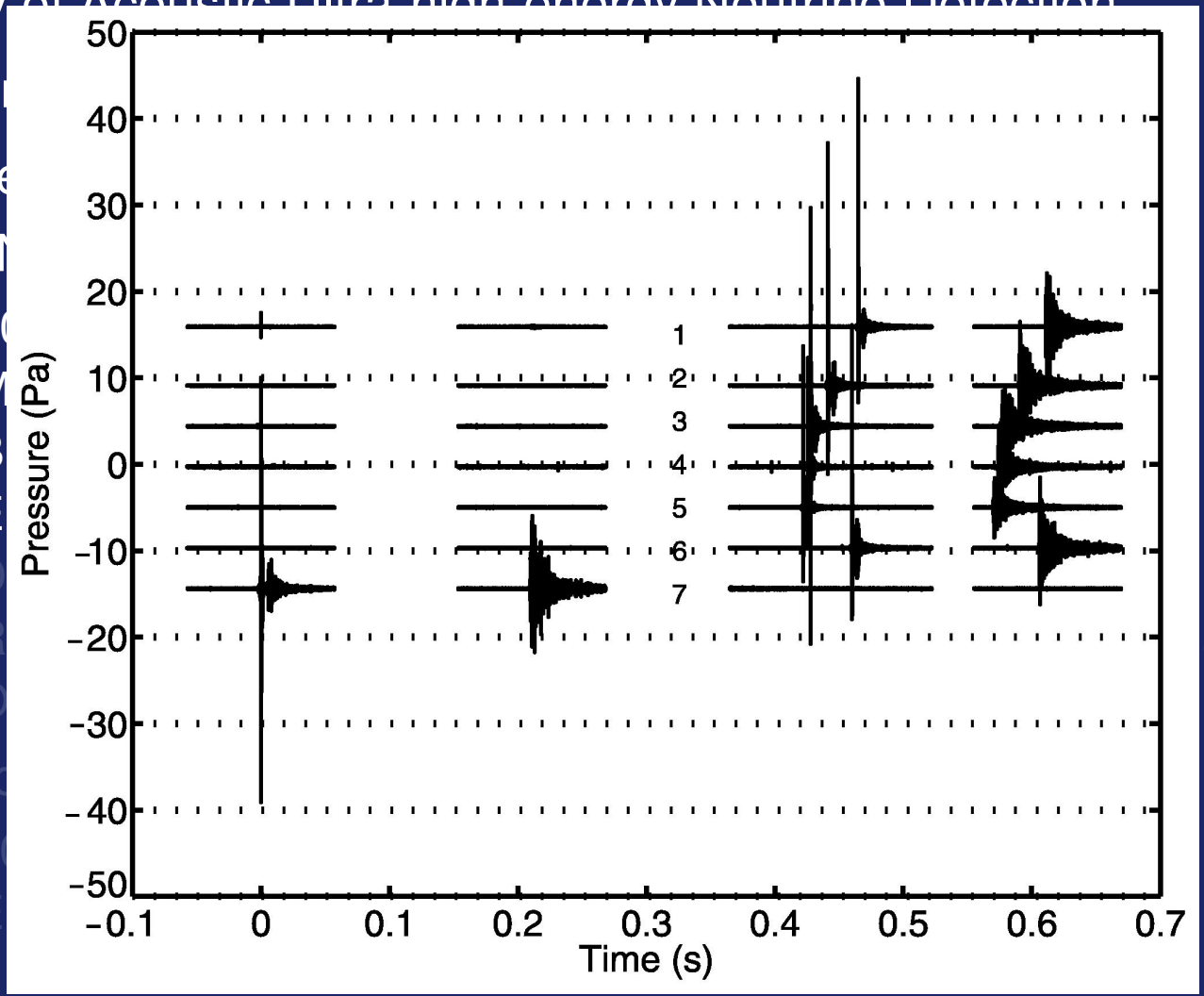
SAUND

- ”Study of Acoustic Ultra-high-energy Neutrino Detection”
- Verwe
- 7 einze m
- keine
  - 2
  - M
  - B
  - E
  - D
  - R ation)
  - C
- Nachfo
  - 5
  - E



SAUND

- ”Study of Acoustic Ultra-high energy Neutrino Detection”
- Verwe
- 7 einze m
- keine M
  - 2
  - M
  - B
  - E
  - D
  - R ation)
  - C
- Nachfo
  - 5
  - E



SAUND

- ”Study of Acoustic Ultra-high-energy Neutrino Detection”
- Verwendet militärisches Array in den Bahamas (AUTEC)
- 7 ei
- kein
  -
  -
  -
  -
  -
  -
  -
  -
  -
  -
- Nac

PARAMETERS OF THE IMPLOSION CALIBRATION EVENTS

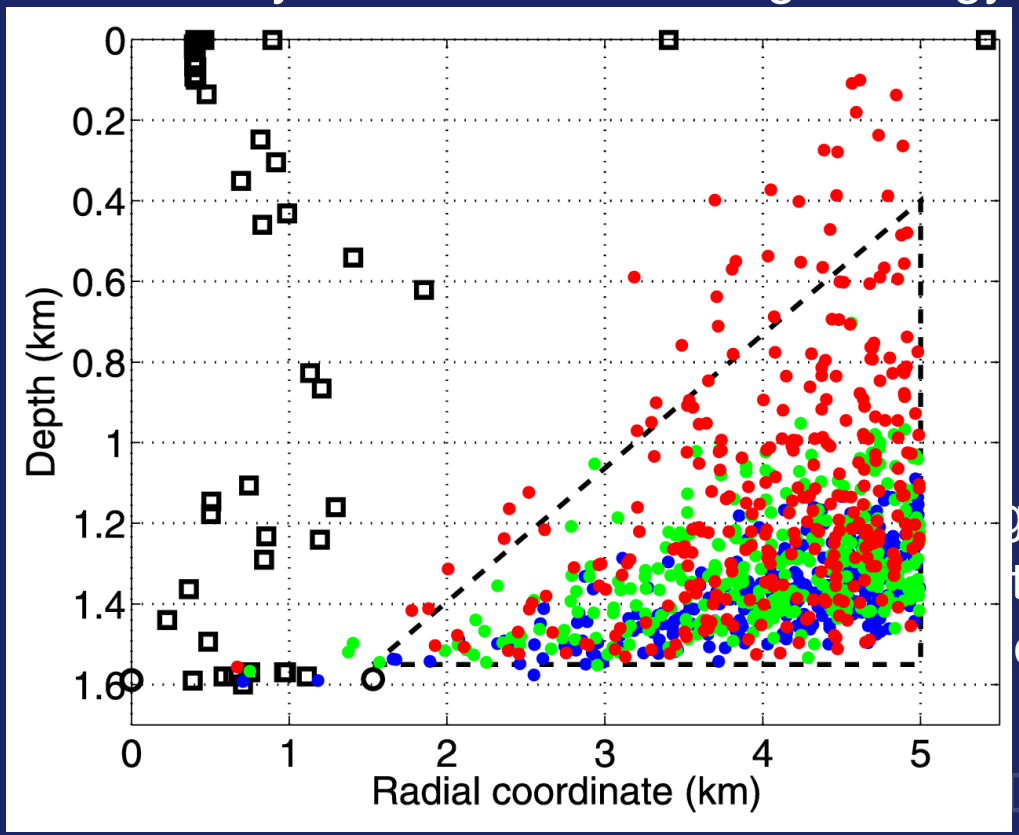
Bulb (1)	D (m) (2)	P_{amb} (kPa) (3)	$P_{amb}V$ (J) (4)	E_{theor} (J) (5)	E_{det} (J) (6)
1	170	1640	250	3.1	1.7
2	110	1120	170	1.9	0.3
3	150	1430	210	2.6	1.5
4	170	1690	250	3.2	2.8
5	130	1300	200	2.3	0.8
6	110	1050	160	1.8	0.4
7	90	900	140	1.5	0.1
8	140	1380	210	2.5	1.9
9	200	1930	290	3.8	1.9
10	300	2930	440	6.7	1.8

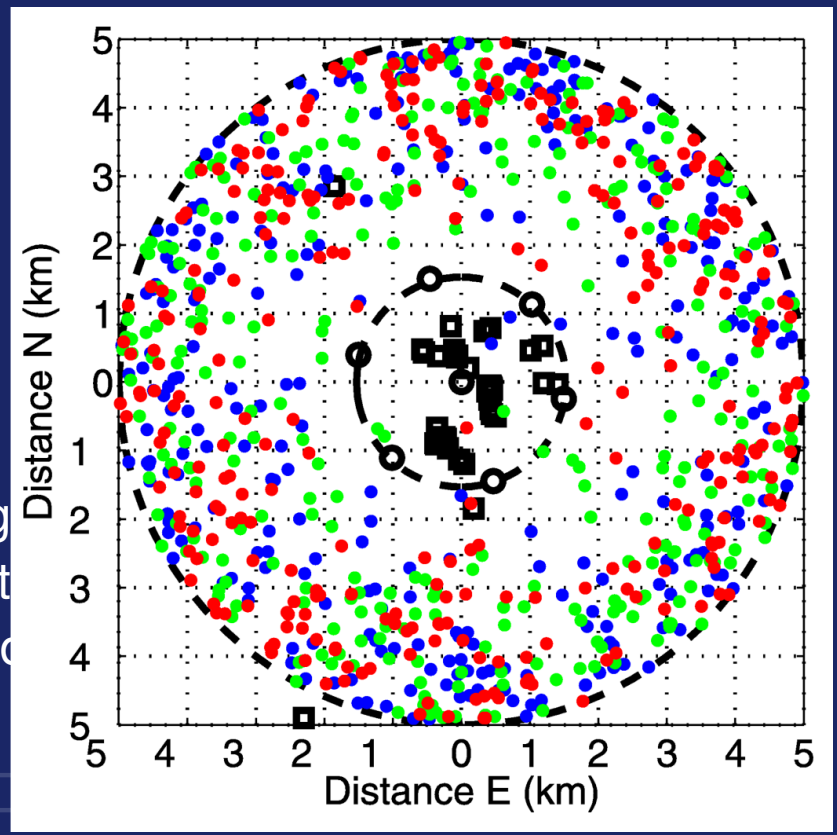
SAUND

- ”Study of Acoustic Ultra-high-energy Neutrino Detection”
- Verwendet militärisches Array in den Bahamas (AUTEC)
- 7 einzelne Hydrophone, Abstand ca. $1.5\,\mathrm{km}$, Tiefe ca. $1600\,\mathrm{m}$
- keine Neutrinos, aber:
  - 200 Tage Livetime, 25 mio. Events
  - Messung des Untergrundes
  - Brechung durch Dichtegradient
  - Entfernungs- und Energiemessung
  - Diverse Cuts zur Untergrundreduktion
  - Rekonstruierte Events: keine im Fiducial Volume (vgl. Simulation)
  - Obergrenze für den Neutrinofluss
- Nachfolger SAUND II nimmt bereits Daten
  - 50 Hydrophone mit höherer und uniformer Empfindlichkeit
  - Erste Kalibrationstests abgeschlossen

SAUND

- ”Study of Acoustic Ultra-high-energy Neutrino Detection”





- 50 Hydrophone mit höherer und uniformer Empfindlichkeit
- Erste Kalibrationstests abgeschlossen

○ = Hydrophone; □ = gemessene Events

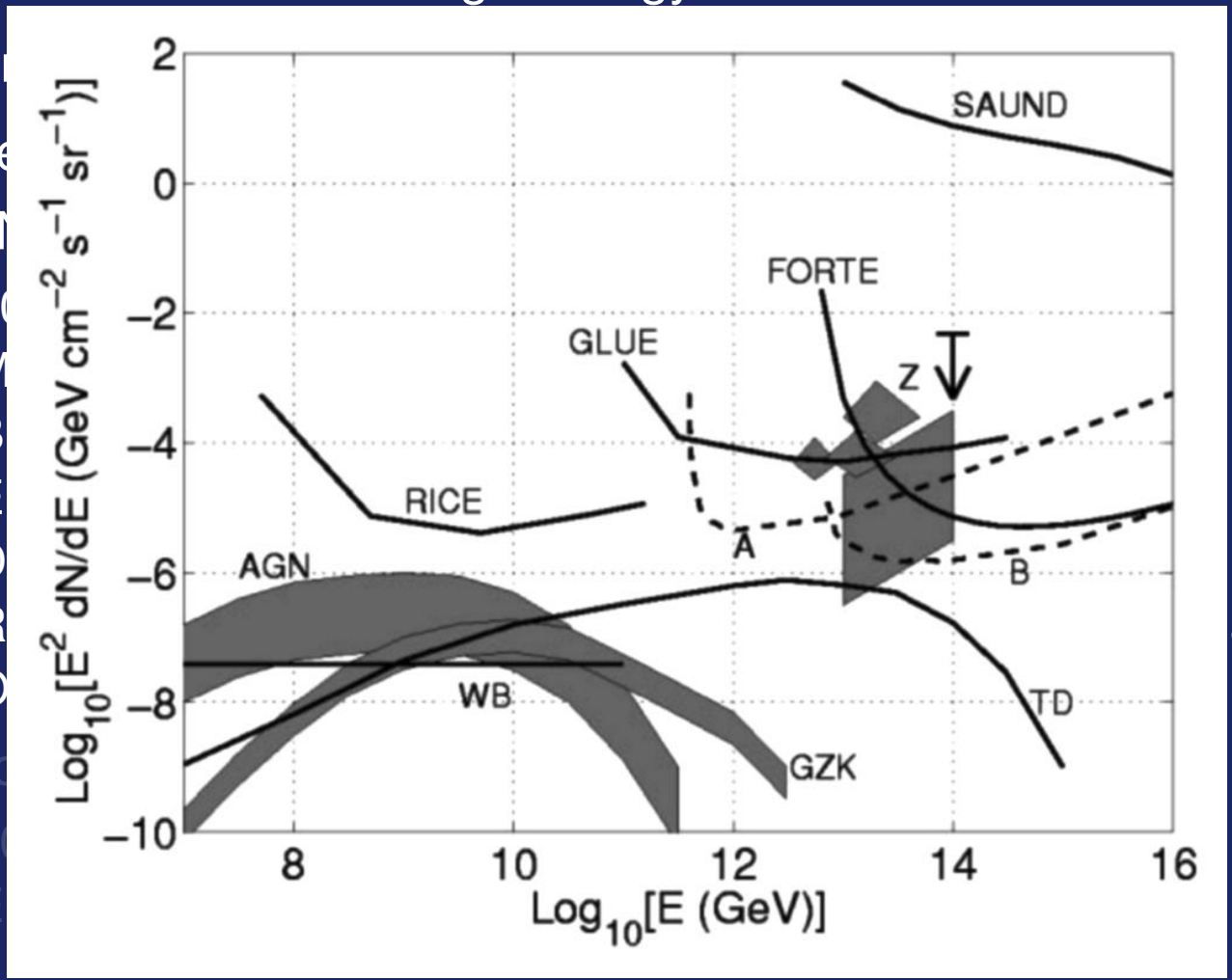
Simulation: blau = $10^{14}\,\mathrm{eV}$; grün = $10^{15}\,\mathrm{eV}$; rot = $10^{16}\,\mathrm{eV}$

SAUND

- ”Study of Acoustic Ultra-high-energy Neutrino Detection”
- Verwendet militärisches Array in den Bahamas (AUTEC)
- 7 einzelne Hydrophone, Abstand ca. $1.5\,\mathrm{km}$, Tiefe ca. $1600\,\mathrm{m}$
- keine Neutrinos, aber:
  - 200 Tage Livetime, 25 mio. Events
  - Messung des Untergrundes
  - Brechung durch Dichtegradient
  - Entfernungs- und Energiemessung
  - Diverse Cuts zur Untergrundreduktion
  - Rekonstruierte Events: keine im Fiducial Volume (vgl. Simulation)
  - Obergrenze für den Neutrinofluss
- Nachfolger SAUND II nimmt bereits Daten
  - 50 Hydrophone mit höherer und uniformer Empfindlichkeit
  - Erste Kalibrationstests abgeschlossen

SAUND

- ”Study of Acoustic Ultra-high-energy Neutrino Detection”
- Verwe
- 7 einze m
- keine N
  - 2
  - M
  - B
  - E
  - D
  - R ation)
  - O
- Nachfo
  - 5
  - E

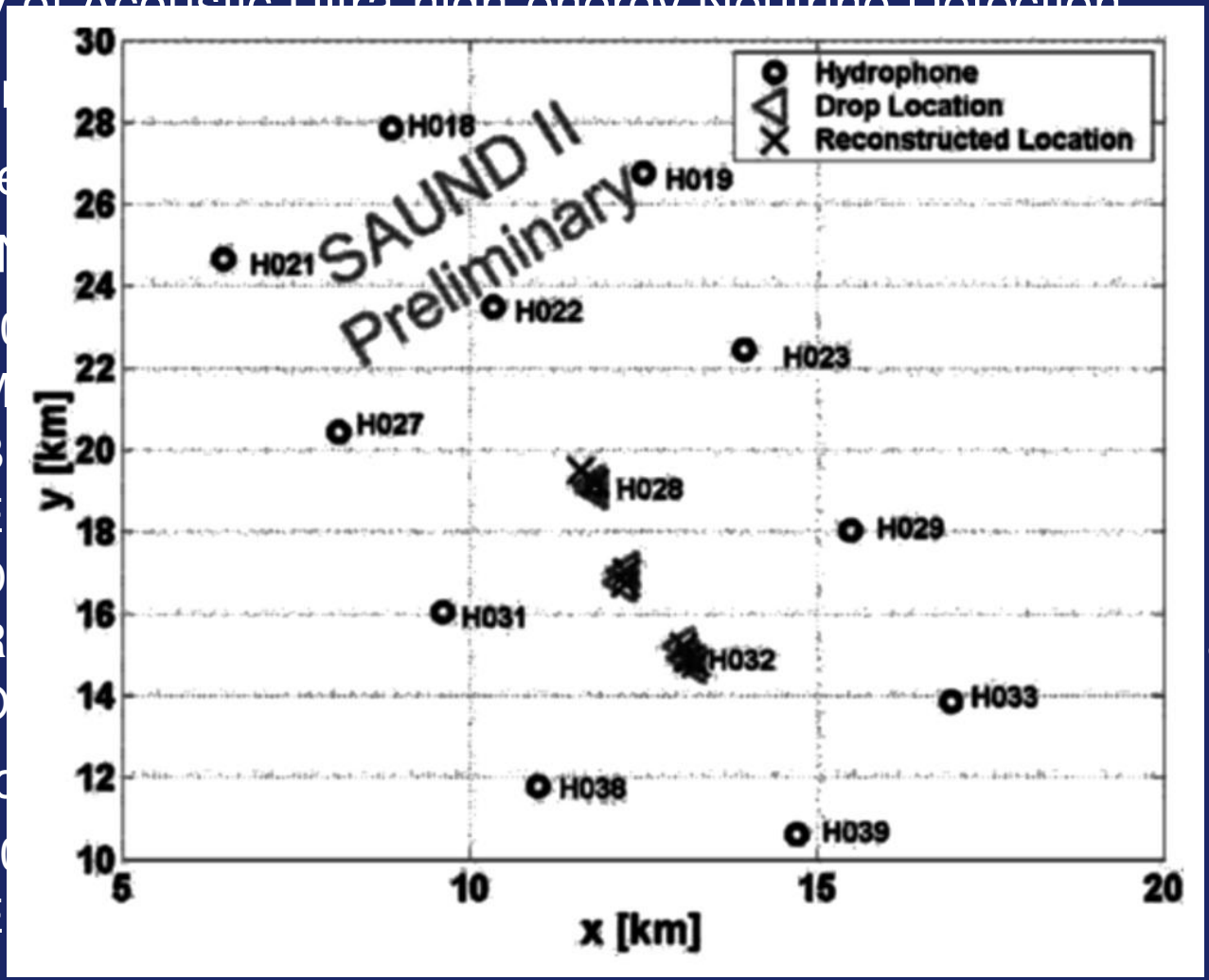


SAUND

- ”Study of Acoustic Ultra-high-energy Neutrino Detection”
- Verwendet militärisches Array in den Bahamas (AUTEC)
- 7 einzelne Hydrophone, Abstand ca. $1.5\,\mathrm{km}$, Tiefe ca. $1600\,\mathrm{m}$
- keine Neutrinos, aber:
  - 200 Tage Livetime, 25 mio. Events
  - Messung des Untergrundes
  - Brechung durch Dichtegradient
  - Entfernungs- und Energiemessung
  - Diverse Cuts zur Untergrundreduktion
  - Rekonstruierte Events: keine im Fiducial Volume (vgl. Simulation)
  - Obergrenze für den Neutrinofluss
- Nachfolger SAUND II nimmt bereits Daten
  - 50 Hydrophone mit höherer und uniformer Empfindlichkeit
  - Erste Kalibrationstests abgeschlossen

SAUND

- ”Study of Acoustic Ultra-high-energy Neutrino Detection”
- Verwe
- 7 einze m
- keine N
  - 2
  - M
  - B
  - E
  - D
  - R ation)
  - O
- Nachfo
  - 5
  - E



ANTARES / AMADEUS-0

- ,,Autonomous Module for Acoustic DEtection Under the Sea” an Line 0
- Line 0: Mechanischer Test für ANTARES, 2005 installiert
  (ohne optische Module)
- Installation von batteriebetriebenem akustischem System
- Hydrophone und DAQ-PC im Titanzylinder, keine Kabel nach außen
- 2 Runs, 4:45h und 3:30h unter verschiedenen Bedingungen

ANTARES / AMADEUS-0

- „Autonomous Module … Under the Sea" an Line 0
- Line 0: Mechanischer … 05 installiert (ohne optische Modul …
- Installation von batter … chem System
- Hydrophone und DAQ … keine Kabel nach außen
- 2 Runs, 4:45h und 3:… … n Bedingungen

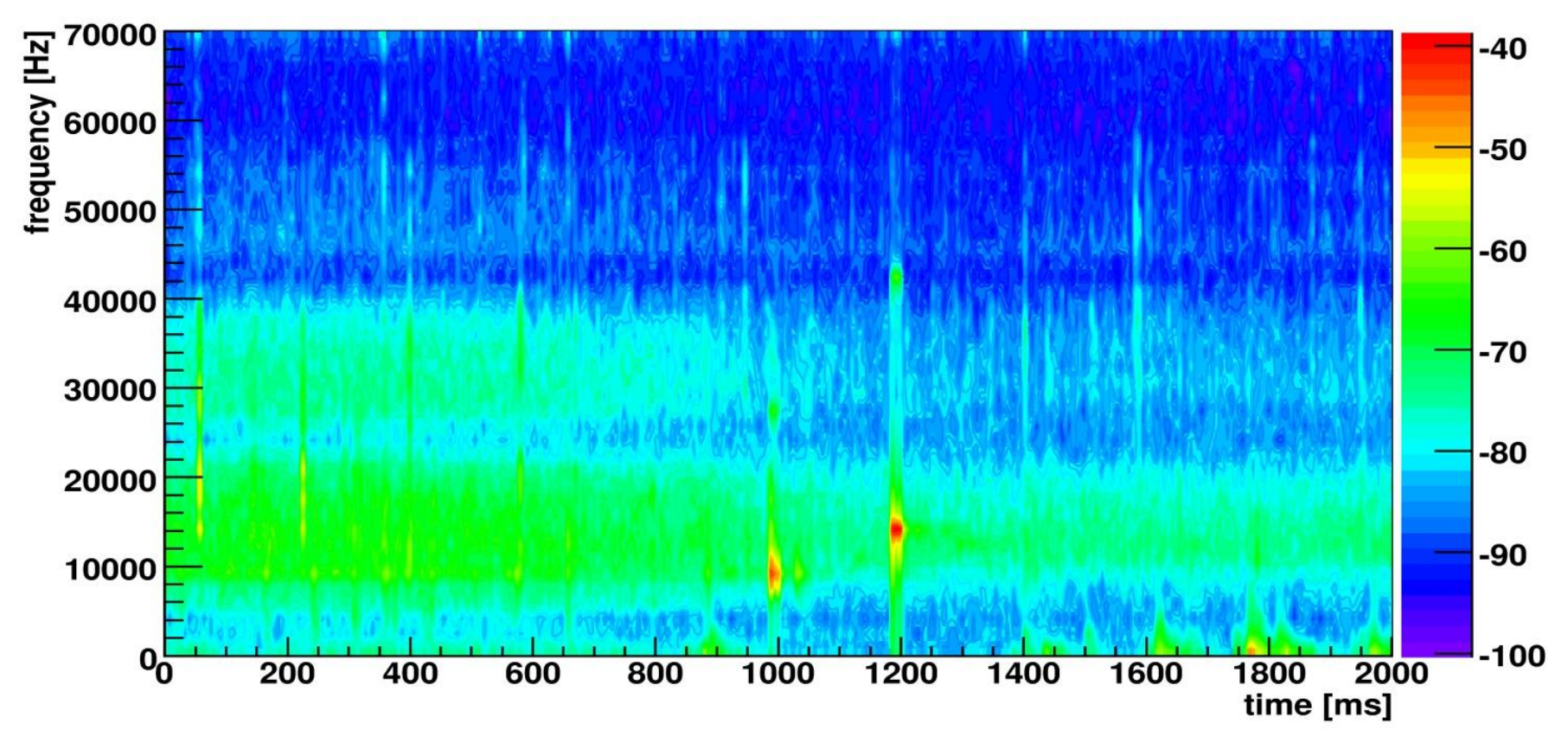
ANTARES / AMADEUS-0

- „Autonomous M … er the Sea" an Line 0
- Line 0: Mechani … talliert (ohne optische …
- Installation von … System
- Hydrophone und … Kabel nach außen
- 2 Runs, 4:45h u … lingungen

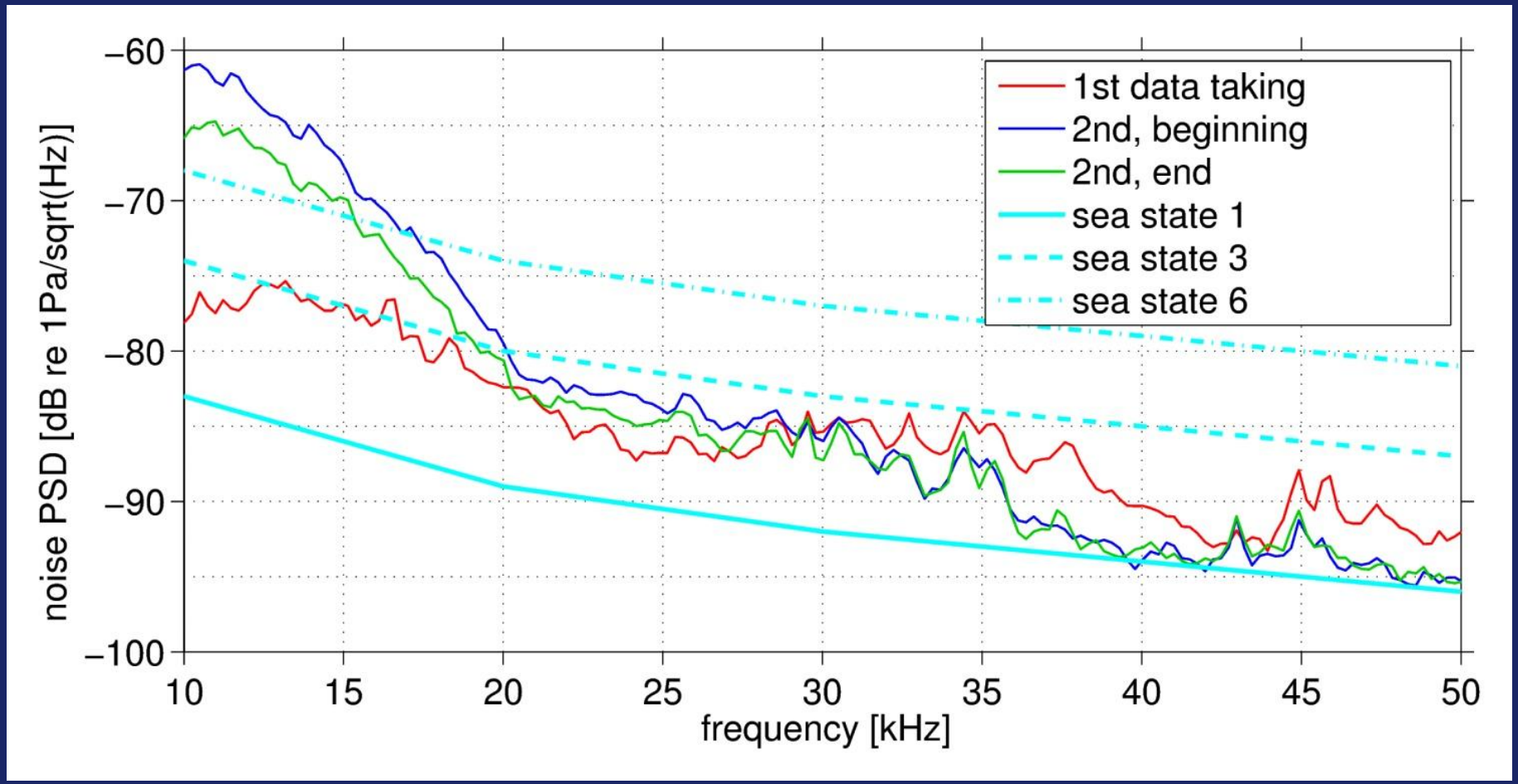
ANTARES / AMADEUS-0

- ,,Autonomous Module for Acoustic DEtection Under the Sea” an Line 0
- Line 0: Mechanischer Test für ANTARES, 2005 installiert
  (ohne optische Module)
- Installation von batteriebetriebenem akustischem System
- Hydrophone und DAQ-PC im Titanzylinder, keine Kabel nach außen
- 2 Runs, 4:45h und 3:30h unter verschiedenen Bedingungen

ANTARES / AMADEUS-0



ANTARES / AMADEUS-0

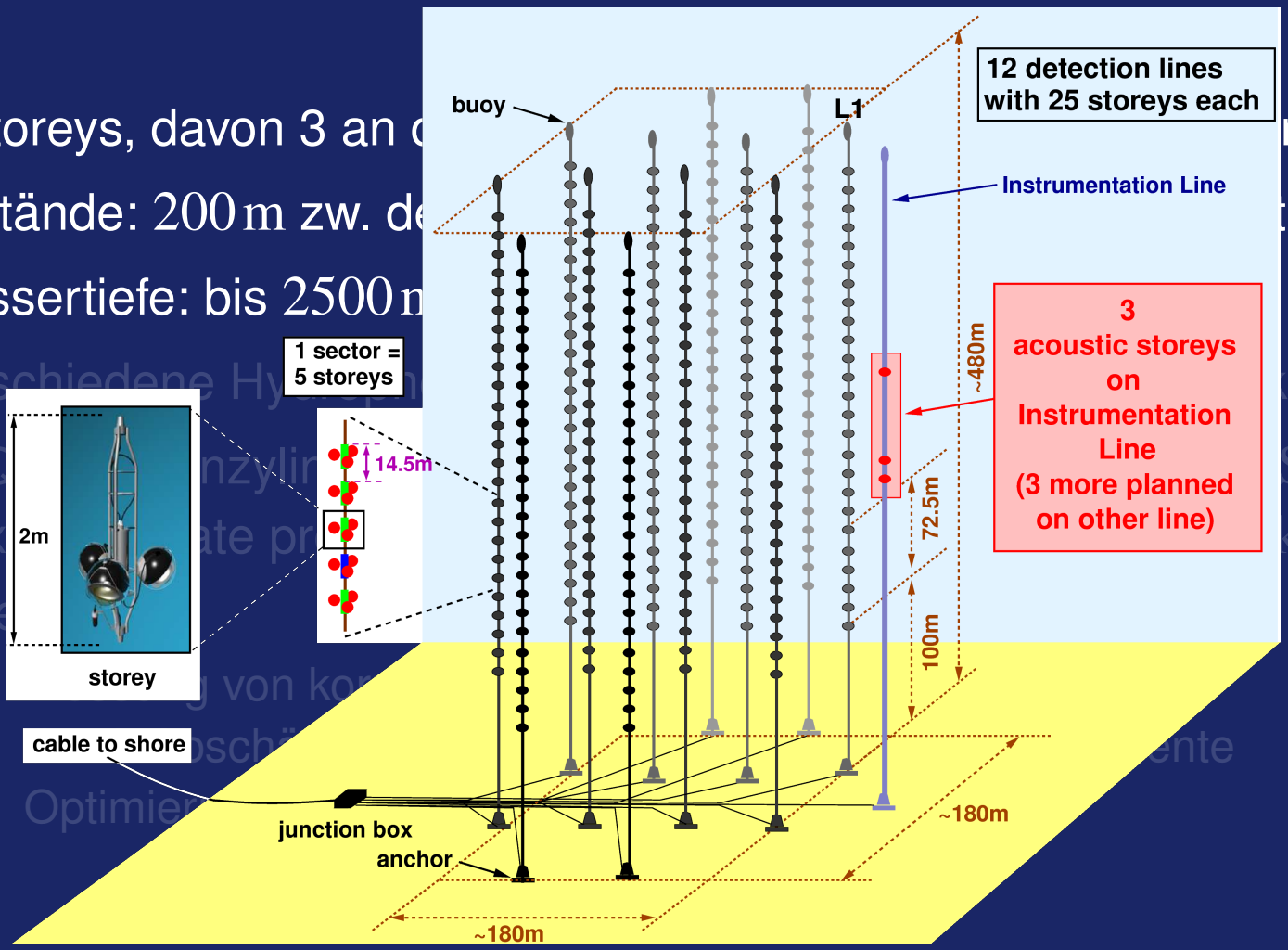


ANTARES acoustic modules

- 6 Storeys, davon 3 an der IL (vorhanden), 3 an Line 12 (geplant)
- Abstände: $200\,\mathrm{m}$ zw. den Lines, $14.5\,\mathrm{m}$ bzw. $110\,\mathrm{m}$ zw. den Storeys
- Wassertiefe: bis $2500\,\mathrm{m}$
- Verschiedene Hydrophone (kommerzielle und speziell entwickelte)
- DAQ (im Titanzylinder, wie bei den optischen Modulen): $500\,\mathrm{kSPS}$, max. Datenrate pro Storey: $20\,\mathrm{MBit/s}$, Downsamplig auf $200\,\mathrm{kSPS}$
- Ziele:
  - Messung von korrelierten BIPs
  - damit Abschätzung der Sensitivität zukünftiger Experimente
  - Optimierung der Hydrophone und DAQ

ANTARES acoustic modules

- 6 Storeys, davon 3 an c … nt)
- Abstände: $200\,\mathrm{m}$ zw. de … toreys
- Wassertiefe: bis $2500\,\mathrm{m}$
- Verschiedene Hy … elte)
- DAC … nzylin … SPS, max … ate pr … kSPS
- Ziele
  - … g von ko
  - … oschi … ente
  - Optimier



ANTARES acoustic modules

- 6 Storeys, davon 3 an der IL (vorhanden), 3 an Line 12 (geplant)
- Abstände: $200\,\mathrm{m}$ zw. den Lines, $14.5\,\mathrm{m}$ bzw. $110\,\mathrm{m}$ zw. den Storeys
- Wassertiefe: bis $2500\,\mathrm{m}$
- Verschiedene Hydrophone (kommerzielle und speziell entwickelte)
- DAQ (im Titanzylinder, wie bei den optischen Modulen): $500\,\mathrm{kSPS}$, max. Datenrate pro Storey: $20\,\mathrm{MBit/s}$, Downsamplig auf $200\,\mathrm{kSPS}$
- Ziele:
  - Messung von korrelierten BIPs
  - damit Abschätzung der Sensitivität zukünftiger Experimente
  - Optimierung der Hydrophone und DAQ

ANTARES acoustic modules

- 6 Storeys, r IL (v (geplant)
- Abstände: Lines den Storeys
- Wassertie
- Verschied e (kor ntwickelte)
- DAQ (im T e bei 500 kSPS, max. Date y: 20 f 200 kSPS
- Ziele:
  - Mess rten BI
  - damit er Sens ente
  - Optim ophone

ANTARES acoustic modules

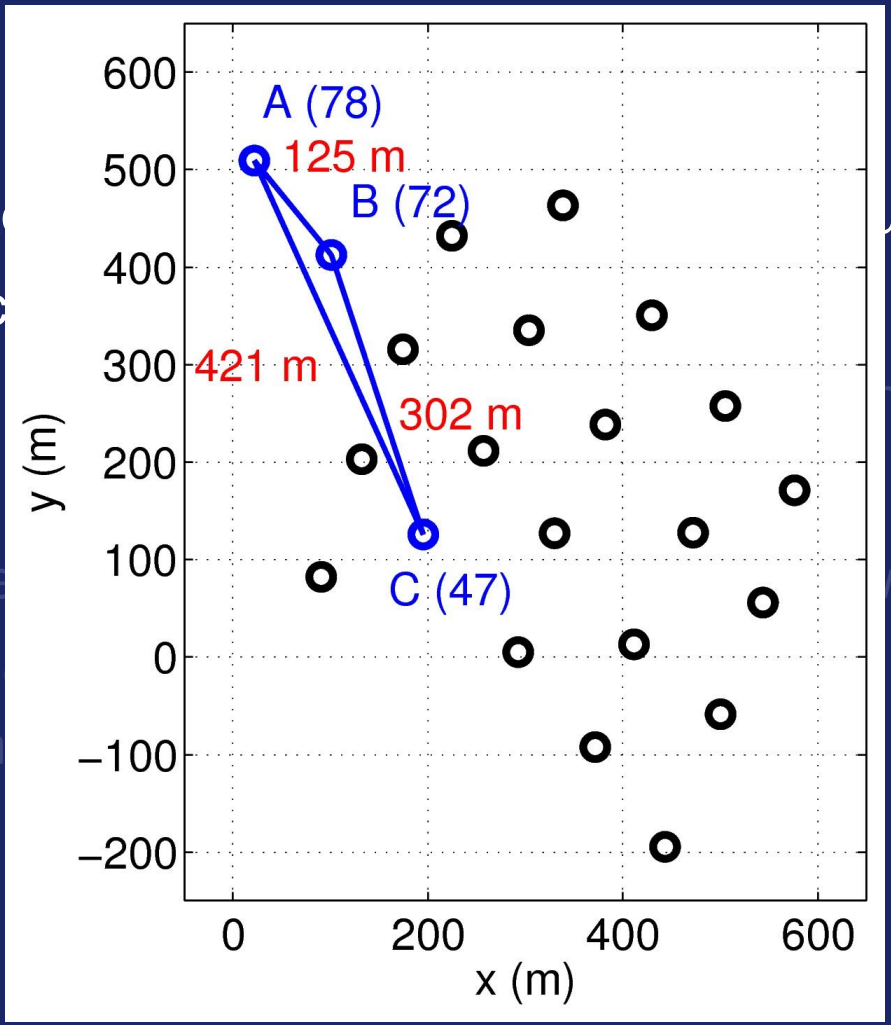
- 6 Storeys, davon 3 an der IL (vorhanden), 3 an Line 12 (geplant)
- Abstände: $200\,\mathrm{m}$ zw. den Lines, $14.5\,\mathrm{m}$ bzw. $110\,\mathrm{m}$ zw. den Storeys
- Wassertiefe: bis $2500\,\mathrm{m}$
- Verschiedene Hydrophone (kommerzielle und speziell entwickelte)
- DAQ (im Titanzylinder, wie bei den optischen Modulen): $500\,\mathrm{kSPS}$, max. Datenrate pro Storey: $20\,\mathrm{MBit/s}$, Downsamplig auf $200\,\mathrm{kSPS}$
- Ziele:
  - Messung von korrelierten BIPs
  - damit Abschätzung der Sensitivität zukünftiger Experimente
  - Optimierung der Hydrophone und DAQ

SPATS

- „South Pole Acoustic Test Setup” integriert in IceCube
- verwendet 3 IceCube Strings
- Ziel: Messung von Dämpfungslänge, Noise und Schallgeschwindigkeit
- Vorteile in Eis: Weniger und stabileres Noise
- Noise hat in den ersten 3 Monaten leicht zu-, dann wieder abgenommen
- Ausstehend: genauere Messung der Dämpfung
  Timing für Schallgeschwindigkeit und Brechung

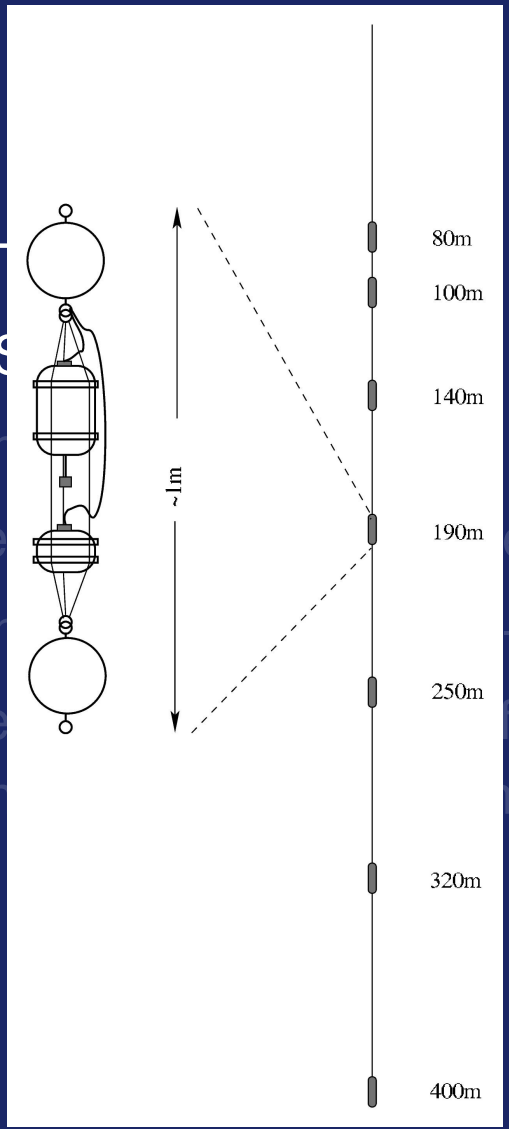
SPATS

- ,,South Pole A ube
- verwendet 3 Ic
- Ziel: Messung hallgeschwindigkeit
- Vorteile in Eis:
- Noise hat in de wieder abgenommen
- Ausstehend: g
  Timing für Sch



SPATS

- „South Pole Acoustic T in IceCube
- verwendet 3 IceCube S
- Ziel: Messung von Dän und Schallgeschwindigkeit
- Vorteile in Eis: Wenige e
- Noise hat in den erster -, dann wieder abgenommen
- Ausstehend: genauere fung
  Timing für Schallgesch hung

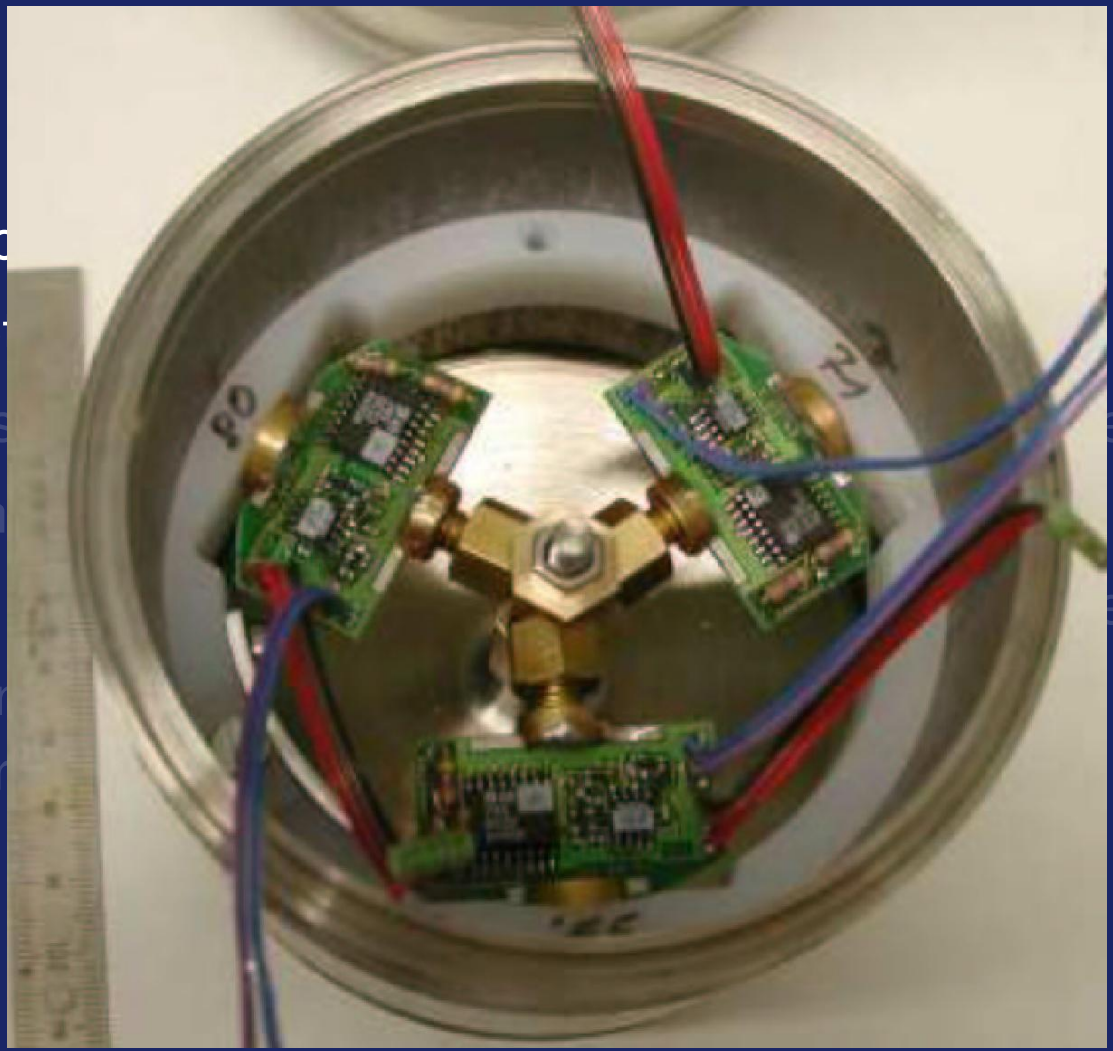


SPATS

- ,,South Pole Acoustic Test riert in IceCube
- verwendet 3 IceCube Strin
- Ziel: Messung von Dämpfu oise und Schallgeschwindigkeit
- Vorteile in Eis: Weniger un Noise
- Noise hat in den ersten 3 M nt zu-, dann wieder abgenommen
- Ausstehend: genauere Me ämpfung
  Timing für Schallgeschwin rechung

SPATS

- „South Po
- verwende
- Ziel: Mess eschwindigkeit
- Vorteile in
- Noise hat er abgenommen
- Aussteher
  Timing für

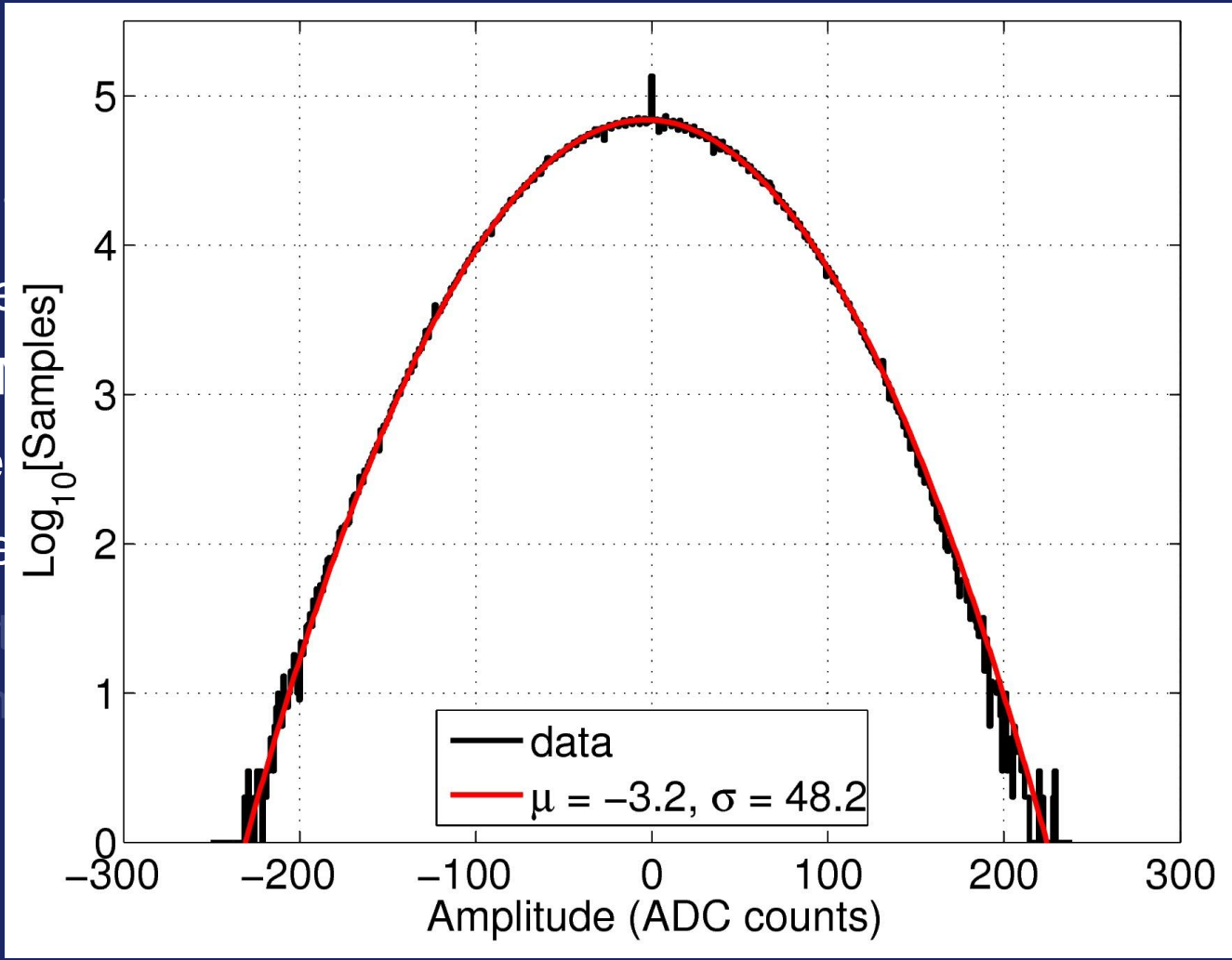


SPATS

- „South Pole Acoustic Test Setup” integriert in IceCube
- verwendet 3 IceCube Strings
- Ziel: Messung von Dämpfungslänge, Noise und Schallgeschwindigkeit
- Vorteile in Eis: Weniger und stabileres Noise
- Noise hat in den ersten 3 Monaten leicht zu-, dann wieder abgenommen
- Ausstehend: genauere Messung der Dämpfung
  Timing für Schallgeschwindigkeit und Brechung

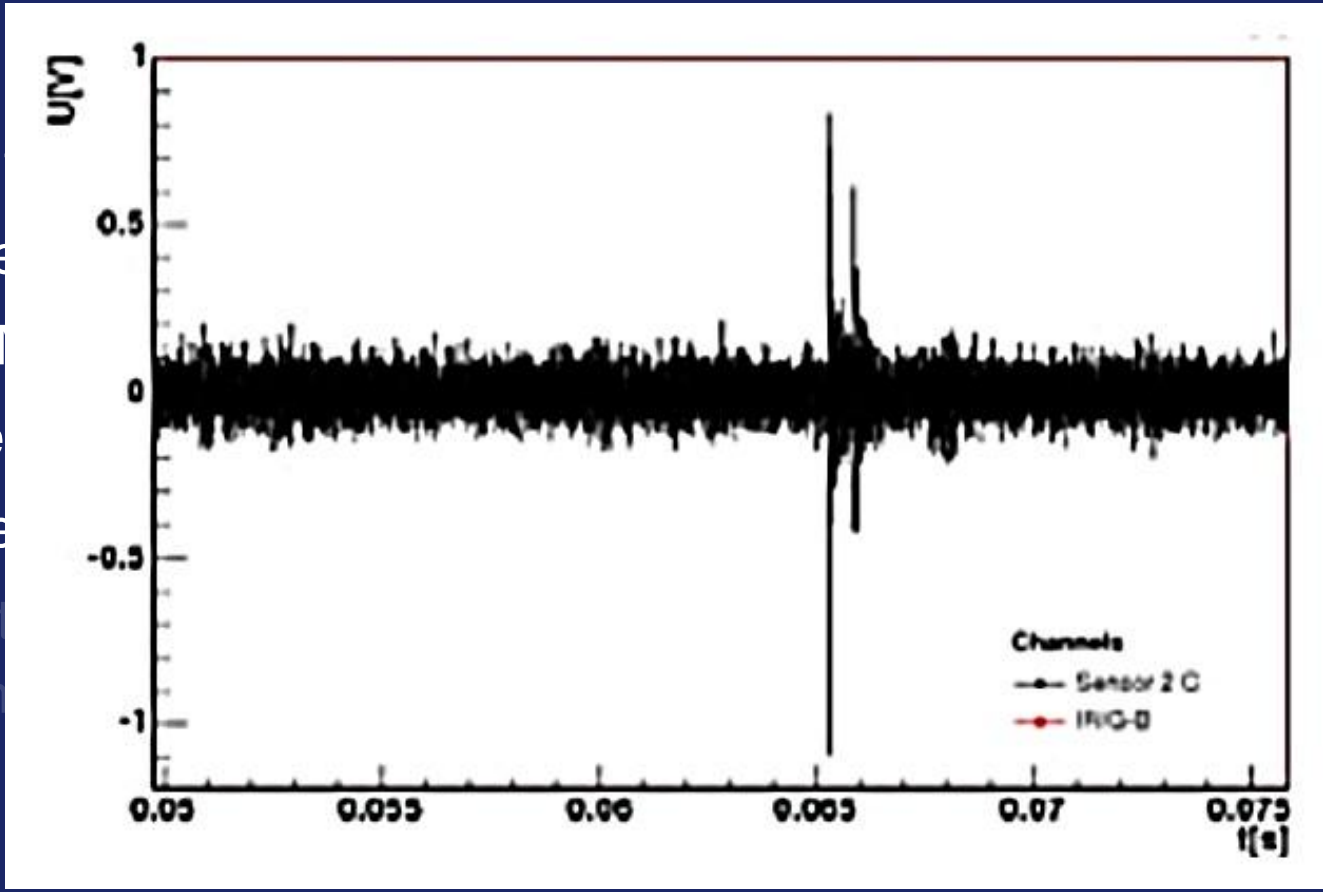
SPATS

- ,,Sou
- verwe
- Ziel: I windigkeit
- Vorte
- Noise genommen
- Aussi
- Timin



SPATS

- „Sou
- verwe
- Ziel: I windigkeit
- Vorte
- Noise genommen
- Ausst
  Timin



SPATS

- „South Pole Acoustic Test Setup” integriert in IceCube
- verwendet 3 IceCube Strings
- Ziel: Messung von Dämpfungslänge, Noise und Schallgeschwindigkeit
- Vorteile in Eis: Weniger und stabileres Noise
- Noise hat in den ersten 3 Monaten leicht zu-, dann wieder abgenommen
- Ausstehend: genauere Messung der Dämpfung
  Timing für Schallgeschwindigkeit und Brechung

Zusammenfassung

- Neues Konzept für die Detektion von UHECR Neutrinos
- Geringe Dämpfung der Schallwellen in Wasser/Eis
  dadurch große Detektoren möglich
- Mehrere Test-Setups: SAUND, SAUND II, ANTARES, SPATS, ...
- Erste Daten zum Rauschverhalten im Meer und Eis
- SAUND hat bereits ein Limit für den Neutrinofluss geliefert
- Weitere Entwicklung nötig, aber akustische Neutrinodetektion scheint machbar

Literatur

- Ch. Naumann: *Development of Sensors for the Acoustic Detecion of UHE Neutrinos in Deep Sea* (Doktorarbeit)
- L. F. Thompson: *The Acoustic Detection of UHE Neutrinos - a Status Report*
- J. Vandenbroucke et. al: *Experimental Study of Acoustic UHE Neutrino Detecion*
- N. Kurahashi: *Study of Acoustic UHE Neutrino Detection Phase II*
- K. Graf et. al: *Integration of Acoustic Neutrino Detection Methods into ANTARES*
- S. Böser et. al: *Feasibility of acoustic neutrino detection in ice: First results from SPATS*
- S. Hundertmark et. al: *SPATS - an Acoustic Array at the South Pole*