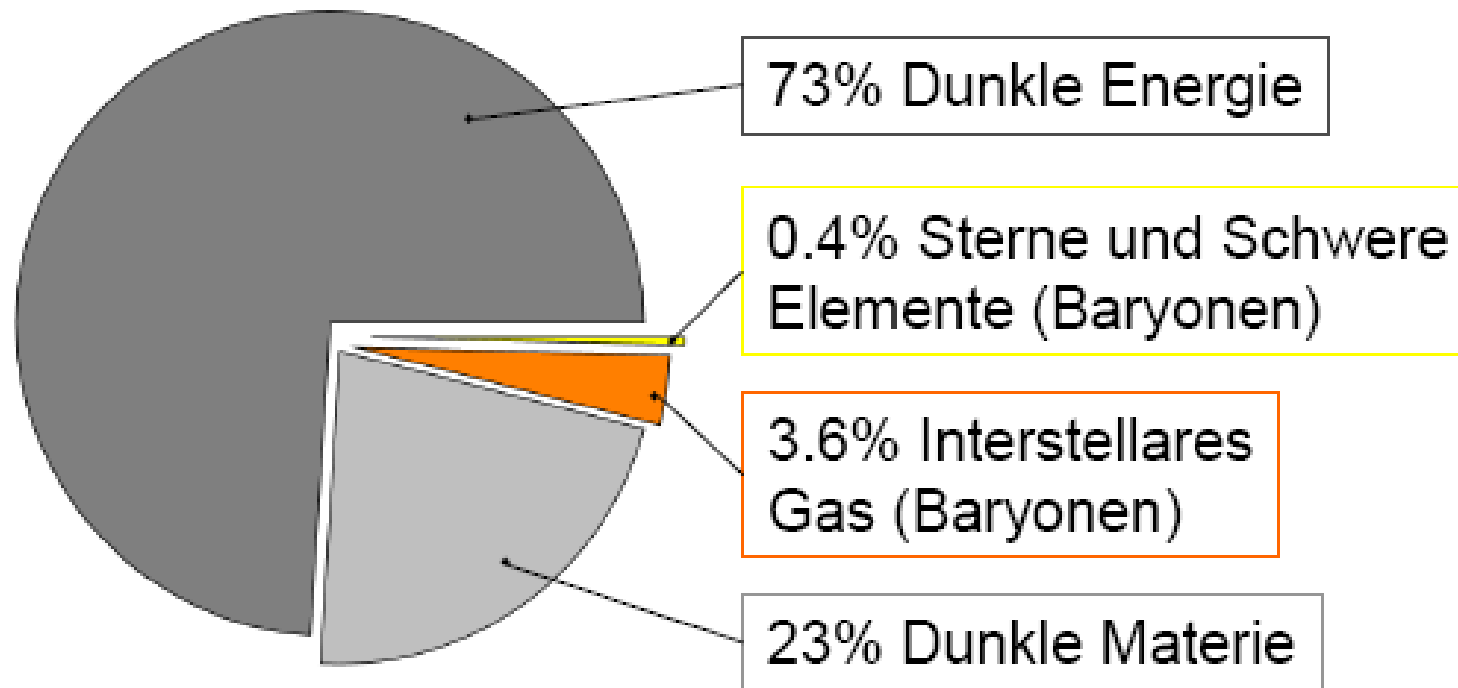


# Experimentelle Suche nach Dunkler Materie

# Überblick

- Allgemeine Einführung
- Direkte Suche nach DM
- Experimente zur Direkten Suche
- Indirekte Suche nach DM
- Experimente zur Indirekten Suche
- Ausblick

# Zusammensetzung des Universums



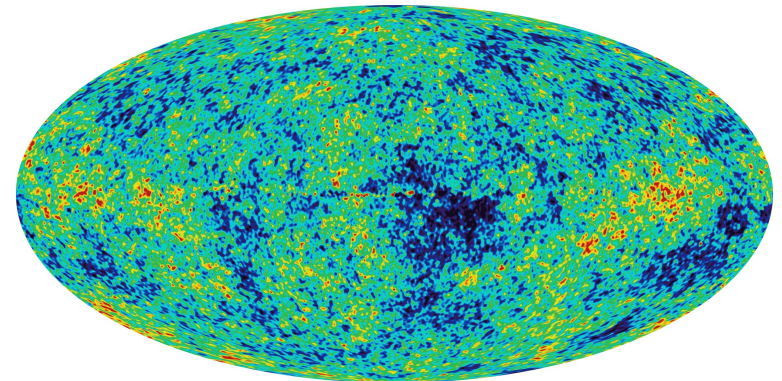
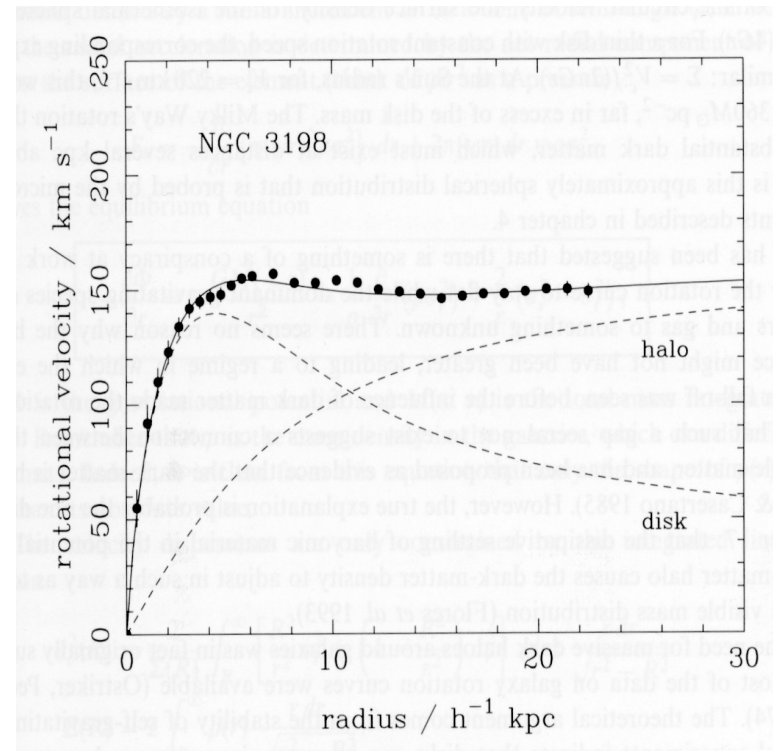
# Evidenzen für DM

## Bisherige Vorträge:

- Rotationskurven von Galaxien
- Gravitationslinsen

## Darüber hinaus:

- Kosmische Hintergrundstrahlung, Modelle zur Strukturbildung



# Was ist DM nicht?

- weiße/braune Zwerge
  - MACHO-Suche durch Microlensing  $\leq 20$  %
- Staub/ Interstellares Gas
  - Sichtbar (Absorption/Emission)
  - zu geringer Anteil
- Primordiale schwarze Löcher
  - sehr leicht oder sehr schwer

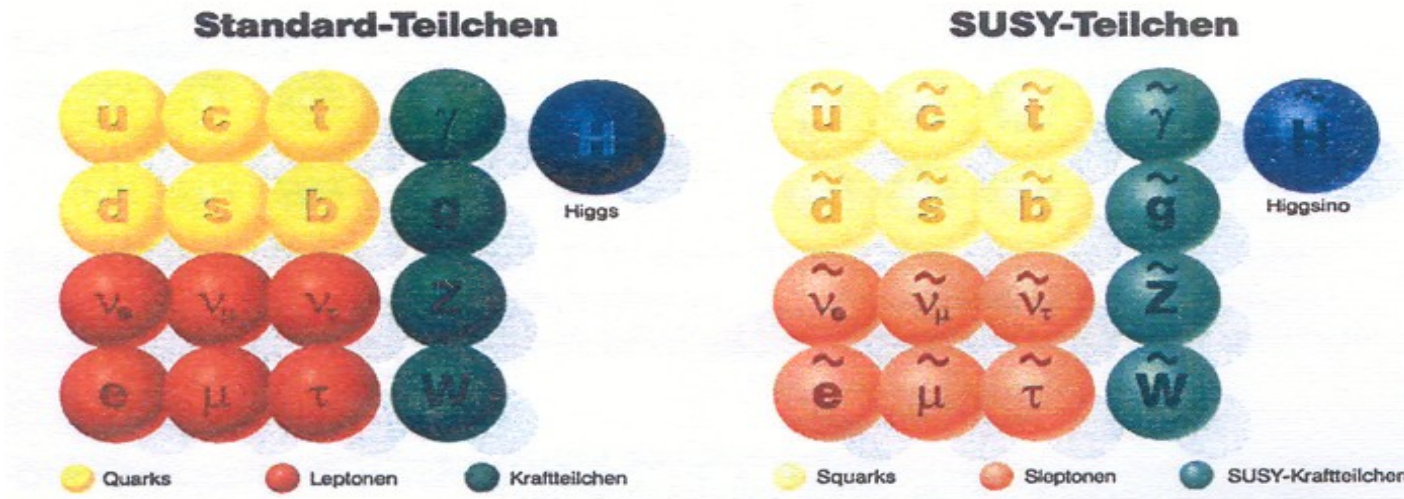
# Kandidaten für DM

notwendige Eigenschaften:

- stabil auf kosmologischen Zeitskalen
  - nicht elm.-wechselwirkend
  - Schwer
- 
- Neutrinos (heiße DM)
    - zu leicht, zu schnell
  - WIMPs (kalte DM)
  - Axion (theoretisch postuliertes Teilchen)

# Standardmodell

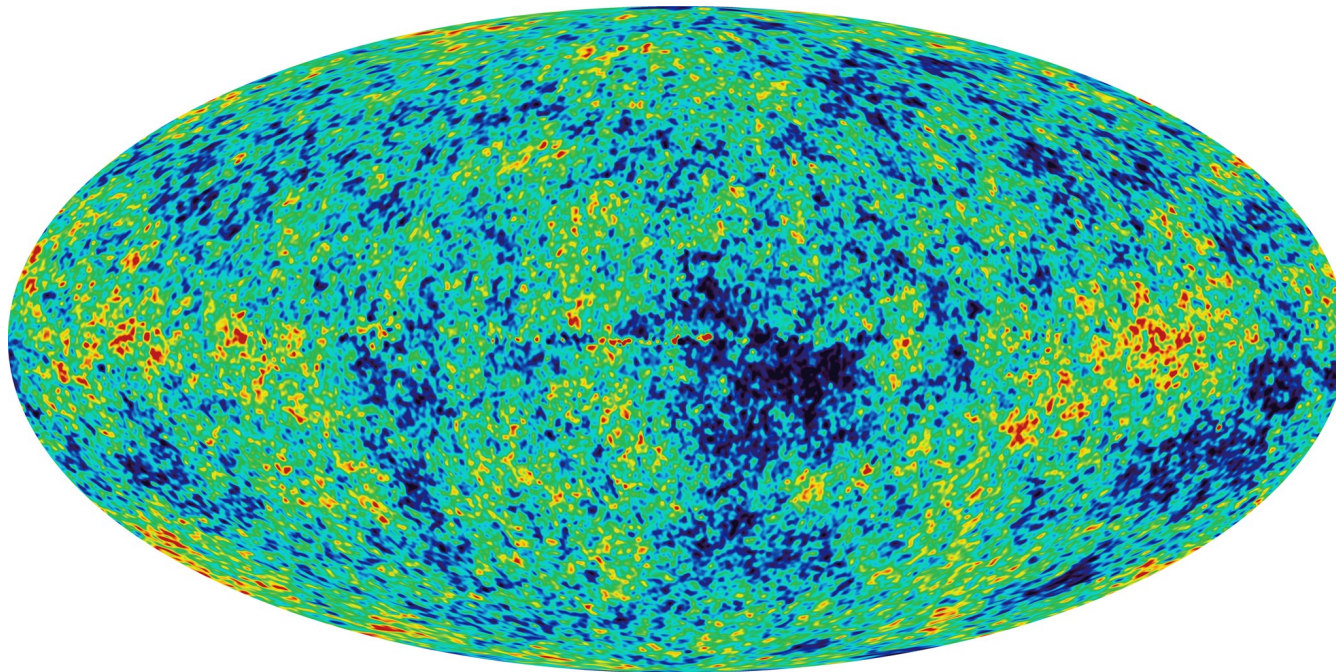
Erweiterung durch super-symmetrische Teilchen (SUSY-Teilchen):



- Schwerer als bekannte Teilchen
- Seit dem Urknall: Zerfall von schweren SUSY-Teilchen in leichtere SUSY-Teilchen
- Leichtester Superpartner heute noch übrig
- Masse:  $\geq 100 m_p$  und stabil

# Primordiale Nukleosynthese

- Theorie zur Entstehung der leichten Elemente: primordiale Nukleosynthese (3 Minuten)
- Limitiert Baryonen-Menge durch Verhältnis zu Photonen

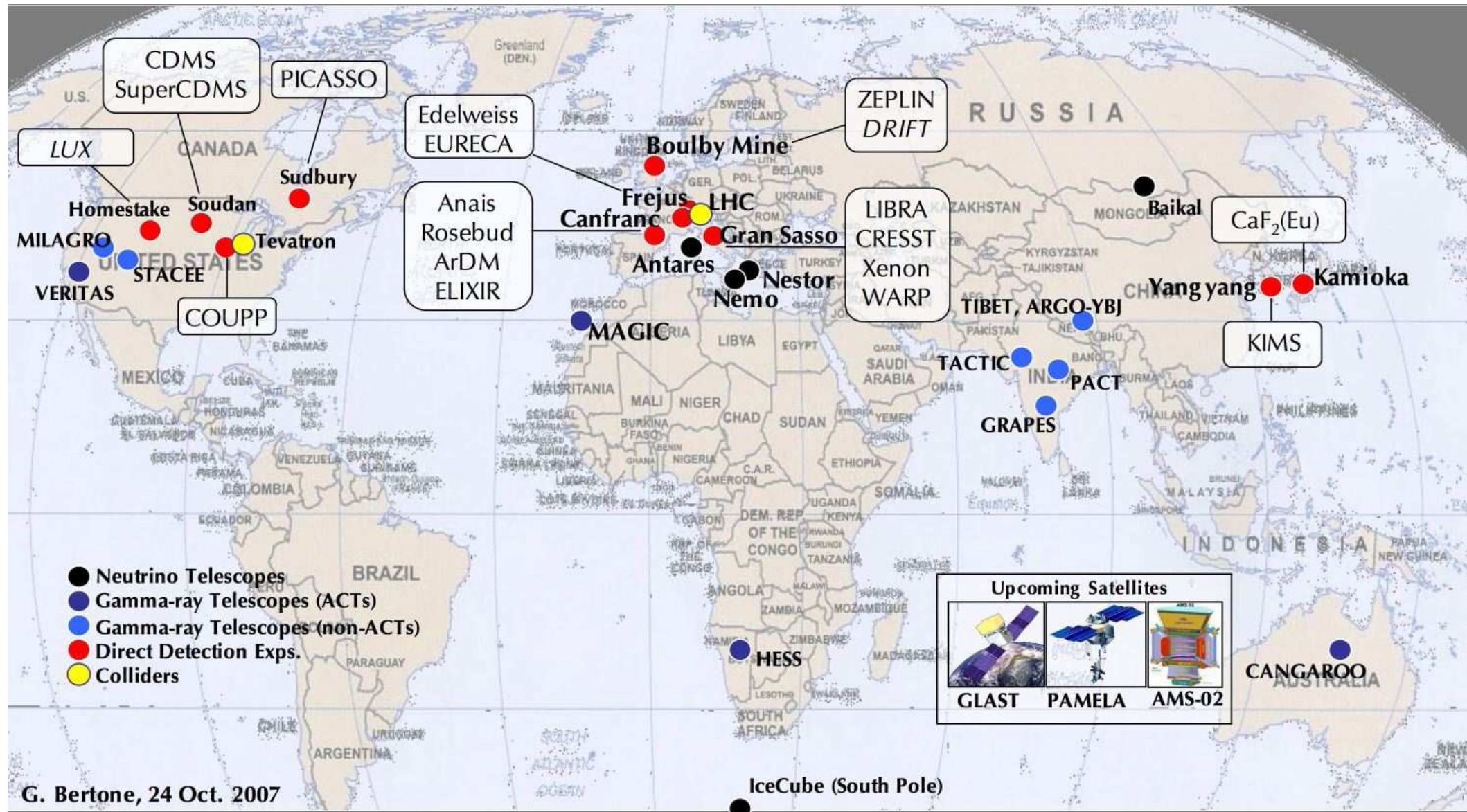




# WIMPs

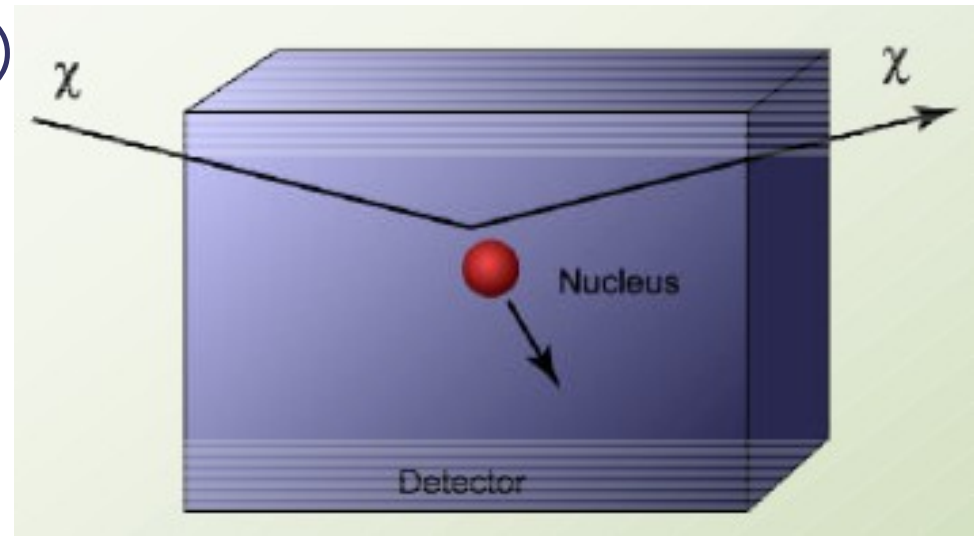
- **W**eakly **i**nteracting **m**assive **p**articles
- favorisierte Kandidaten für die Kalte DM
- Schwache WW:  $\Rightarrow$  schlecht detektierbar (WI)
- nicht-relativistische massive Teilchen (MP)
- elektrisch neutral
- Masse im 10 GeV - TeV -Bereich
- Entstehung in der Frühphase des Universums
- Eigenschaften erfüllbar in SUSY-Modell:  $\chi$

# Suche nach DM



# Direkte Suche

- Schwache WW mit baryonischer Materie:  
elastische Kernrückstöße ( $E_{\text{kin}}$ )
- Nachweismöglichkeiten
  - Wärme
  - Ionisation
  - Szintillationslicht
- $10\text{GeV} \leq m_{\text{WIMP}} \leq 1\text{TeV}$
- Rückstoßenergien: 10 bis 100keV



# Direkte Suche

## Probleme:

- Niedrige Streurrate

WIMPs erzeugen nur Detektierungsrate von  $10^{-1}$  bis  $10^{-5}$  Ereignissen pro Tag pro kg Detektormaterial

⇒ viel Detektormaterial benötigt

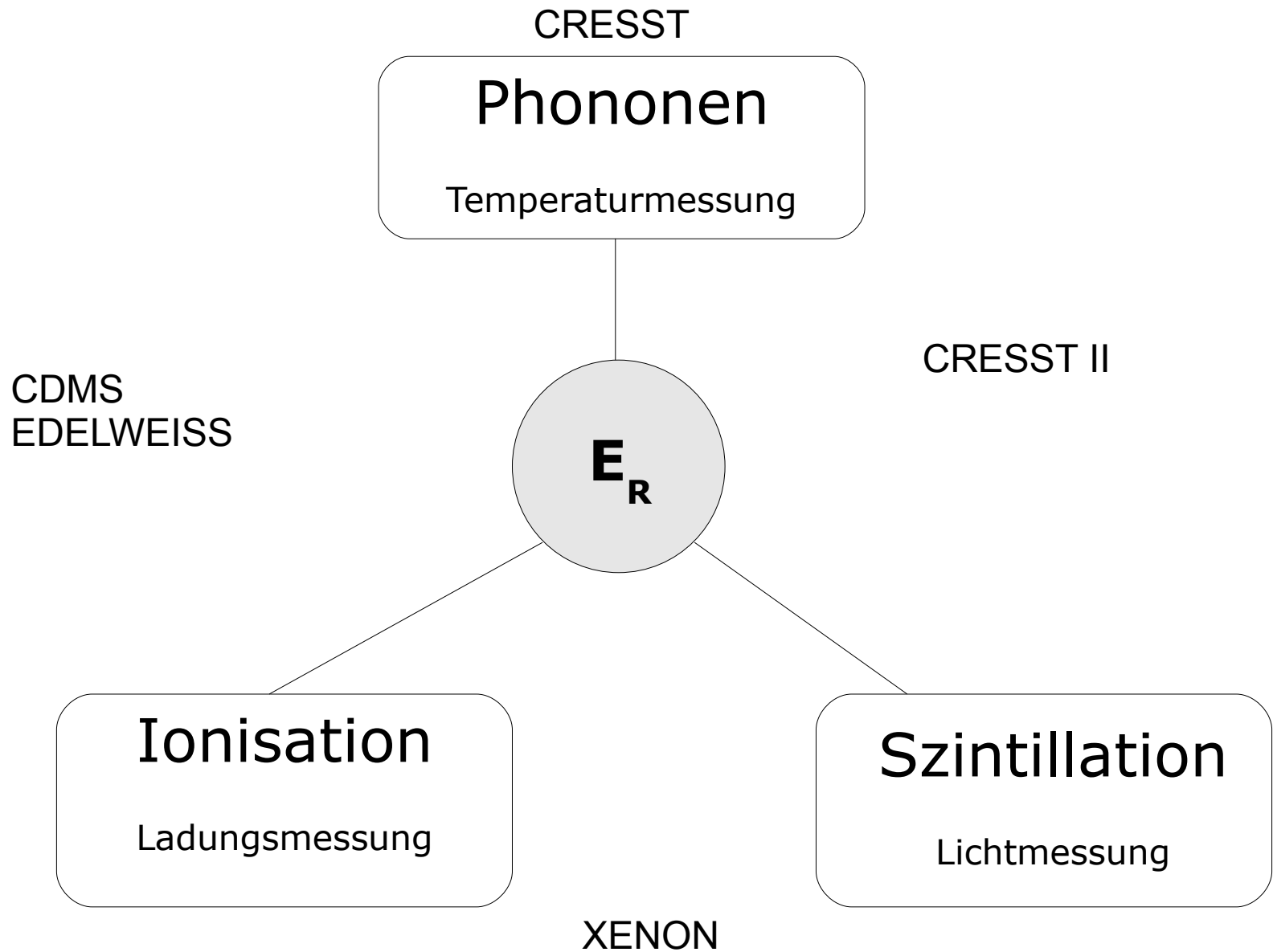
- Untergrund:

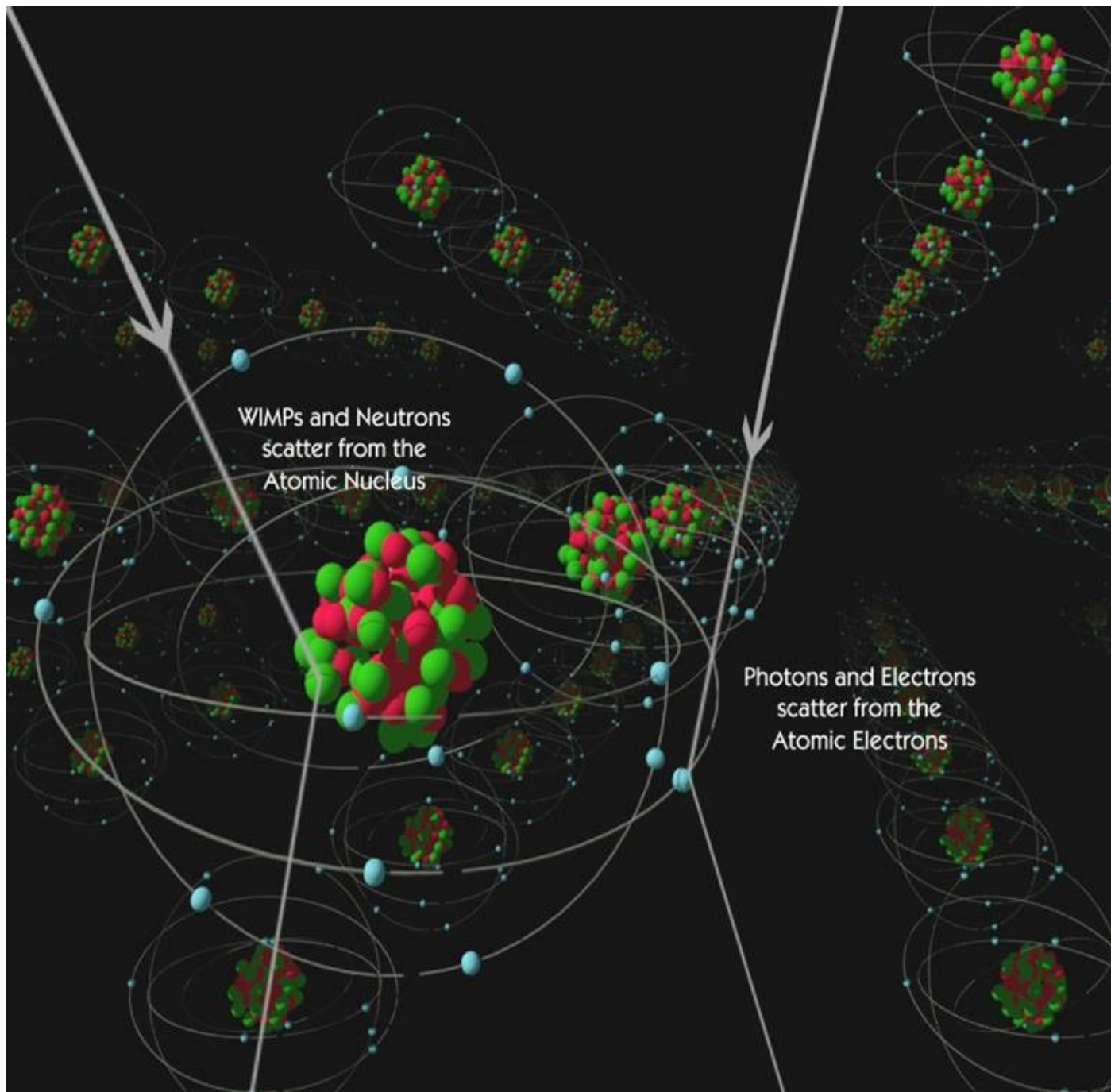
Natürliche Radioaktivität + kosmische Strahlung

wenige WIMP-Ereignisse und schwache Signale erfordern niedrigen Untergrund

Höhenstrahlung → unterirdisch

⇒ vor Radioaktivität abschirmen  
sehr reine Detektormaterialien



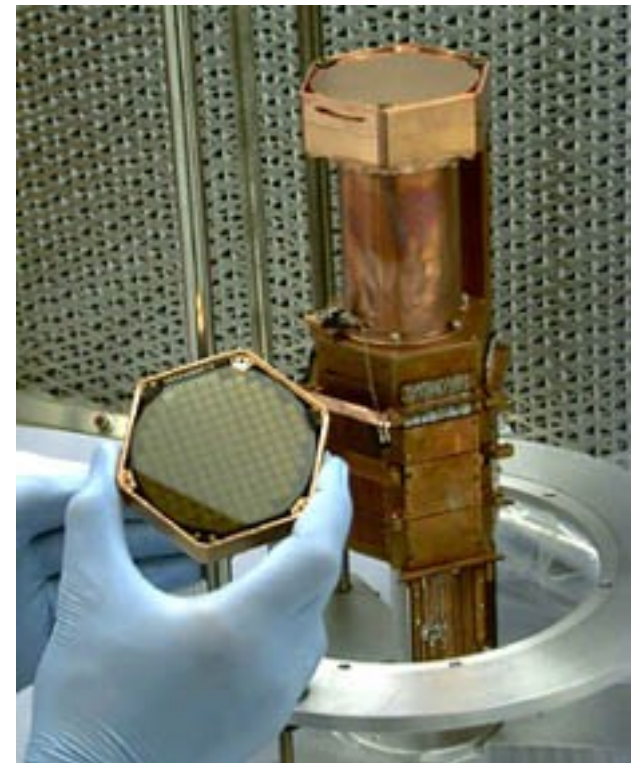


# Funktionsweise der Kryogenik-Technik

- Nachweis der übertragenen Rückstoßenergie der WIMPs
  - Stoß an einzelnerm Atom ( $\Rightarrow$  zusätzliche Gitterschwingungen) nur bei sehr niedrigen Temperaturen nachweisbar
  - Messung der Temperaturerhöhung des Detektormaterials
  - Temperaturbereich 10mK bis 50mK

# CDMS (II)

- **Cryogenic Dark Matter Search**
- I: Stanford
- II: Soudan Underground Laboratory
- 1kg Ge + 200g Si
- Detektionskanäle: Ionisation, Phononen
- ZIP: Ionisation und Phononen Detektor
- bei 10mK, messbare Temperaturdifferenz:  $\approx 2\mu\text{K}$
- Aktives Myon-Vetosystem, Schutzschicht (Polyethylen + Pb)





# CDMS (II)

Ergebnis:

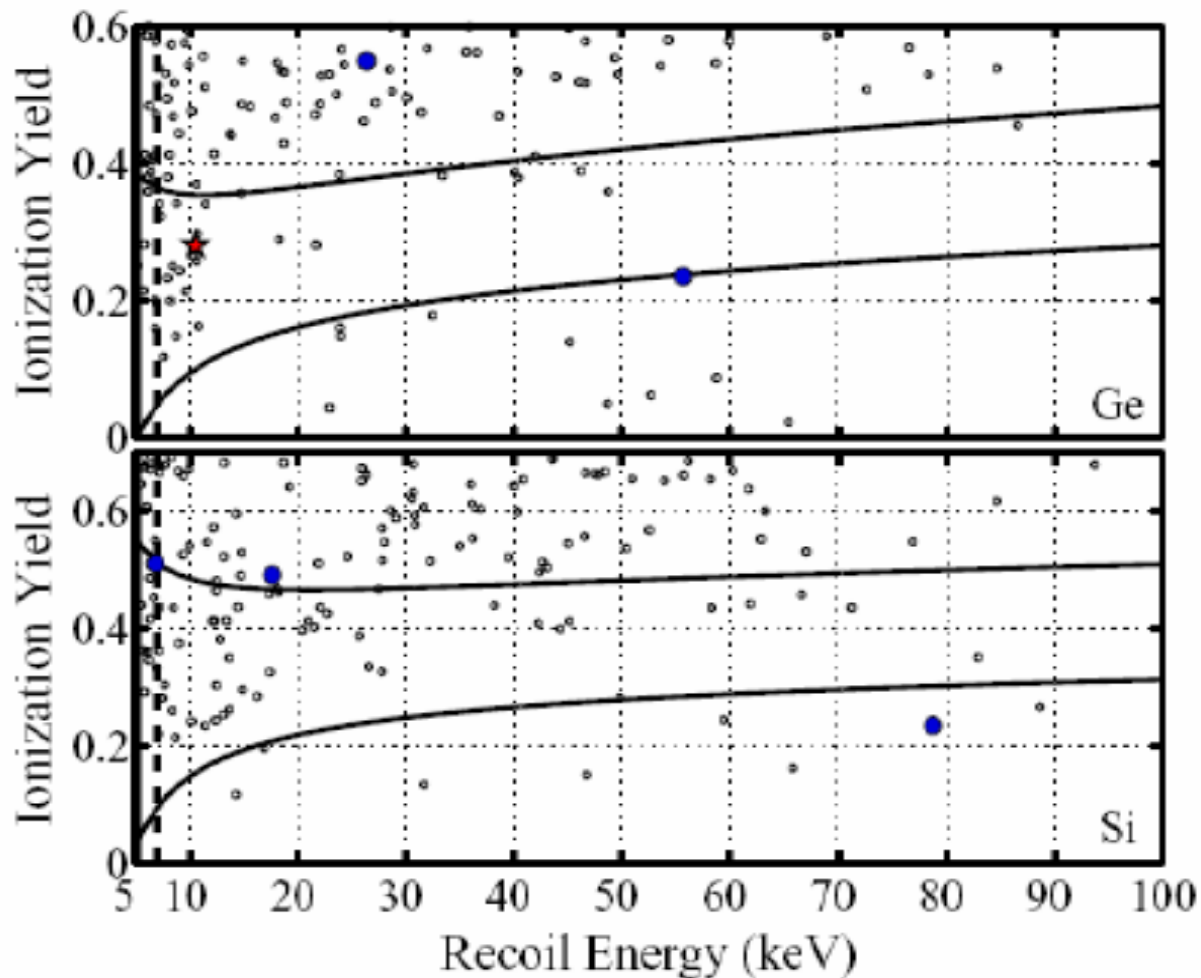
2 Türme, 74.5 Tage aktive Messzeit

schwarze Kreise:  
mit  $e^-$  Rückstöße

blaue Kreise:  
ohne  $e^-$  Rückstöße

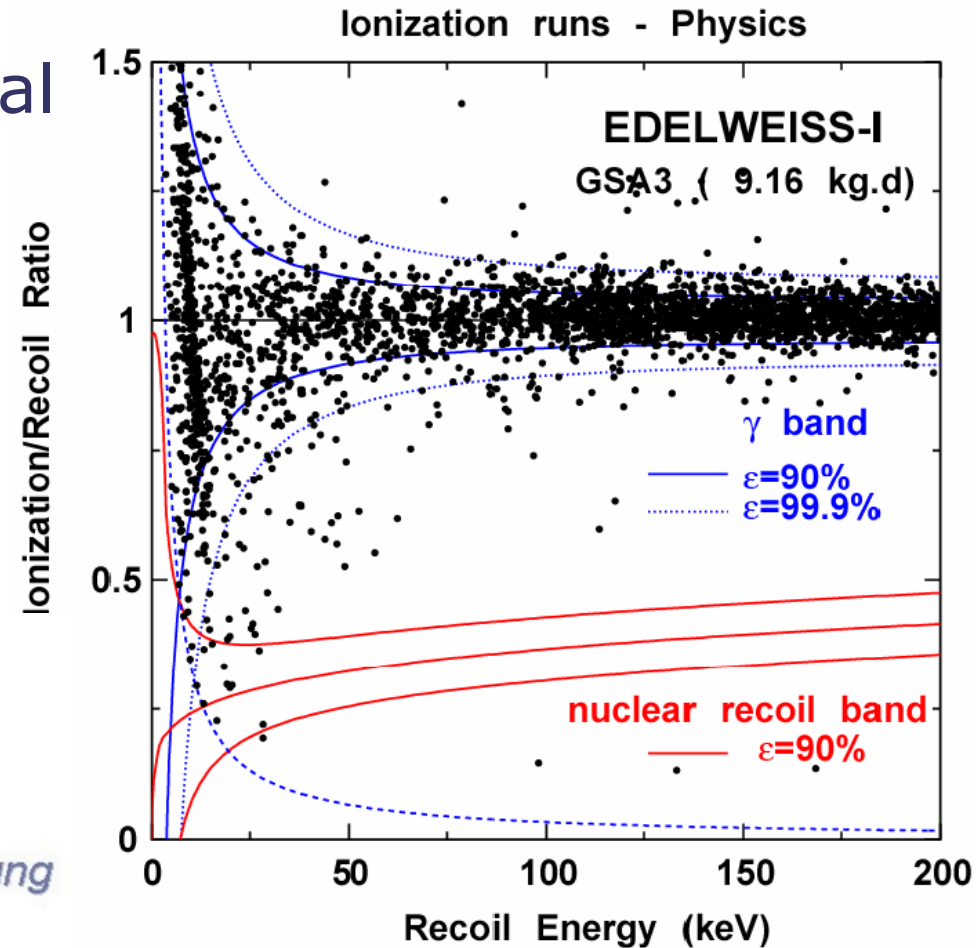
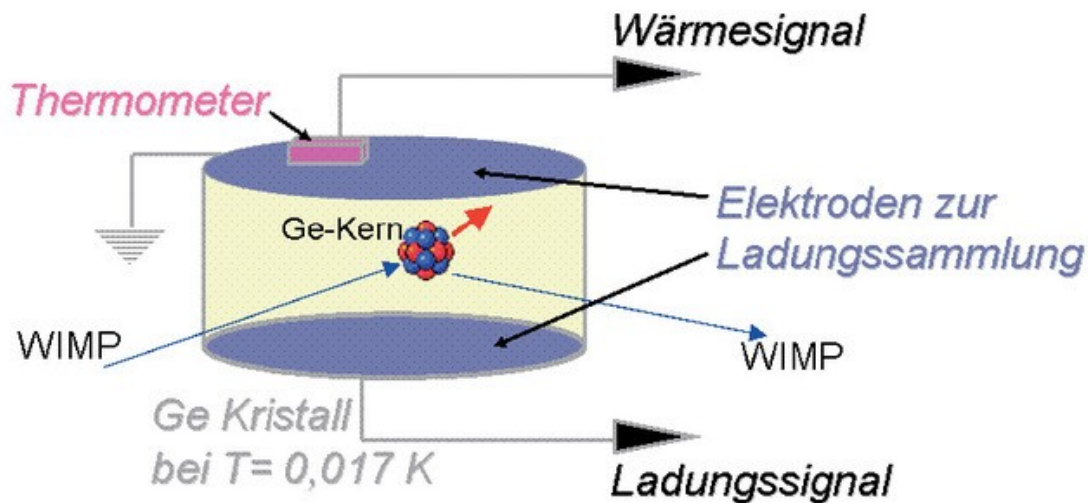
roter Stern:

WIMP Kandidat



# EDELWEISS

- Modane, Frejus-Tunnel
- Wärme- und Ionisationssignal
- Kryogenik-Detektor
- Detektormasse: 10kg Ge
- EDELWEISS I:  
62 kg Tage, 59 Events



# CRESST (II)

- **C**ryogenic **R**are **E**vent **S**earch with **S**uperconducting **T**hermometers
- Phononen, Szintillationslicht (CRESST II)
- Gran Sasso (1400m)
- Tieftemperaturtechnik ( $\leq 14\text{mK}$  )
- CRESST II:  $\text{CaWO}_4$  als Detektormasse (bis zu 10kg in je 262g Modulen)
- Wolfram aufgrund ähnlicher Kernmasse wie zu erwartende WIMPS => günstig für Energieübertrag bei Stoß

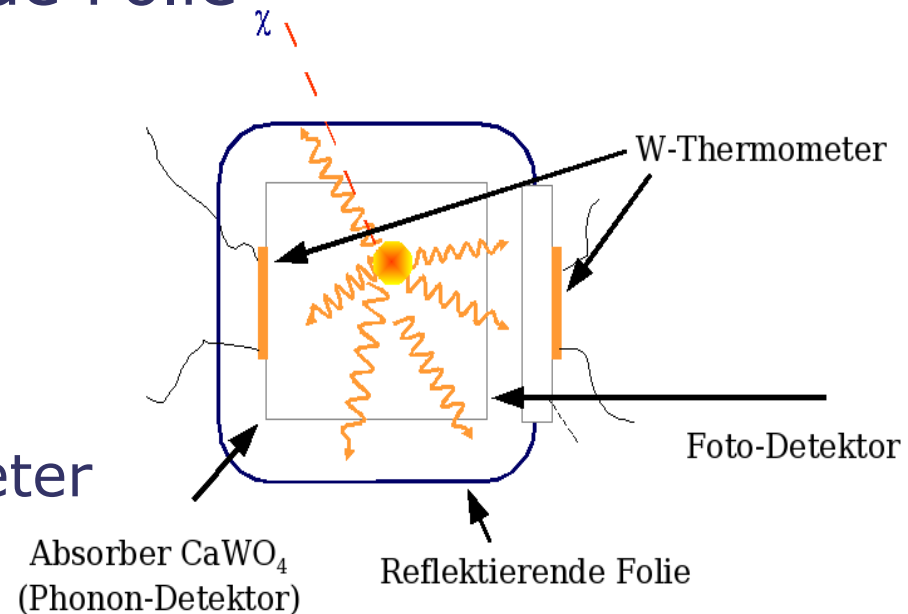
# CRESST (II)

Phononen und Szintillationslicht:

- licht- und wärme reflektierende Folie
- Signale ausgelesen durch
  - Photodetektor
  - Wolfram-Thermometer
    - supraleitendes Phasenübergangsthermometer
    - betrieben bei 10mK

⇒ Grenze zur Supraleitung

⇒ starke Widerstandsänderung bei Temperaturänderung



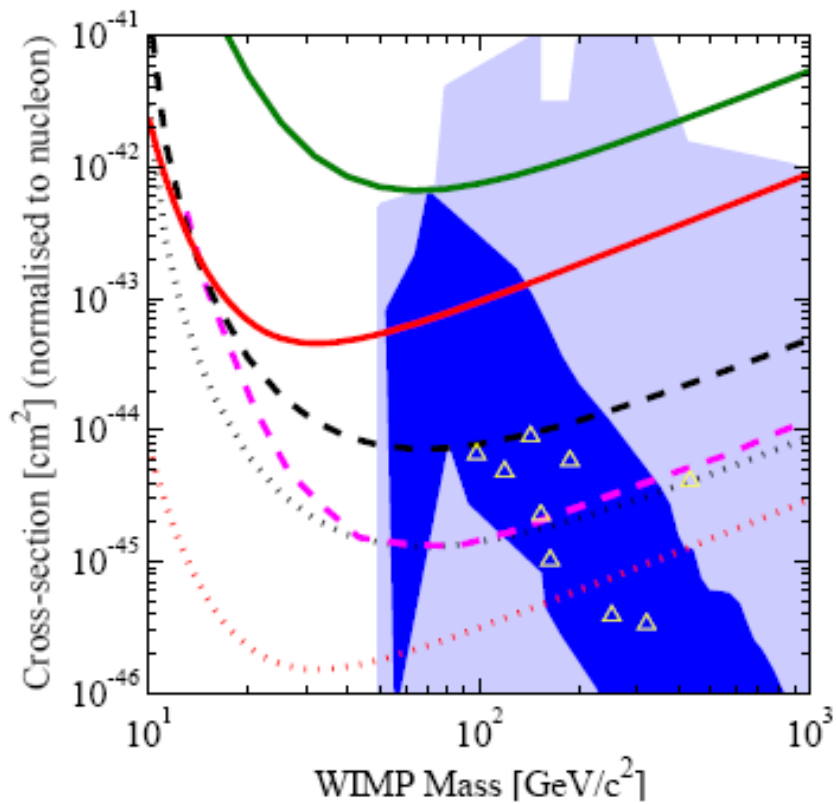
# CRESST (II)











Untergrundausschluss:

- Lage  $\Rightarrow$  unterirdisch
- 50cm PE-Schutzschild vor Neutronen um Kryostaten
- Myon Veto Detektor
- Pb und Cu
- Faradayscher Käfig

# Xenon

- Gran Sasso
- Ionisation und Szintillation
- Detektormaterial: flüssiges Xenon (15kg)
- Sensibilität: 1 Ereignis pro 100kg pro Jahr
- Aktive Abschirmung durch flüssiges Xenon-Veto
- Passive Abschirmung: PE und Pb

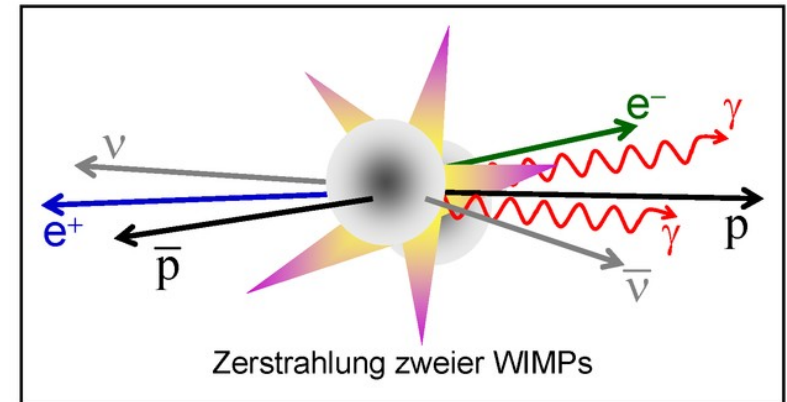
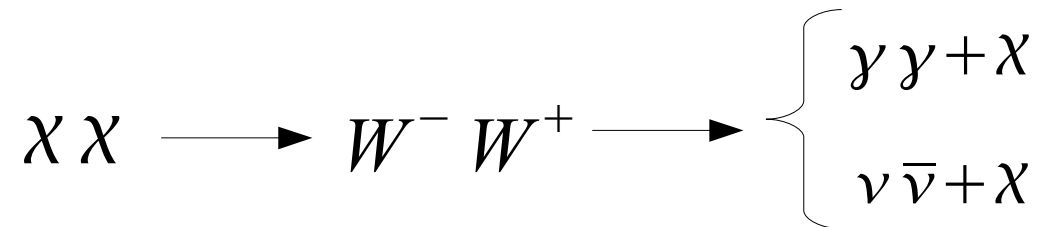


-  DATA listed top to bottom on plot
-  ZEPLIN II (Jan 2007) result
-  XENON10 2007 (Net 136 kg-d)
-  SuperCDMS (Projected) 2-ST@Soudan
-  WARP 140kg (proj)
-  SuperCDMS (Projected) 25kg (7-ST@Snolab)
-  XENON1T (proj)
-  Ellis et. al 2005 CMSSM ( $\mu > 0$ , pion Sigma=64 MeV)
-  Ellis et. al Theory region post-LEP benchmark points
-  Baltz and Gondolo 2003

## Sensibilität aktueller und geplanter Experimente (direkte Suche)

# Indirekte Suche

- Suche nach Sekundärteilchen der Annihilation von WIMPs



- Experimente suchen nach:
  - $\nu$ : Erde als Filter für kosmische Strahlung
  - $\gamma$ : Atmosphäre  $\Rightarrow$  Teilchenschauer



# Indirekte Suche

Anreicherung innerhalb großer Massen wie Erde, Sonne

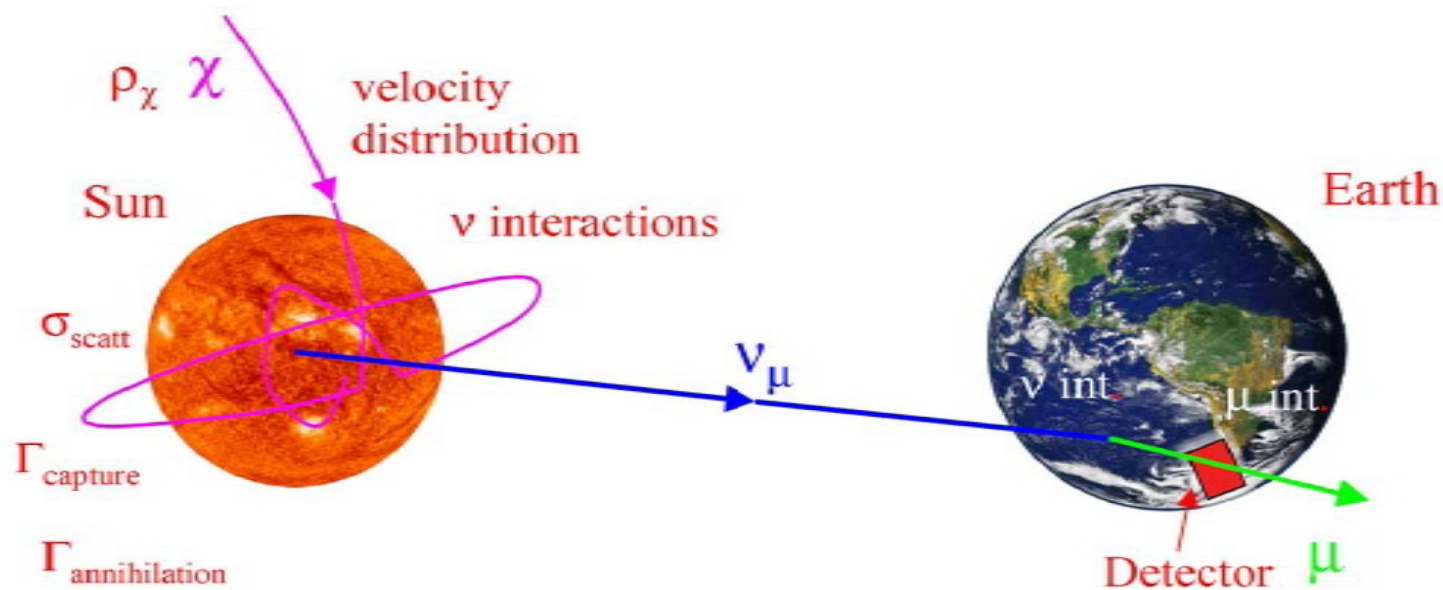
⇒ nur über Neutrinos nachweisbar, umgebende Materie absorbiert andere Teilchen

$$m_{\text{WIMP}} \approx E_{\text{kin},\nu}$$

# Indirekte Suche

WW durch Stöße mit Material der Sonne

- Abbremsen
- Einfangen im Gravitationsfeld der Sonne
- erhöhte WIMP-Dichte: Annihilation



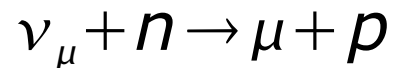
# H.E.S.S.

- **H**igh **E**nergy **S**tereoscopic **S**ystem (Namibia)
- Cherenkovteleskop
  - Nachweis von Gammastrahlung (100GeV bis einige TeV)
- südliche Hemisphäre => galaktisches Zentrum
- 4 Teleskope mit 13 m Spiegeldurchmesser (seit 2004)



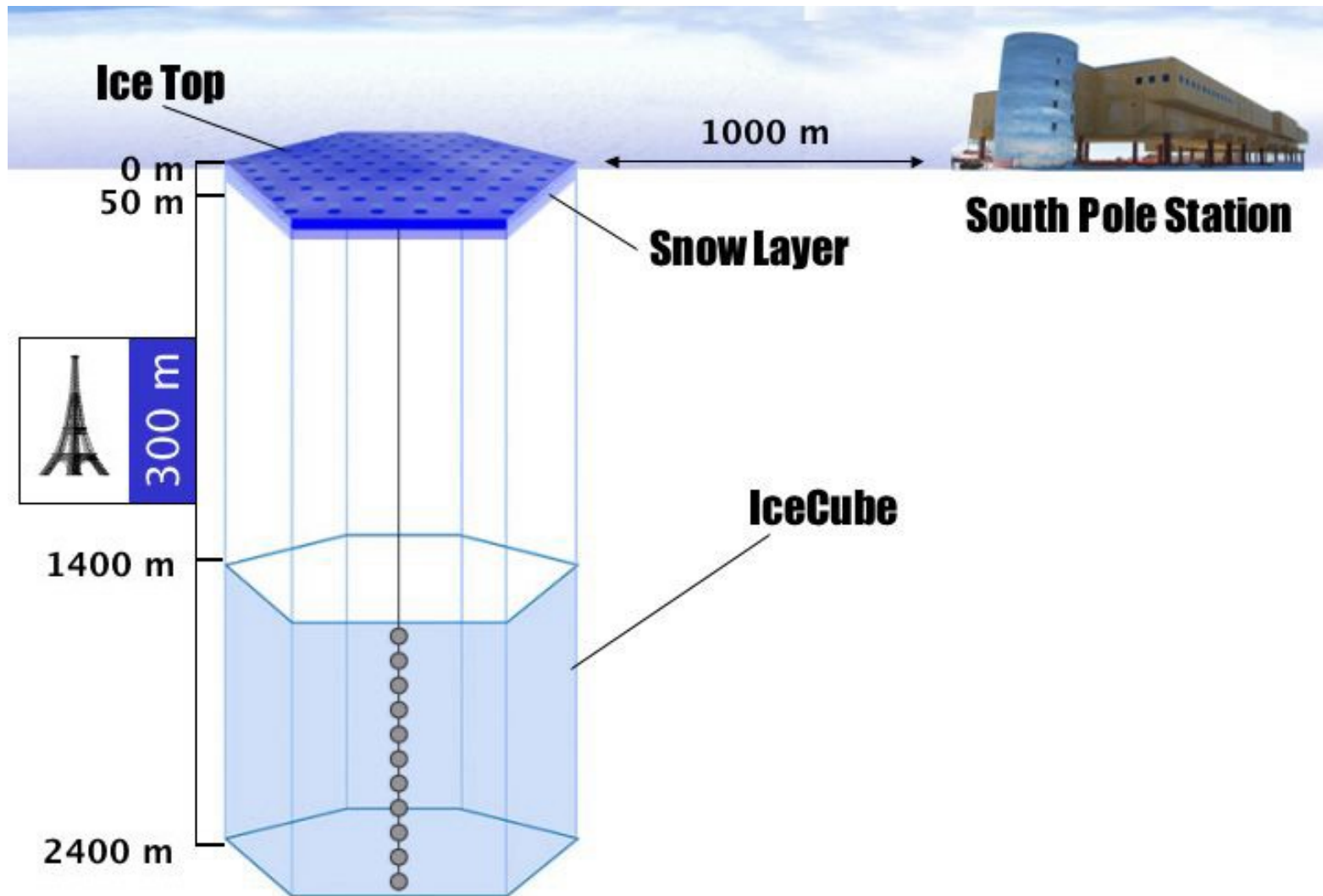
# AMANDA, IceCube

- **Antarctic Muon and Neutrino Detector Array**
- Nachweis von hochenergetischen Neutrinos
- Detektormasse: 1 km<sup>3</sup> Eis (Antarktis)
- Myon und Tauon erzeugt => Nachweis



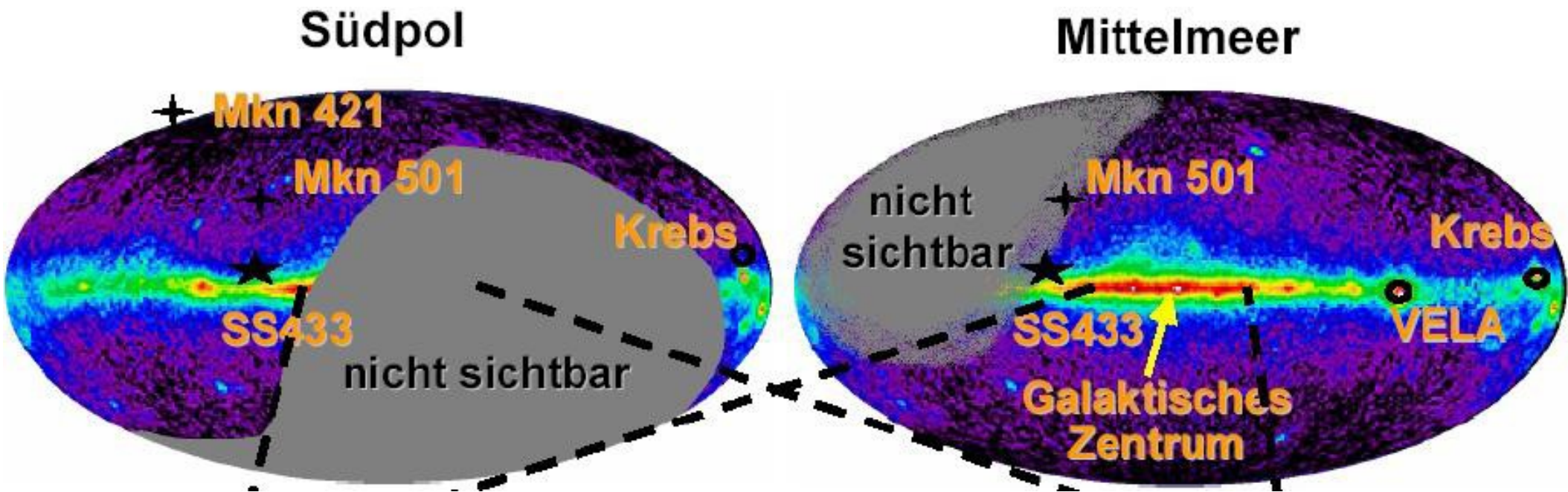
- Photomultiplier (Cherenkovlicht)
- Blickrichtung: Nordhalbkugel
- Herkunftsort-Bestimmung durch Richtung

# AMANDA, IceCube



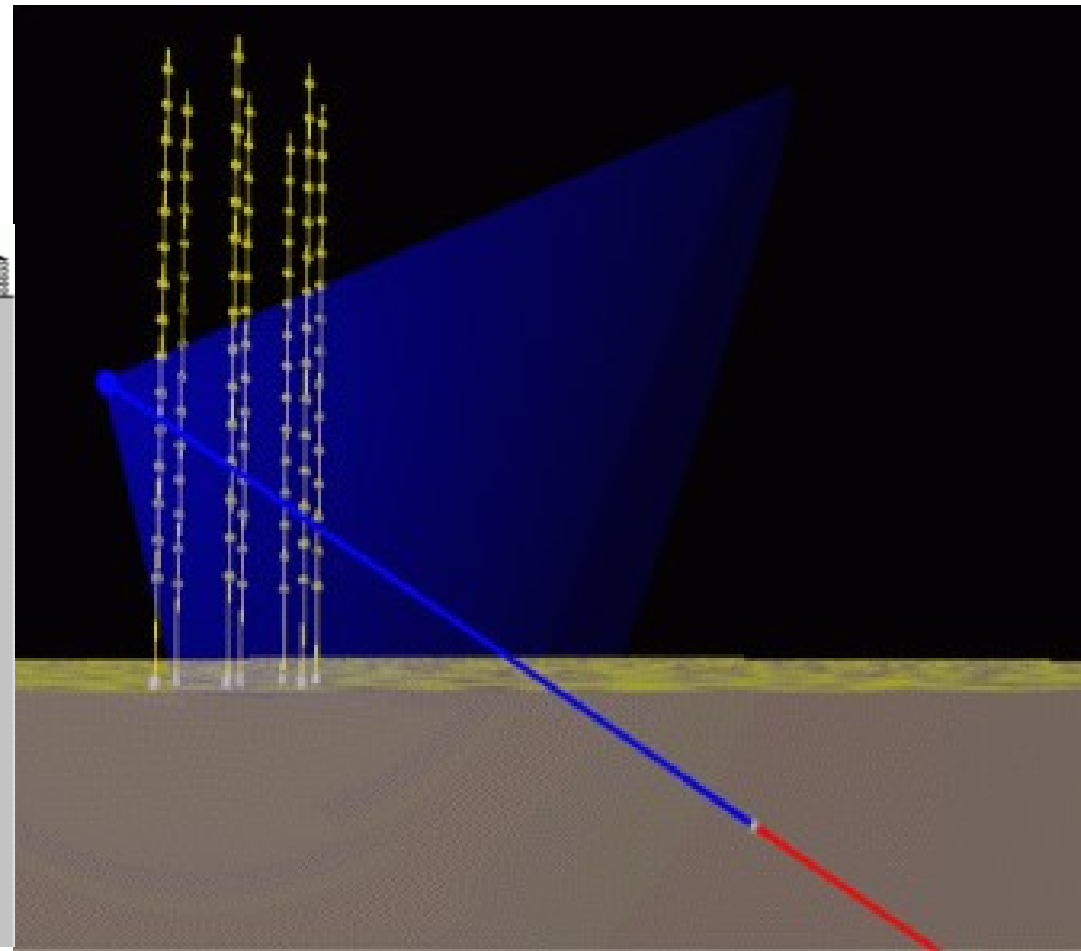
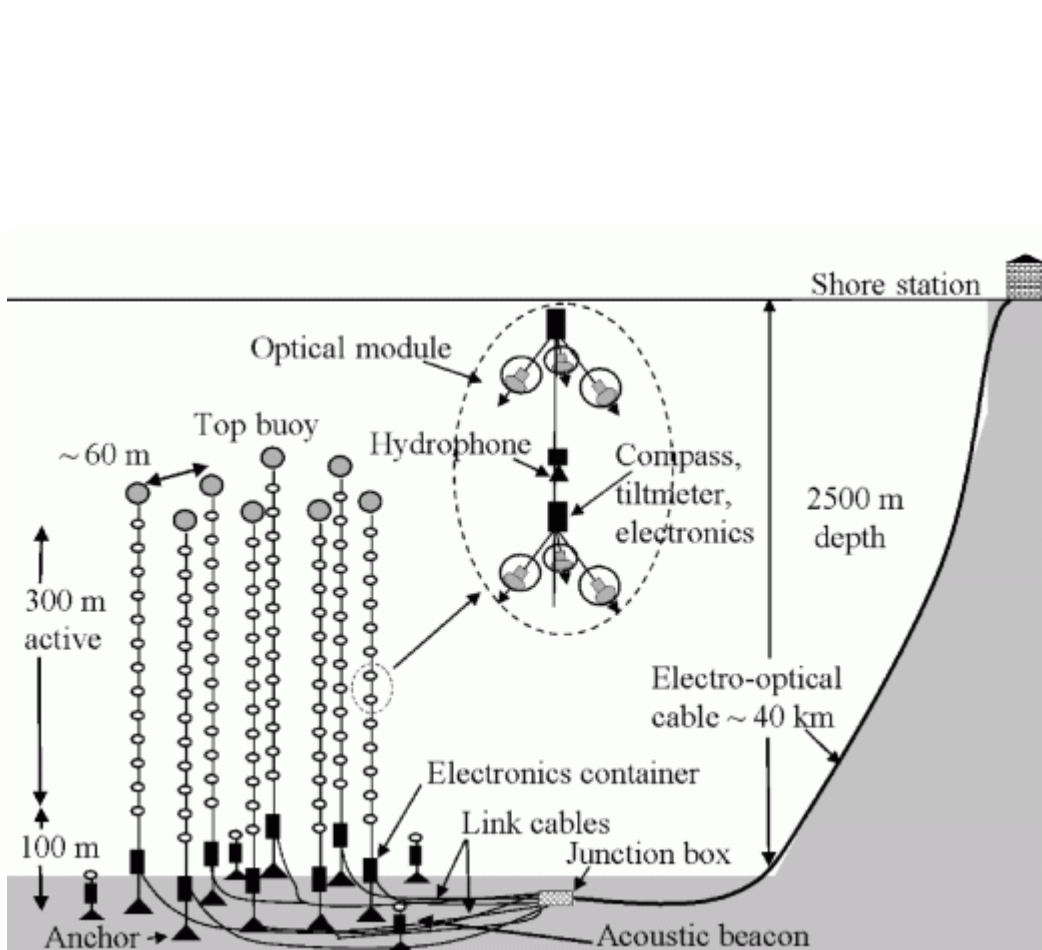
# ANTARES, KM3NeT

- **A**stronomy with a **N**eutrino **T**elescope and **A**byss environmental **RE**search
- Nachweis von hochenergetischen Neutrinos
- Detektormaterial: Wasser (Mittelmeer, 2400m)
- Blickrichtung: Südhalbkugel (Galaxiezentrum!)



# ANTARES, KM3NeT

- Photomultiplier (Cherenkovlicht)
- 1000 Photomultiplier, 12 Strings



# Ausblick

## Fazit:

- Bisher keine signifikanten Signale von WIMPs gefunden
  - Größer, weniger Untergrund
- Suche an Beschleunigern im TeV-Bereich (direkte Suche):
  - LHC
  - Tevatron
- Fund von WIMPs an Beschleunigern würde Existenz der DM im Universum nicht beweisen



