

# Suche nach Dunkler Materie mit dem XENON-Experiment

Seminar für Astro- und Teilchenphysik

Michael Wagenpfeil

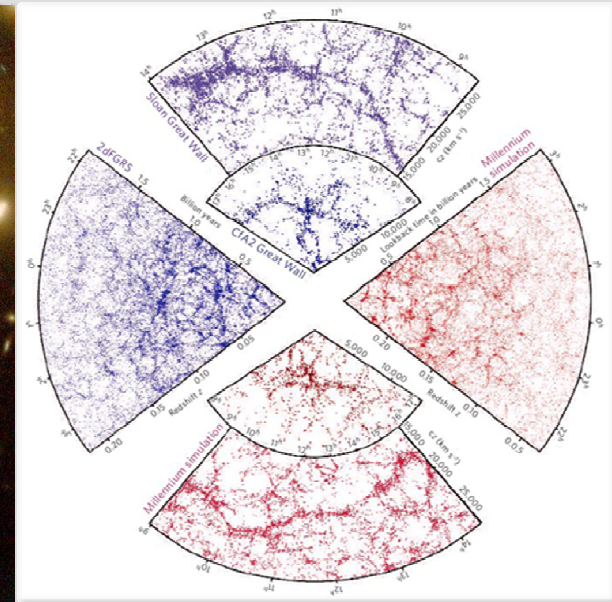
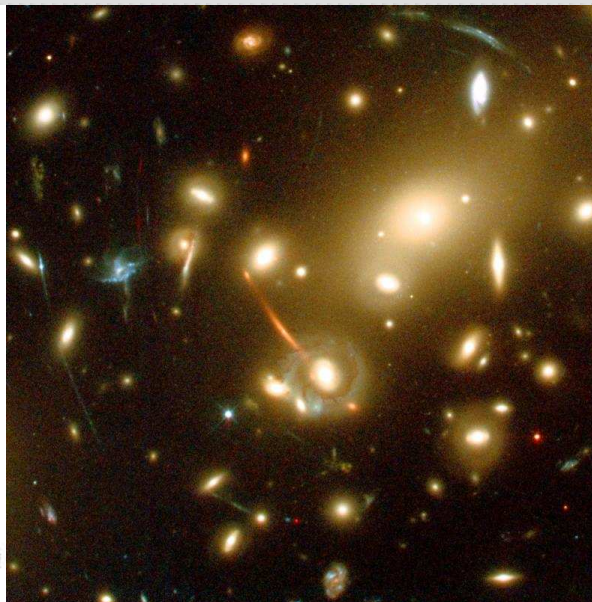
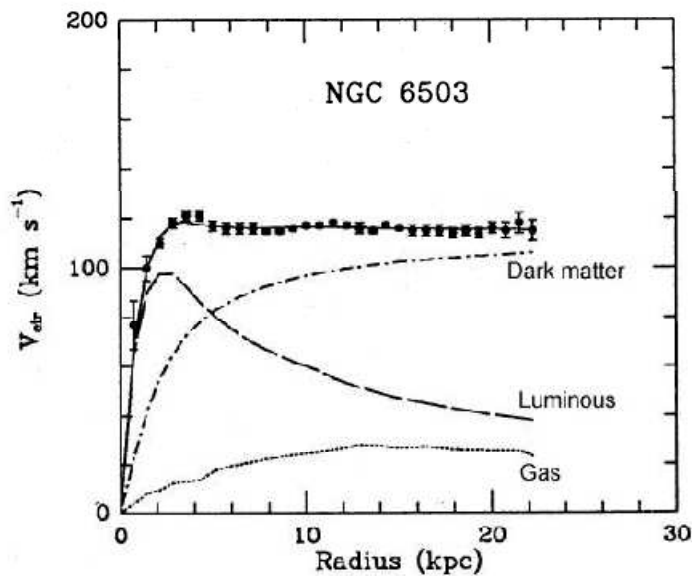
(11. Juli 2011)

# Inhalt:

- Motivation: Dunkle Materie
- Idee eines Flüssig-Xenon-Detektors
- Setup XENON100
- Ergebnisse
- Zusammenfassung

# Dunkle Materie?

Beobachtbare Materie reicht nicht aus



Rotationskurven  
von Galaxien

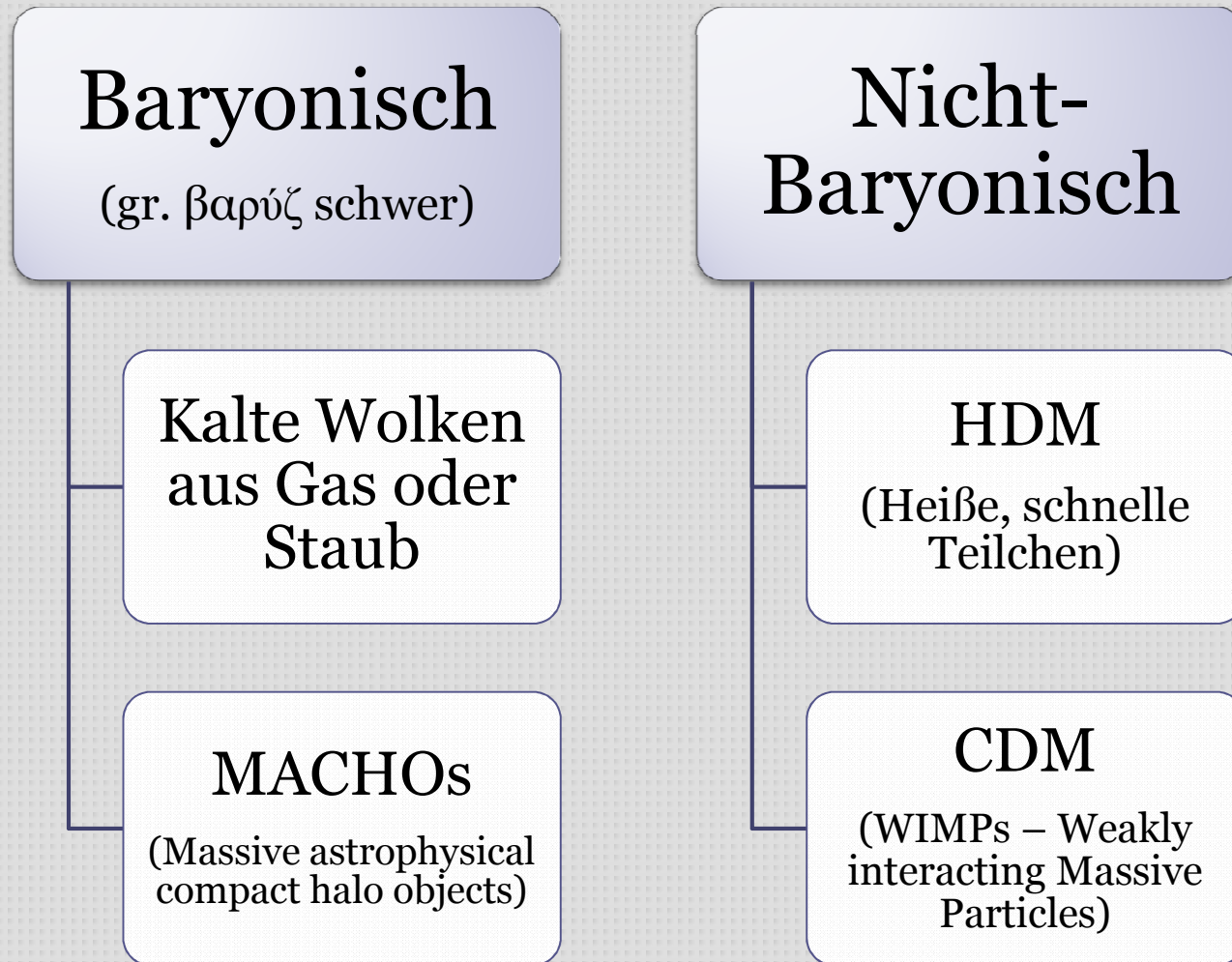
Gravitationslinsen

Millennium  
Simulation

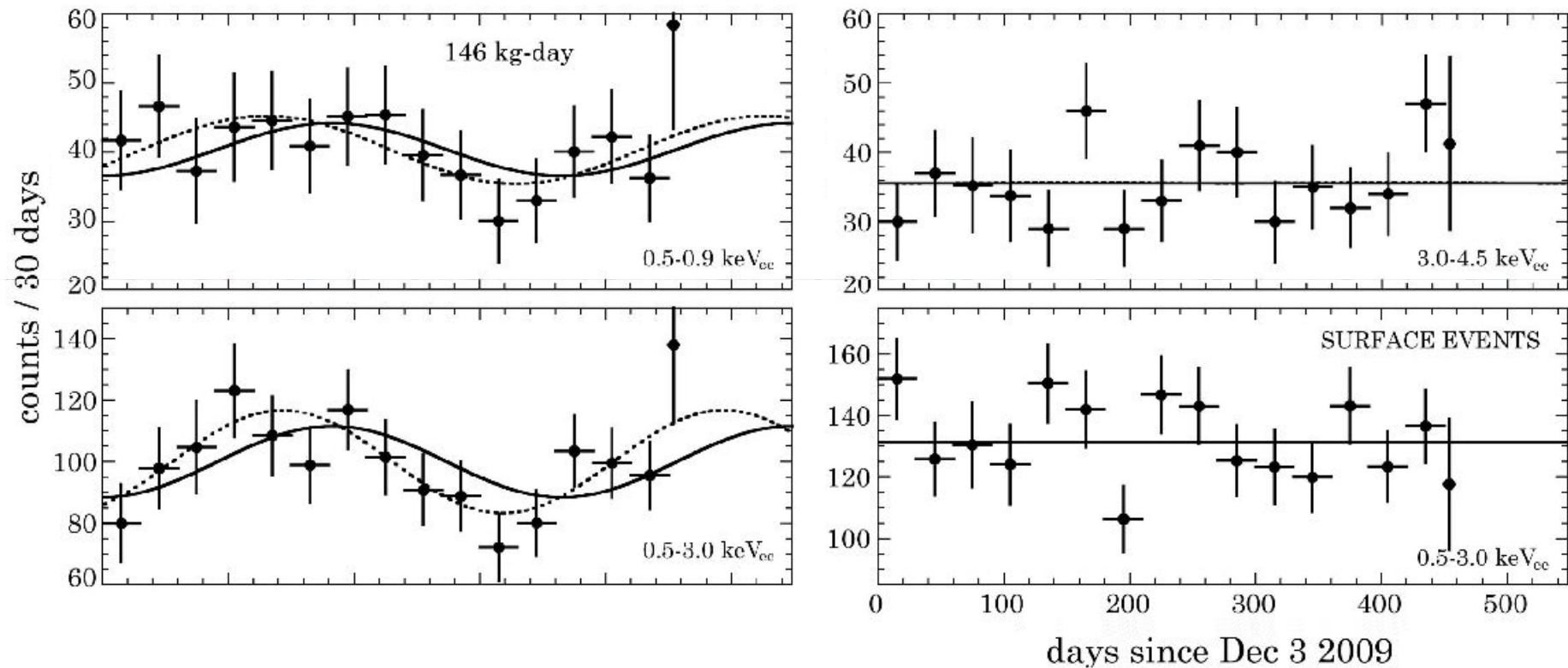
# Warum Dunkel?

- Dunkle Materie wechselwirkt nicht (messbar) mit elektromagnetsicher Strahlung
- Wie kann man sie denn dann nachweisen?
- Beobachtung durch Rückstoß von Atomkernen

# Natur der dunklen Materie?



# Erhitzte Gemüter



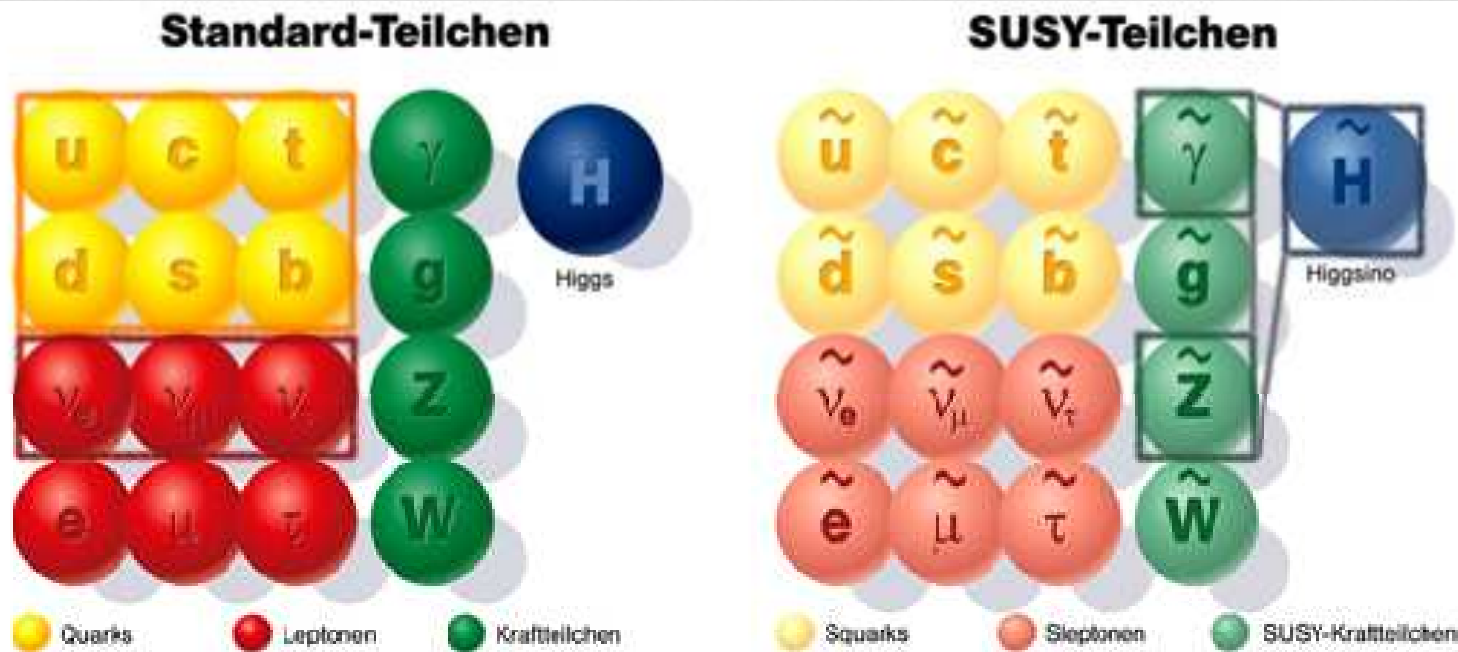
~~ONLINE~~ LIBRA

(erste Versuche)

[<http://www.scribnarxiv.org>]



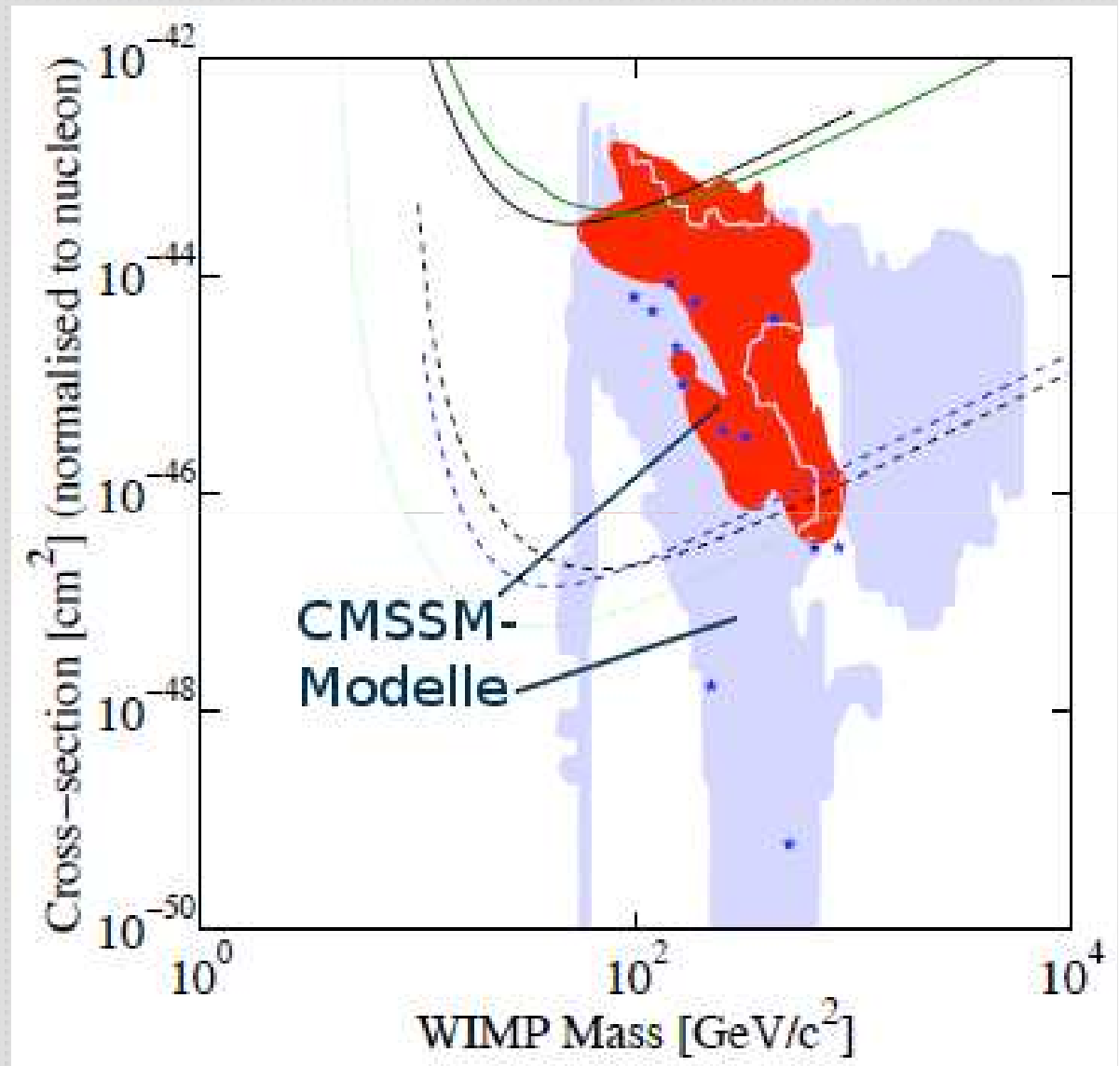
# WIMPs



- R-Paritätserhaltung verhindert Zerfall von SPs zu SM-Teilchen
- Stabiles LSP (Neutralino?) muss existieren
- Für WIMP  $\tilde{\chi}$  kommen  $\tilde{H}$ ,  $\tilde{\gamma}$  und  $\tilde{Z}$  in Frage

# WIMPs

- $E_{\text{Nuc}} \approx 10\text{keV}$  für  $m_{\text{WIMP,Nuc}} \approx 50\text{ GeV}$
- Rechnungen mit CMSSM führen zu  $\sigma/m$  Abschätzung
- Vgl  $\sigma_{\nu,\text{Nuc}} \approx 10^{-39}\text{ cm}^2$
- $< 1$  Event pro 100kg und Tag





# Vorhaben

## Probleme zu lösen:

Sehr kleine Ereignisraten

Sehr kleine Energien

Dominanter Untergrund

Verschiedene Teilchenarten

## Herausforderung:

Viele Target-Teilchen

Hochsensitive Detektoren

Reine Stoffe & Abschirmung

Unterscheidung?

# Vorhaben

Cryobolometer

- Szintillation
- Wärme

Flüssige Edelgase

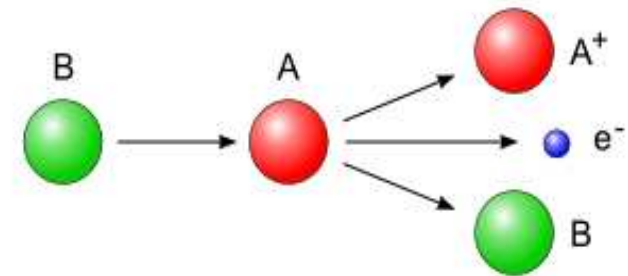
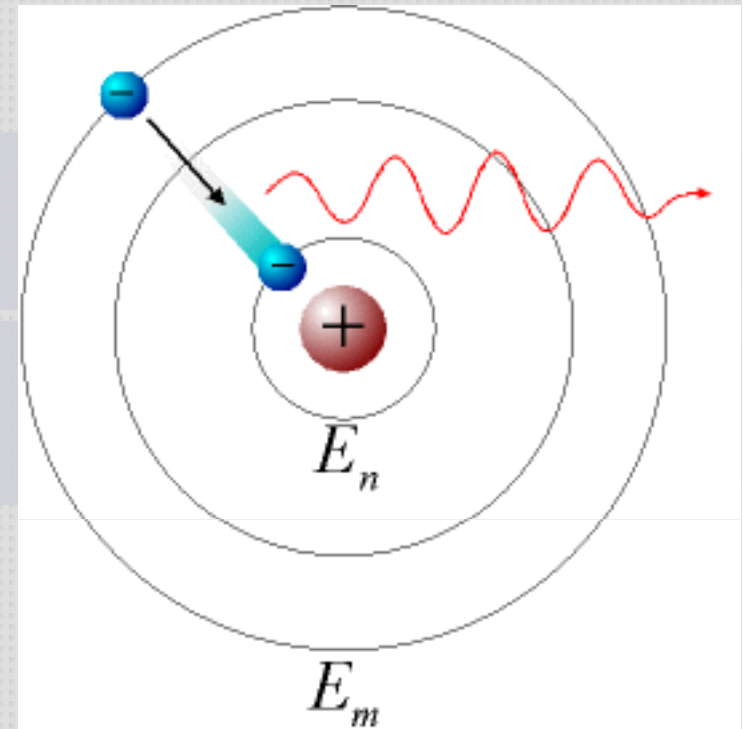
- Szintillation
- Ionisation

## Ursprung der Szintillation:

- Anregung von Atomen
- Abregung durch Photoemission
- Lichtpulse  $\sim \mathcal{O}(\text{ns})$

## Ionisation:

- Ausbeute unabhängig von Art der eintreffenden Strahlung
- Ionisationssignal  $\propto$  Energie



# Prinzip

## Flüssiges Xenon als Detektor

Edelgas

- Nur Xe und Ar erzeugen Szintillation **und** Ladungsträger als Reaktion auf Strahlung
- Starke Anti-Korrelation beider Effekte

Ordnungszahl 54

- Hohe Effizienz, einfallende Strahlung zu wechselwirken (mitunter:  $m_{\text{WIMP}} \approx m_{\text{Nuc}}$ )
- Hohe Dichte ( $3 \text{ g/cm}^3$ )

Stabil

- 2 der 9 Xe-Isotope sind radioaktiv:  $^{124}\text{Xe}$  (0,1%;  $t_{\text{H}} > 4,8 \cdot 10^{16} \text{ a}$ ) &  $^{136}\text{Xe}$  (8,9%,  $t_{\text{H}} > 10^{22} \text{ a}$ )

Hoher Siedepunkt

- 165,05 K bei 1atm
- Unkomplizierte Kryotechnik

# Prinzip

Zweiphasige TPC

PMTs zur Lichtdetektion

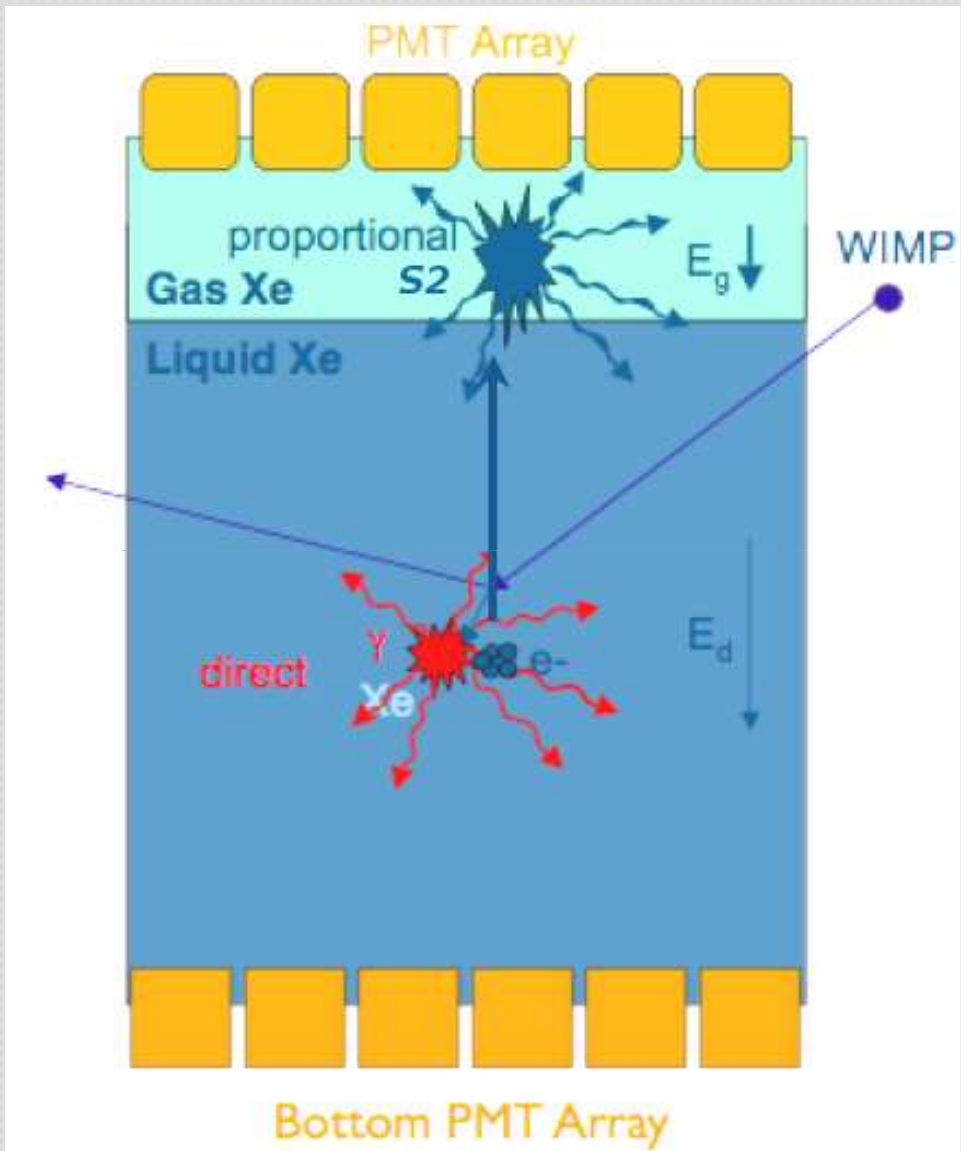
WIMP trifft Kern und erzeugt Szintillation und Elektronen

Detektor registriert S1

Elektronendrift durch E-Feld

Elektronenvervielfachung und proportionale Szintillation

Detektor registriert S2

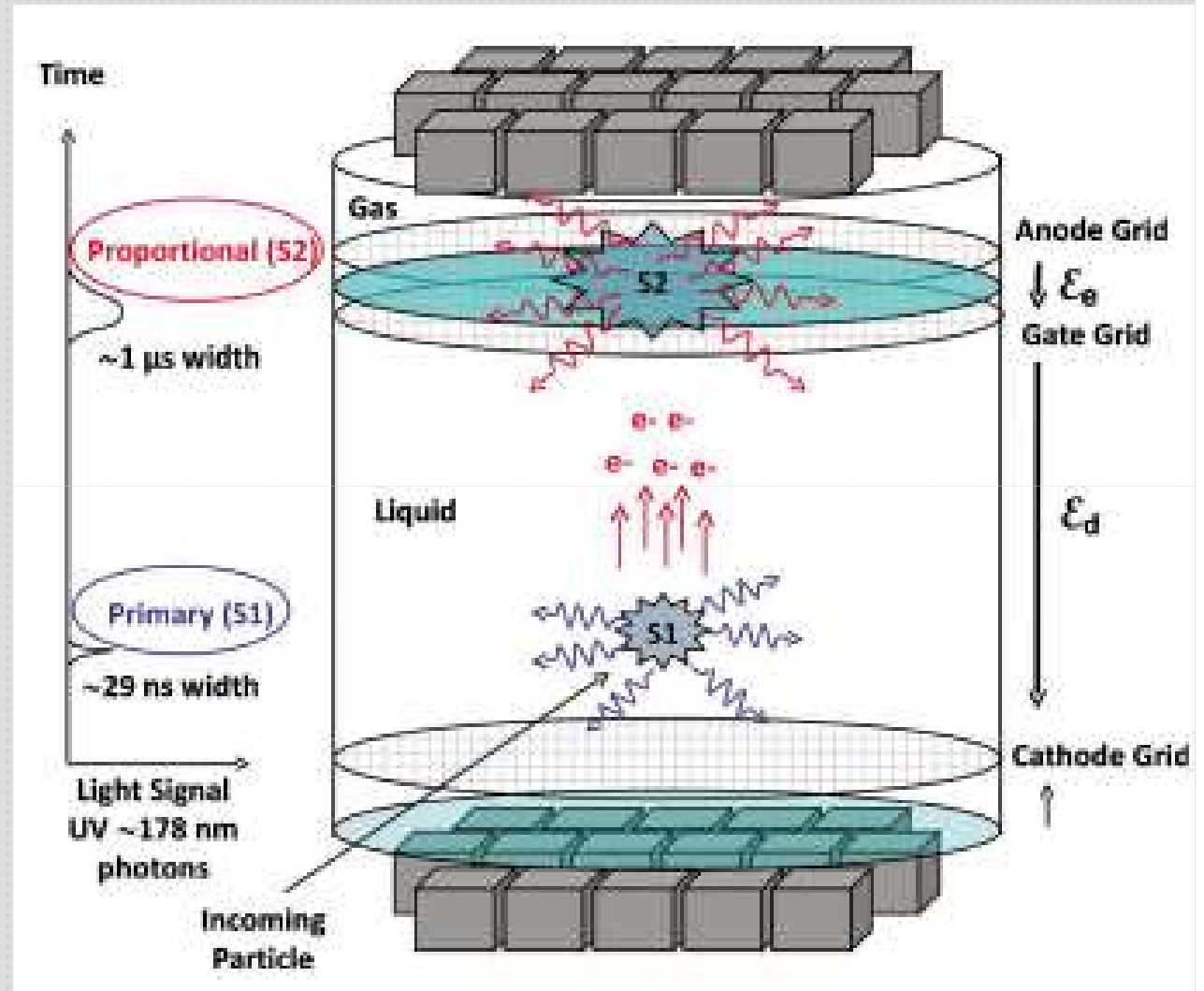


# Prinzip

Detektor registriert  
zwei Signale

Elektronendrift  
 $\sim 2\text{mm}/\mu\text{s}$

Auflösung in alle  
Richtungen  $\mathcal{O}(1\text{mm})$

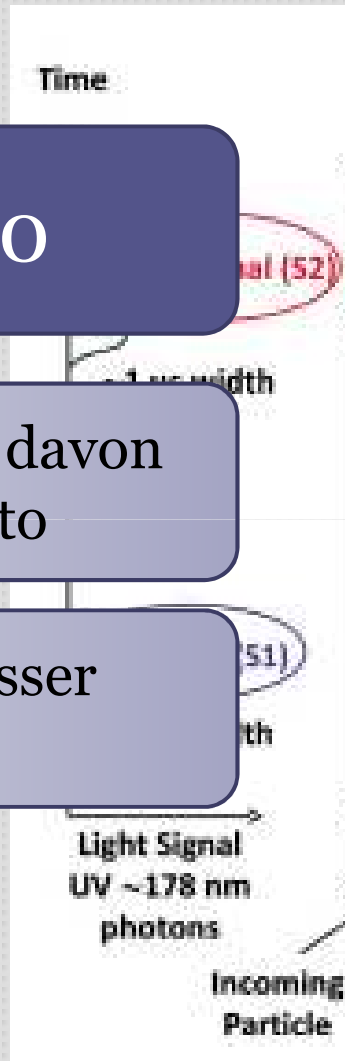


# Aufbau

## XENON 100

161 kg LXe und Gxe; davon  
sind ~100 kg Veto

30,5 cm Durchmesser  
30,6 cm Höhe



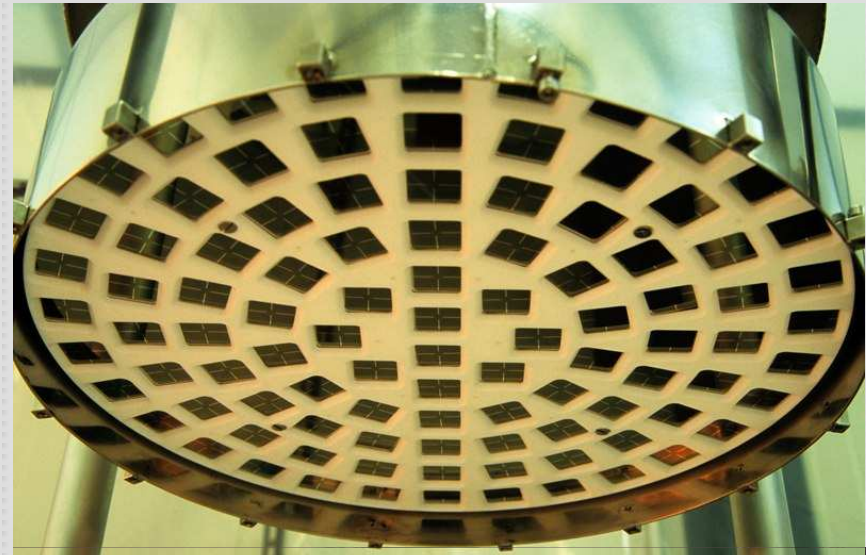


# Aufbau

## XENON 100

80 PMTs im unteren Array  
98 PMTs im oberen Array

QE unten 33% (S1)  
QE oben 23% (S2)





# Aufbau

XENON 100

4 Gitter-Elektroden

Drift-Feld: 530 V/cm  
(Geschwindigkeit gesättigt)

Hohes Extraktions-Feld



# Aufbau

XENON 100

$T=182\text{K}$   
Vgl.  $T_{\text{boil}}(\text{Xe})\approx 165,1\text{K}$

Druck: 2,2 bar



# Passive Abschirmung

## „Äußerster“ Schild

1400m Gestein

## Äußerer Schild

20 cm PE

5 cm Borsäure

15 cm Blei

5 cm French Lead

5 cm OFHC-Cu



## Innerer Schild

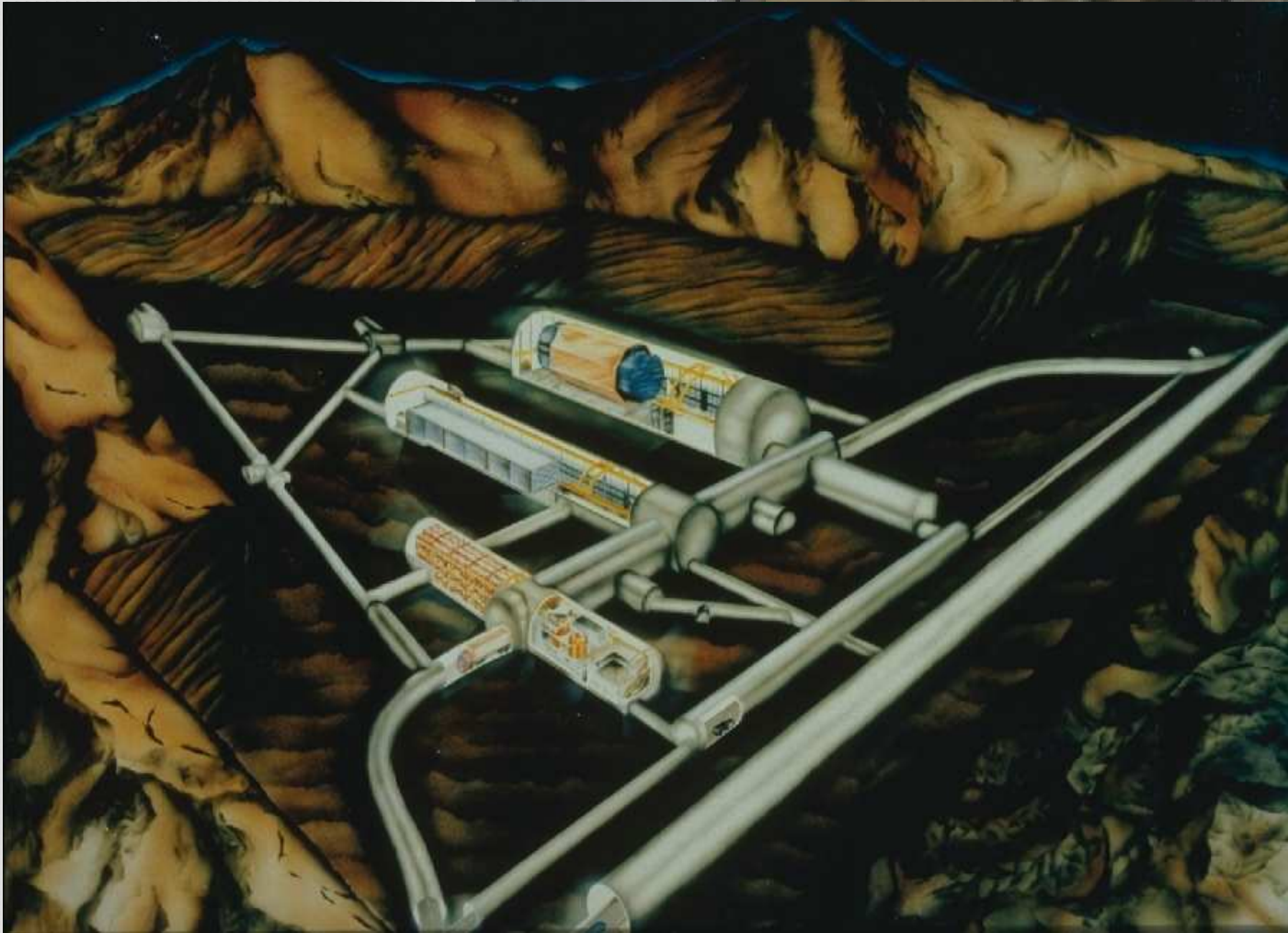
EVHC

6,7 cm  
OFHC-Cu

PTFE



# Infos



# Herausforderungen?

Kühlung  
unproblematisch

Physik des Detektors  
verstanden

Gute  
Abschirmung

Reinheit des  
Target-Materials?

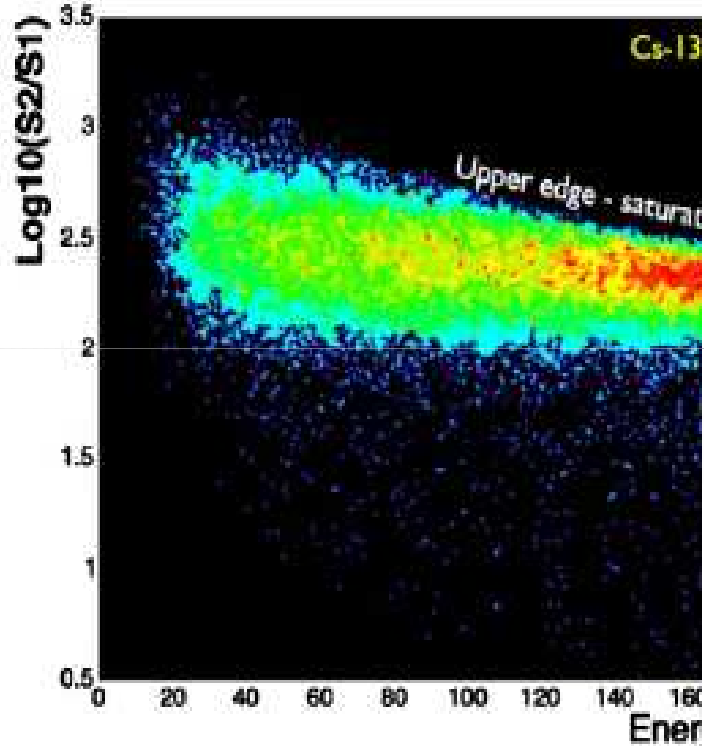
ABER

## „Friendly Fire“

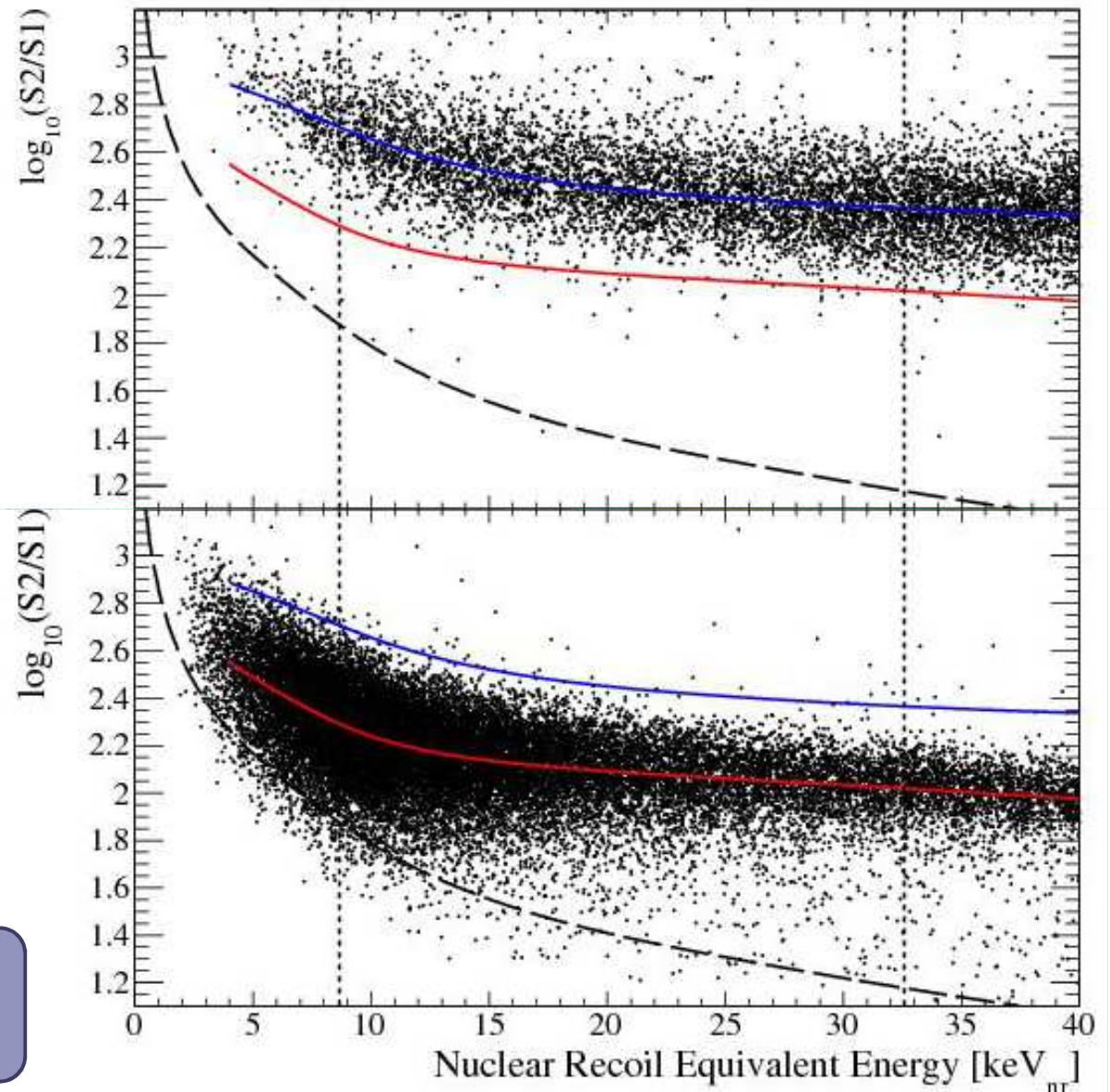
- $^{124}\text{Xe}$  (0,1%;  $t_H > 4,8 \cdot 10^{16} \text{a}$ )  
→ ~10 Mio. Zerfälle pro Jahr
- $^{136}\text{Xe}$  (8,9%,  $t_H > 10^{22} \text{a}$ ) → ~5000 Zerfälle
- $c(\text{Kr}) \sim 150 \text{ ppt}$  ( $\sim 10^{17}$  Kerne)  
 $^{85}\text{Kr}$  (Spuren;  $t_H = 10,756 \text{ a}$ )

- Radiopurity (So wenig Krypton und radioaktives Xenon wie möglich)
- $c(\text{O}_2) < 1 \text{ ppb}$  → Probleme bei Attachment und Extraktion
- Gefäßmaterial und Organische Moleküle

# Kalibration

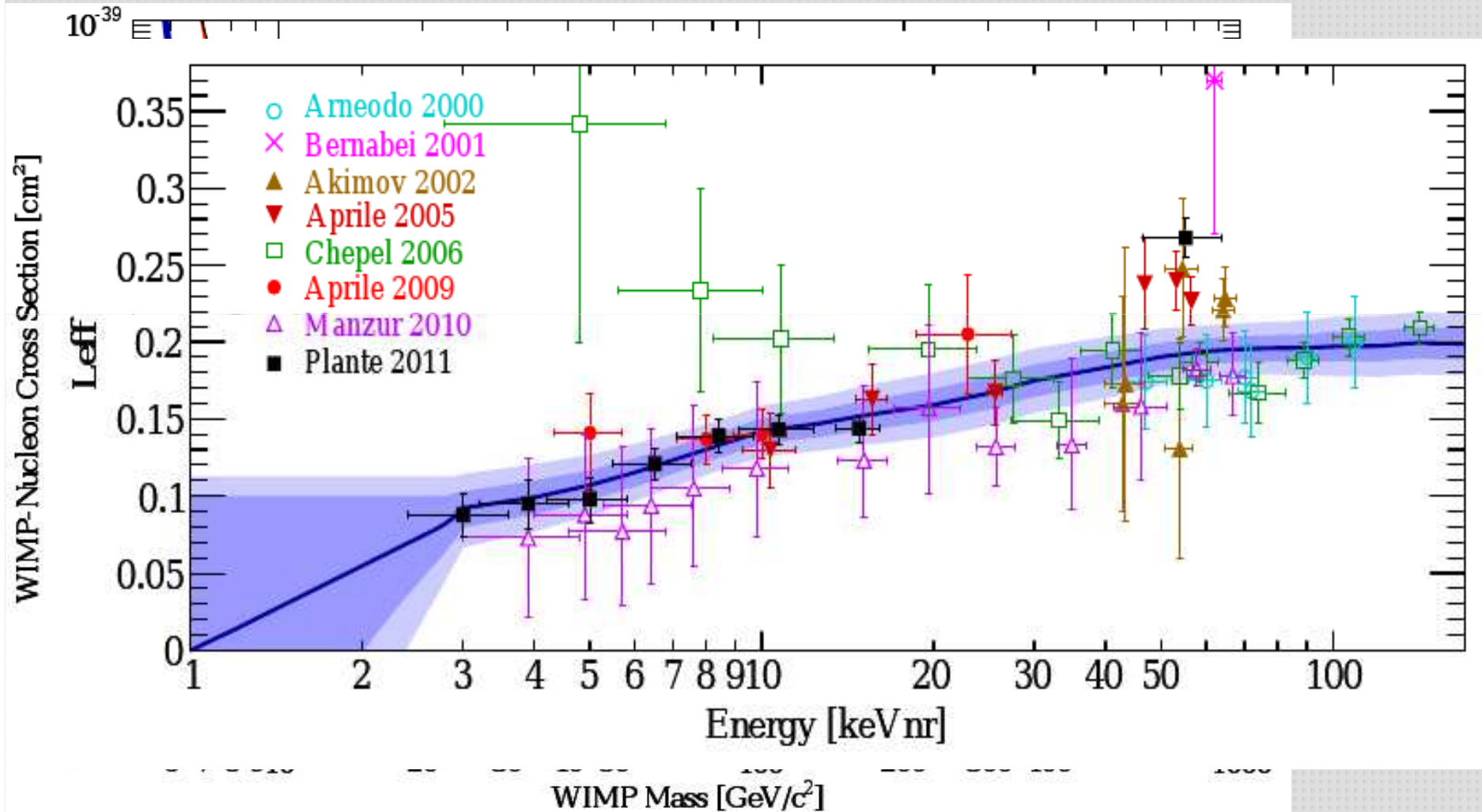


Diskriminierung:  
Effizienz von >99%





# Limit





# Messungen

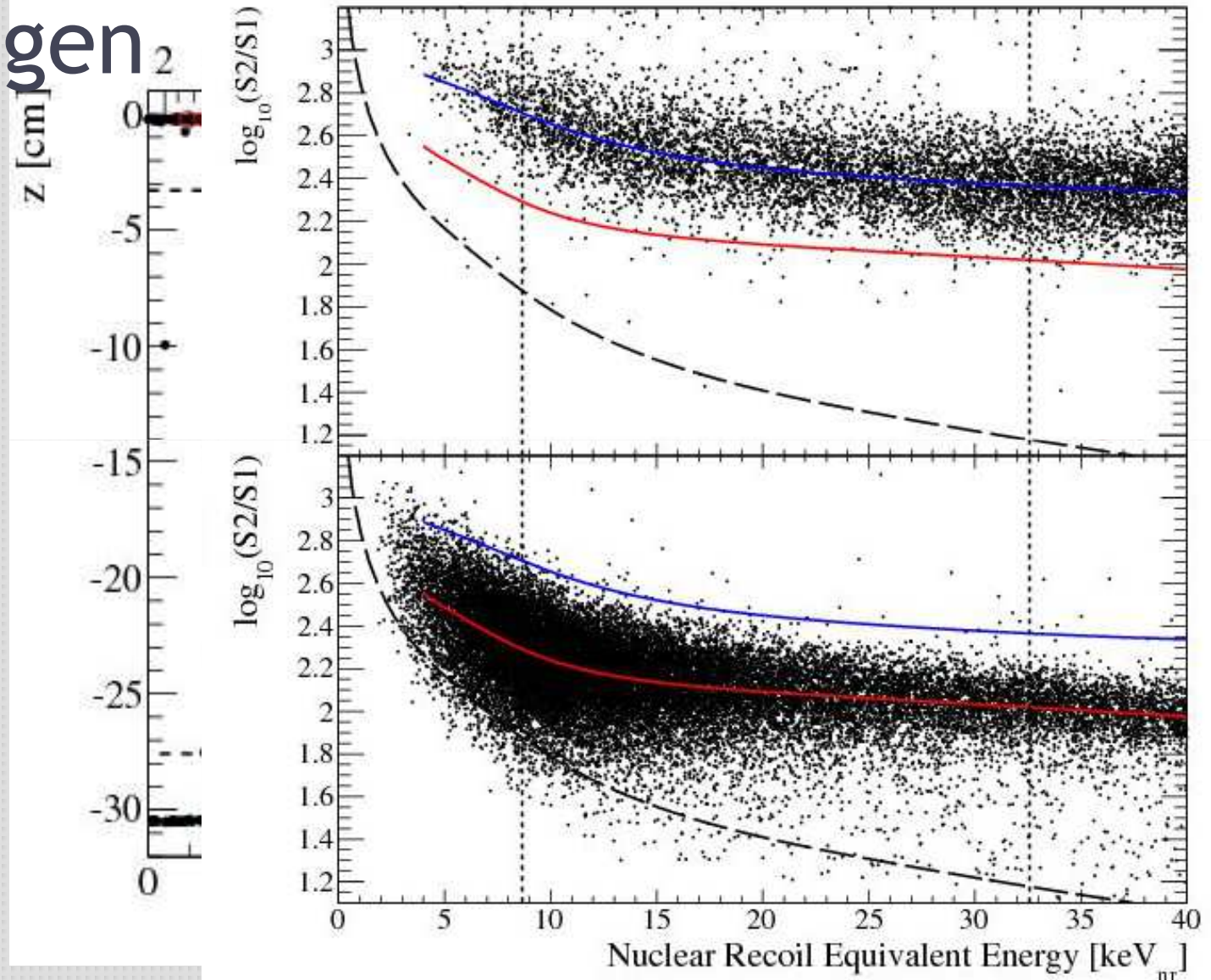
Daten von  
11,2 Tagen

Self-  
Shielding

Fiduzialisa-  
tion (40kg)

Schwelle bei  
 $30 \text{ keV}_{\text{nr}}$

Rote Stöße  
interessant



# Messungen

Daten von  
101 Tagen

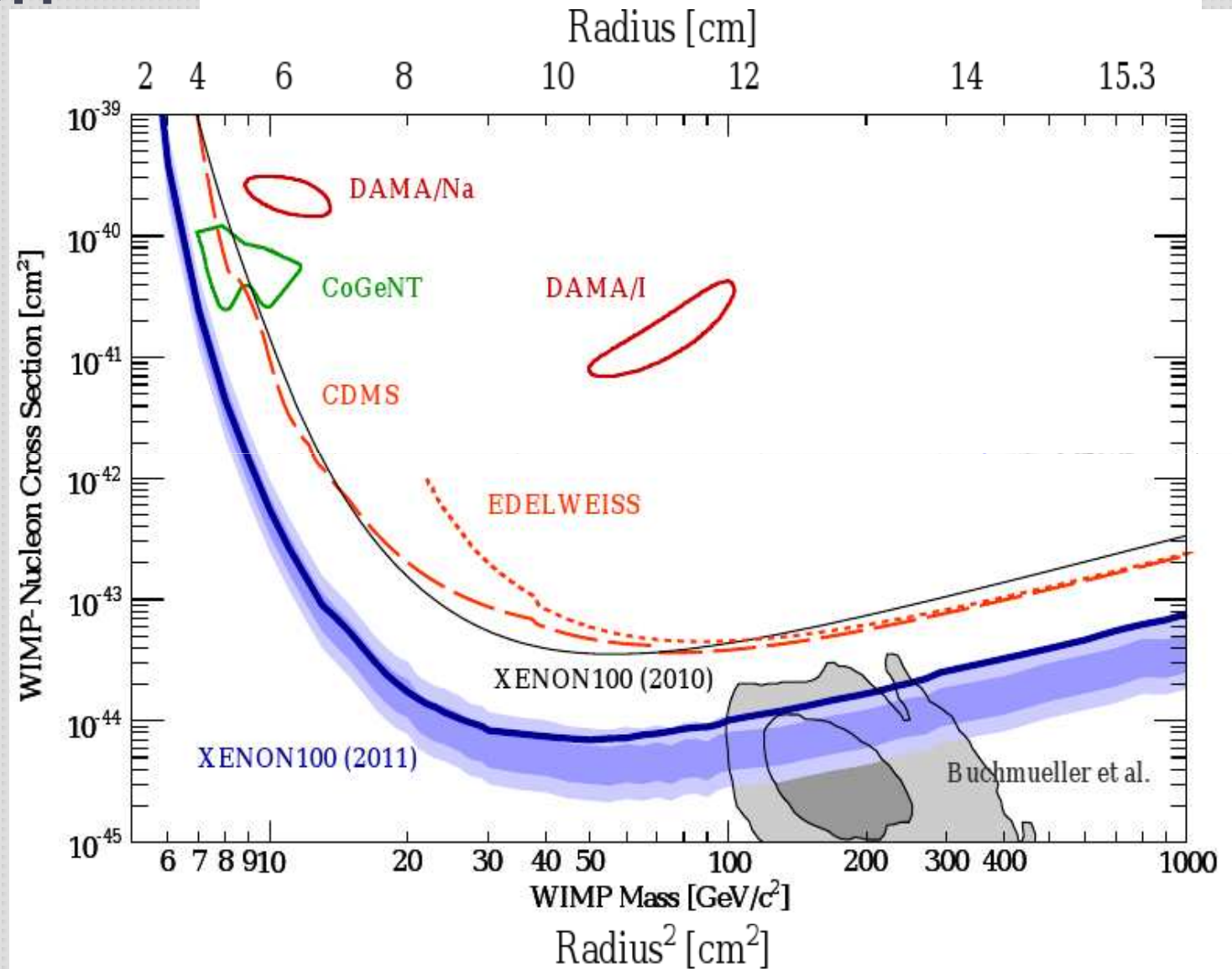
Self-Shielding,  
Fiduzialisation

3 Events im  
Detektor

Erwartung  
Untergrund  
 $1,8 \pm 0,6$

Poisson:  
 $P_{k=3} = 28\%$

Keine Be-  
obachtung



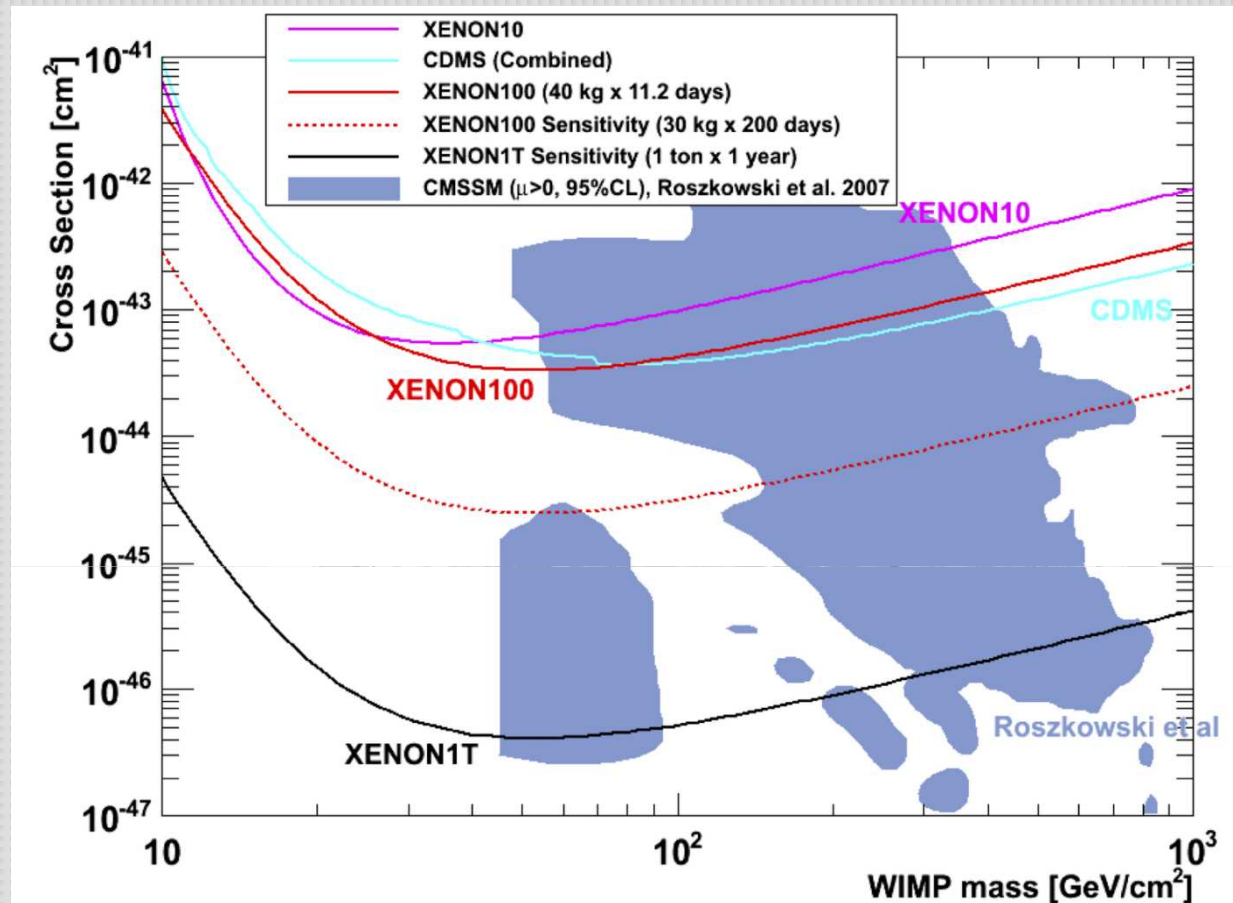
# Aussicht

Erhöhung der Masse  
auf  $m_{\text{fiducial}} = 1000 \text{ kg}$

Gesamtmasse:  
2,4 Tonnen

**XENON 1t**

- 10 cm Self-Shielding
- Noch bessere Abschildung
- Faktor 100 weniger Untergrund
- Sensitivität:  $\sigma \sim 3 \cdot 10^{-47} \text{ cm}^2$



- Geld besorgt
- Design abgeschlossen
- Timeline: 2011 - 2015

# Zusammenfassung

- Dunkle Materie konnte bislang noch nicht beobachtet werden
- Detektordesign ist vielversprechend
- Modellierete WIMP  $m/\sigma$  Bereiche bald großflächig abgedeckt

# Dankeschön



# Konkurrenz

PHYSICS

## Possible Sighting of Dark Fires Up Search and Temp

A second experiment may have spotted hypothetical dark  
WIMPs, but its leader's take-no-prisoners attitude has compe

It's not hard to imagine Juan Collar as a mata-



and he cer-  
l flag in front  
sn't involve  
ls, however.  
nologist is a  
etitive race  
ious, invis-  
itute 80% of  
it weeks, the  
rged as the

t the Amer-  
n Anaheim,  
ed prelimi-  
; that he has  
ned mine in  
Its suggest  
otted a dark  
which goes

some the  
building b  
But th  
drawing ;  
month, he  
iment call  
Columbia  
lenged D/  
dark matt  
expressed  
in the past  
are relying  
ysis to det  
"I have  
XENON  
ing," says  
seems to  
youthful  
ness and n  
curmudg



Pfingsten, 11./12./13. Juni 2011

## Klebstoff des Universums

Physiker haben womöglich Dunkle Materie gefunden

Es gibt Neuigkeiten aus der Physik. Womöglich sind es sogar außerordentlich bedeutende Neuigkeiten. Mit einem 1400 Meter tief unter einem Berg in Mittelitalien angebrachten Detektor haben Physiker ein Signal aufgefangen, das nichts Geringeres bedeuten könnte als die Entdeckung der Dunklen Materie. Dieser Stoff, so vermuten Astrophysiker seit langem, könnte das gesamte Universum durchziehen wie eine dichte Masse unsichtbarer Gelatine.

Es spricht für die Ernsthaftigkeit der Forschergruppe mit dem Kürzel Cresst, dass sie ihre Daten nicht wie jüngst manch andere Wissenschaftler mit großen Tönen an die Öffentlichkeit tragen. Doch das unter dem Granit des Gran Sasso gemessene Signal ist so deutlich, dass man aufhorchen muss. Seit Juni 2009 suchen die Cresst-Physiker mit einem empfindlichen Teilchendetektor Spuren von Partikeln aus dem Weltraum. Zwischen all den längst bekannten Komponenten der kosmischen Strahlung suchen sie mit ihrem Messgerät eine neue Art von Teilchen, die bisher lediglich von Theoretischen Physikern erdacht, aber noch nie experimentell entdeckt wurde. Diese sogenannten Wimps (*weakly interacting massive particles*, schwach wechselwirkende, massive Teilchen) können sich nicht auf bekannten Wegen zeigen, zum Beispiel indem sie Atome ionisieren, Kerne spalten oder dank ihrer elektri-

Gran Sasso aktiven Experiment namens Xenon meinen die Fachkollegen ausschließen zu können, dass es die von Cresst vermuteten Wimps geben könne. Cresst-Forscher wiederum halten die Aussagekraft des Xenon-Experiments in dem fraglichen Massebereich für nicht ausreichend.

Bei dem Streit steht viel auf dem Spiel. Sollten sich die Cresst-Daten erhärten, wäre es eine physikalische Entdeckung ersten Ranges, vergleichbar mit dem ersten Nachweis der Atomkerne, der Quarks oder der Schwarzen Löcher.

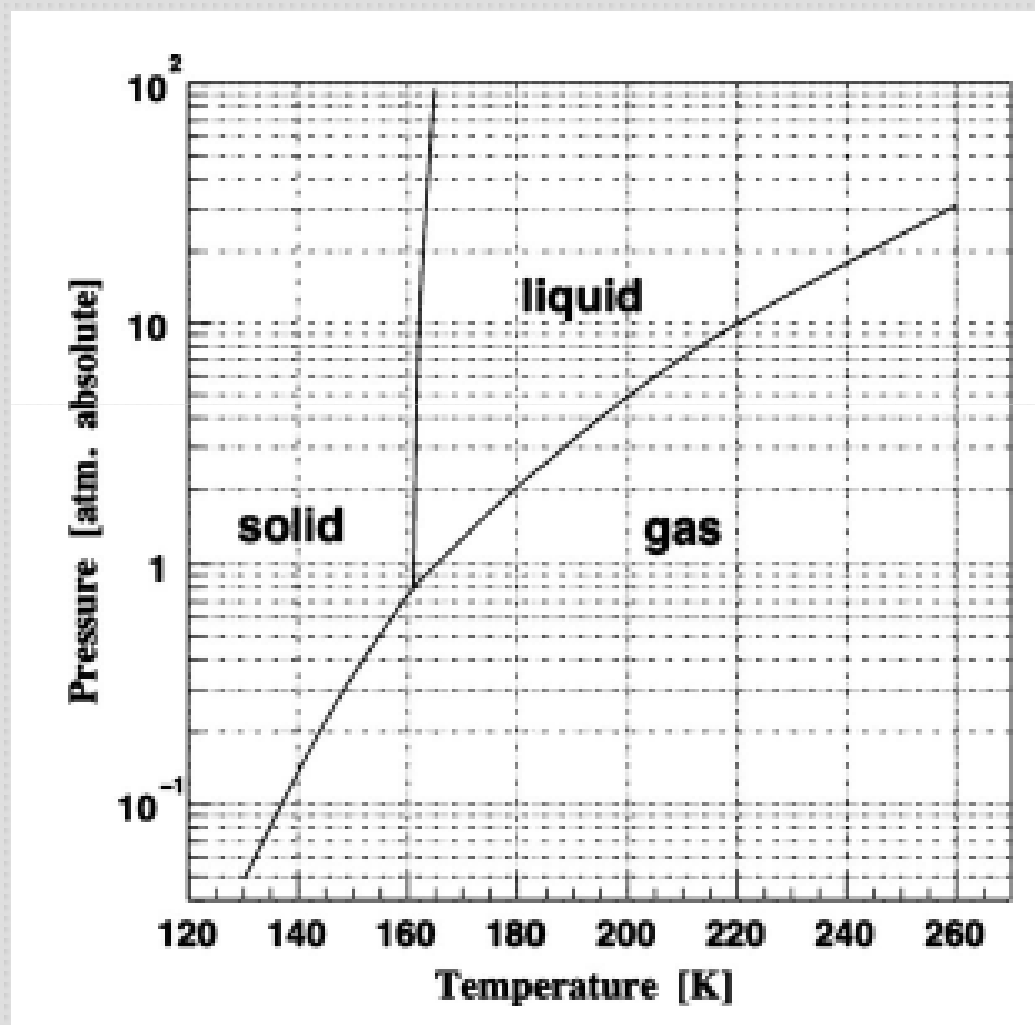
Seit Jahrzehnten wissen Astrophysiker, dass zwischen den sichtbaren Bestandteilen des Universums, also Sternen, Planeten, Galaxien und anderen Himmelskörpern, noch mehr sein muss – viel mehr sogar. Fünfmal so viel Masse wie der sichtbare Teil des Universums ausmacht, muss als Dunkle Materie verborgen sein, sagen Himmelsforscher. Ein Beweis hierfür sind zum Beispiel rotie-

„Durchschlagende Konsequenzen  
für das physikalische Weltbild“

rende Galaxien, deren Sterne aufgrund der Fliehkräfte eigentlich auseinanderstieben müssten. Dass sie zusammenbleiben, könnte an der Dunklen Materie liegen, deren Gravitation die Sterne der

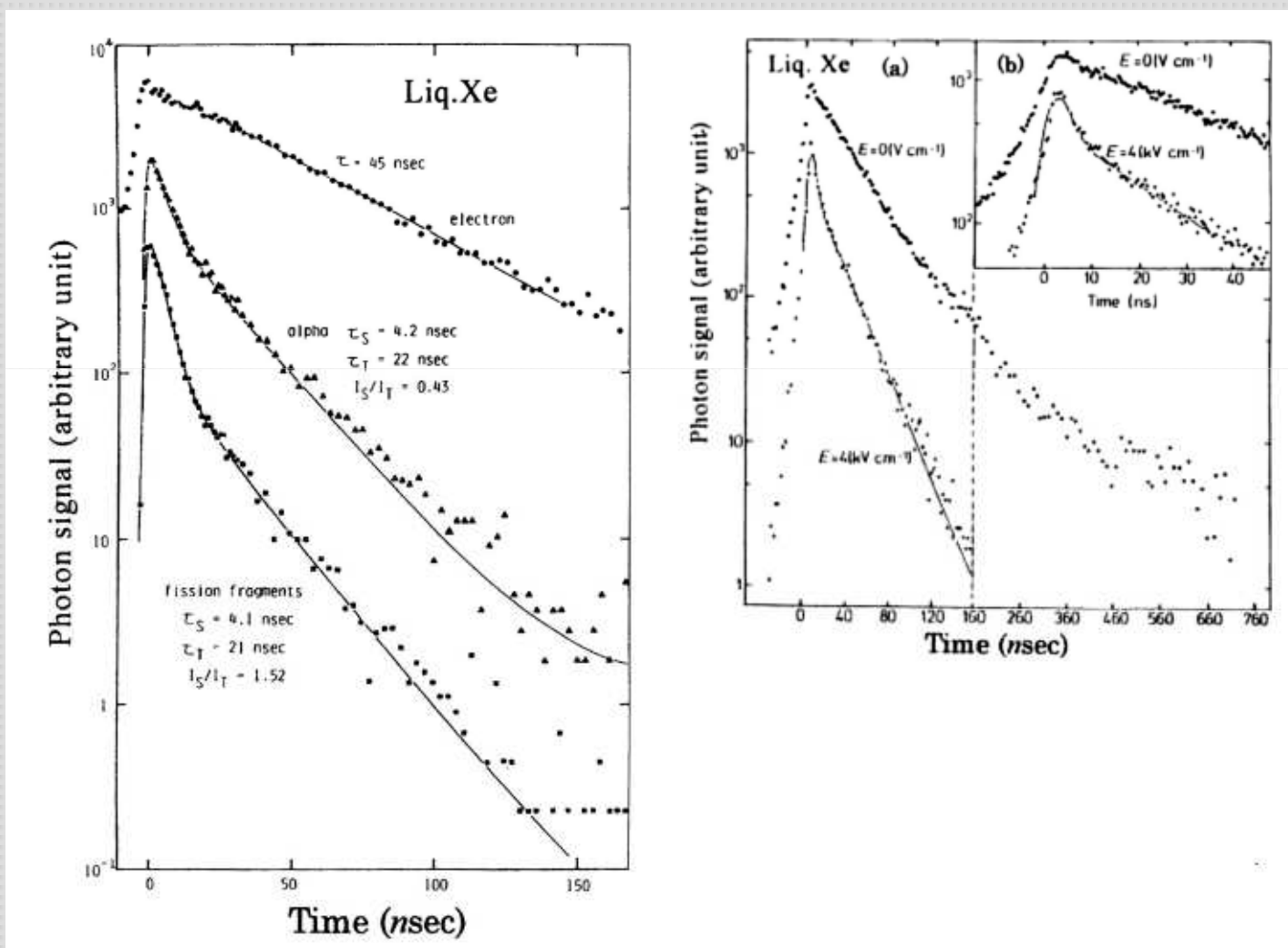


# Phasendiagramm

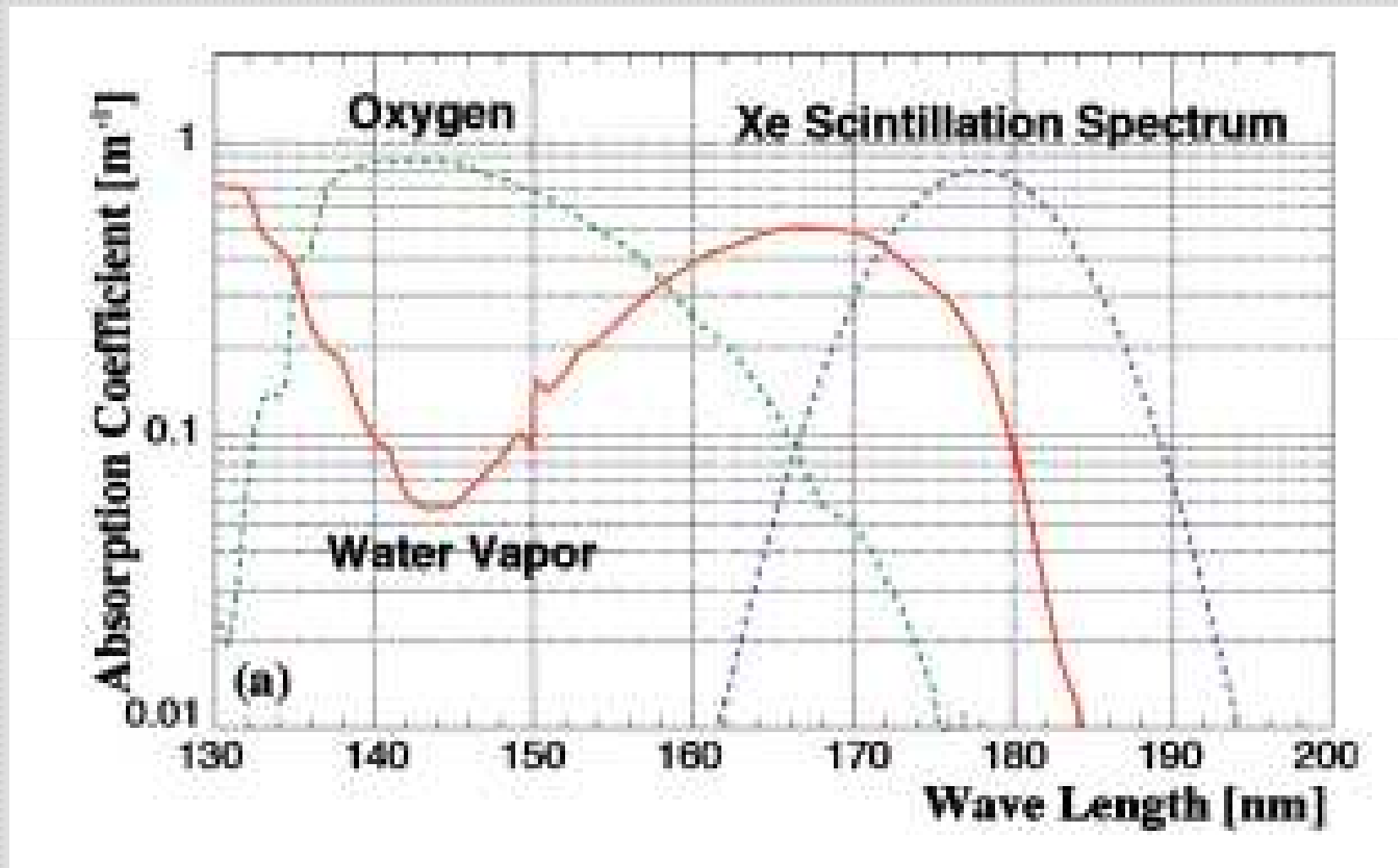




# Szintillation Pulsform



# Absorptionskoeffizienten





# Suche nach Dunkler Materie mit dem XENON-Experiment

Seminar für Astro- und Teilchenphysik

Michael Wagenpfeil

(Nachtrag)

# Detektorvolumen

30,5 cm Durchmesser  
30,6 cm Höhe

Volumen: 22,356 Liter  
Masse: ~ 67 kg

Knapp 100 kg sind  
Active Veto

Fiduzialisation auf  
~ 40 bis 50 kg

