

Double Chooz: Auf der Suche nach θ_{13} mit Reaktorneutrinos

Tobias Lachenmaier
Universität Tübingen



Auf der Suche nach θ_{13}

$$\begin{pmatrix} \nu_e \\ \nu_\mu \\ \nu_\tau \end{pmatrix} = \underbrace{\begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & c_{23} & s_{23} \\ 0 & -s_{23} & c_{23} \end{pmatrix}}_{\text{atmosphärische } \nu + \text{K2K}} \underbrace{\begin{pmatrix} c_{13} & 0 & s_{13} e^{-i\delta} \\ 0 & 1 & 0 \\ -s_{13} e^{i\delta} & 0 & c_{13} \end{pmatrix}}_{\theta_{13}} \underbrace{\begin{pmatrix} c_{12} & s_{12} & 0 \\ -s_{12} & c_{12} & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{pmatrix}}_{\text{solare } \nu + \text{KamLand}} \begin{pmatrix} \nu_1 \\ \nu_2 \\ \nu_3 \end{pmatrix}$$

$c_{ij} = \cos \theta_{ij} \quad s_{ij} = \sin \theta_{ij}$

atmosphärische ν
+ K2K

θ_{13}

solare ν +
KamLand

Δm_{atm}^2

$$\theta_{23} = (45 \pm 7)^\circ$$

?

$$|U_{e3}|^2 = \sin^2(\theta_{13})$$

Δm_{sol}^2

$$\theta_{12} = (33 \pm 3)^\circ$$

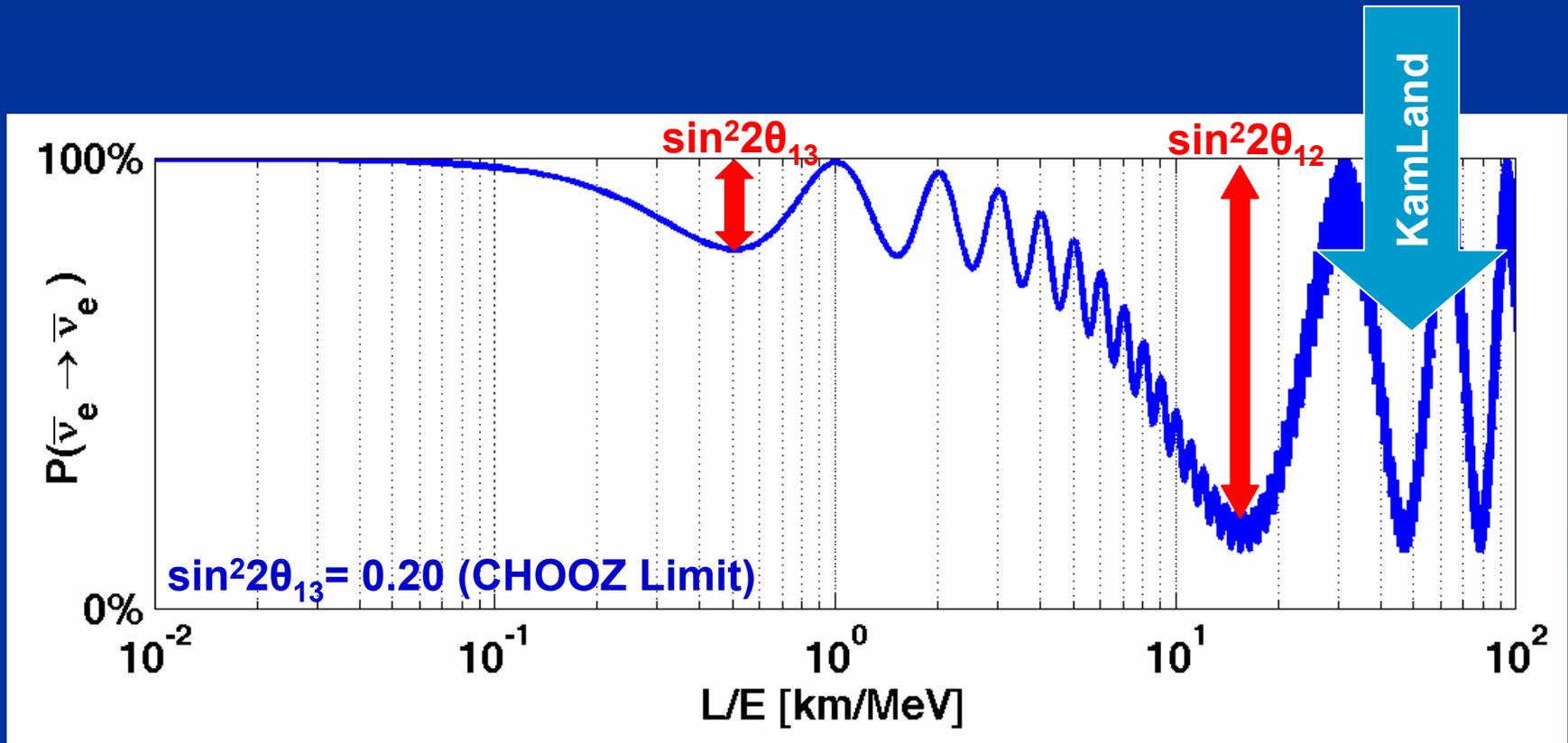
θ_{13} ist der letzte unbestimmte Winkel der Mischungsmatrix.
CHOOZ liefert bestes Limit: $\sin^2(2\theta_{13}) < 0.20$ (90% C.L.)

Neutrinooszillationen

Oszillationen mit zwei Oszillationslängen:

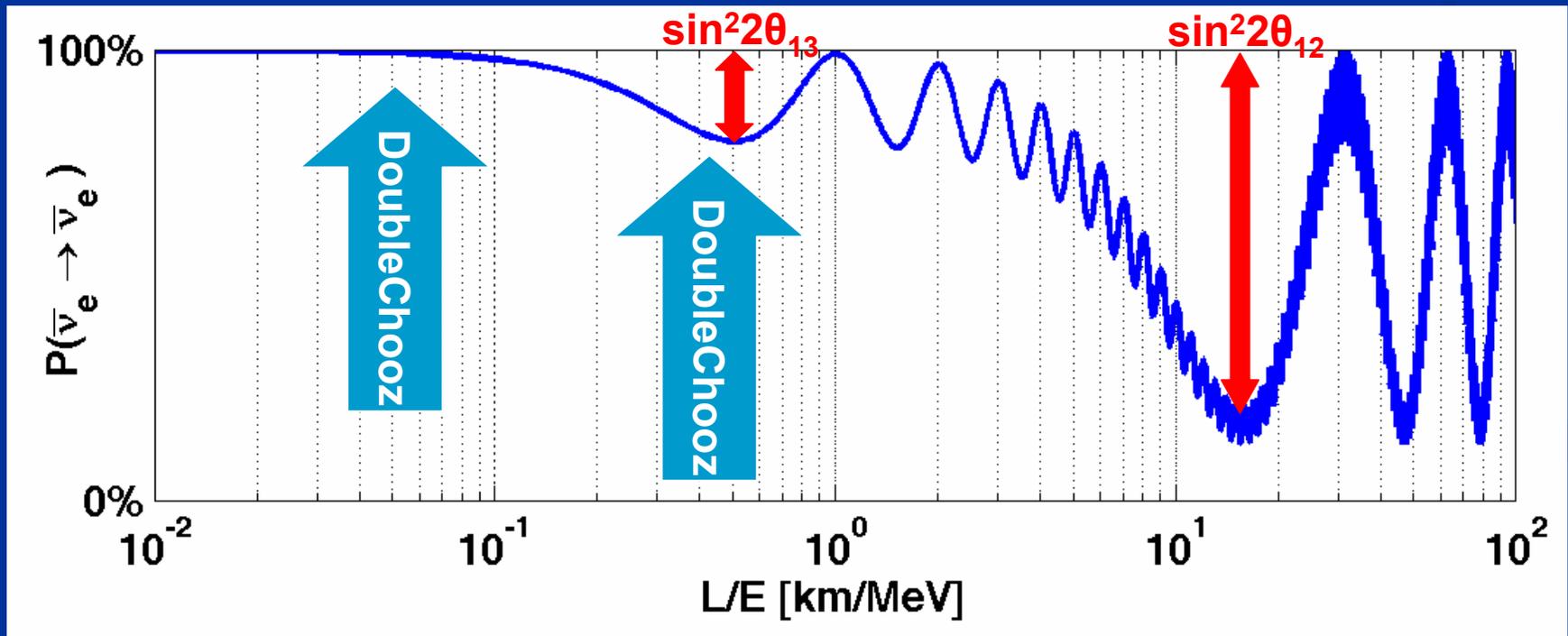
$$\Delta m^2_{\text{sol}} \approx 7.9 \cdot 10^{-5} \text{ eV}^2 \quad \rightarrow \quad L_0/E \approx 30 \text{ km/MeV}$$

$$\Delta m^2_{\text{atm}} \approx 2.4 \cdot 10^{-3} \text{ eV}^2 \quad \rightarrow \quad L_0/E \approx 1 \text{ km/MeV}$$



Die Double Chooz-Idee

- Ein zweiter, identischer Detektor nahe am Reaktor misst Neutrinofluss und -spektrum (ohne Oszillationseffekt).
- Damit wird die Unsicherheit des Neutrinoflusses, des Wirkungsquerschnitts der Nachweisreaktion, und der Detektor-Effizienz (nahezu) irrelevant.
- Mehr Statistik durch größere Targetmasse, neues Detektordesign.



Das Double Chooz-Konzept

Ferner Detektor

Naher Detektor

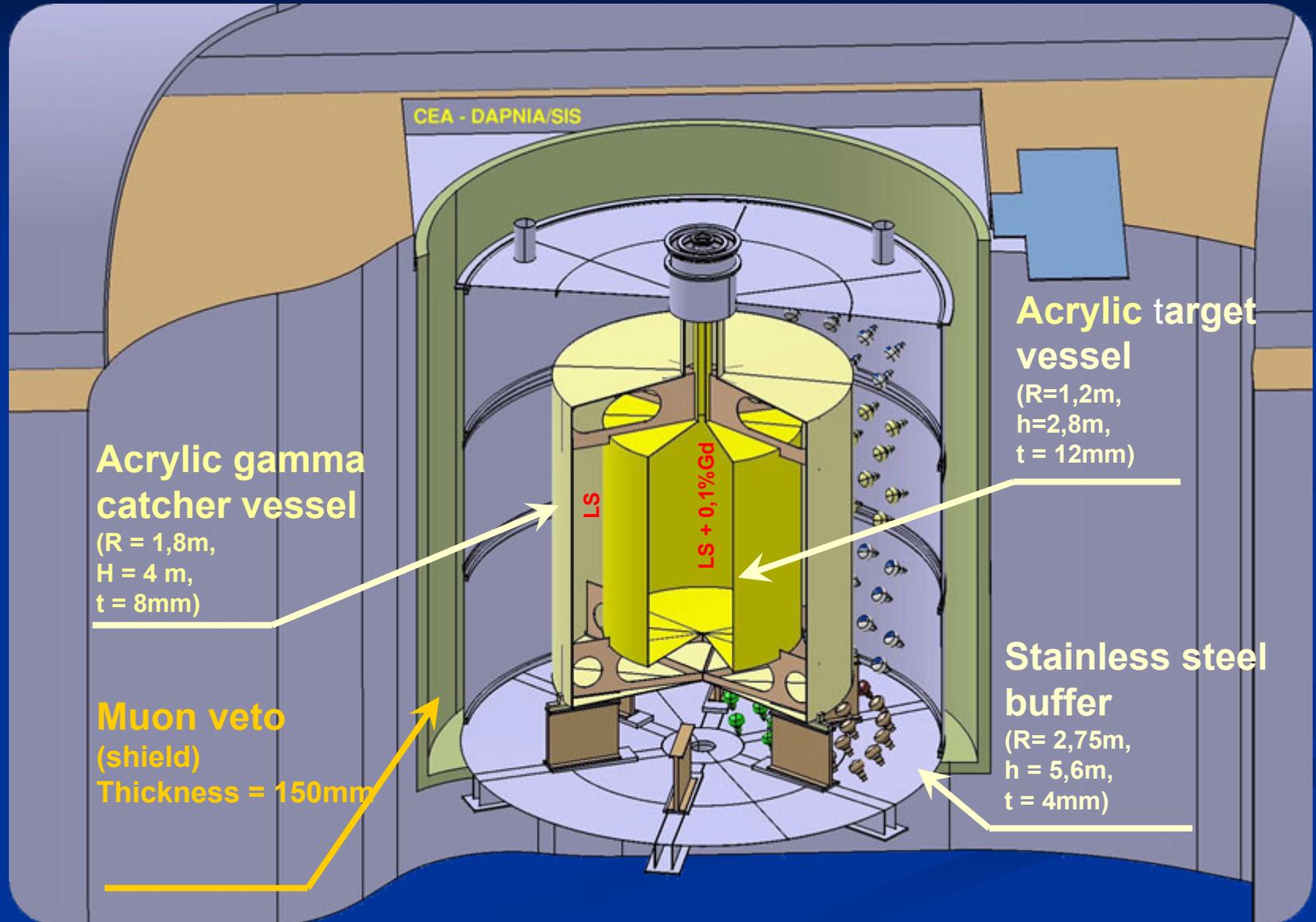
- Sensitivität in $\sin^2(2\theta_{13})$: 0.03 nach 3 Jahren

Double Chooz-Kollaboration

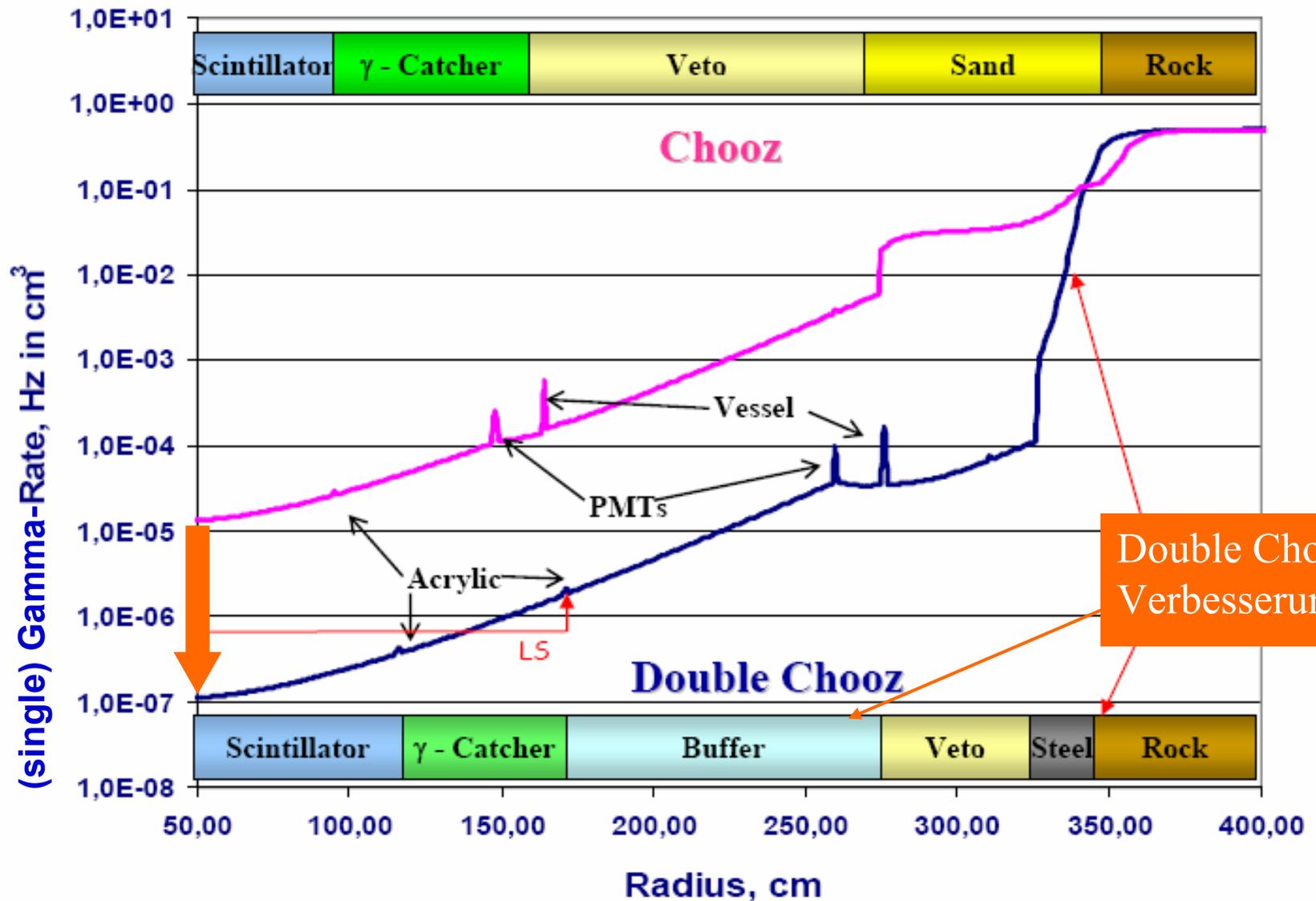


- Spokesman: H. de Kerret (APC)
- **France:** CEA/Dapnia Saclay, APC, Subatech (Nantes)
- **Germany:** MPIK Heidelberg, TU München, EKU Tübingen, Universität Hamburg, Aachen
- **Italy:** LNGS (Gran Sasso)
- **Russia:** RAS, Kurchatov Institute (Moscow)
- **USA:** Alabama, ANL, Drexel, Kansas State, LSU, Notre Dame, Tennessee, LLNL

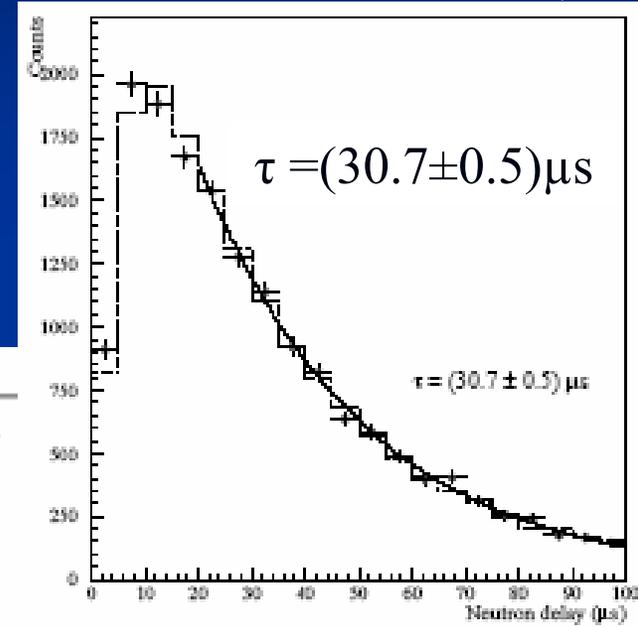
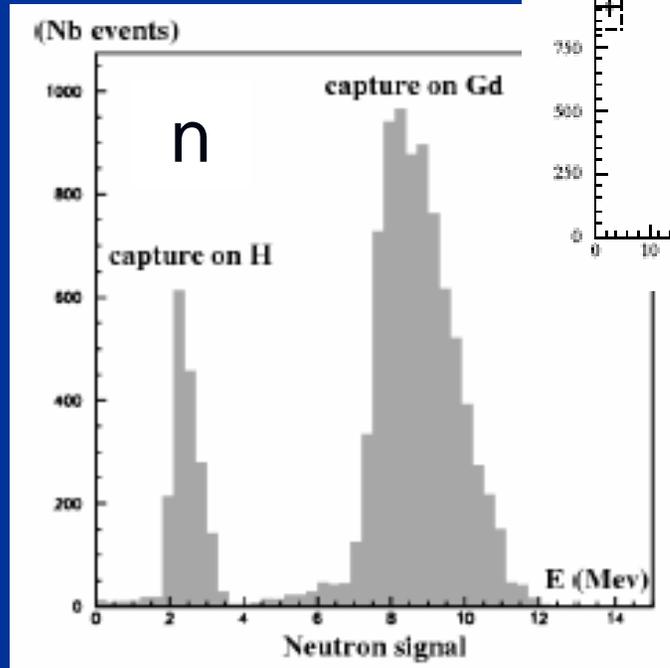
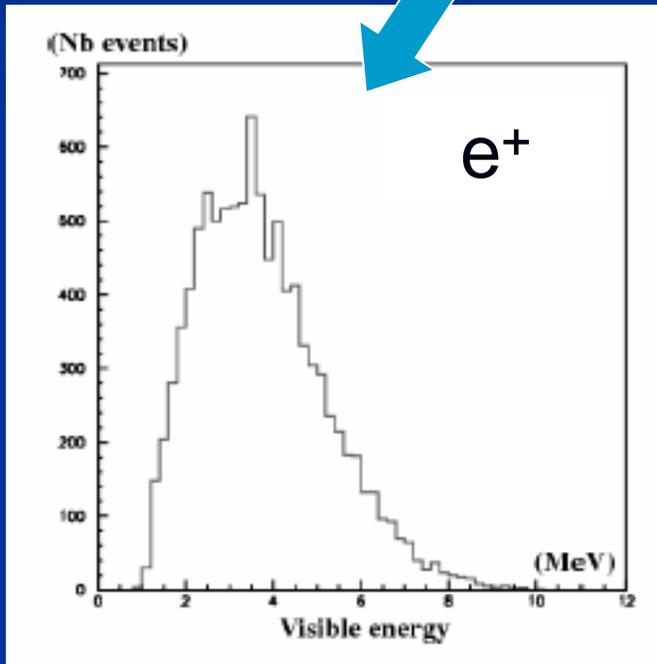
Detektoraufbau Double Chooz



Zufälliger Untergrund

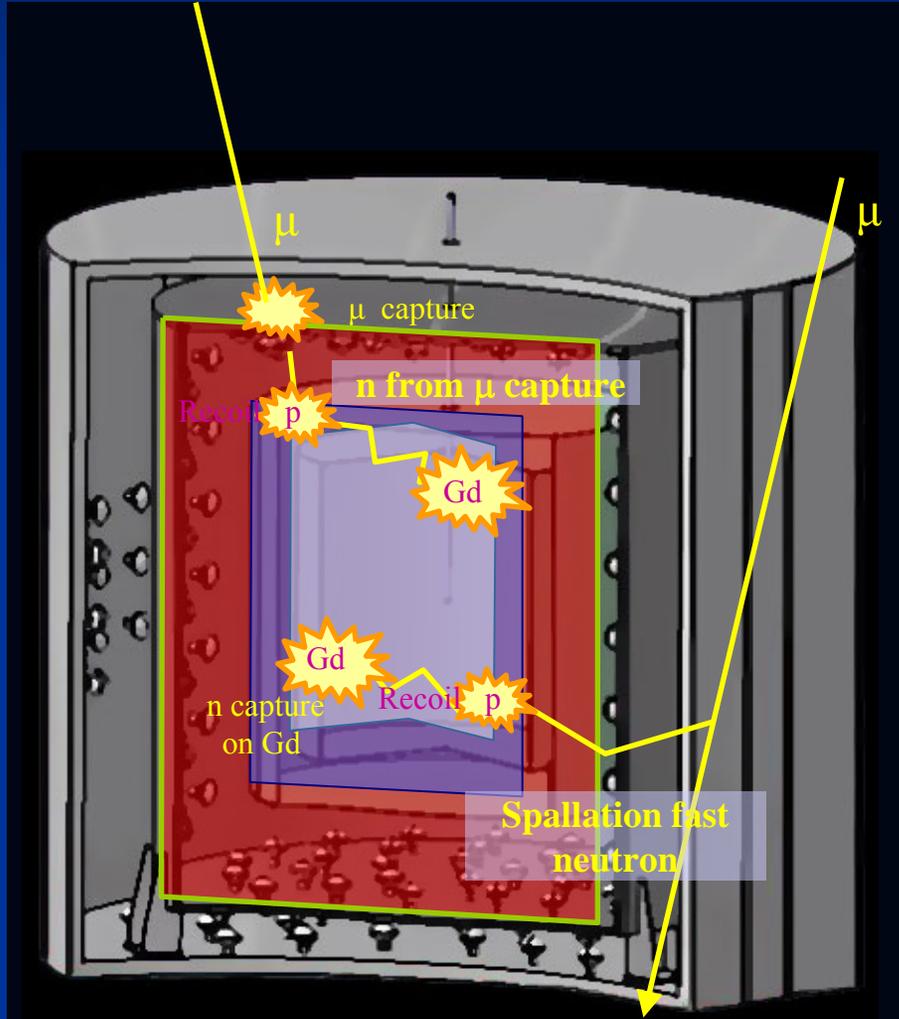


Antineutrino-Spektroskopie



Schwelle: $E_\nu > 1.8 \text{ MeV}$
 $E_\nu = E_{vis} + 0.8 \text{ MeV}$
 $(0.8 \text{ MeV} = m_n - m_p - m_e)$

Korrelierter Untergrund



Untergrundbeitrag durch schnelle Neutronen aus Myon-Einfang und Spallation wurde in Simulationen bestimmt:

Rate der $\bar{\nu}$ -ähnlichen Ereignisse

- zwischen 1 und 8 MeV
- ohne Signal im Myon-Veto

im fernen Detektor (300m.w.e):

$$N_{\text{bck}} < 0.5 \text{ evts/day (90\% C.L.)}$$

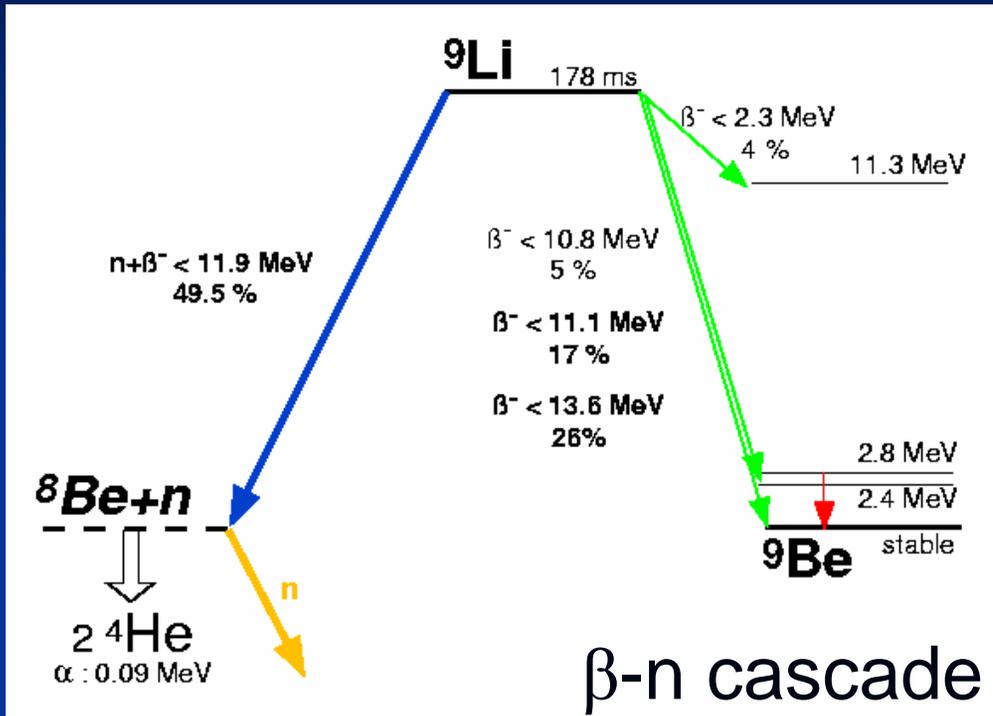
Signal (no osc): $\approx 85 \text{ evts/day}$

im nahen Detektor (60m.w.e):

$$N_{\text{bck}} < 3.2 \text{ evts/day (90\% C.L.)}$$

Signal: $\approx 4000 \text{ evts/day}$

Muon-induzierte Radionuklide



- "lange" Lebensdauern
- erzeugt durch kosmische Myonen am ${}^{12}\text{C}$ des Szintillators (${}^9\text{Li}$, ${}^8\text{He}$, ${}^{11}\text{Li}$)
- Spektrale Form bekannt
- Messung von σ_{prod} am SPS des CERN mit $\langle E_{\mu} \rangle = 190\text{ GeV}$
T. Hagner et al., *Astropart. Phys.* 14, 33 (2000)

- Daten aus CHOOZ, CTF und KamLAND

Isotopes	Near detector		Far detector	
	R_{μ} ($E^{0.75}$ scaling)	R_{μ} ($E > 500\text{ GeV}$)	R_{μ} ($E^{0.75}$ scaling)	R_{μ} ($E > 500\text{ GeV}$)
${}^9\text{Li}$	17 ± 3	3.6	1.7 ± 0.3	0.36
${}^8\text{He}$	${}^8\text{He}$ & ${}^9\text{Li}$ measured together			

per day

Anteil sollte mit 50% Genauigkeit gemessen werden

S/B: > 100:1 > 50:1

Double Chooz working groups

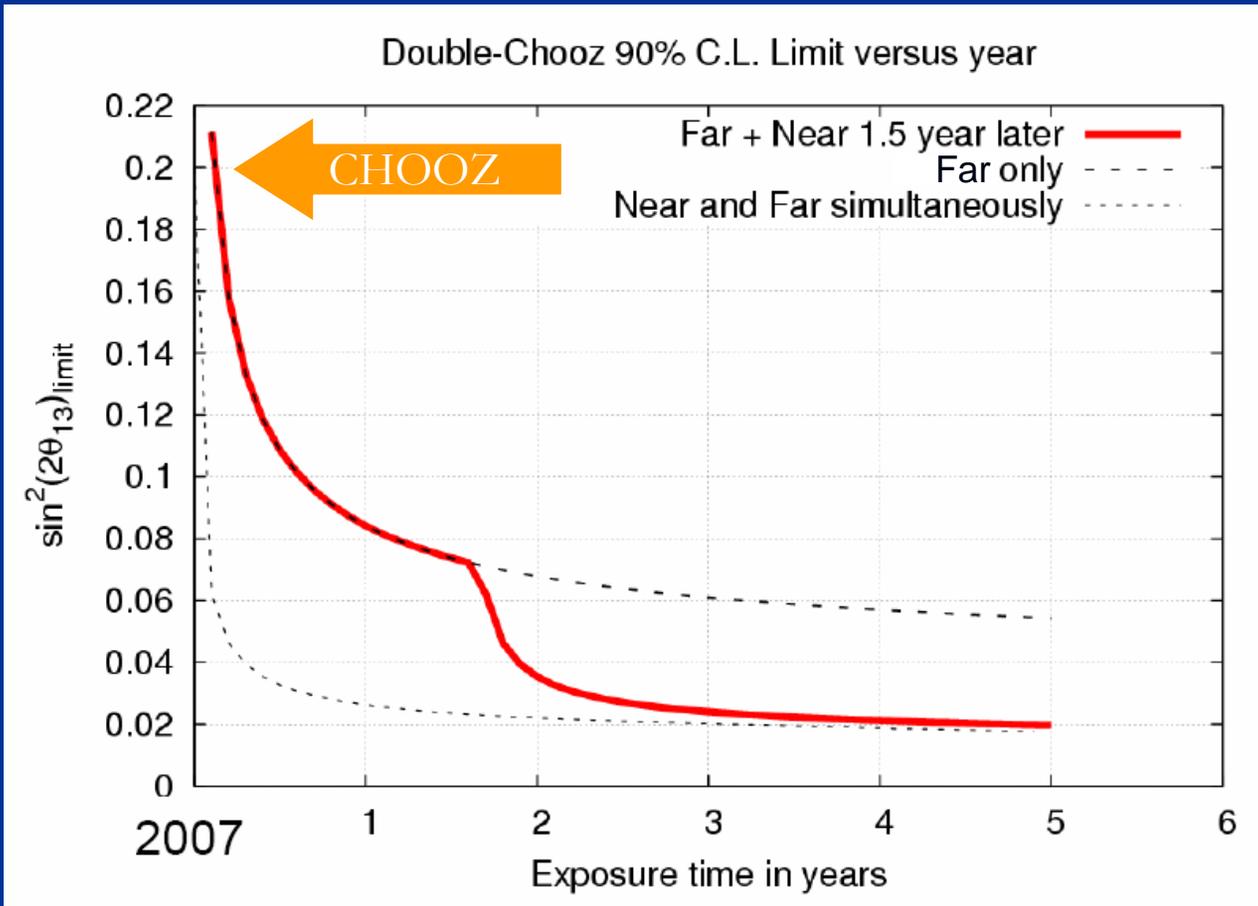
- Szintillator: Gd-Beladung, Stabilität, chemische Kompatibilität
- Kalibration
- Myonen-Veto und kosmogener Untergrund
- Photo-Multiplier-Tubes
- Elektronik
- ...

- Maßstab-1:5 Modell
- Design Report



Das Signal: $\bar{\nu}_e$ disappearance

- Abweichung vom $1/r^2$ -Verhältnis
- Verbesserte Statistik: 60.000 Events im fernen Detektor ($\sigma_{\text{stat}} = 0.4\%$), 3 Mio. Events im nahen Detektor (3 Jahre)
- Abweichung in der spektralen Form



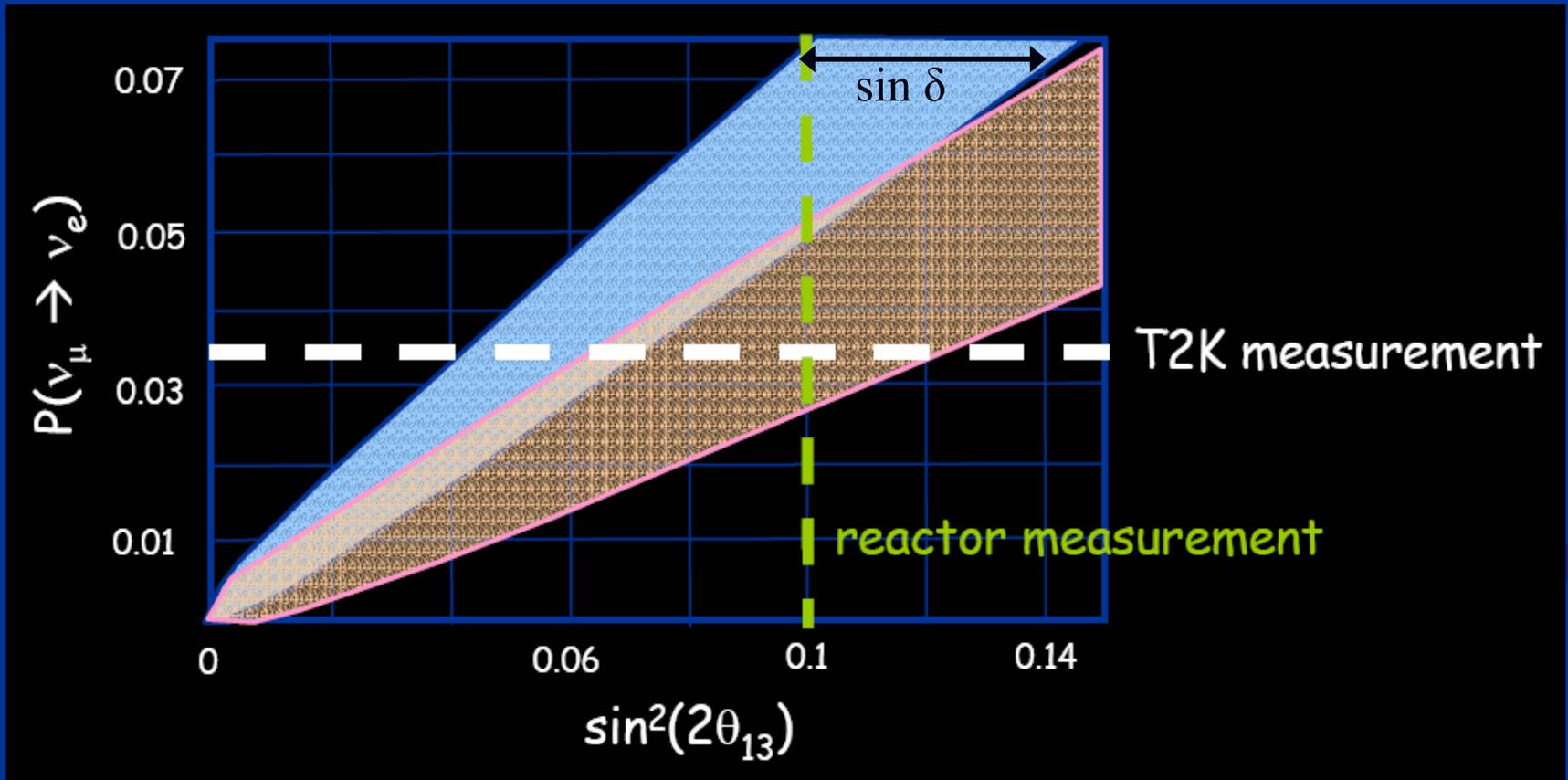
Sensitivität
in $\sin^2(2\theta_{13})$

0.05 2009 (1yr)

<0.03 2011 (3yrs)

Synergie Reaktor - Long Baseline

- Schlüsselrolle von θ_{13} für CP- δ -Experimente und Massenhierarchie
- Korrelation/Entartung bei LBL-Experimenten
- Unabhängige und komplementäre Information aus Reaktorexperiment
→ "echte" (unzweideutige, unkorrelierte) θ_{13} -Messung



Zusammenfassung

- Suche nach dem letzten unbestimmten Mischungswinkel der leptonischen Mischungsmatrix
- θ_{13} wichtig für die Suche nach CP-Verletzung im ν -Sektor
- Synergie zwischen Reaktor- und Long Baseline-Experimenten
- Die **Messung von θ_{13} / Verbesserung des $\sin^2(2\theta_{13})$ -Limits** um eine Größenordnung auf 0.03 (90% C.L., $\Delta m^2_{23} = 2.0 - 2.8 \cdot 10^{-3} \text{ eV}^2$) ist mit dem Reaktorneutrino-Experiment Double-Chooz möglich.
- Erste Resultate 2009
- US/Europäische Double-Chooz Kollaboration
- Letter of Intent: **hep-ex/0405032**