

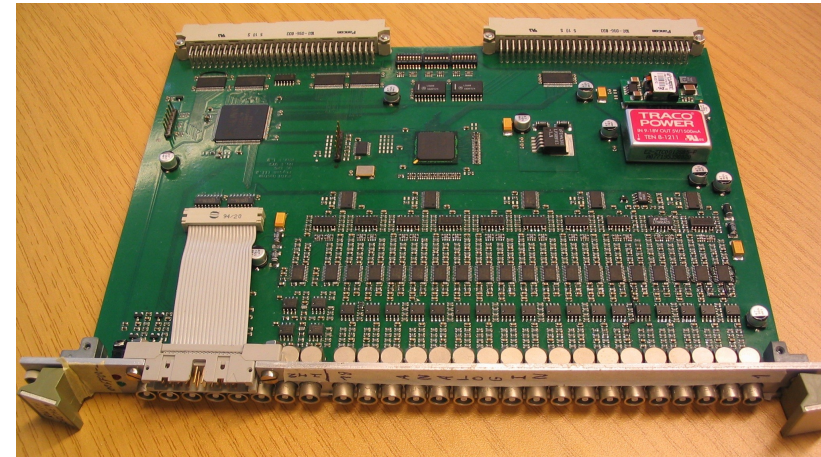


Das Double Chooz Experiment und sein Level-1 Trigger System



Gliederung:

- Neutrinooszillationen
- das Double Chooz Experiment
- Level-1 Trigger System



Trigger Board

Franz Beissel, Eric Bock, Andi Cucoanes,
Bernd Reinhold, Stefan Roth, Achim Stahl
und Christopher Wiebusch
III. Physikalisches Institut B,
RWTH Aachen



AKW in Chooz (F)



Neutrino-Mischung

- 3 Flavour–Eigenzustände: ν_e, ν_μ, ν_τ (bei Erzeugung)
- 3 Masseneigenzustände: ν_1, ν_2, ν_3
- Flavour–Eigenzust. $\neq$ Masseneigenzust.
- PMNS Matrix (analog zur CKM–Matrix)

$$\begin{pmatrix} \nu_e \\ \nu_\mu \\ \nu_\tau \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} U_{e1} & U_{e2} & U_{e3} \\ U_{\mu 1} & U_{\mu 2} & U_{\mu 3} \\ U_{\tau 1} & U_{\tau 2} & U_{\tau 3} \end{pmatrix} \begin{pmatrix} \nu_1 \\ \nu_2 \\ \nu_3 \end{pmatrix}$$

PMNS: Pontecorvo, Maki, Nakagawa, Sakata



Parametrisierung der PMNS-Matrix

$$\begin{pmatrix} \nu_e \\ \nu_\mu \\ \nu_\tau \end{pmatrix} = \underbrace{\begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & c_{23} & s_{23} \\ 0 & -s_{23} & c_{23} \end{pmatrix}}_{\substack{\text{atmosphärische } \nu \\ + \text{ K2K} \\ \Delta m^2_{\text{atm}} \\ \theta_{23} = (45 \pm 7)^\circ}} \underbrace{\begin{pmatrix} c_{13} & 0 & s_{13} e^{-i\delta} \\ 0 & 1 & 0 \\ -s_{13} e^{i\delta} & 0 & c_{13} \end{pmatrix}}_{\substack{\theta_{13} \\ ?}} \underbrace{\begin{pmatrix} c_{12} & s_{12} & 0 \\ -s_{12} & c_{12} & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{pmatrix}}_{\substack{\text{solare } \nu + \text{ KamLand} \\ \Delta m^2_{\text{sol}} \\ \theta_{12} = (33 \pm 3)^\circ}} \begin{pmatrix} \nu_1 \\ \nu_2 \\ \nu_3 \end{pmatrix}$$

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

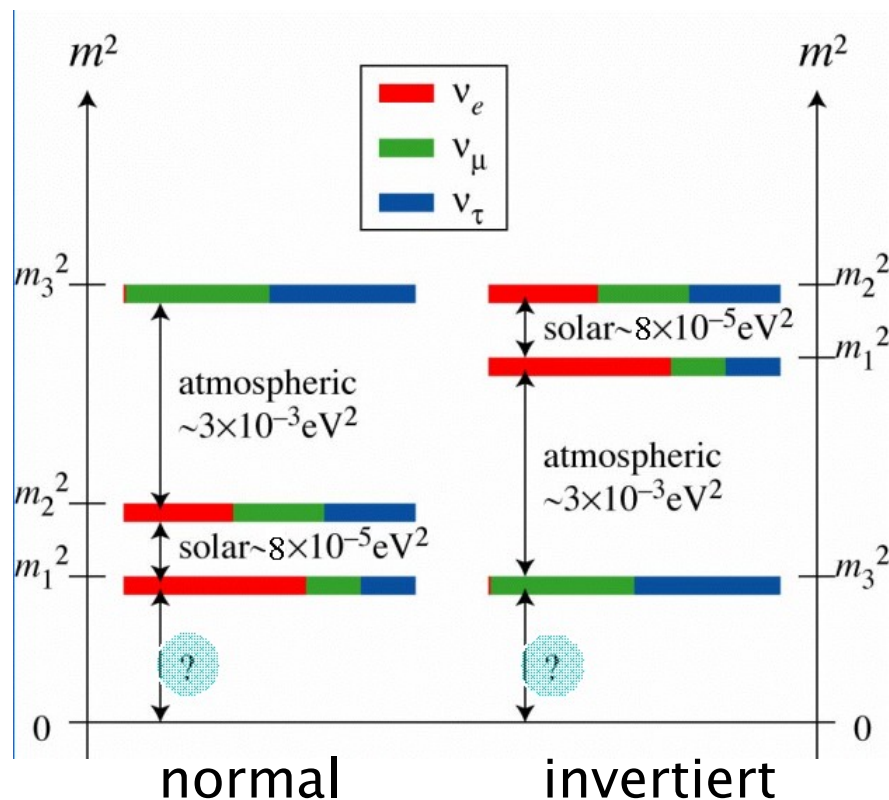
von T. Lachenmaier, Tübingen

Majorana-Phasen spielen für Neutrinooszillationen keine Rolle



Massenhierarchie

- $\Delta m_{ij}^2 := \Delta m_i^2 - \Delta m_j^2$
- normal oder invertiert?
- degenerierte Massen?
- $\Delta m_{sol}^2 \ll \Delta m_{atm}^2$
- $\alpha := \Delta m_{sol}^2 / \Delta m_{atm}^2 \approx 3\%$
- aktuelle Messungen:
z.B. MINOS, KamLAND





Mischungswinkel

(von 2004, nicht ganz aktuell)

$$(\sin^2 2\theta_{23})_{\text{SK-L/E}} = 1_{-0.1}^{+0} \quad (\text{beinahe) maximal}$$

$$\sin^2(2\theta_{12}) = 0.8_{-0.2}^{+0.2} \quad \text{gross, aber nicht maximal}$$

$$\boxed{\sin^2(2\theta_{13}) < 0.20} \quad (90 \% \text{ C.L.}), \quad \text{Chooz, 1998}$$

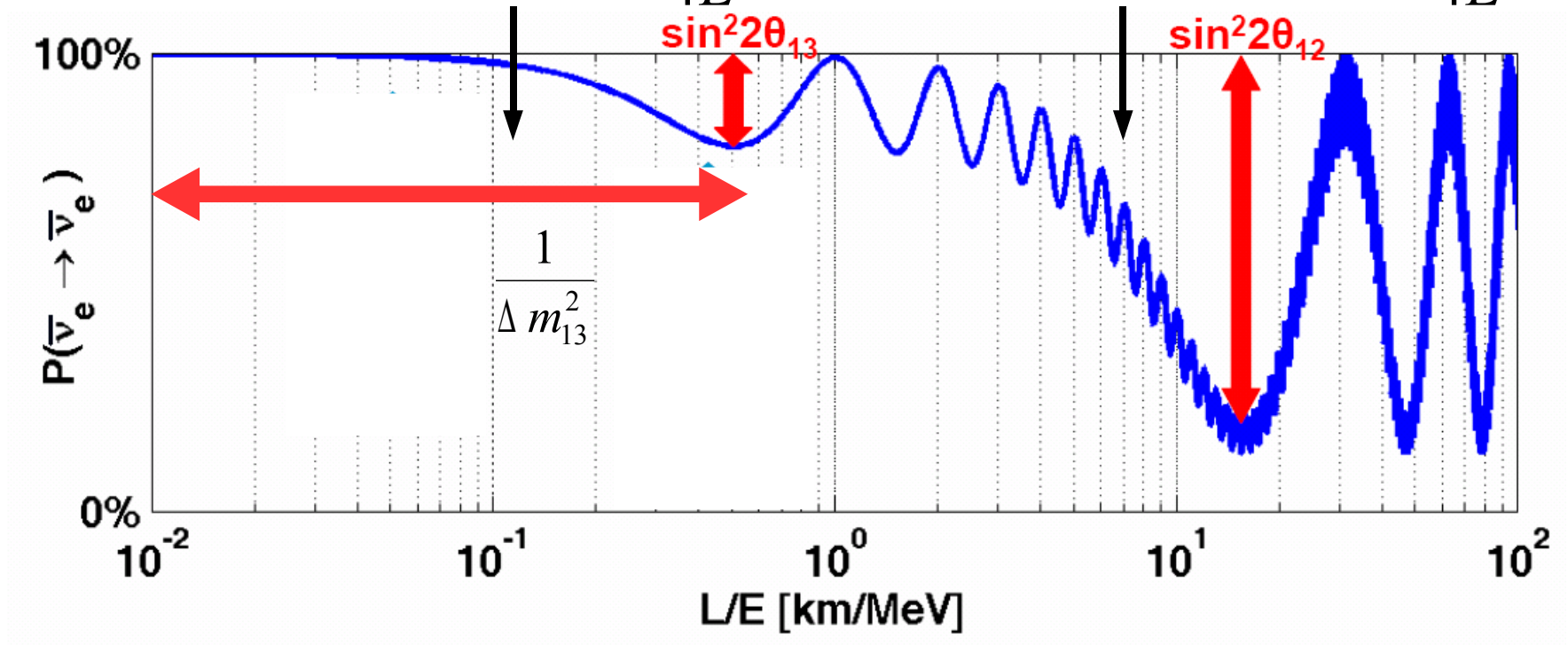
assuming $\Delta m_{\text{atm}}^2 = 2.0 \cdot 10^{-3} \text{ eV}^2$

- $\sin^2 2\theta_{13}$ ist klein, noch unbestimmt
- => $\sin^2 2\theta_{13}$ ist nächste wichtige Hürde in der Neutrino-physik



Disappearance-Wahrscheinlichkeit

$$P_{\bar{\nu}_e \rightarrow \bar{\nu}_e} \approx 1 - \sin^2 2\theta_{13} \cdot \sin^2\left(\frac{\Delta m_{13}^2 \cdot L}{4E}\right) - \cos^4 \theta_{13} \sin^2 2\theta_{12} \sin^2\left(\frac{\Delta m_{12}^2 \cdot L}{4E}\right)$$

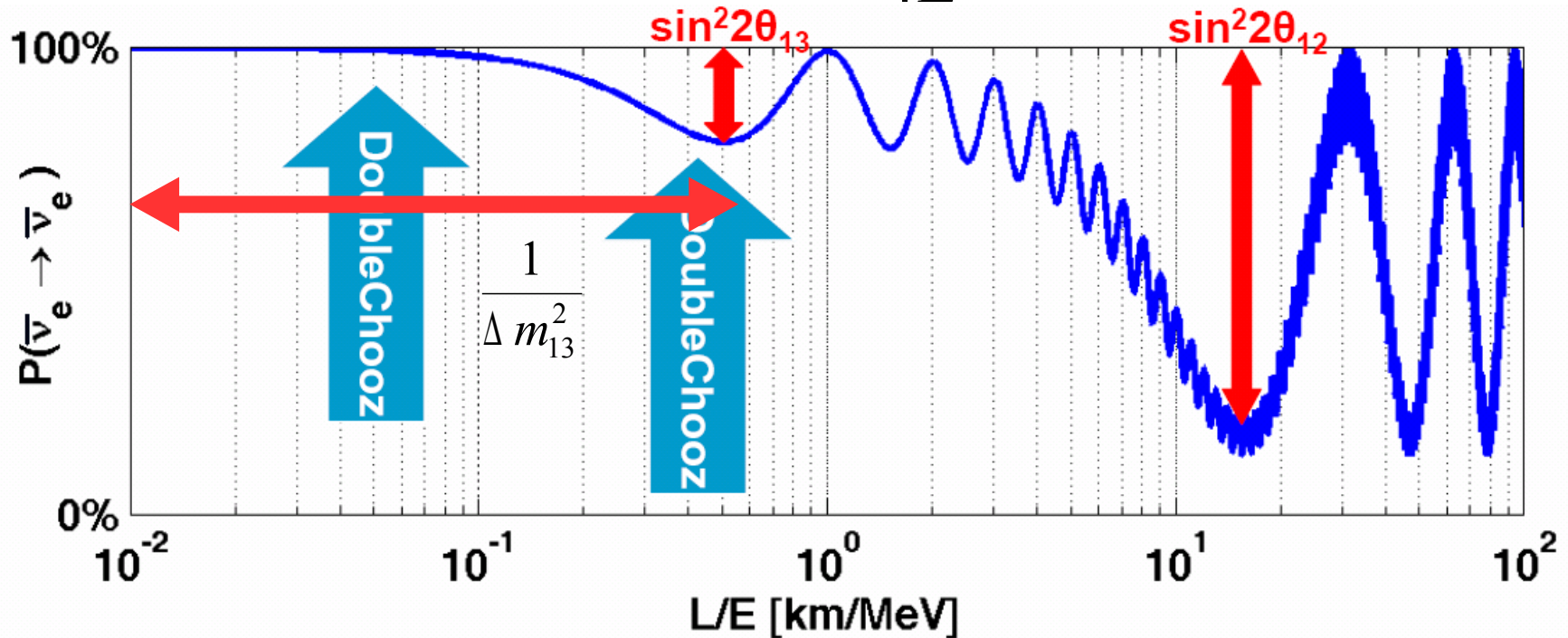


$1/\Delta m_{31}^2$: 'Wellenlänge' der Oszillation
 $\sin^2 2\theta_{13}$: Amplitude der Oszillation



Double Chooz

$$P_{\bar{\nu}_e \rightarrow \bar{\nu}_e} \approx 1 - \sin^2 2\theta_{13} \cdot \sin^2\left(\frac{\Delta m_{13}^2 \cdot L}{4E}\right) - [\text{kleine Korr.}]$$

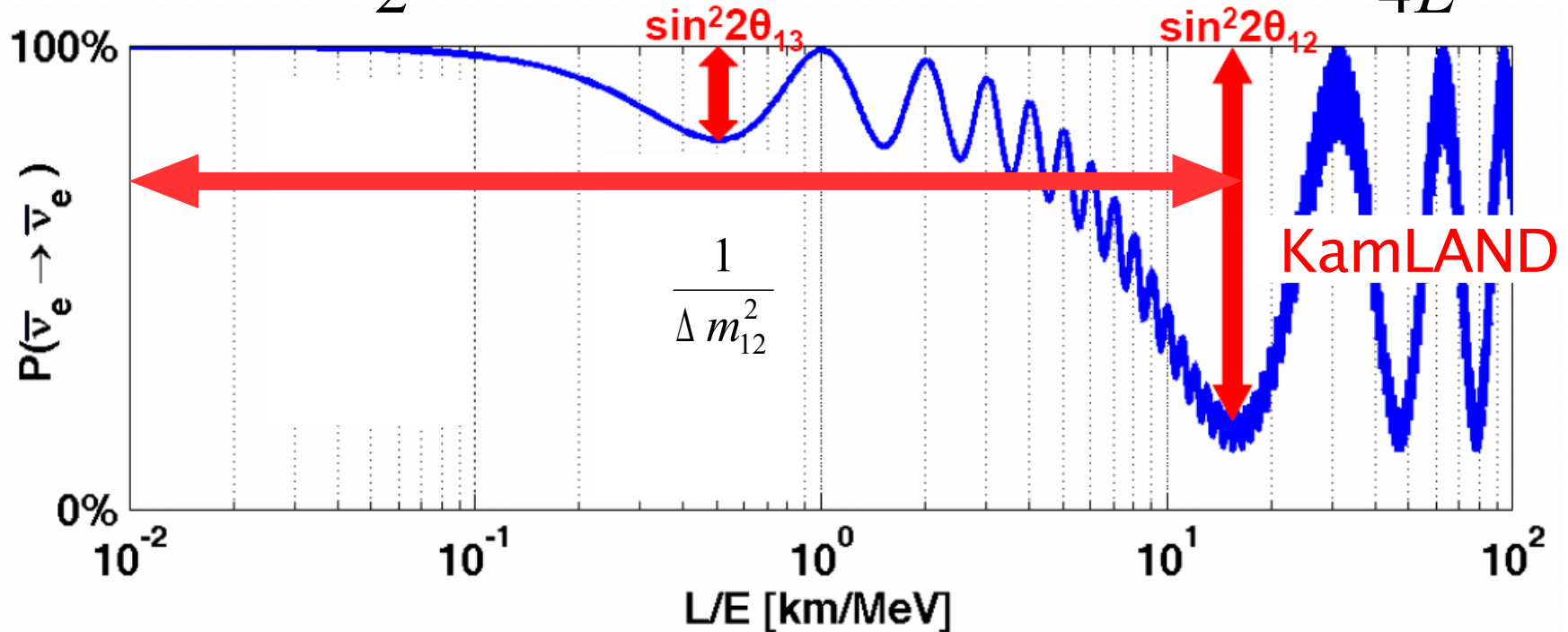


Double Chooz: $L/E \approx 0.5\text{--}0.13 \text{ km/MeV}$ ($L \approx 1 \text{ km}$, $E = 2\text{--}8 \text{ MeV}$)
 $\Rightarrow$ Sensitiv auf $\sin^2 2\theta_{13}$ und Δm_{31}^2



KamLAND

$$P_{\bar{\nu}_e \rightarrow \bar{\nu}_e} \approx 1 - \frac{1}{2} \sin^2 2\theta_{13} - \cos^4 \theta_{13} \sin^2 2\theta_{12} \sin^2 \left(\frac{\Delta m_{12}^2 \cdot L}{4E} \right)$$



Kamioka-Liquid-Scintillator-AntiNeutrino-Detector (Japan)

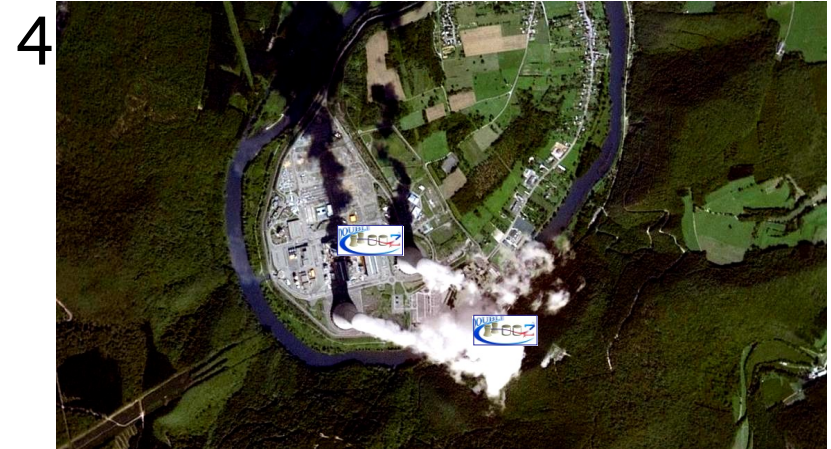
$L/E \approx 90-20 \text{ km/MeV}$ ($L \approx 180 \text{ km}$, $E = 2-8 \text{ MeV}$)

$\Rightarrow$ Sensitiv auf $\sin^2 2\theta_{12}$ und Δm_{12}^2

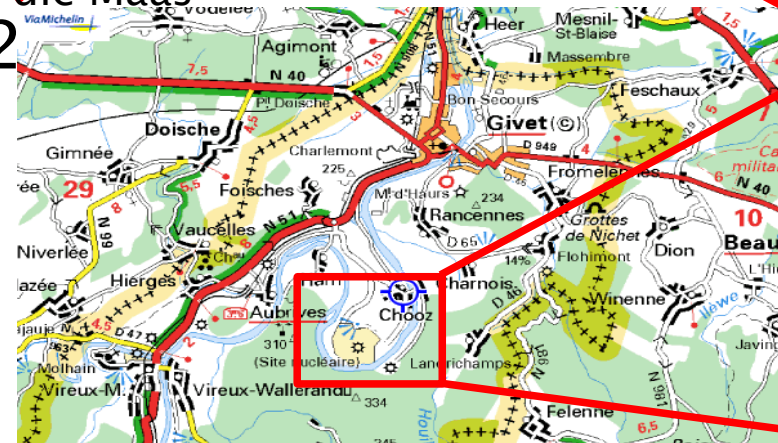


Im Anflug auf Chooz (den Ort und das Experiment)

Chooz (Frankreich)



die Maas



2 Reaktorkerne: 2 Neutrino-Quellen





Zwei Detektoren-Konzept



identischer Near Detektor (ND) und Far Detektor (FD)
FD an gleicher Stelle wie CHOOZ Detektor, ND neu
ND dient zur Messung des Neutrinoflusses
(immer frei von Oszillationen)



ND

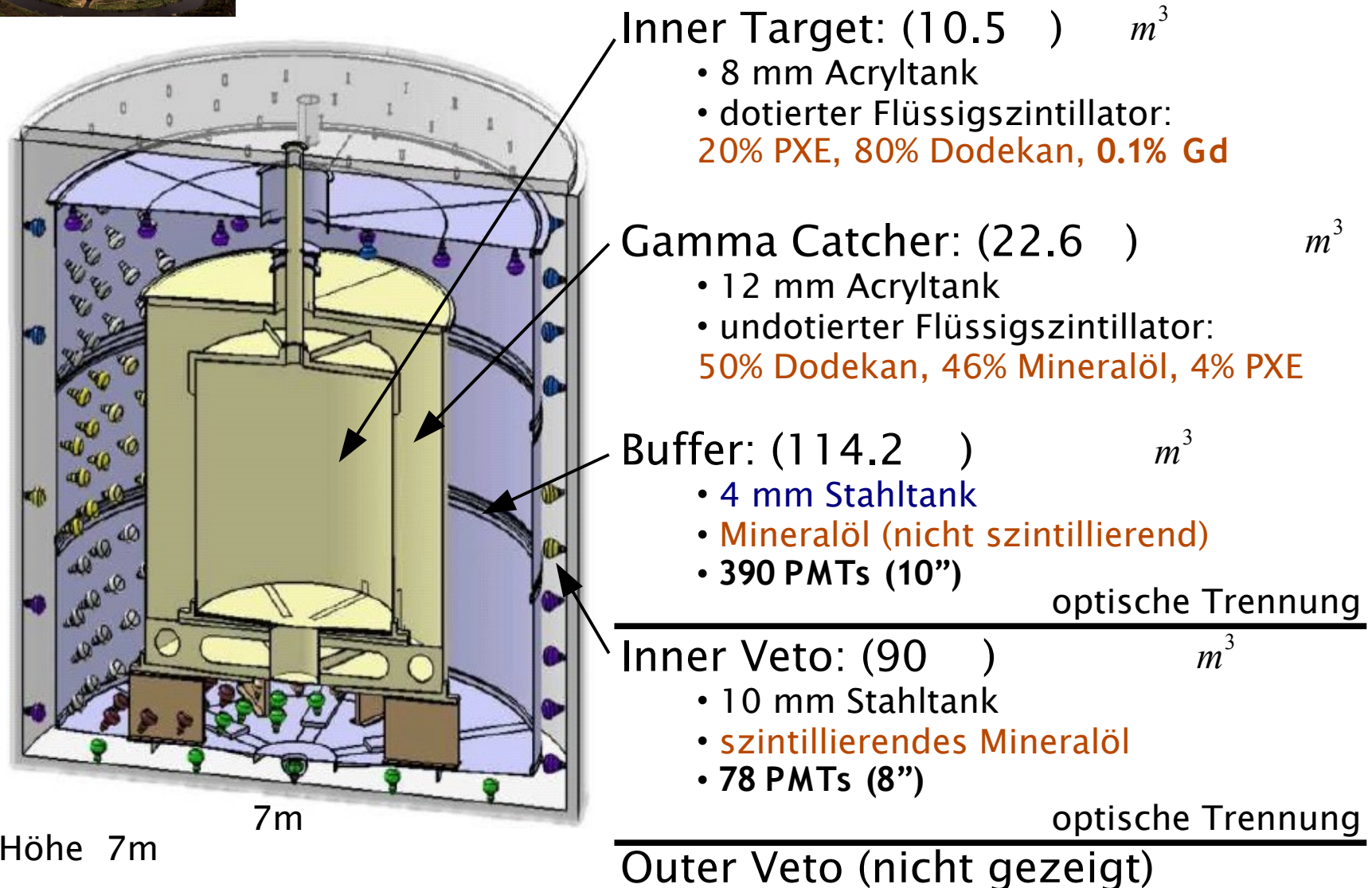


FD

FD-Messung würde durch Oszillationen beeinflusst



DC Detektor-Design





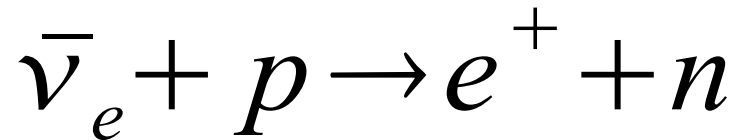
Flüssig-Szintillator

- Gadolinium-dotierter Flüssigszintillator im Target:
20% PXE ($C_{16}H_{18}$, Szintillator), 80% Dodekan ($C_{12}H_{26}$), 0.1 Massen-% Gd
- Umwandlung der dep. Energie in Photonen
=> Photonenzählung
- Gute Energieauflösung (10 % bei 1 MeV)
- Niedrige Energieschwelle
- Positionsauflösung: $\sim 10\text{--}15\text{ cm}$
- keine Richtungsrekonstruktion von Gammas

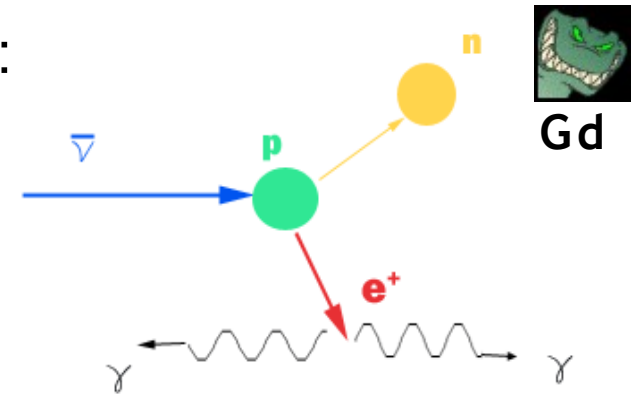


Nachweis-Reaktion der $\bar{\nu}$

- Nachweis über inversen Beta-Zerfall:



(Reines-Cowan-Experiment)

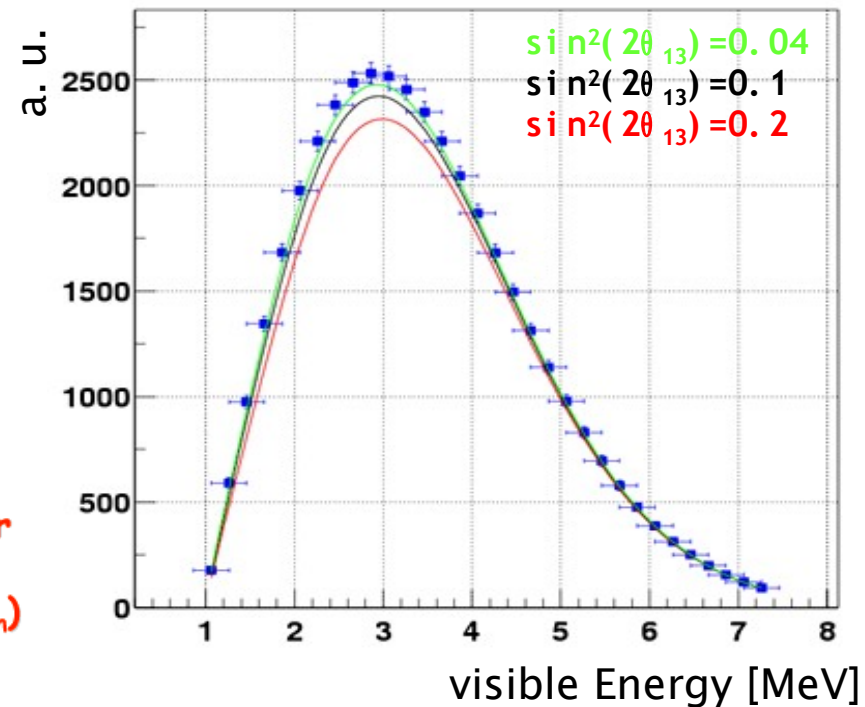
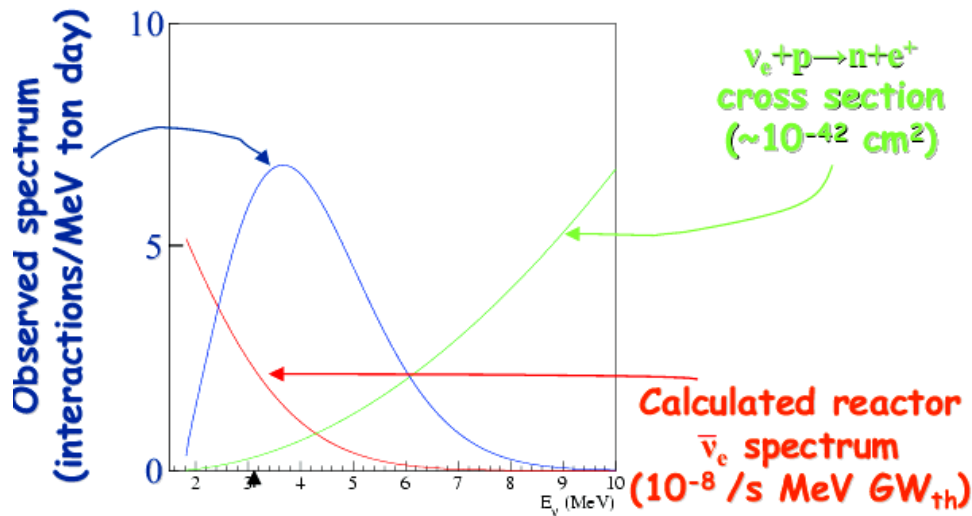


- Prompte Positronannihilation ($1.022 \text{ MeV} + E_{\text{kin}}$ des $\bar{\nu} - Q$)
- Neutron-Einfang auf Gadolinium-Kern (Gd): 8 MeV, Zeitkonstante: $\sim 30 \mu\text{s}$
- $\bar{\nu}$ -Event: Positron-like Event (0.5–8 MeV) gefolgt von Neutron-like Event (6–50 MeV Signal) innerhalb $200 \mu\text{s}$



Zählexperiment, Kalorimeter

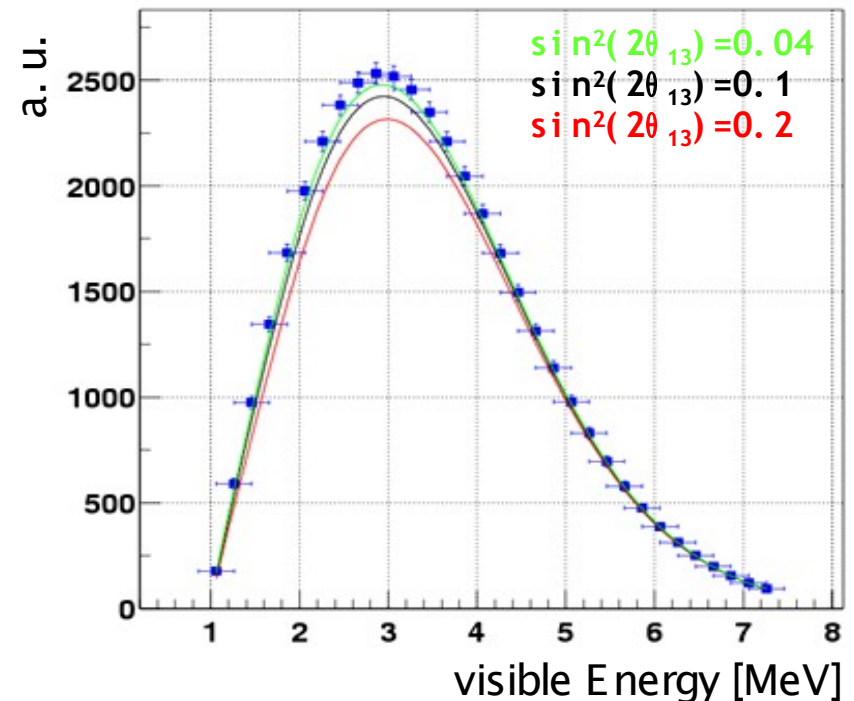
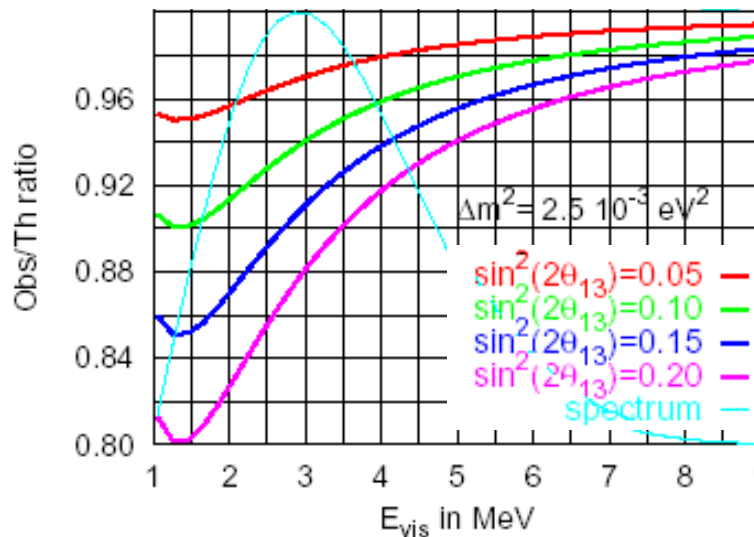
- Neutrinoereignisse zählen
- Neutrinospektrum => Positronenspektrum





Kalorimeter

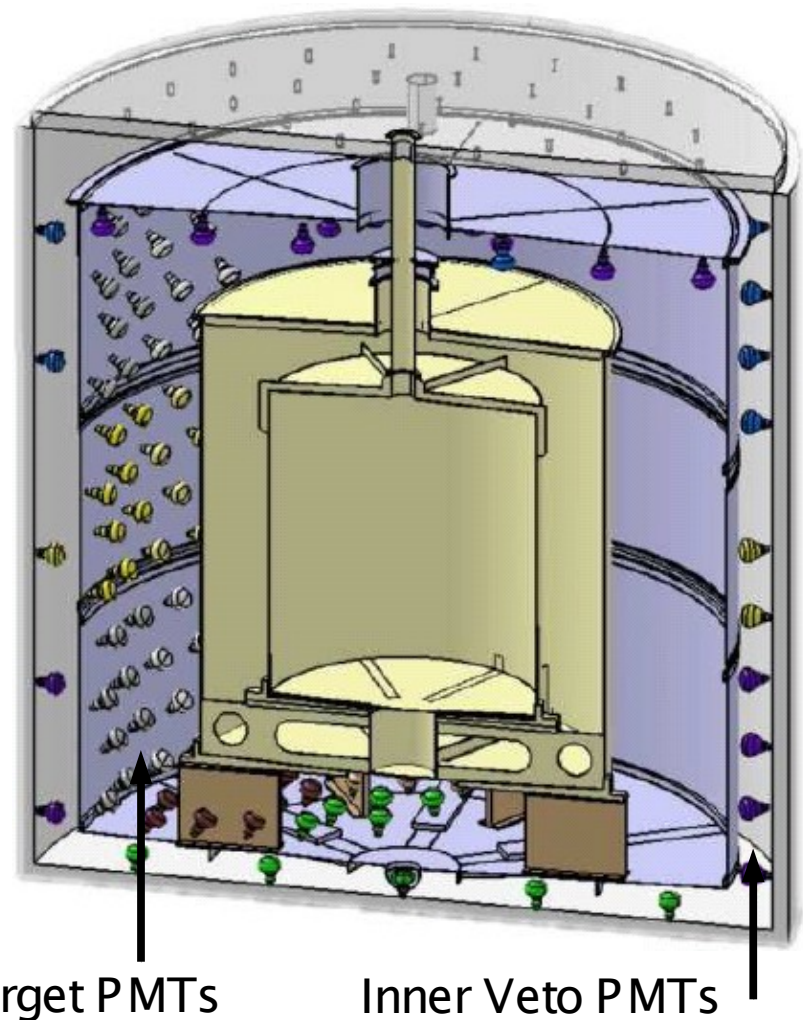
- Verformung des Positronspektrums, abhängig von $\sin^2 2\theta_{13}$ und Δm_{31}^2
- steigende Flanke des Positronspektrums (1–3 MeV) am sensitivsten auf $\sin^2 2\theta_{13}$





Aufgaben des L1-Trigger

- Bildung eines Triggers basierend auf 'Inner Target'- & 'Inner Veto'-Signalen
- Vorklassifikation der Ereignisse für den Level 2-Trigger (Erzeugung eines 32 bit Triggerwort)
- Bereitstellung der Zeitreferenz: 62.5 Mhz Clock (16 ns Takt)



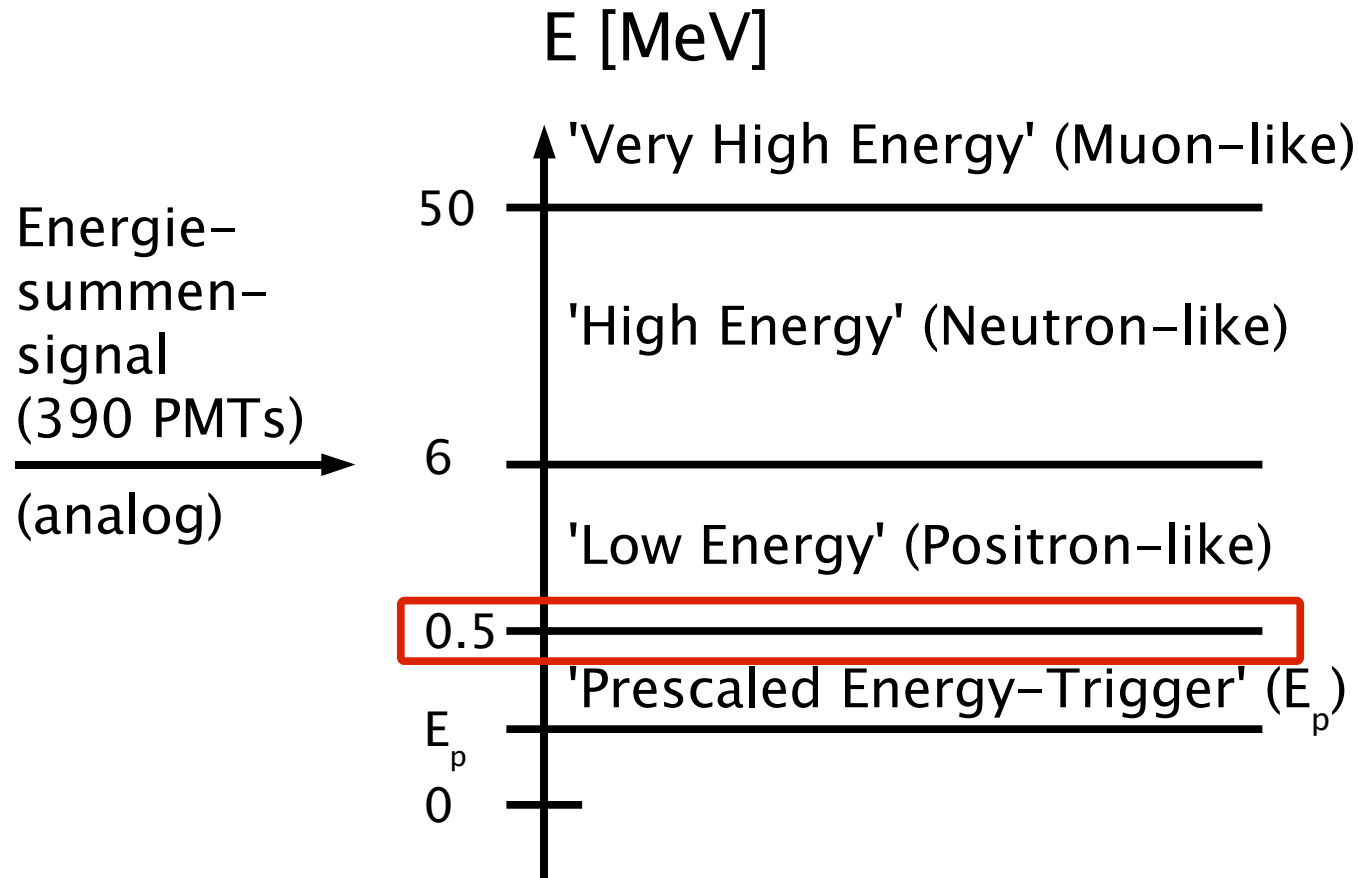
Inner Target PMTs

Inner Veto PMTs



Gesamtenergie

Trigger Bedingungen im TB (1)





Zusammenfassung

- Bestimmung von $\sin^2 2\theta_{13}$ wichtiger nächster Schritt für Neutrino-physik (da noch unbestimmt)
- Double Chooz erlaubt direkte Messung von $\sin^2 2\theta_{13}$
- Trigger auf *Gesamtenergie*
- Start Datennahme in 2009



Unsere Kollaboration



(Zumindest ein Teil)



Ende (des Vortrags)

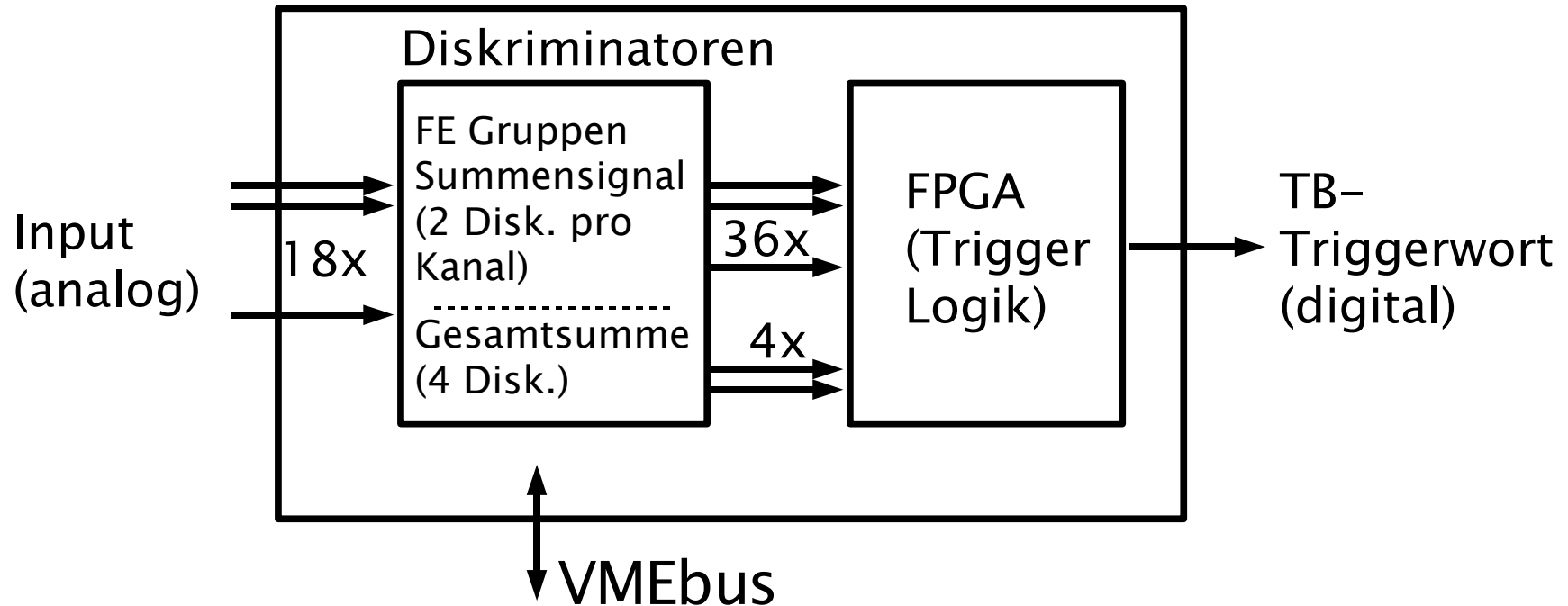
Siehe auch Vortrag von Christoph Aberle



Appendix



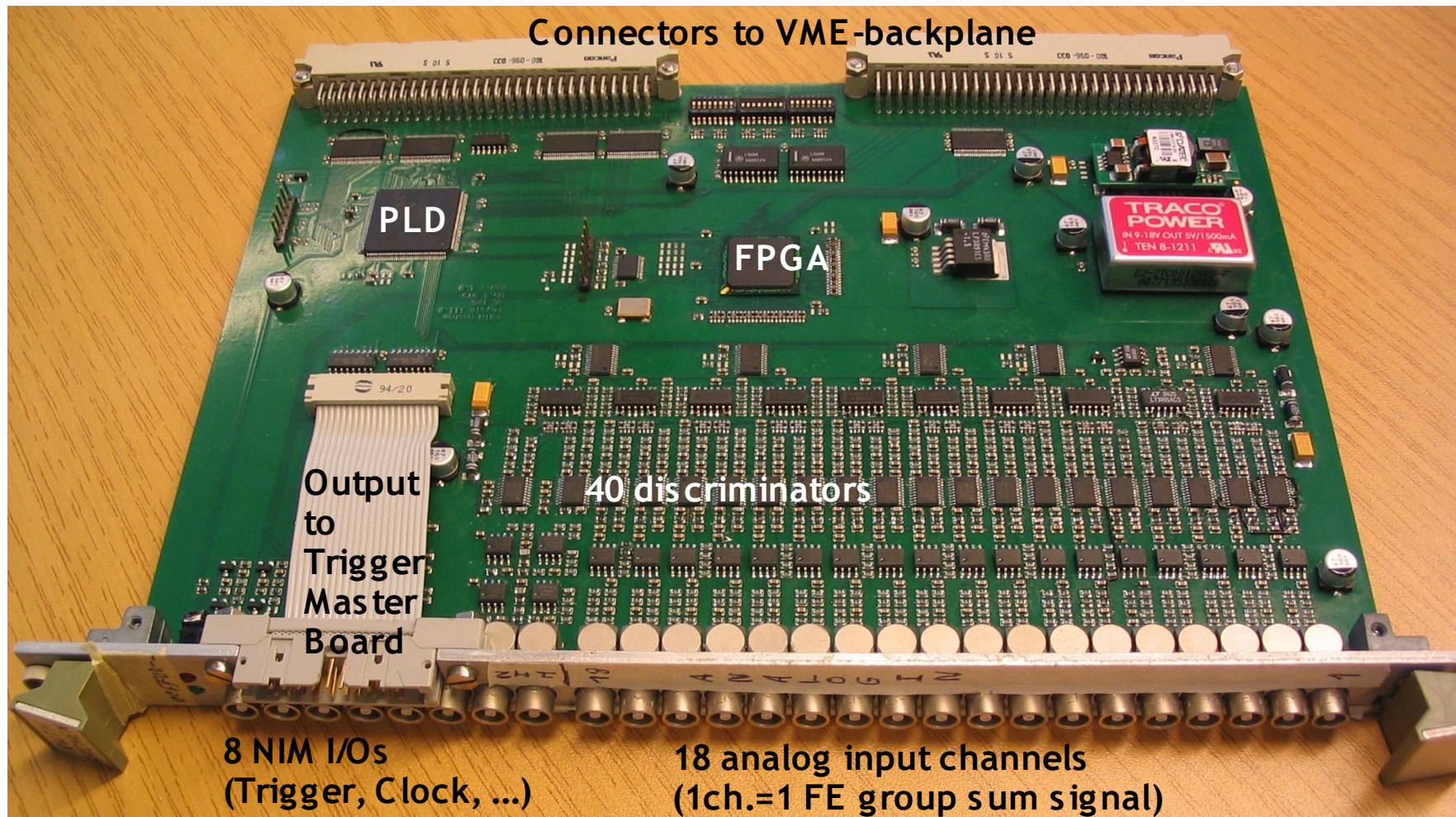
Trigger Board (schematisch)



- Ein FPGA (field programmable gate array) – das Gehirn des Trigger Board, enthält z.B. die Trigger-Logik und einen FIFO-Speicher
- FPGA reprogrammierbar => Flexibilität
- Konfiguration und Auslese via VMEbus



Das Trigger Board

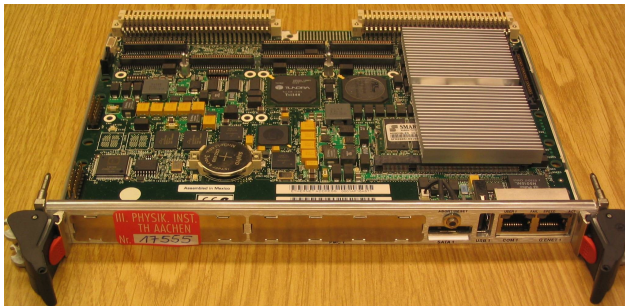




L1 Trigger System (1)

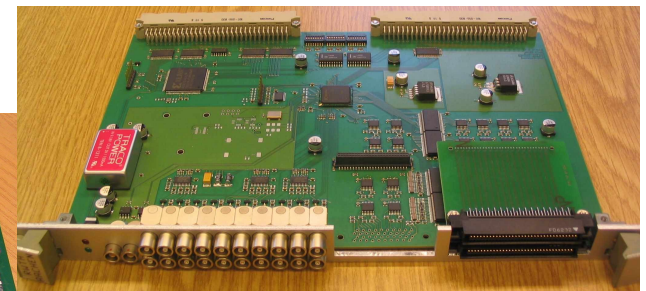
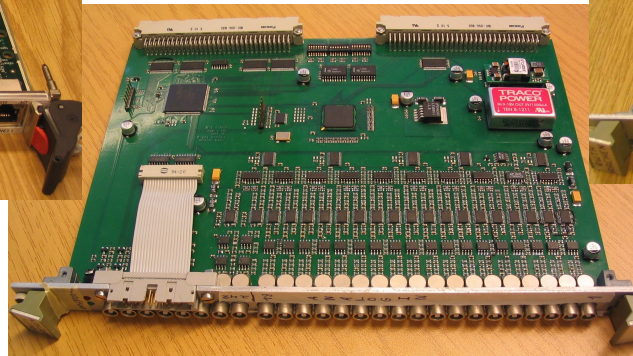
Nah- (ND) und Fern-Detektor (FD) haben jeweils ihr eigenes Trigger System, bestehend aus:

- 1 VME-controller (Motorola MVME3100, *vorhanden*)
- 3 TBs: 2 für das Inner Target, 1 für das Inner Veto, *vorh.*)
- 1 Trigger Master Board (TMB, *kurz vor Fertigstellung*)



MVME3100

TB



TMB



L1 Trigger System (2) **RWTH**

- Fan Outs für Trigger, Triggerwort, Eventnummer (*geplant*)
- Bereitstellung der 62,5 Mhz Clock (16 ns) für alle Subdetektoren (durch TMB)
- 1 VME crate
- 1 Absolute Timing Unit (ATU, *geplant*):
liefert absolute (Uhr)Zeit (z.B. via GPS)
verwendbar zur Synchronisation von ND und FD



- Inner Target L1 Trigger Simulation: Triggerbed., Triggereffizienzen, Grouping,... (*Andi Cucoanes*)
- PCB-Design und FPGA-Programmierung (*F. Beissel*)
- Aufbau und Betrieb einer lichtdichten Testbox (*N. Raab*)
- Supernova-Neutrinos (*Stefan Bricken*)
- VME Auslese des TB und Test des TriggerBoards (*B. R.*)
- Betreuung: *Dr. S. Roth, Prof. A. Stahl, Prof. C. Wiebusch*

PCB – Printed Circuit Board, FPGA – Field Programmable Gate Array