

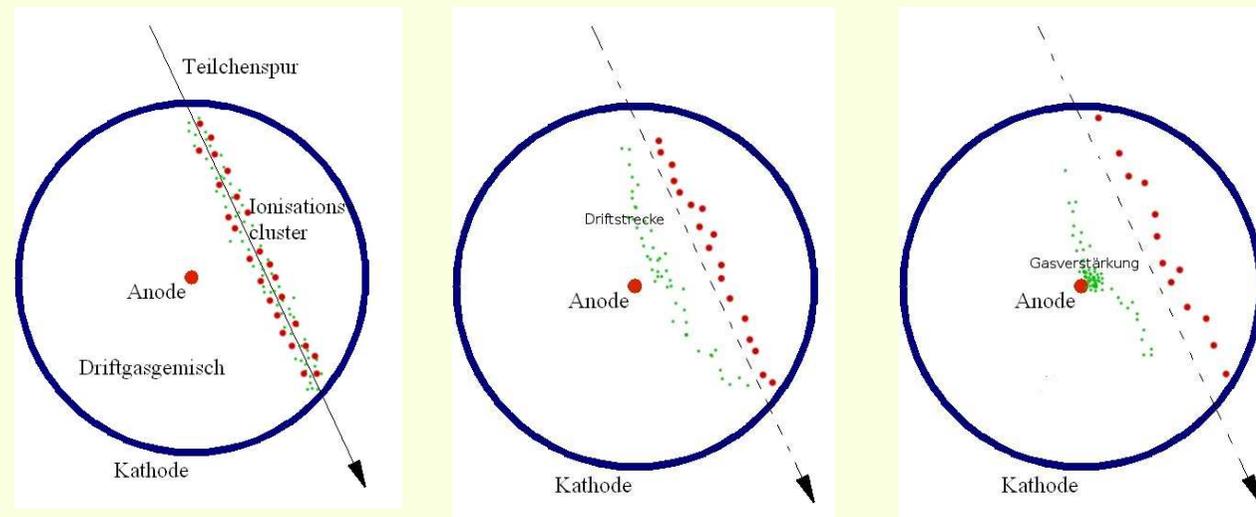
Untersuchungen zum Triggertiming für das OPERA- Driftröhrenspektrometer



Warum sind diese Untersuchungen notwendig?

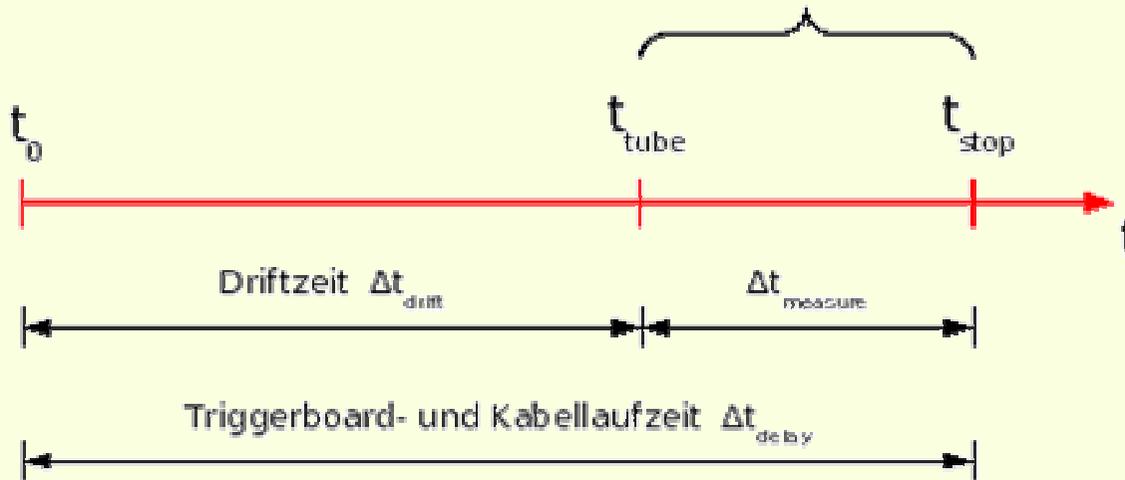
Das OPERA-Driftröhrensystem (Precision-Tracker, PT) soll mit hoher Präzision (Auflösung besser als $300\mu\text{m}$) die Spur von Myonen vermessen können...

Das dazu verwendete Verfahren basiert auf einer exakten Driftzeitmessung (Auflösung 2-4ns) der freien Ladungsträger in den Driftröhren:

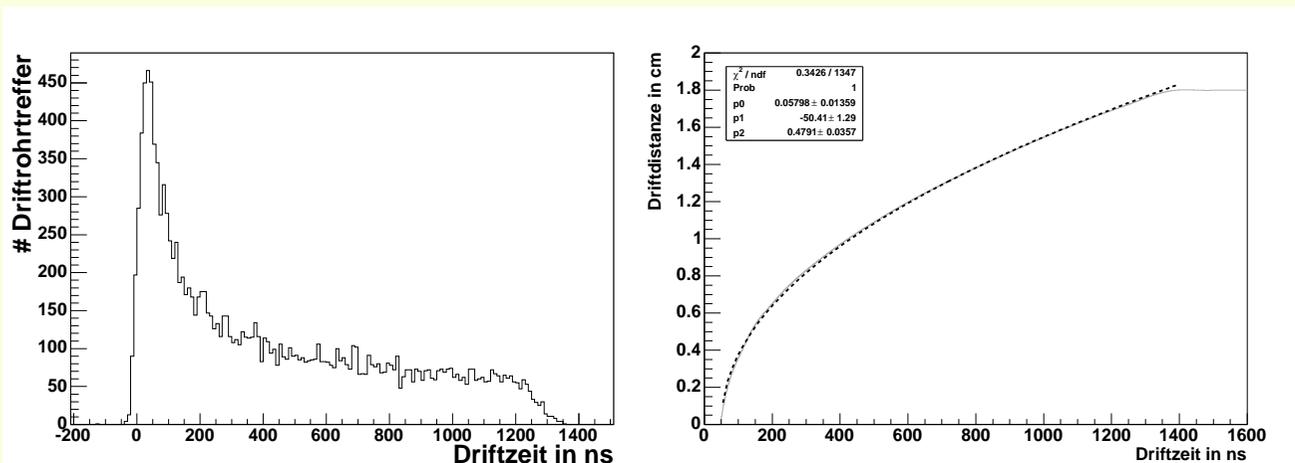


Zeitpunkt des Teilchendurchgangs

Zeitmessung (TDC)



$$\Delta t_{\text{drift}} = \Delta t_{\text{delay}} - \Delta t_{\text{measure}}$$



Aus der Driftzeit wird dann über die Drift-zu-Ort-Beziehung die Teilchenbahn berechnet

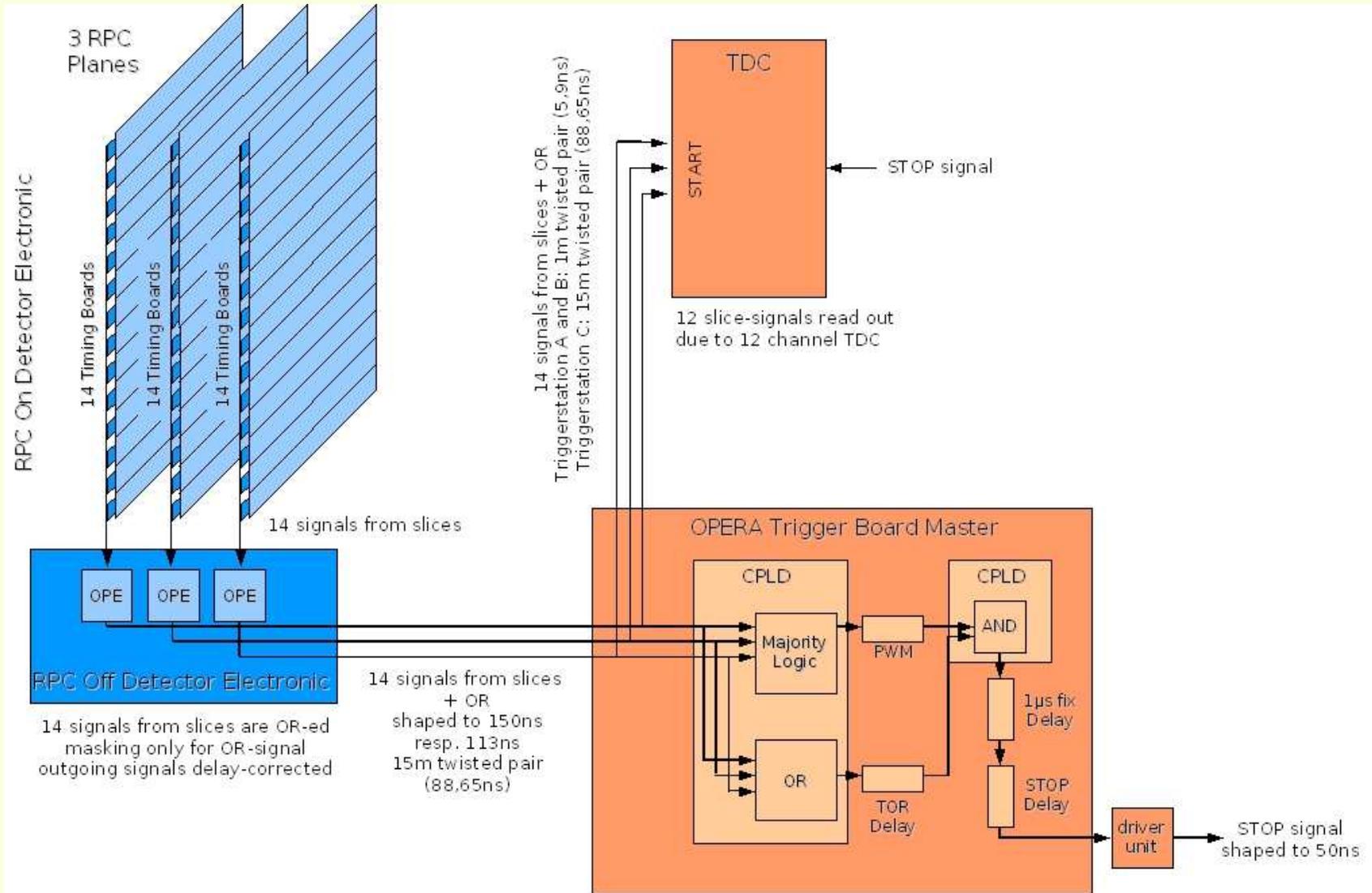
Warum sind diese Untersuchungen notwendig?

Die genaue Kenntnis des Triggertimings ist also für eine Rekonstruktion mit ausreichend hoher Genauigkeit von besonderer Bedeutung.

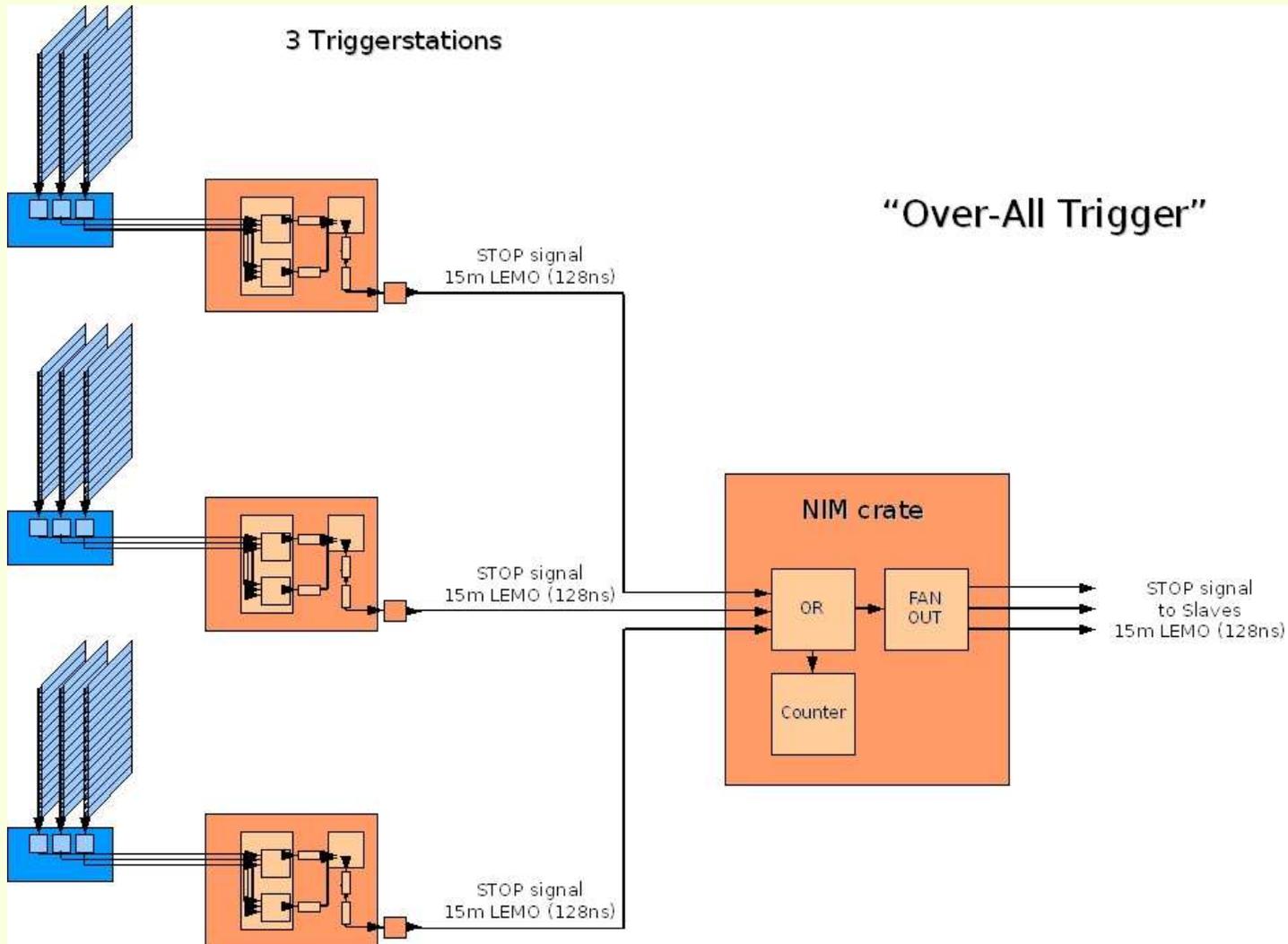
Dazu gehören:

- Verständnis der Triggersignalerzeugung
- Verständnis der verwendeten Elektronik
- Verständnis des Zusammenspiels der die Triggerbedingung auslösenden Signale
- Kenntnis der Kabel- und Triggerboardlaufzeiten
- Kenntnis der Verarbeitung der Signale auf dem Triggerboard

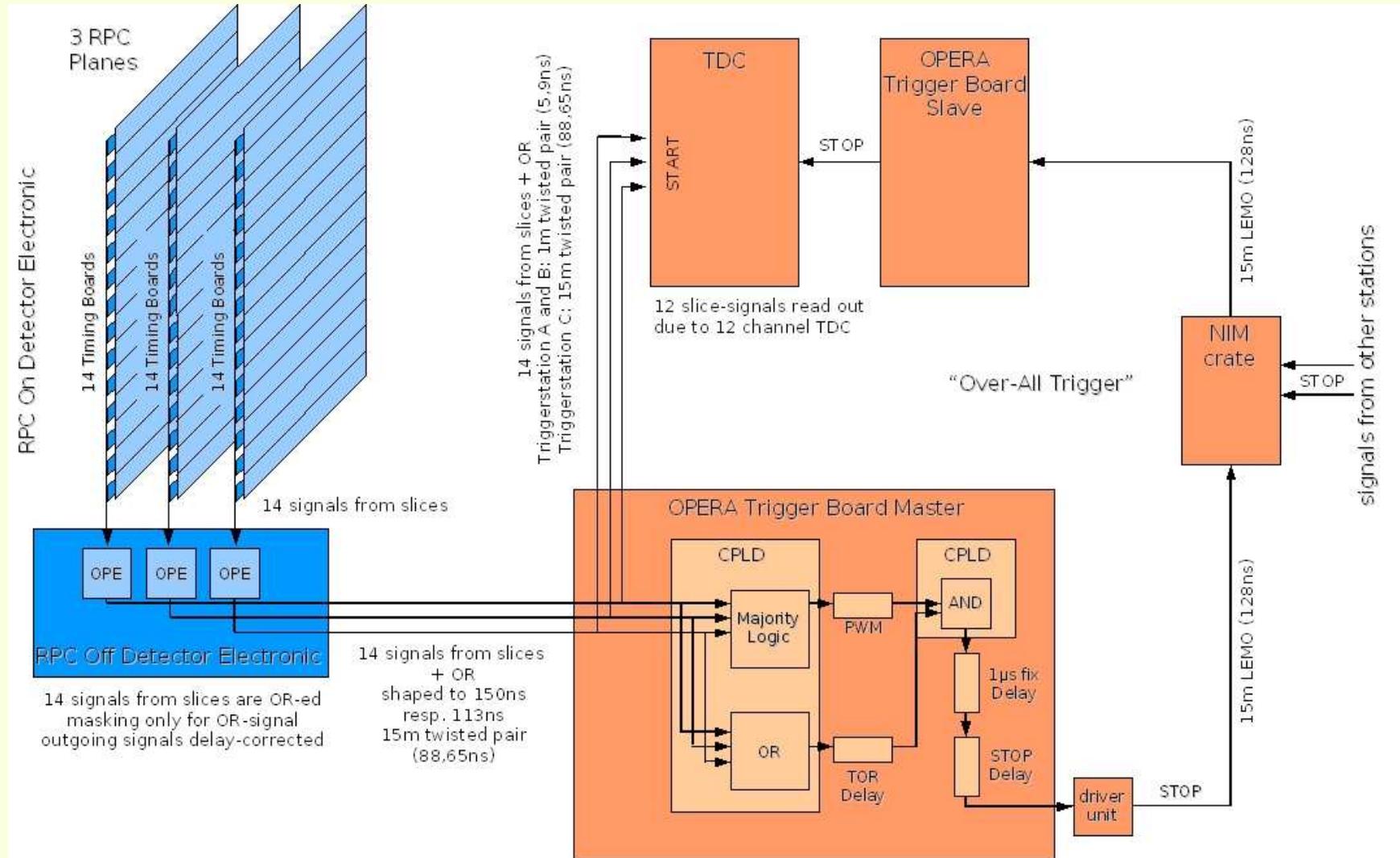
Wie ist der Trigger aufgebaut?



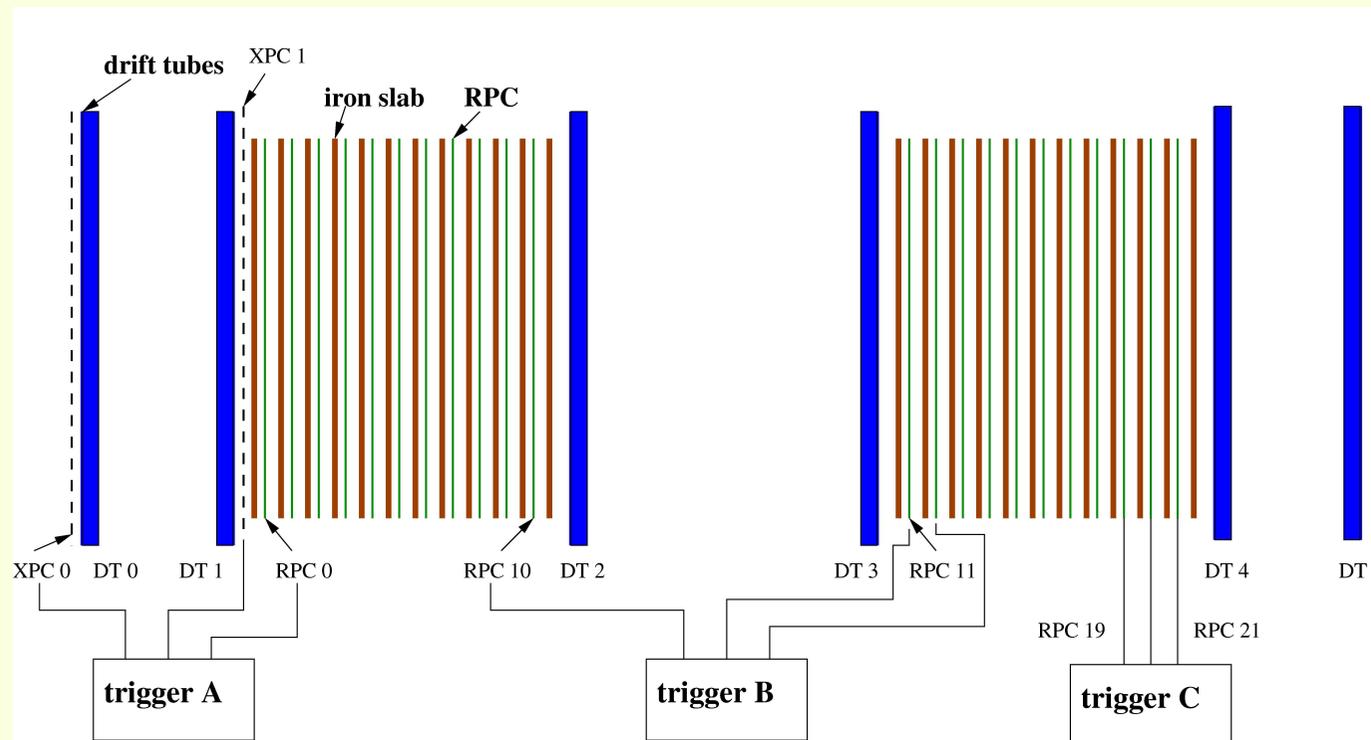
Wie ist der Trigger aufgebaut?



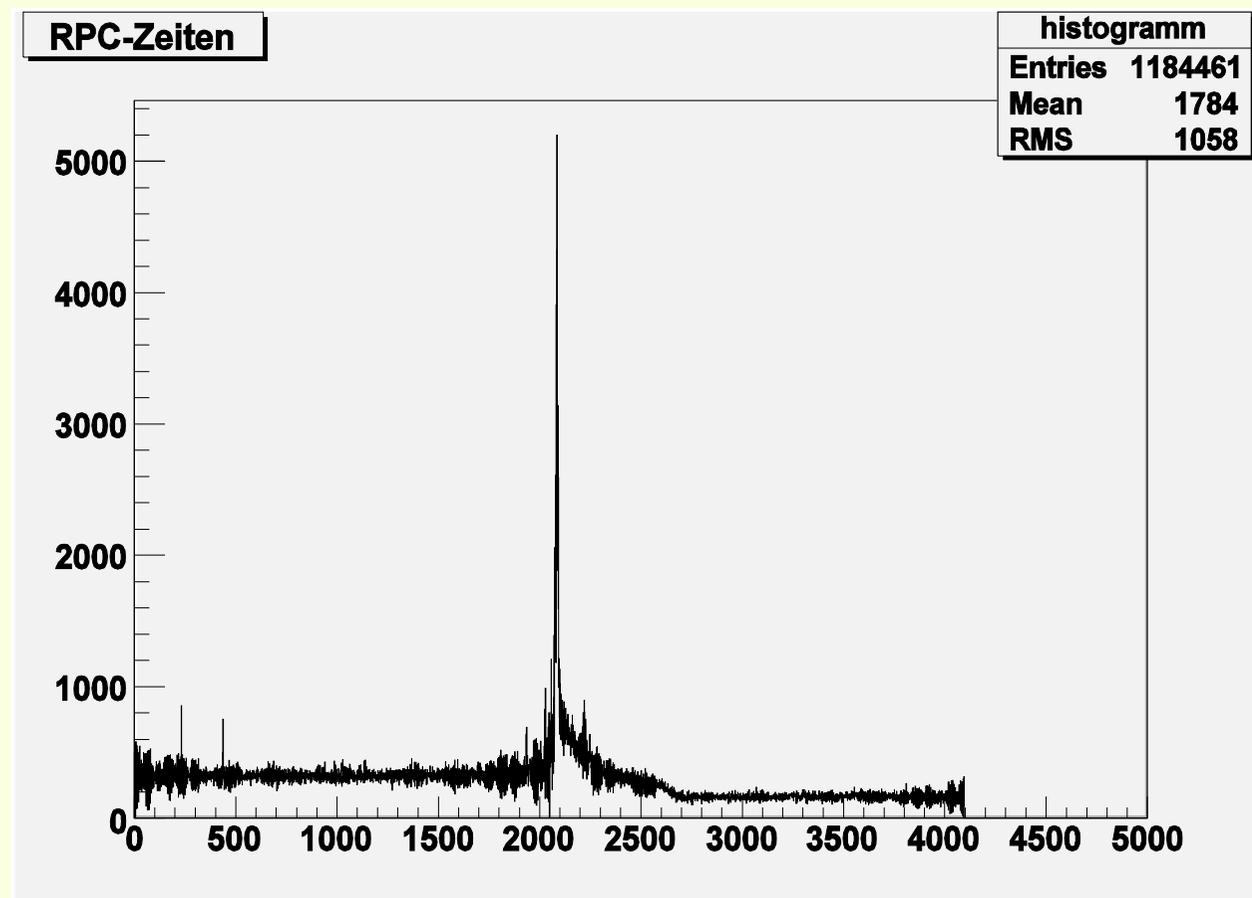
Wie ist der Trigger aufgebaut?



Welche RPC-Planes bilden unsere Triggerstationen (SM1)?



Erstes Spektrum aus Realdaten (November 2006):



Peakstruktur

aber:

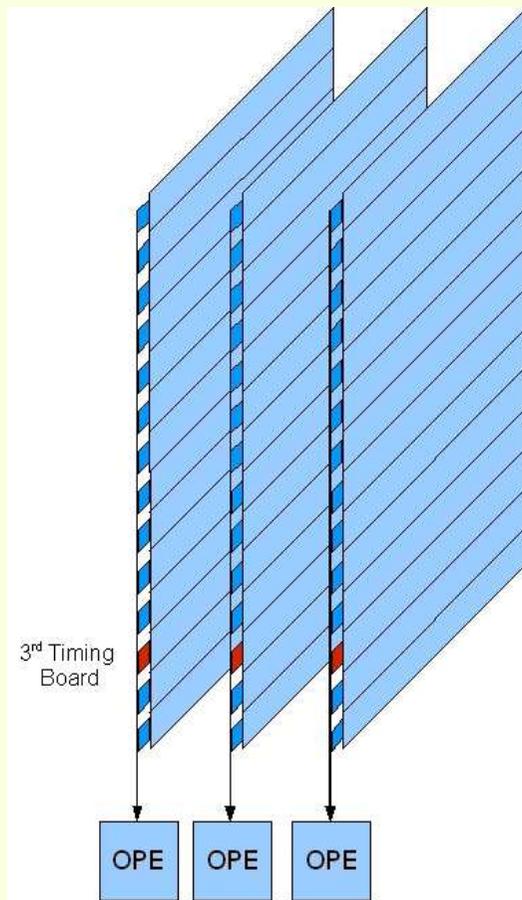
diffuser Untergrund

⇒ keine konkrete Aussage über Timing im ns-Bereich möglich!

⇒ genauere Analyse der Daten nötig

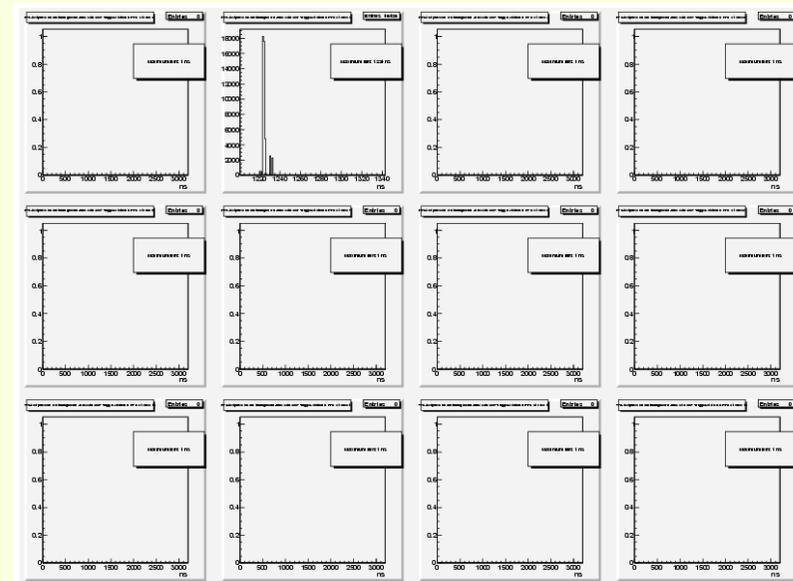
Zu klären:

Welche Information liefern unsere TDC-Sensor-Kanäle?



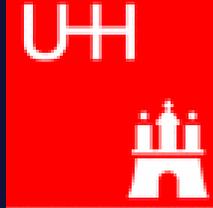
Testpulse auf die jeweils dritten Timing Boards einer RPC-Plane

⇒ dadurch Zuordnung der einzelnen TDC-Sensor-Kanäle zu Slices einer RPC-Plane möglich (14 Timing Boards pro Plane, aber nur 12 Auslese-Kanäle auf dem TDC)





Timing der Signale: Spektrum



Zu klären:

Welche Information liefern unsere TDC-Sensor-Kanäle?

Preliminary Mapping Trigger-RPC/XPC-slices -> TDC-channels (October 6th 2007)
Assumptions are in RED COLOR and marked with "->"

SM1

Triggerstation	RPC / XPC (0 -)	slice (1 - 14)	sensor	Channel (1 - 98)
A	RPC 0	2	1059	48
A	RPC 0	3	1059	50
A	RPC 0	4	1059	51
A	RPC 0	5	1059	52
A	RPC 0	6	1059	53
A	RPC 0	7	1059	54
A	RPC 0	8	1059	55
A	RPC 0	9	1059	56
A	RPC 0	10	1059	57
A	RPC 0	11	1059	58
A	RPC 0	12	1059	59
A	RPC 0	13	1059	60
A	RPC 0	14	1059	61
A	XPC 0 R	2	1059	62
A	XPC 0 R	3	1059	63
A	XPC 0 R	4	1059	64
A	XPC 0 R	5	1059	65
A	XPC 0 R	6	1059	66
A	XPC 0 R	7	1059	67
A	XPC 0 R	8	1059	68
A	XPC 0 R	9	1059	69
A	XPC 0 R	10	1059	70
A	XPC 0 R	11	1059	71
A	XPC 0 R	12	1059	72
A	XPC 0 L	2	1059	73
A	XPC 0 L	3	1059	74
A	XPC 0 L	4	1059	75
A	XPC 0 L	5	1059	76
A	XPC 0 L	6	1059	77
A	XPC 0 L	7	1059	78
A	XPC 0 L	8	1059	79
A	XPC 0 L	9	1059	80
A	XPC 0 L	10	1059	81
A	XPC 0 L	11	1059	82
A	XPC 0 L	12	1059	83
A	XPC 0 L	13	1059	84
A	XPC 0 L	14	1059	85
A	XPC 1 R	2	1059	86
A	XPC 1 R	3	1059	87
A	XPC 1 R	4	1059	88
A	XPC 1 R	5	1059	89
A	XPC 1 R	6	1059	90
A	XPC 1 R	7	1059	91
A	XPC 1 R	8	1059	92
A	XPC 1 R	9	1059	93
A	XPC 1 R	10	1059	94
A	XPC 1 R	11	1059	95
A	XPC 1 R	12	1059	96
A	XPC 1 R	13	1059	97
A	XPC 1 R	14	1059	98
A	XPC 1 L	2	1059	99
A	XPC 1 L	3	1059	100
A	XPC 1 L	4	1059	101
A	XPC 1 L	5	1059	102
A	XPC 1 L	6	1059	103
A	XPC 1 L	7	1059	104
A	XPC 1 L	8	1059	105
A	XPC 1 L	9	1059	106
A	XPC 1 L	10	1059	107
A	XPC 1 L	11	1059	108
A	XPC 1 L	12	1059	109
A	XPC 1 L	13	1059	110
A	XPC 1 L	14	1059	111
A	RPC 0	"OR"	1059	112
A	XPC 0 R	"OR"	1059	113
A	XPC 0 L	"OR"	1059	114
A	XPC 1 R	"OR"	1059	115
A	XPC 1 L	"OR"	1059	116

Triggerstation	RPC / XPC (0 -)	slice (1 - 14)	sensor	Channel (1 - 98)
B	RPC 10	4	1087	1
B	RPC 10	7	1087	2
B	RPC 10	4	1087	3
B	RPC 10	3	1087	4
B	RPC 10	4	1087	5
B	RPC 10	7	1087	6
B	RPC 10	8	1087	7
B	RPC 10	9	1087	8
B	RPC 10	10	1087	9
B	RPC 10	11	1087	10
B	RPC 10	12	1087	11
B	RPC 10	13	1087	12
B	RPC 11	2	1087	13
B	RPC 11	3	1087	14
B	RPC 11	4	1087	15
B	RPC 11	5	1087	16
B	RPC 11	6	1087	17
B	RPC 11	7	1087	18
B	RPC 11	8	1087	19
B	RPC 11	9	1087	20
B	RPC 11	10	1087	21
B	RPC 11	11	1087	22
B	RPC 11	12	1087	23
B	RPC 11	13	1087	24
B	RPC 12	2	1087	25
B	RPC 12	3	1087	26
B	RPC 12	4	1087	27
B	RPC 12	5	1087	28
B	RPC 12	6	1087	29
B	RPC 12	7	1087	30
B	RPC 12	8	1087	31
B	RPC 12	9	1087	32
B	RPC 12	10	1087	33
B	RPC 12	11	1087	34
B	RPC 12	12	1087	35
B	RPC 12	13	1087	36
B	RPC 12	14	1087	37
B	RPC 10	"OR"	1087	38
B	RPC 11	"OR"	1087	39
B	RPC 12	"OR"	1087	40

Triggerstation	RPC / XPC (0 -)	slice (1 - 14)	sensor	Channel (1 - 98)
C	RPC 15	2	1104	41
C	RPC 15	3	1104	42
C	RPC 15	4	1104	43
C	RPC 15	5	1104	44
C	RPC 15	6	1104	45
C	RPC 15	7	1104	46
C	RPC 15	8	1104	47
C	RPC 15	9	1104	48
C	RPC 15	10	1104	49
C	RPC 15	11	1104	50
C	RPC 15	12	1104	51
C	RPC 15	13	1104	52
C	RPC 15	14	1104	53
C	RPC 20	2	1104	54
C	RPC 20	3	1104	55
C	RPC 20	4	1104	56
C	RPC 20	5	1104	57
C	RPC 20	6	1104	58
C	RPC 20	7	1104	59
C	RPC 20	8	1104	60
C	RPC 20	9	1104	61
C	RPC 20	10	1104	62
C	RPC 20	11	1104	63
C	RPC 20	12	1104	64
C	RPC 20	13	1104	65
C	RPC 20	14	1104	66
C	RPC 21	2	1104	67
C	RPC 21	3	1104	68
C	RPC 21	4	1104	69
C	RPC 21	5	1104	70
C	RPC 21	6	1104	71
C	RPC 21	7	1104	72
C	RPC 21	8	1104	73
C	RPC 21	9	1104	74
C	RPC 21	10	1104	75
C	RPC 21	11	1104	76
C	RPC 21	12	1104	77
C	RPC 21	13	1104	78
C	RPC 21	14	1104	79
C	RPC 15	"OR"	1104	80
C	RPC 20	"OR"	1104	81
C	RPC 21	"OR"	1104	82

Notation: (0 -) means: counting starts with 0
(1 -) means: counting starts with 1

RPC-slice arrangement:
Slice 13: top (near ceiling)
...
Slice 2: bottom (near floor)

RPC R means: XPC right (consideiral)
XPC L means: XPC left (rockside)

Testpulse auf die jeweils dritten Timing Boards einer RPC-Plane

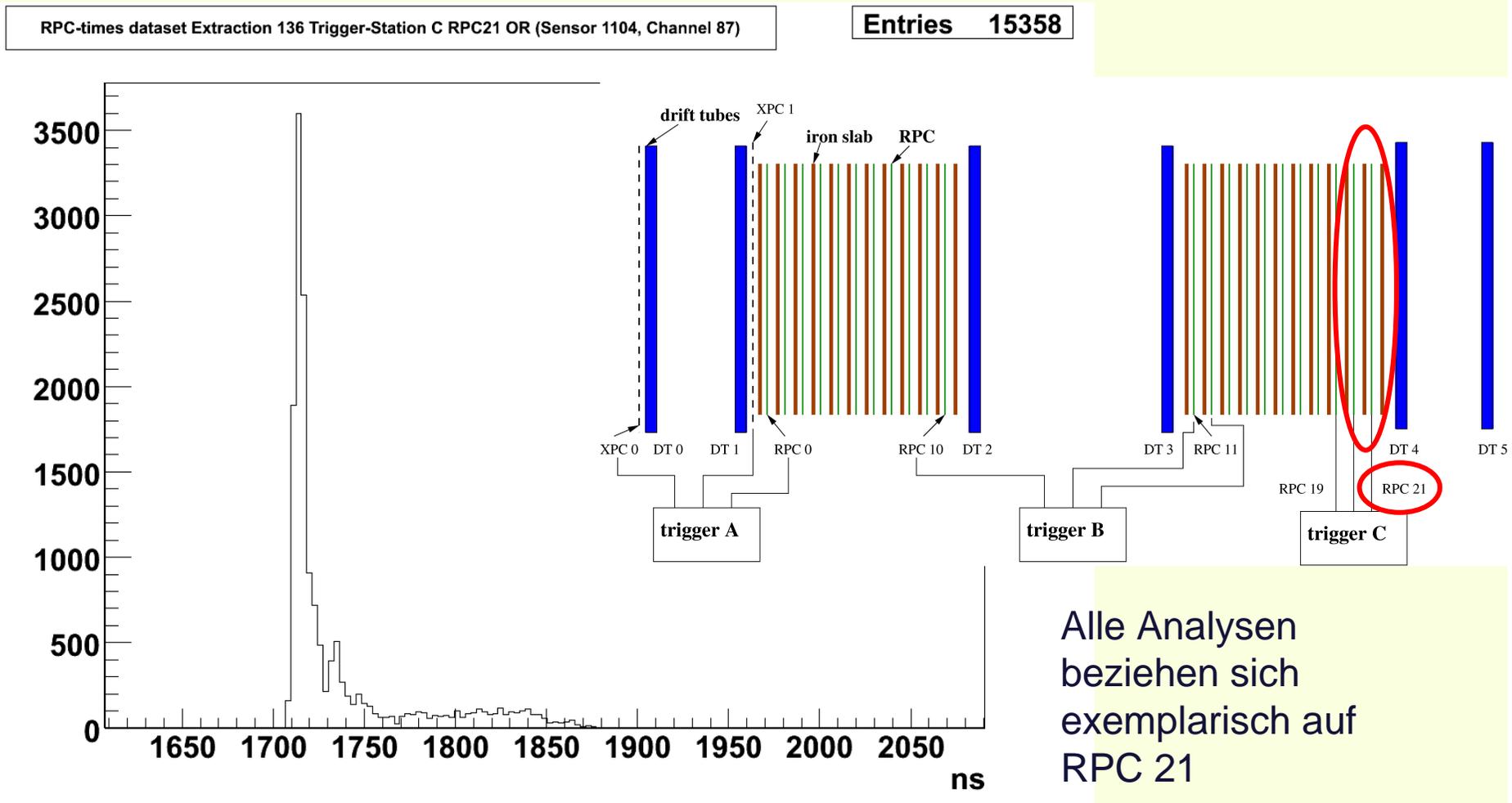
⇒ dadurch Zuordnung der einzelnen TDC-Sensor-Kanäle zu Slices einer RPC-Plane möglich (14 Timing Boards pro Plane, aber nur 12 Auslese-Kanäle auf dem TDC)

⇒ Mapping jedes einzelnen Kanals

⇒ wichtig auch für OPERA-Software, erst jetzt Einbindung möglich (zwei neue Klassen: TBHit und TBDigit)

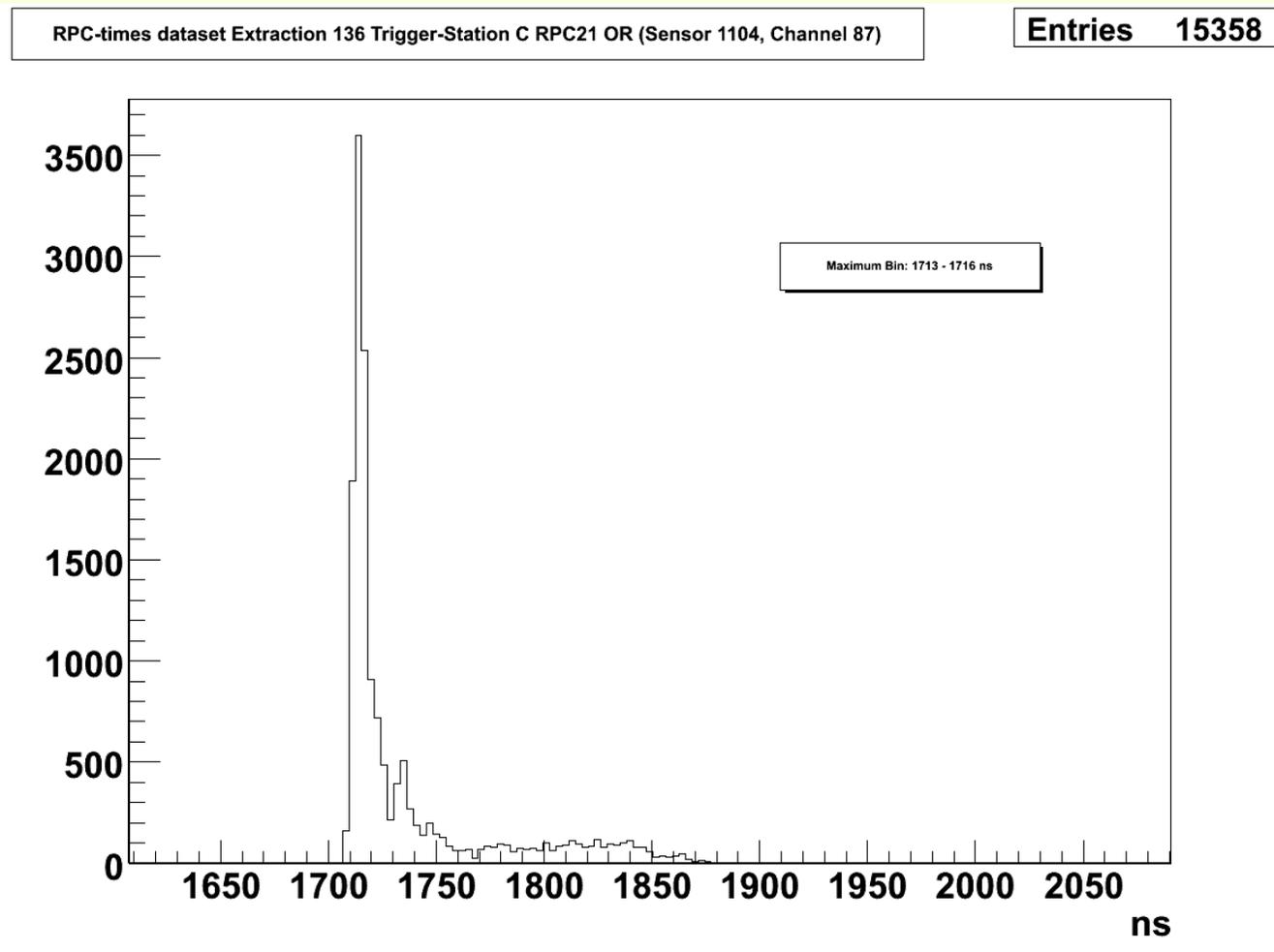
<http://opera.lngs.infn.it:10080/wiki/index.php/Cabling>

Spektrum aus Realdaten (März 2007):



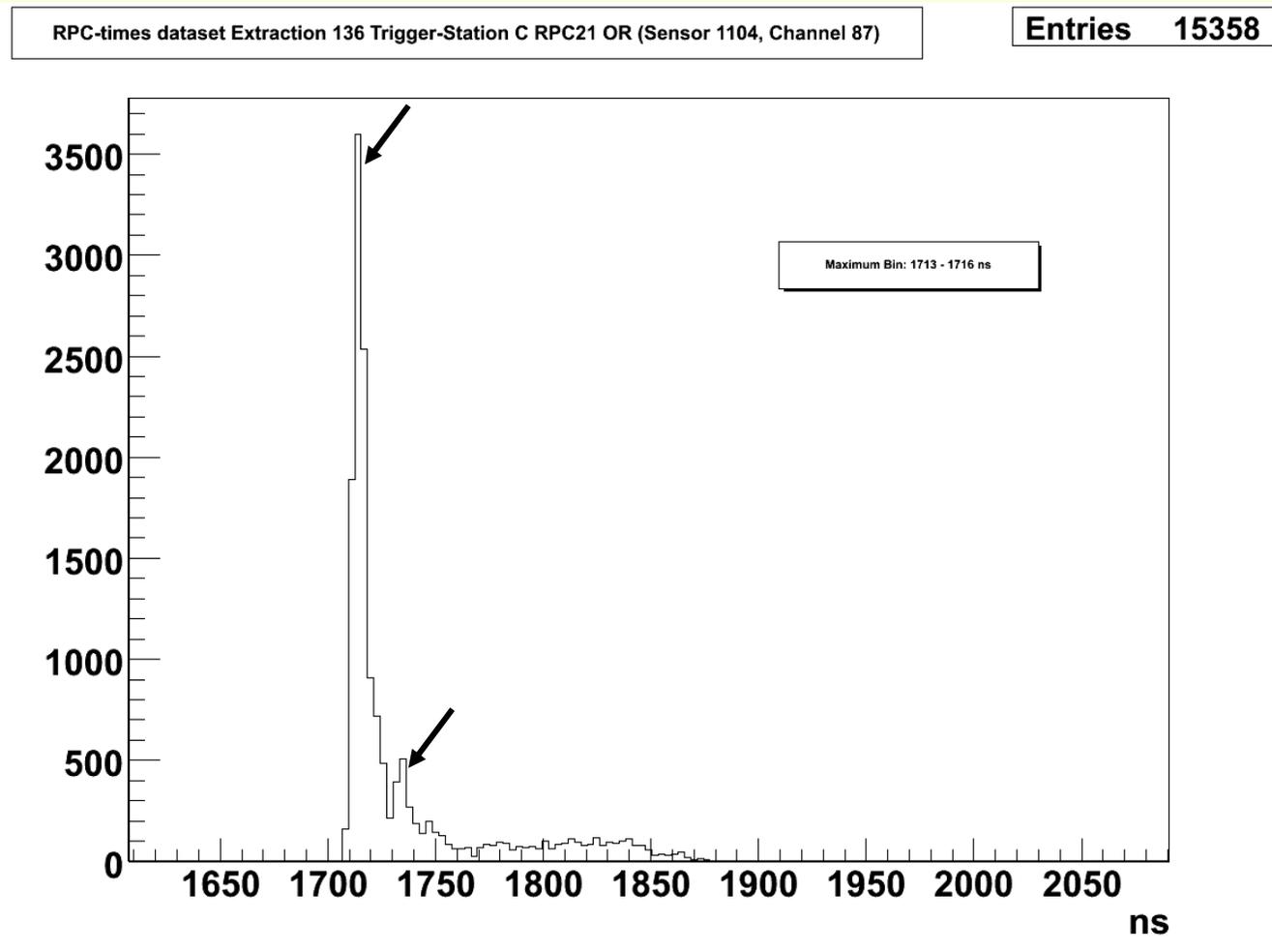
Alle Analysen
beziehen sich
exemplarisch auf
RPC 21

Spektrum aus Realdaten (März 2007):



Was zeigt das Spektrum?

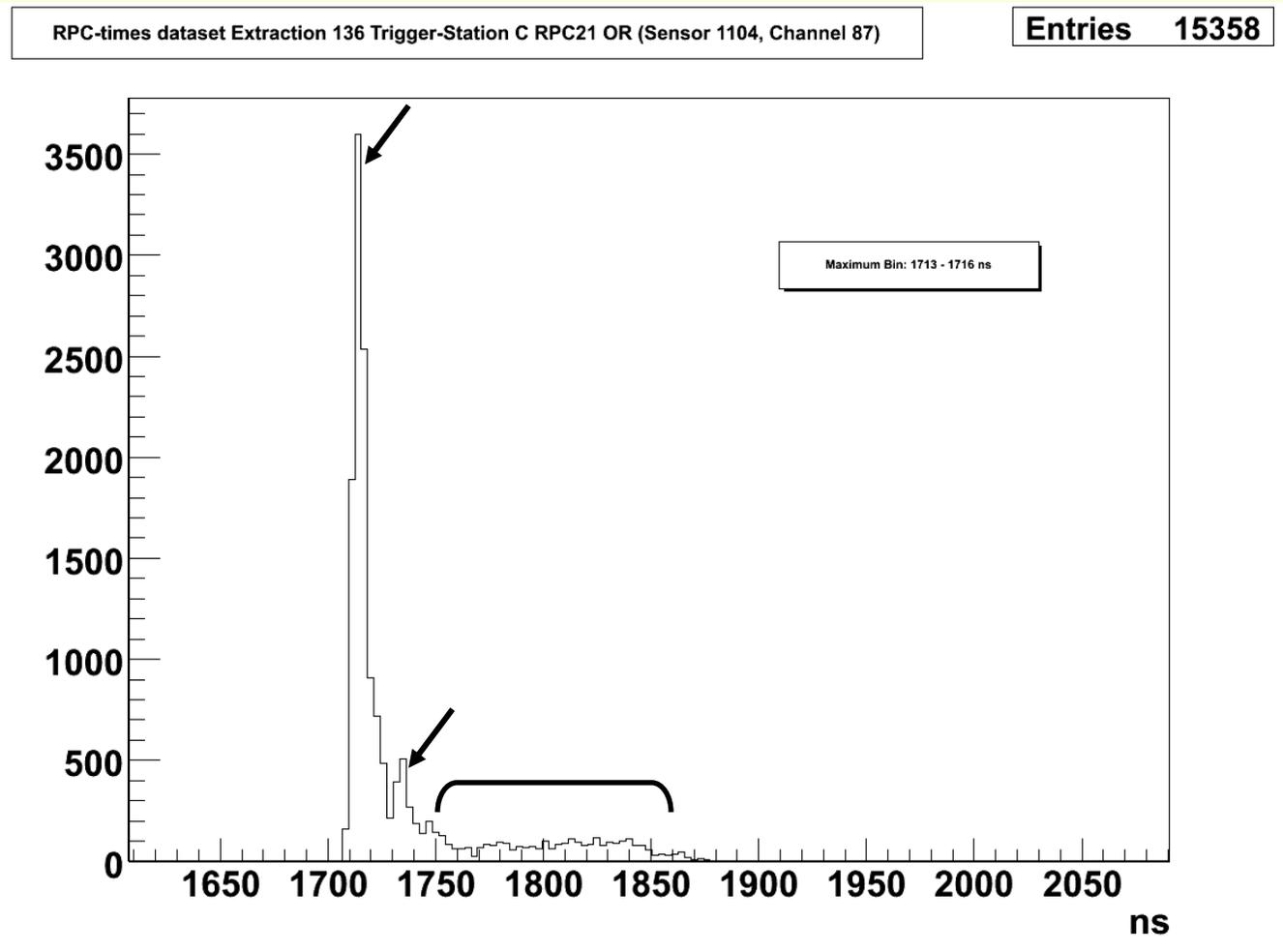
Spektrum aus Realdaten (März 2007):



Was zeigt das Spektrum?

- 2-Peakstruktur

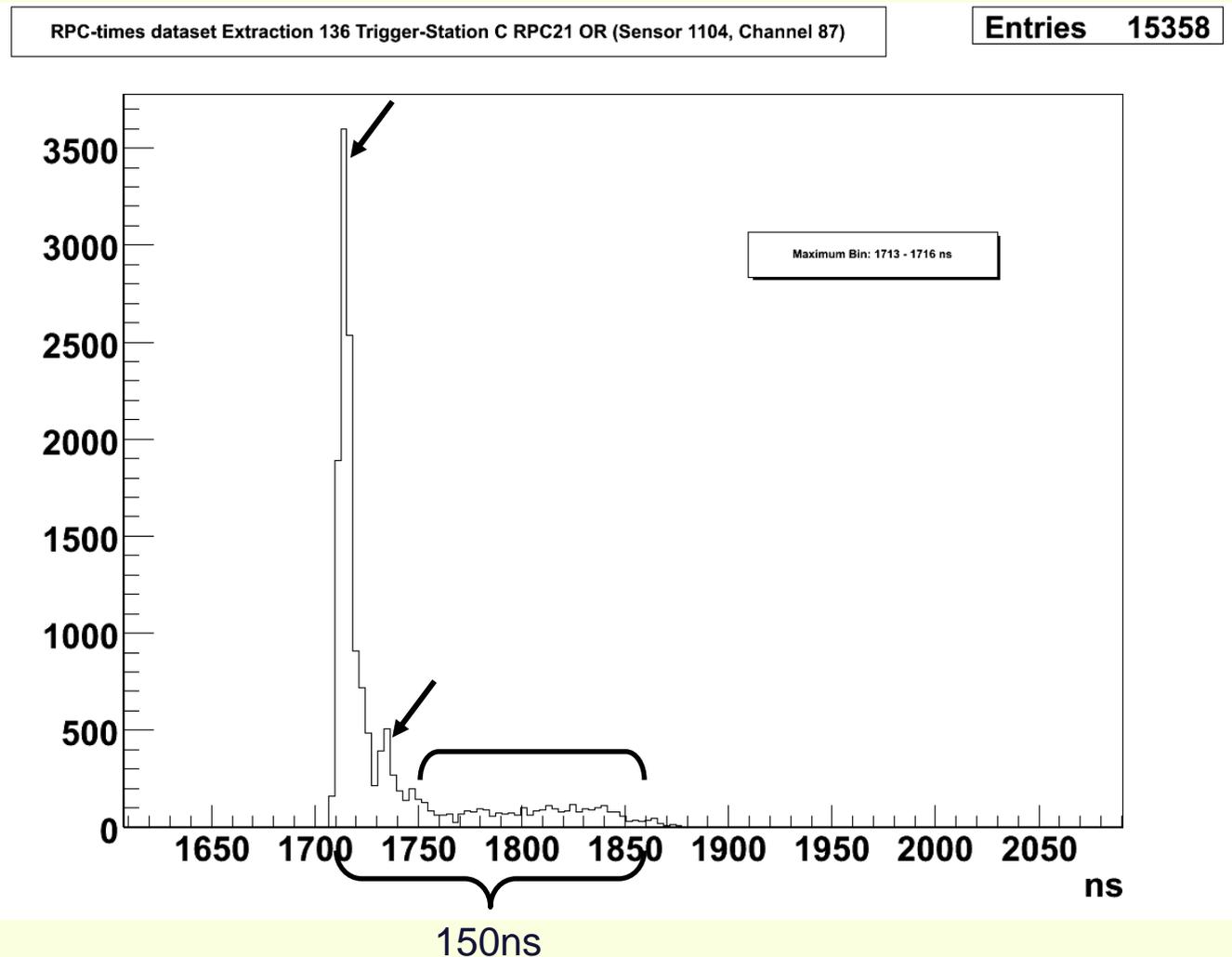
Spektrum aus Realdaten (März 2007):



Was zeigt das Spektrum?

- 2-Peakstruktur
- nahezu flacher Untergrund

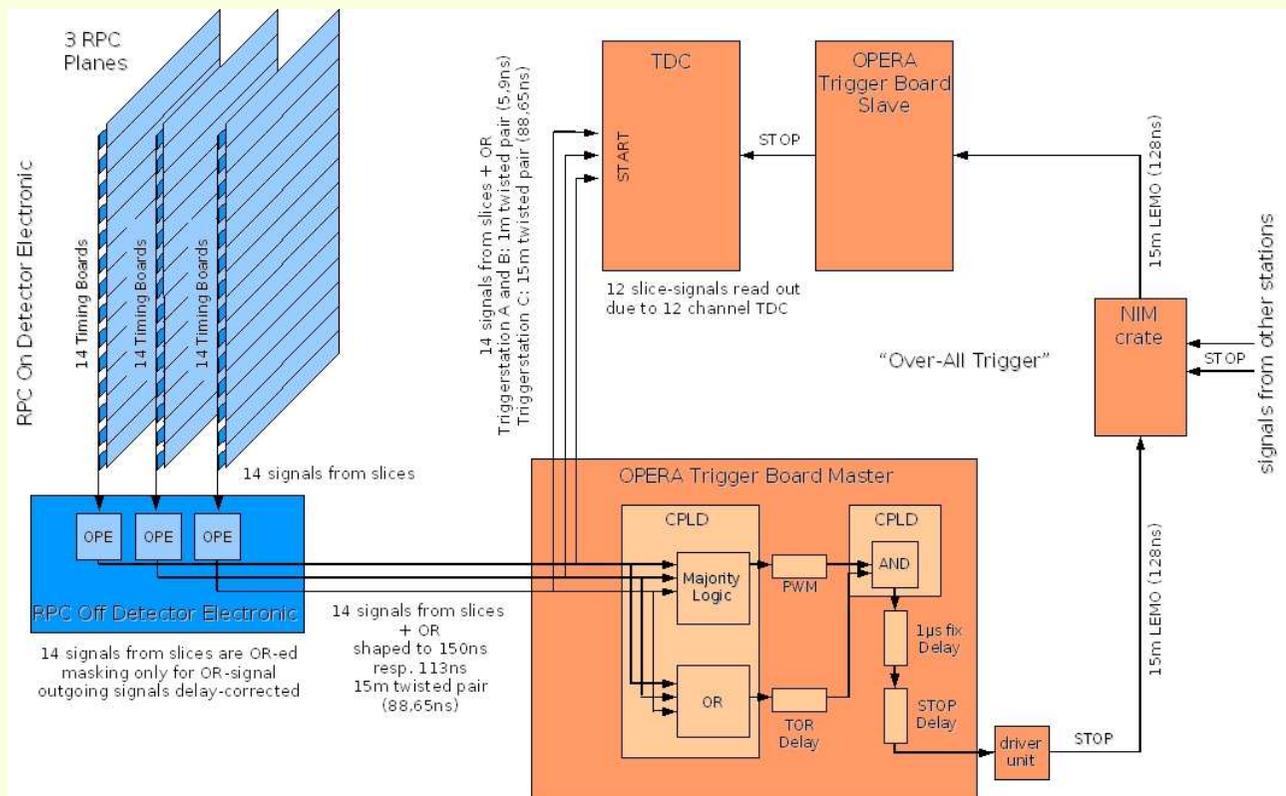
Spektrum aus Realdaten (März 2007):



Was zeigt das Spektrum?

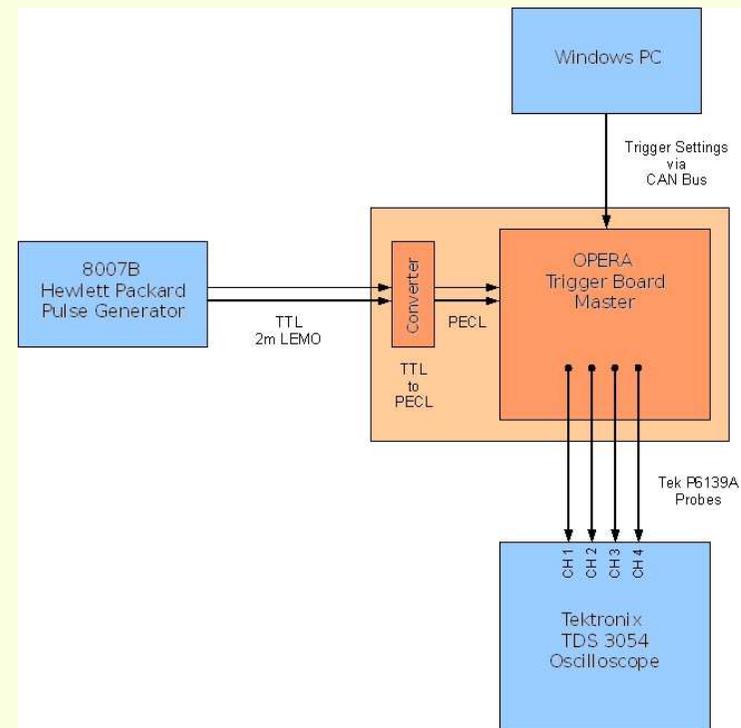
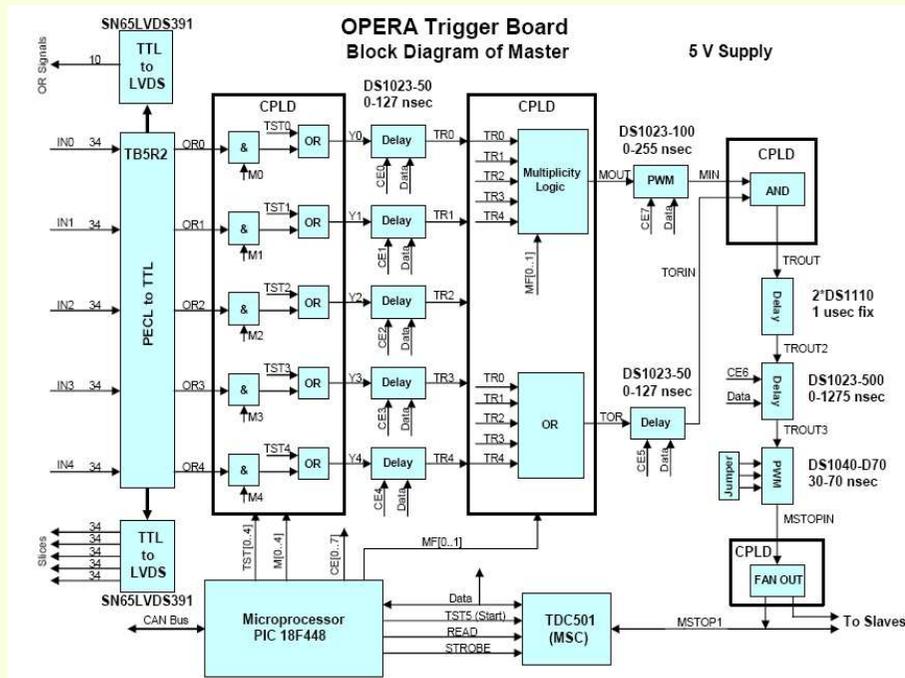
- 2-Peakstruktur
- nahezu flacher Untergrund
- Gesamtlänge des Spektrums 150ns

Wie kann man sich die Form des Spektrums erklären?



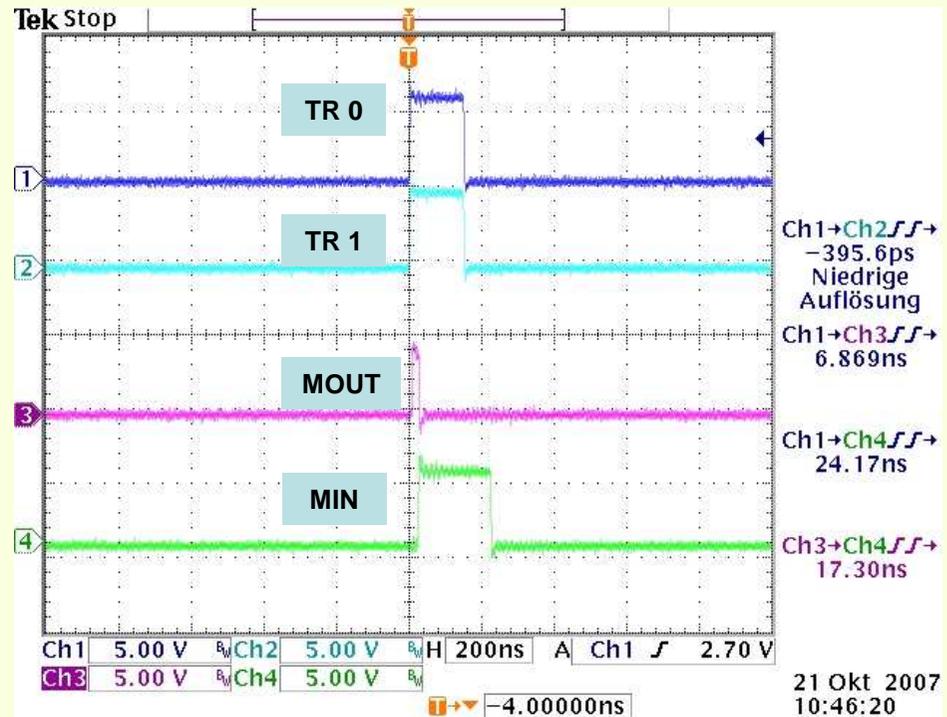
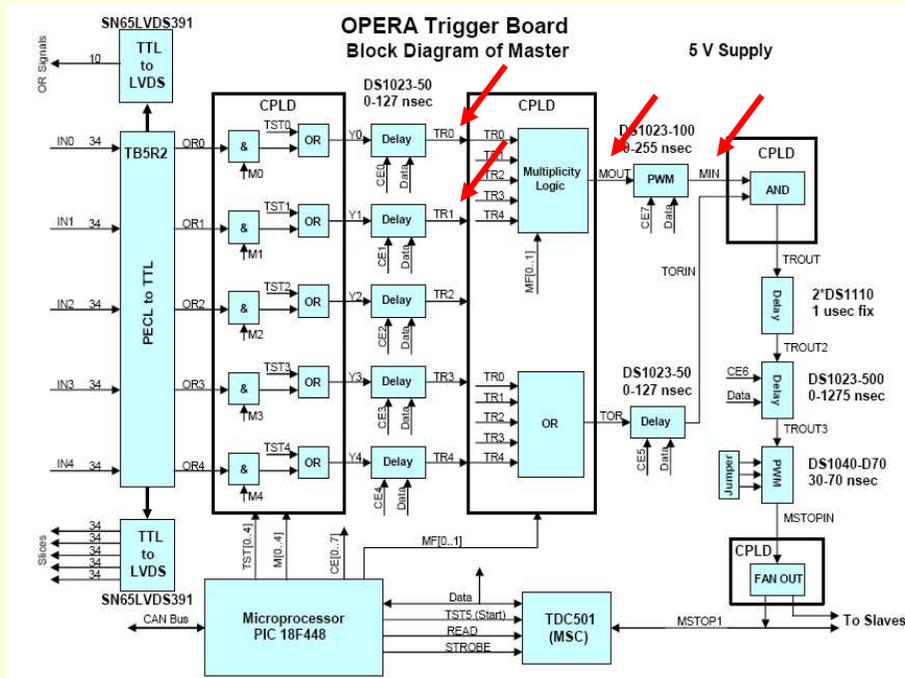
Mindestens zwei Signale nötig, um Majority-Schaltung auszulösen und „STOP“ zu generieren

Wie werden die Signale auf dem Triggerboard verarbeitet?

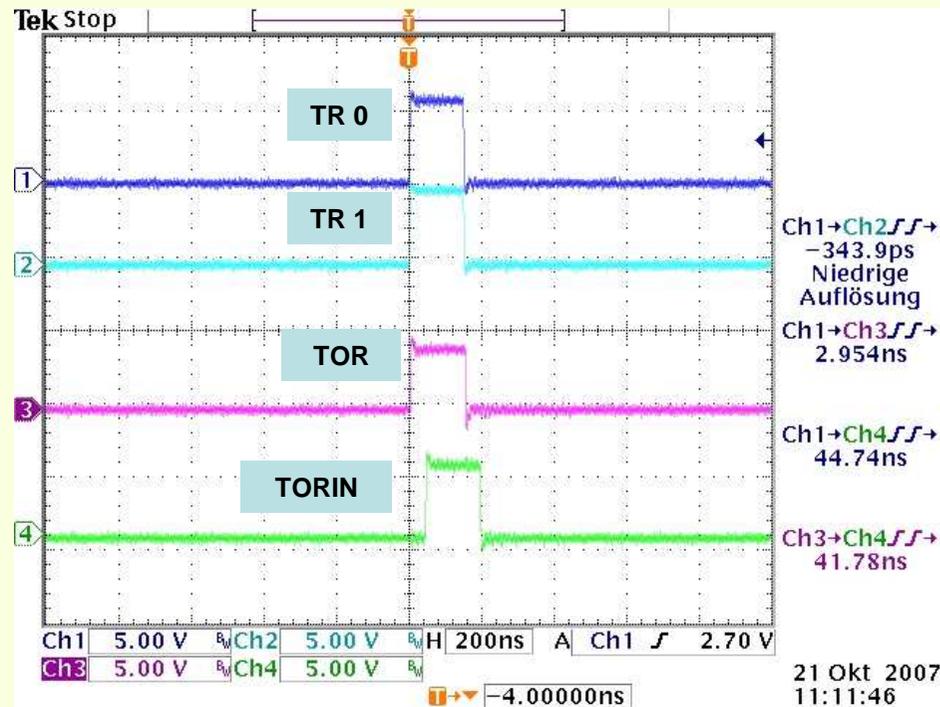
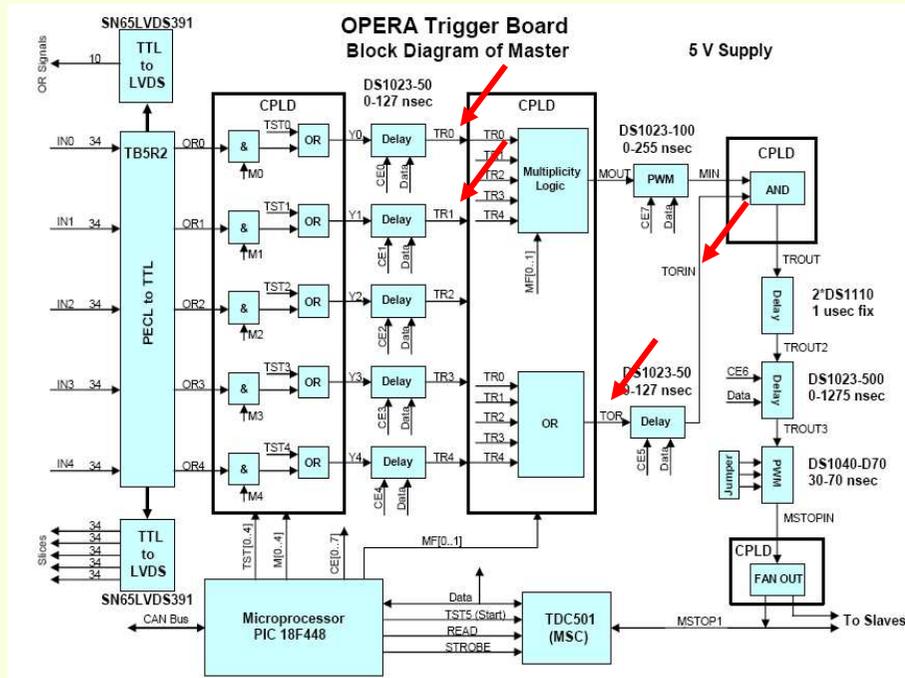


Versuchsaufbau am
OTB des kleinen
Teststands

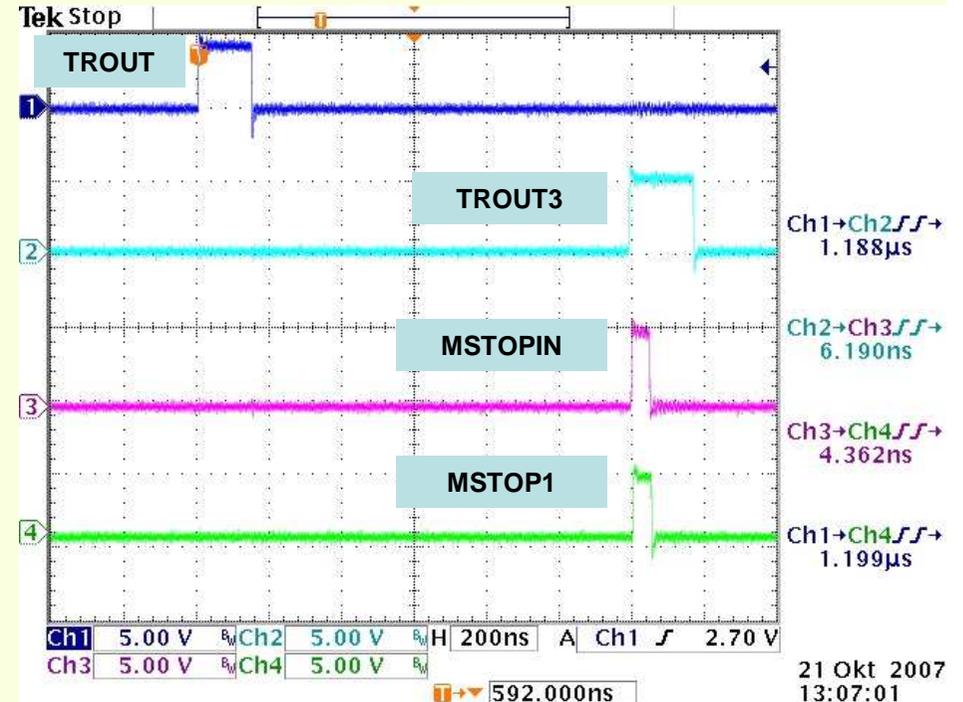
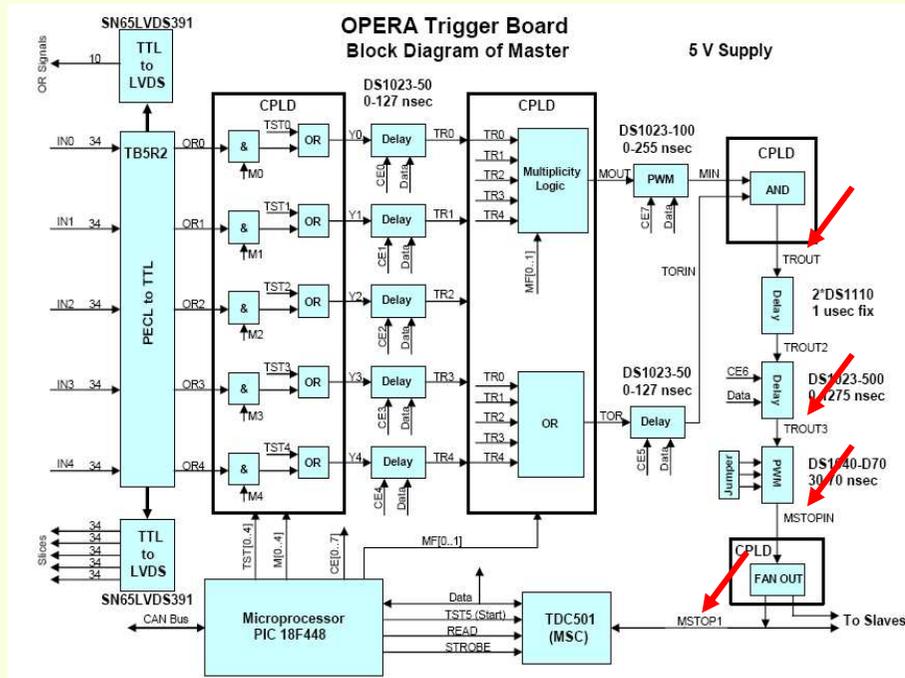
Wie werden die Signale auf dem Triggerboard verarbeitet?



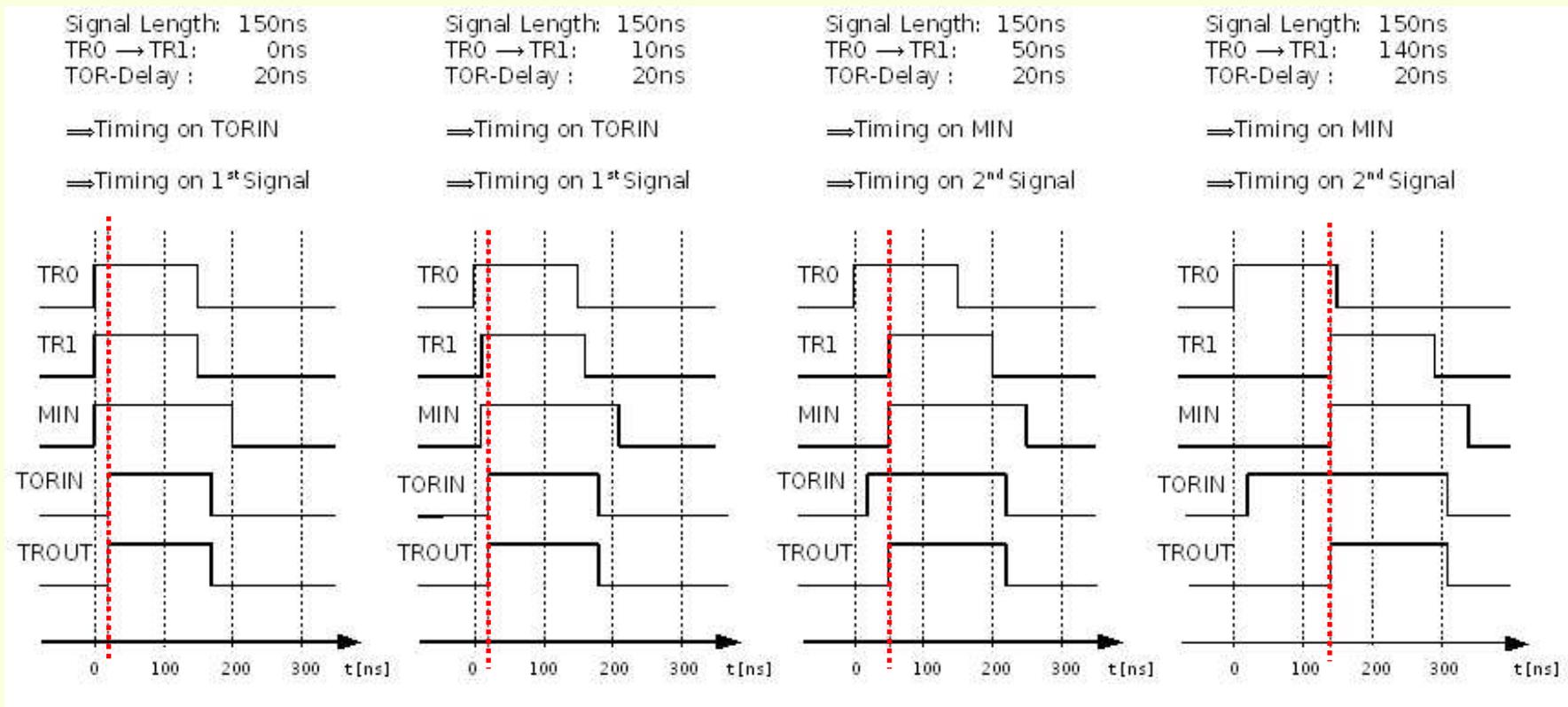
Wie werden die Signale auf dem Triggerboard verarbeitet?



Wie werden die Signale auf dem Triggerboard verarbeitet?

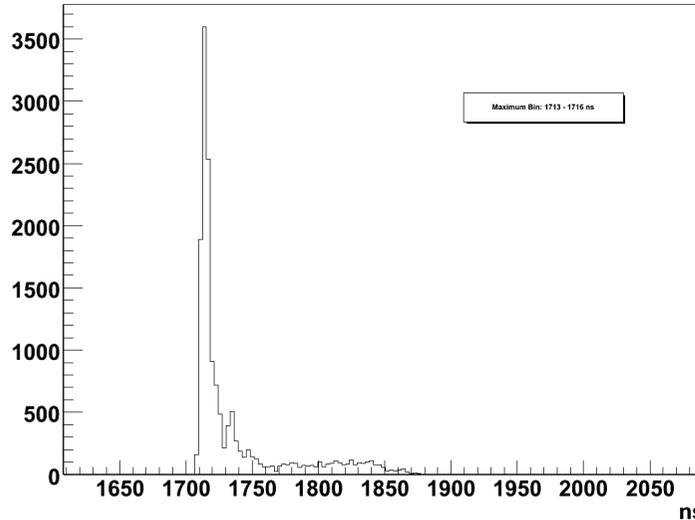


Wie werden die Signale auf dem Triggerboard verarbeitet?



RPC-times dataset Extraction 136 Trigger-Station C RPC21 OR (Sensor 1104, Channel 87)

Entries 15358



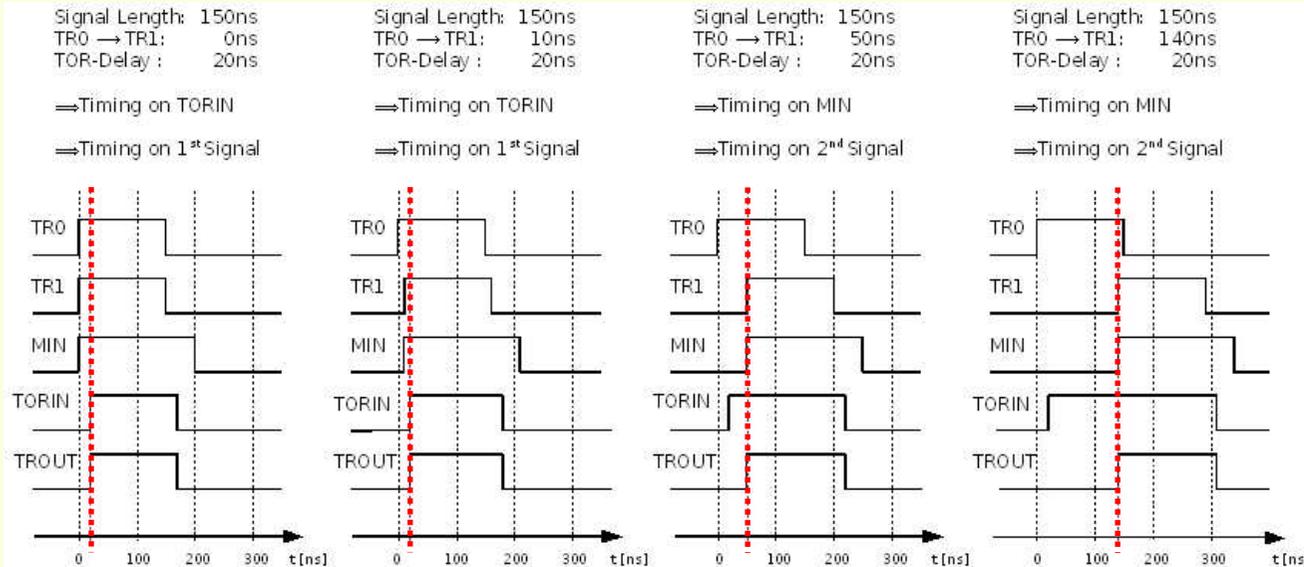
Peakursprung:

- Je nachdem, auf welches Eingangssignal das „Stop“ erzeugt wird
- Zwei Rausch- Signale im Majority-Fenster mit Rate von 0,9Hz

- Drei Rausch- Signale im Majority-Fenster sehr unwahrscheinlich (Matthias)

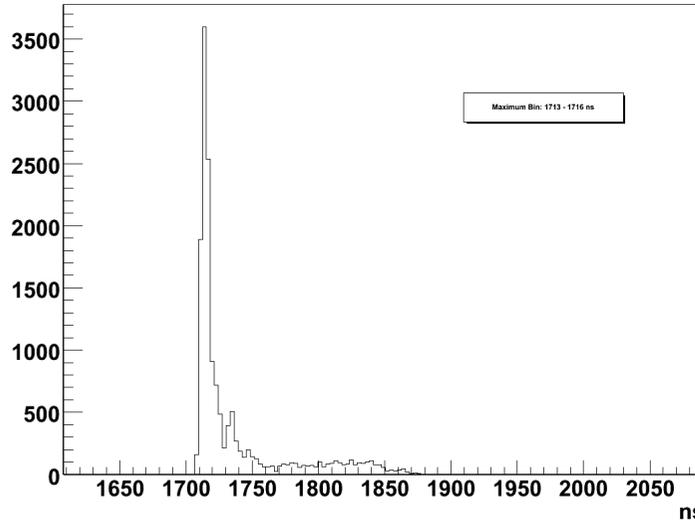
- Track-Wahrscheinlichkeit gering im Vergleich zu Rauschen

- Spektrumslänge = Eingangssignallänge



RPC-times dataset Extraction 136 Trigger-Station C RPC21 OR (Sensor 1104, Channel 87)

Entries 15358

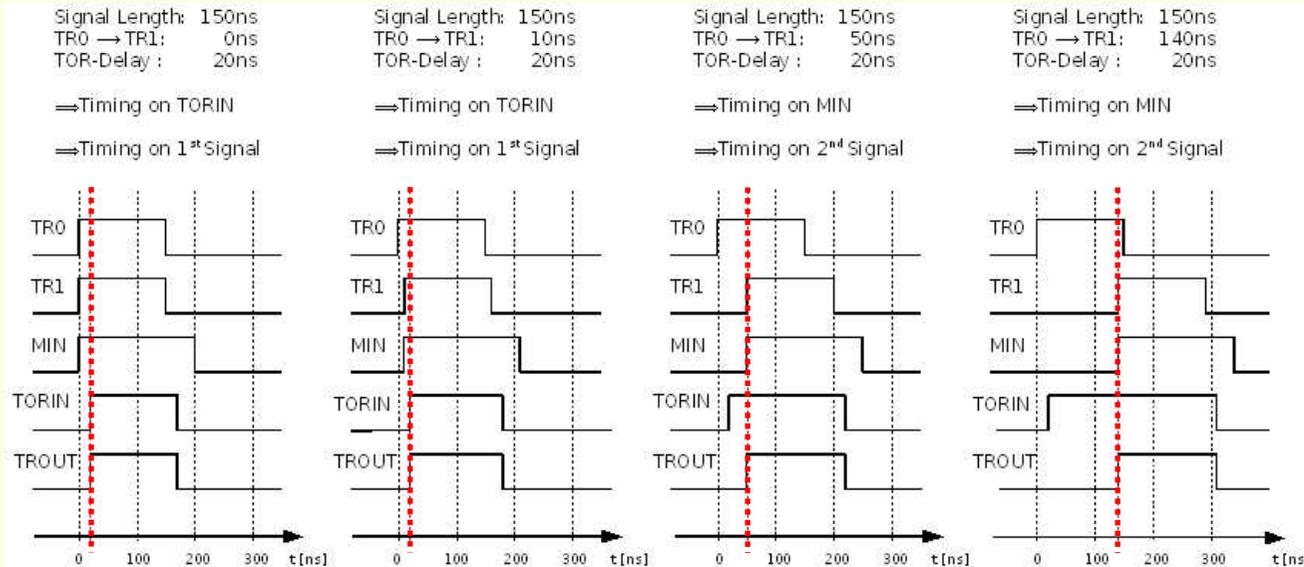


Probleme:

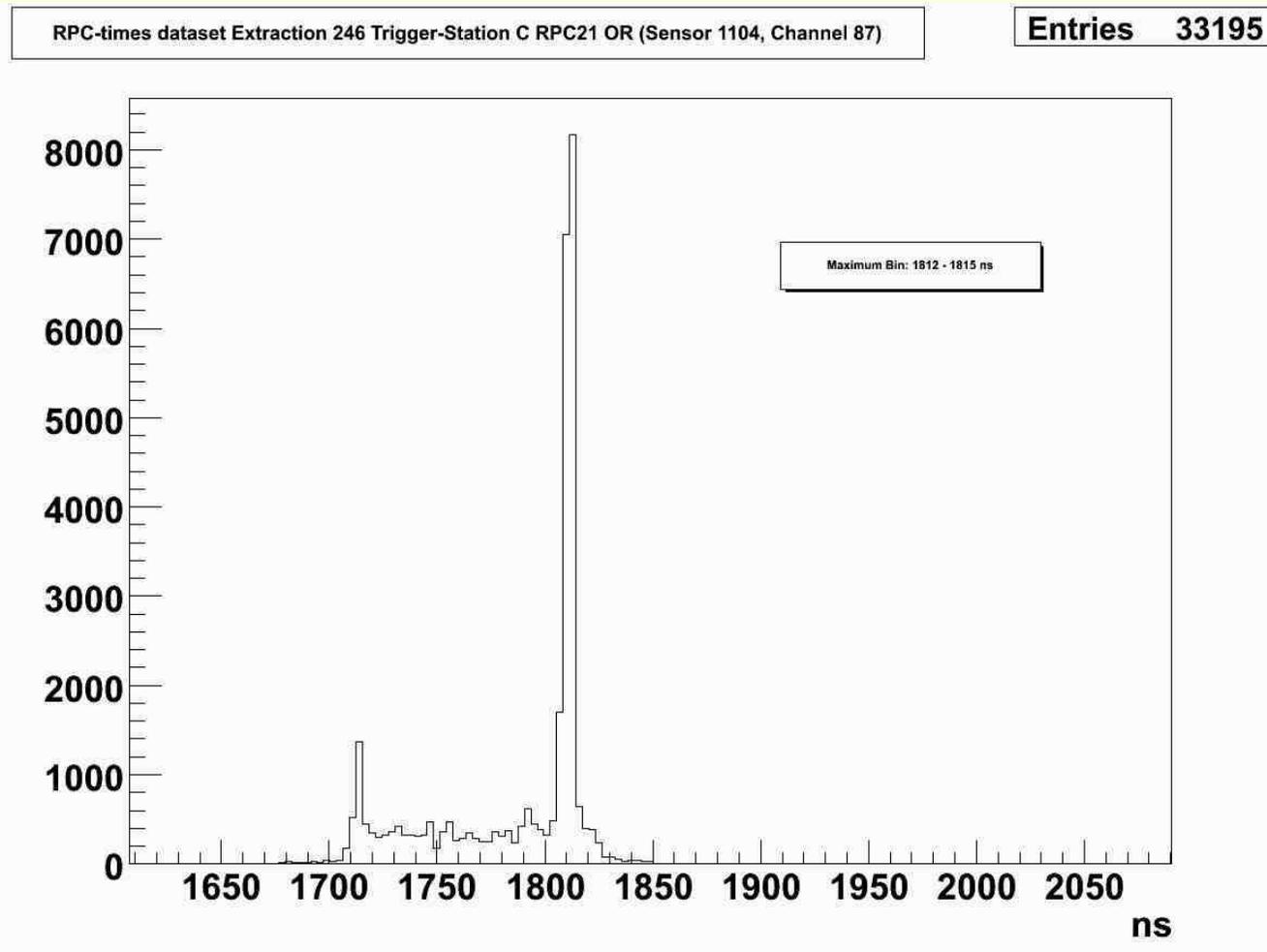
- Timing aufs zweite Eingangssignal unerwünscht, da dadurch der Gesamt-Delay nicht konstant ist (Timing wird von MIN bestimmt, nicht wie gewünscht von TORIN)

- bei März-Run wurden also TOR-Delay Einstellungen nicht beachtet (sowie STOP-Delay Einstellungen, da Lage des Spektrums bei zu kleinen Zeiten

⇒ für Juli-Run besser machen



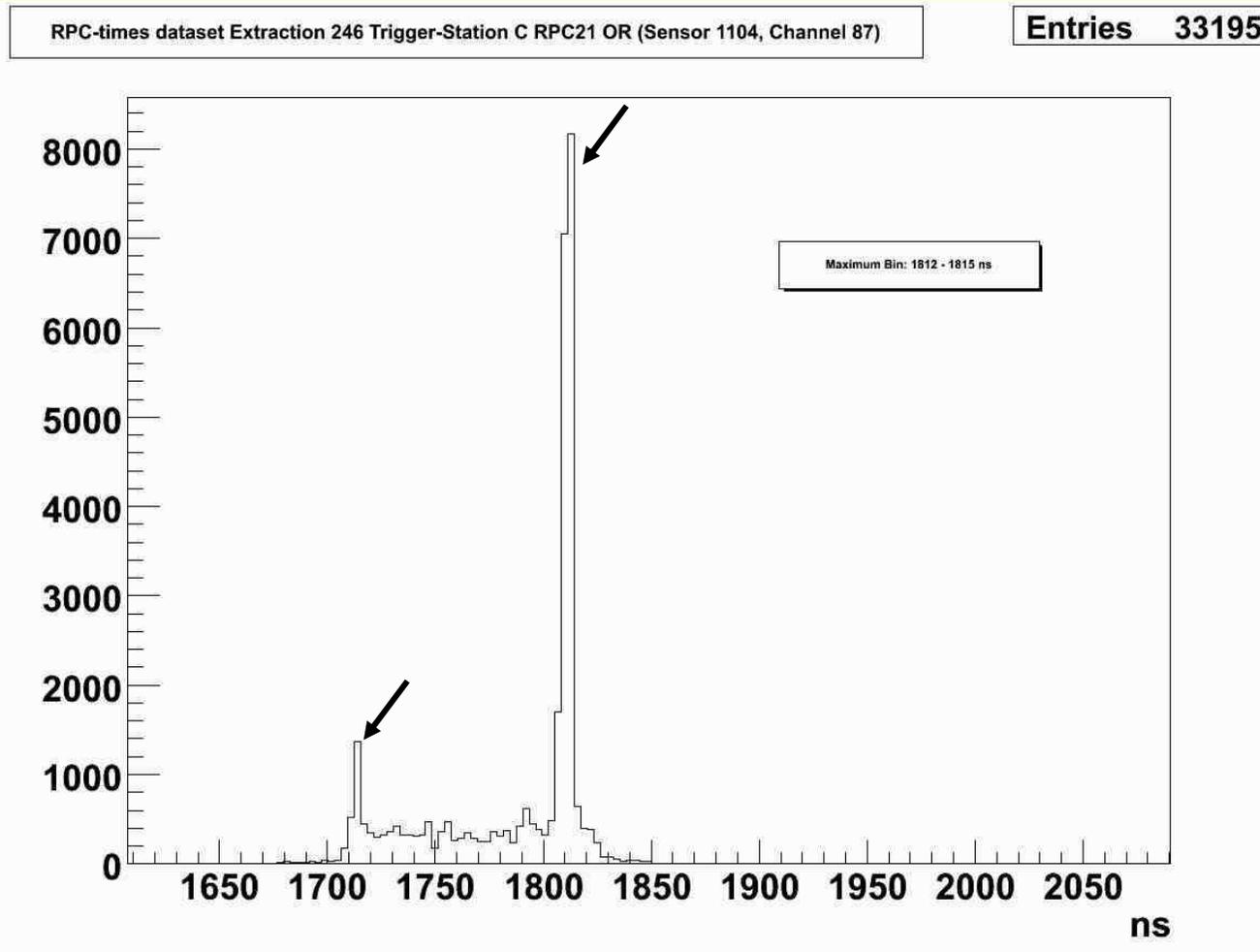
Spektrum aus Realdaten (Juli 2007):



**Überwachte
Einstellungen:**

- TOR-Delay 100ns
ggü. MIN
- Gesamtlaufzeit
OPE-Ausgang →
TDC-Backplane
2000ns

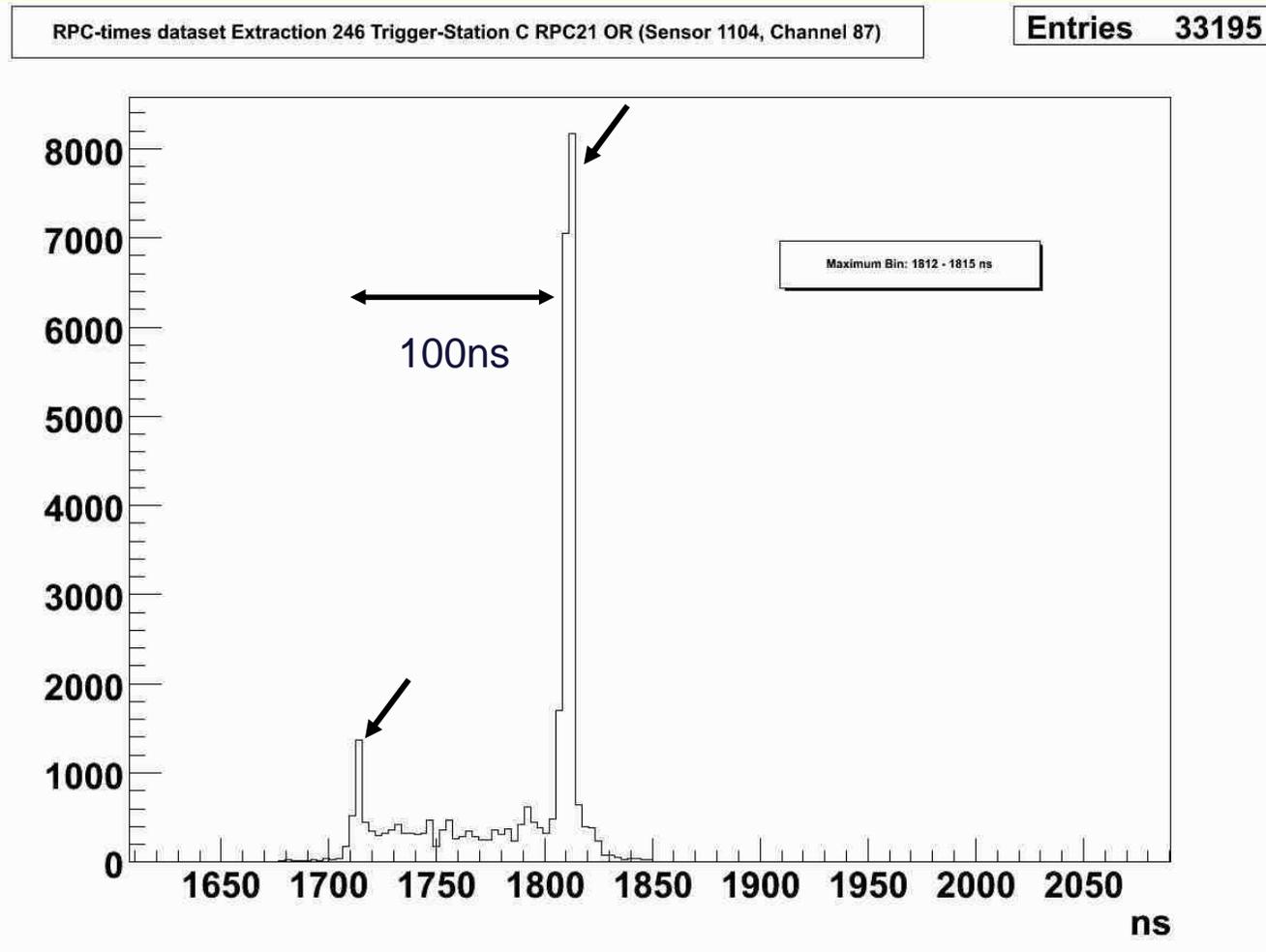
Spektrum aus Realdaten (Juli 2007):



Was zeigt das Spektrum?

-veränderte 2-Peakstruktur

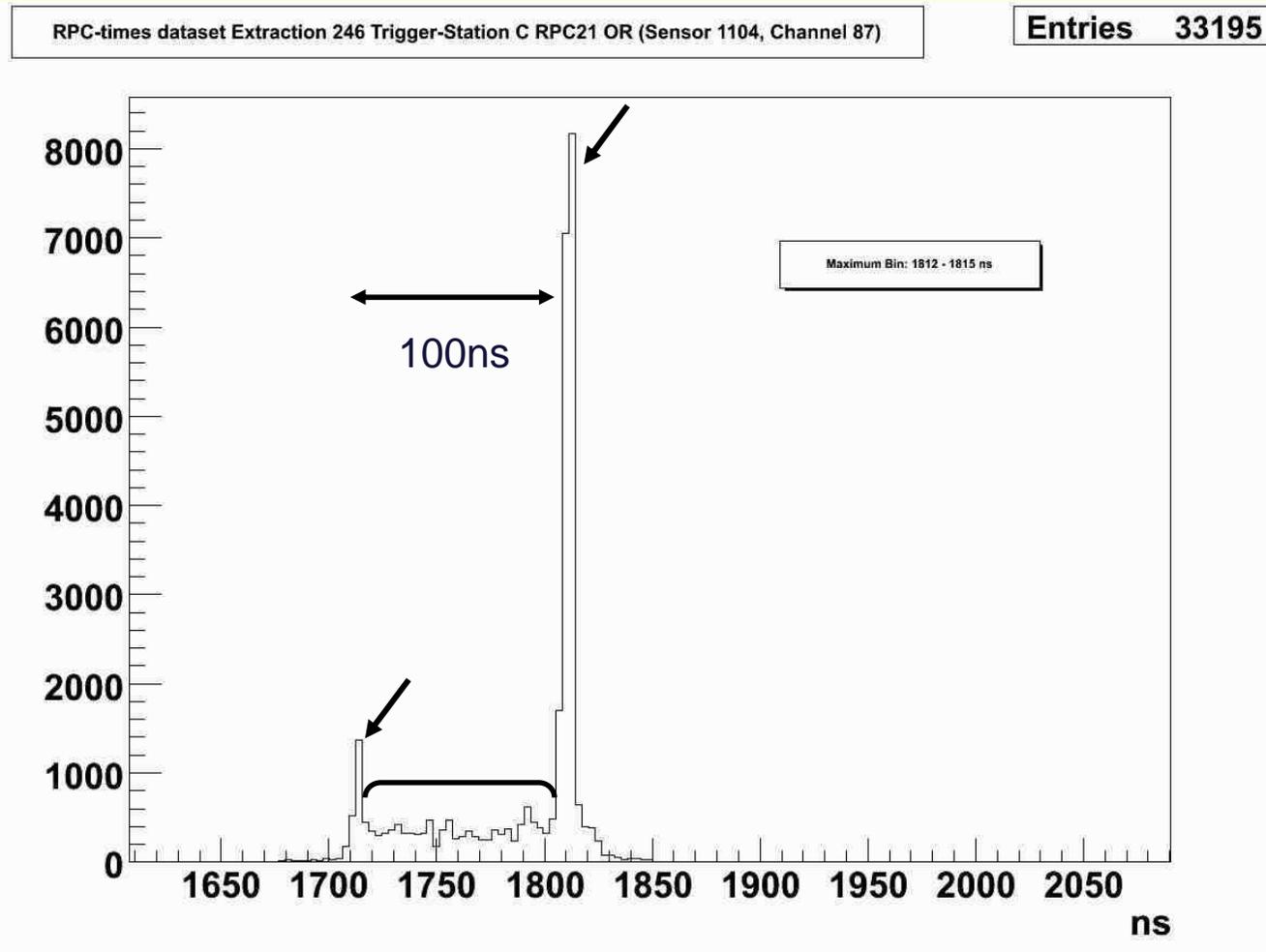
Spektrum aus Realdaten (Juli 2007):



Was zeigt das Spektrum?

- veränderte 2-Peakstruktur
- Abstand der Peaks 100ns (Wert des TOR-Delays)

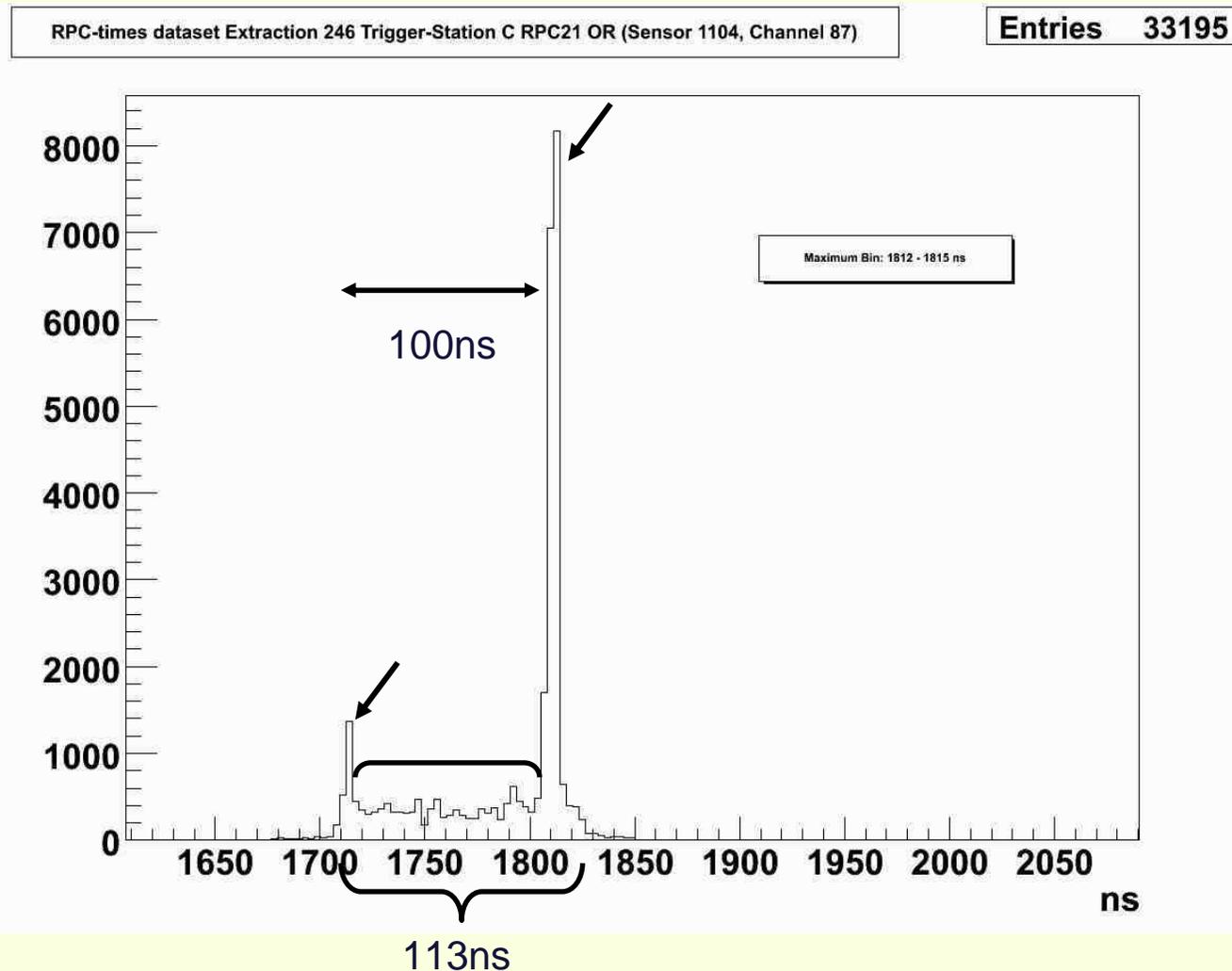
Spektrum aus Realdaten (Juli 2007):



Was zeigt das Spektrum?

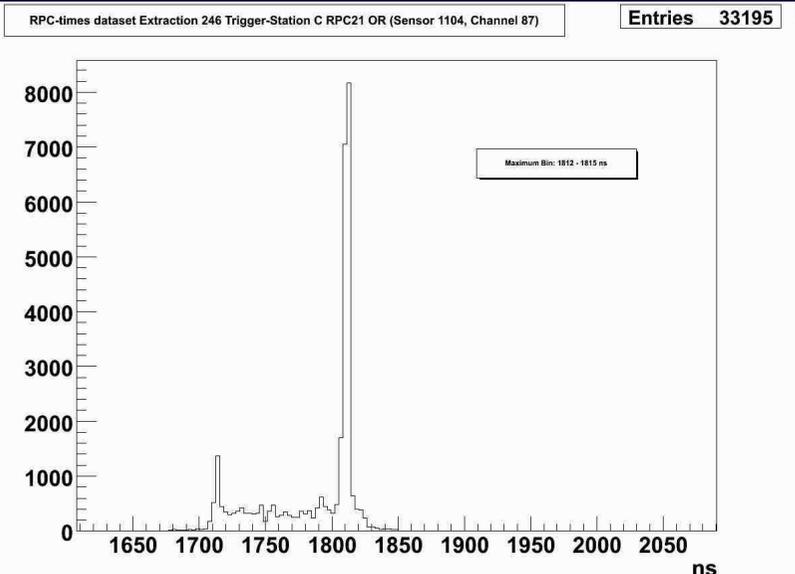
- veränderte 2-Peakstruktur
- Abstand der Peaks 100ns (Wert des TOR-Delays)
- nahezu flacher Untergrund

Spektrum aus Realdaten (Juli 2007):



Was zeigt das Spektrum?

- veränderte 2-Peakstruktur
- Abstand der Peaks 100ns (Wert des TOR-Delays)
- nahezu flacher Untergrund
- veränderte Gesamtlänge des Spektrums (113ns, Grund: verändertes OPE-Shaping)



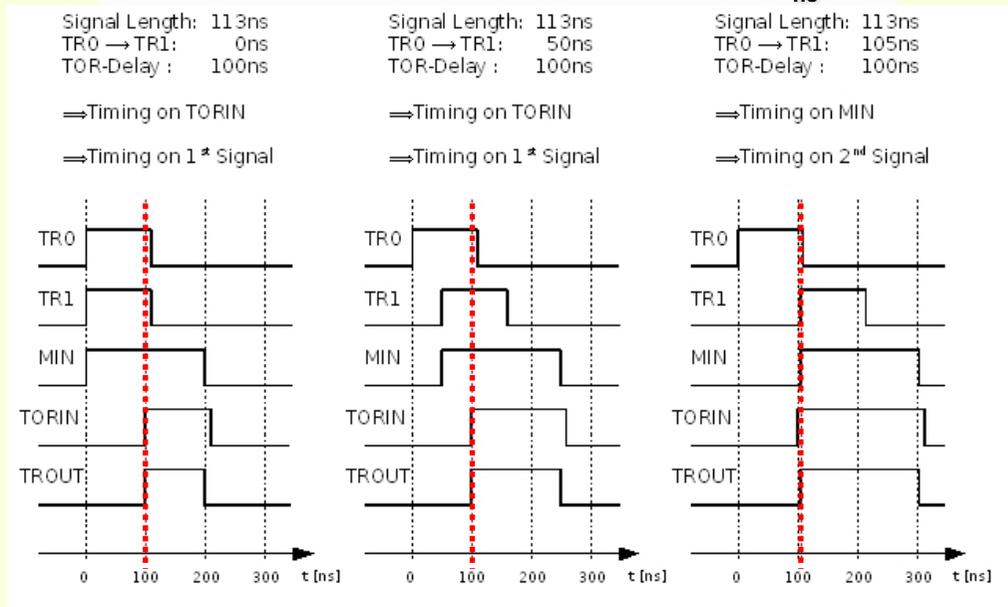
Was zeigt das Spektrum?

-veränderte 2-Peakstruktur

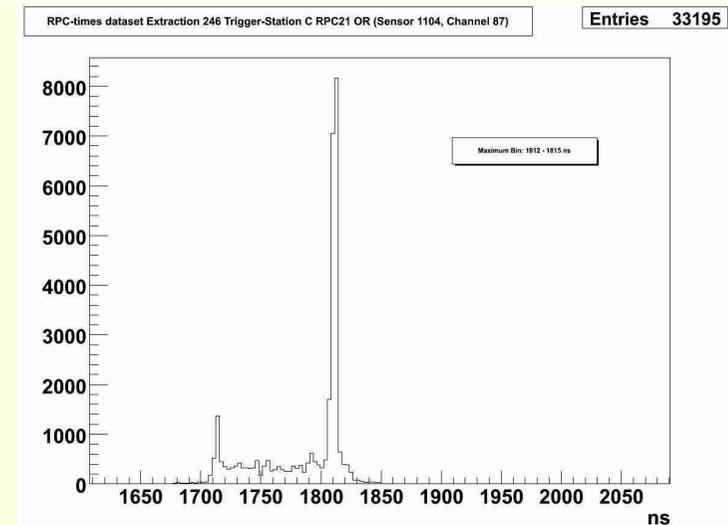
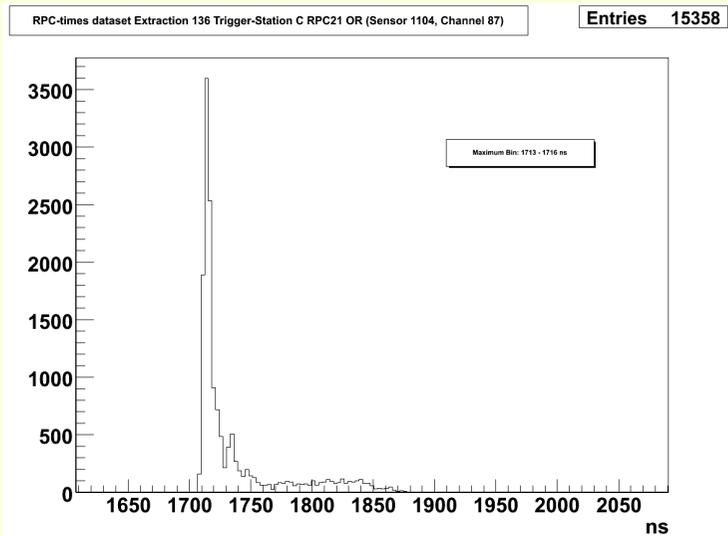
-Abstand der Peaks 100ns (Wert des TOR-Delays)

-nahezu flacher Untergrund

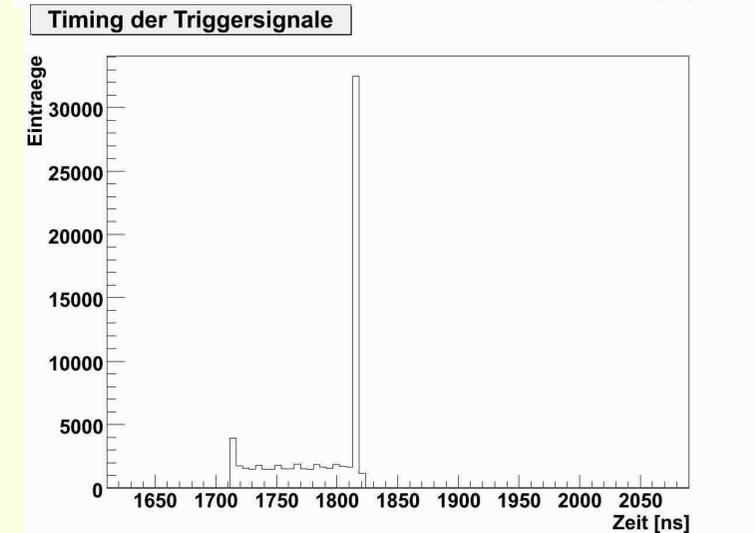
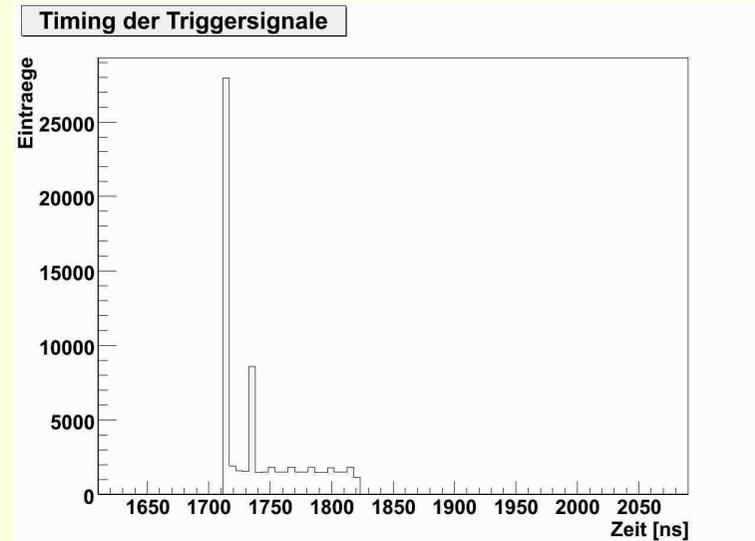
- veränderte Gesamtlänge des Spektrums (113ns, Grund: verändertes OPE-Shaping)



Realdaten:



Simulation (Matthias):



⇒ Entstehung des Spektrums ist verstanden!

- vornehmlich Rauschen
- Timing ist kontrollierbar durch OTB-Einstellungen

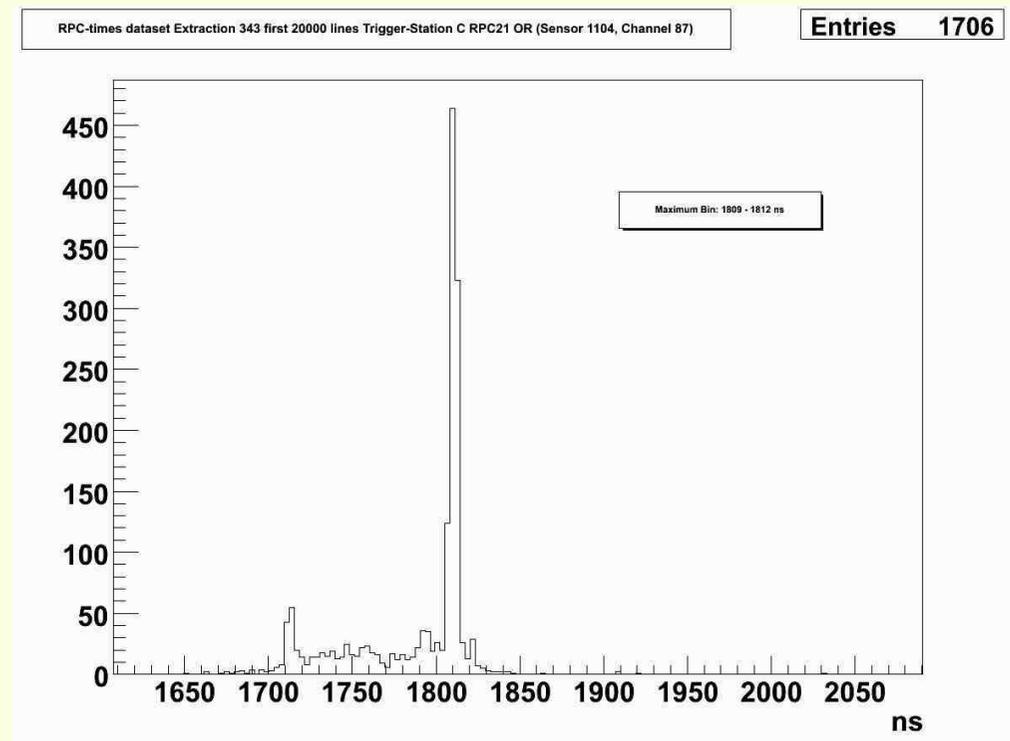
Trigger-Board-Einstellungen Gran Sasso 07.10.2007			
Fixe Kabel- und Gatterlaufzeiten			
Timing Board -> Trigger Board (15m twisted pair)	88,65 [ns]		
Treiber	10 [ns]		
Trigger Board -> NIM-Crate	128 [ns]		
NIM-Crate: TTL to NIM	5 [ns]		
NIM-Crate: NIM to TTL	5 [ns]		
NIM-Crate -> Slave	128 [ns]		
TDC Backplane	2 [ns]		
Summe	366,65 [ns]		
Gewünscht zwischen Timing Board Ausgang Und TDC Backplane sind 2000ns (Bjoern)			
=>	Zu liefernder Delay des Trigger Boards	1633,35 [ns]	
	Fixe Laufzeit auf Trigger Boards	1050 [ns]	
	Einzustellende Delays	583,35 [ns]	
	TOR	100 [ns]	Value-Einstellung 210
	STOP	483,35 [ns]	Value-Einstellung 96,67
Konkrete Einstellungen			
Crate 0 (Trigger Station A): TOR 210, STOP 96	1633 [ns] Delay laut Testpuls		OK
Crate 2 (Trigger Station B): TOR 210, STOP 97	1631 [ns] Delay laut Testpuls		OK
Crate 3 (Trigger Station C): TOR 210, STOP 97	1633 [ns] Delay laut Testpuls		OK
Crate 6 (Trigger Station D): TOR 210, STOP 97	1634 [ns] Delay laut Testpuls		OK
Crate 8 (Trigger Station E): TOR 210, STOP 97	1635 [ns] Delay laut Testpuls		OK
Crate 9 (Trigger Station F): TOR 210, STOP 96	1633 [ns] Delay laut Testpuls		OK

<http://opera.lngs.infn.it:10080/wiki/index.php/OTB>

⇒ **Entstehung des Spektrums ist verstanden!**

Spektrum aus Realdaten (September 2007):

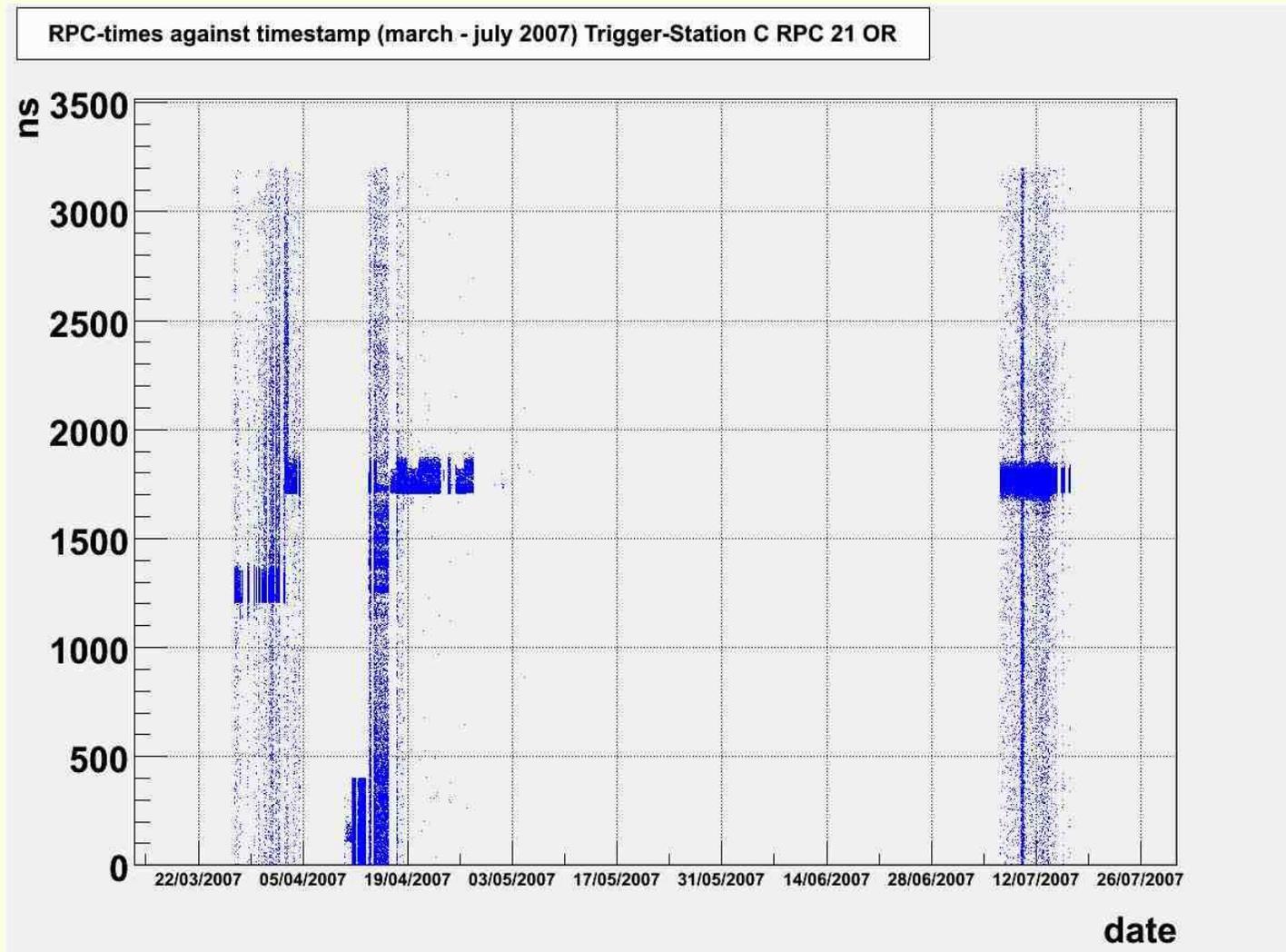
- vornehmlich Rauschen
- Timing ist kontrollierbar durch OTB-Einstellungen
- Bestätigung durch September-Run



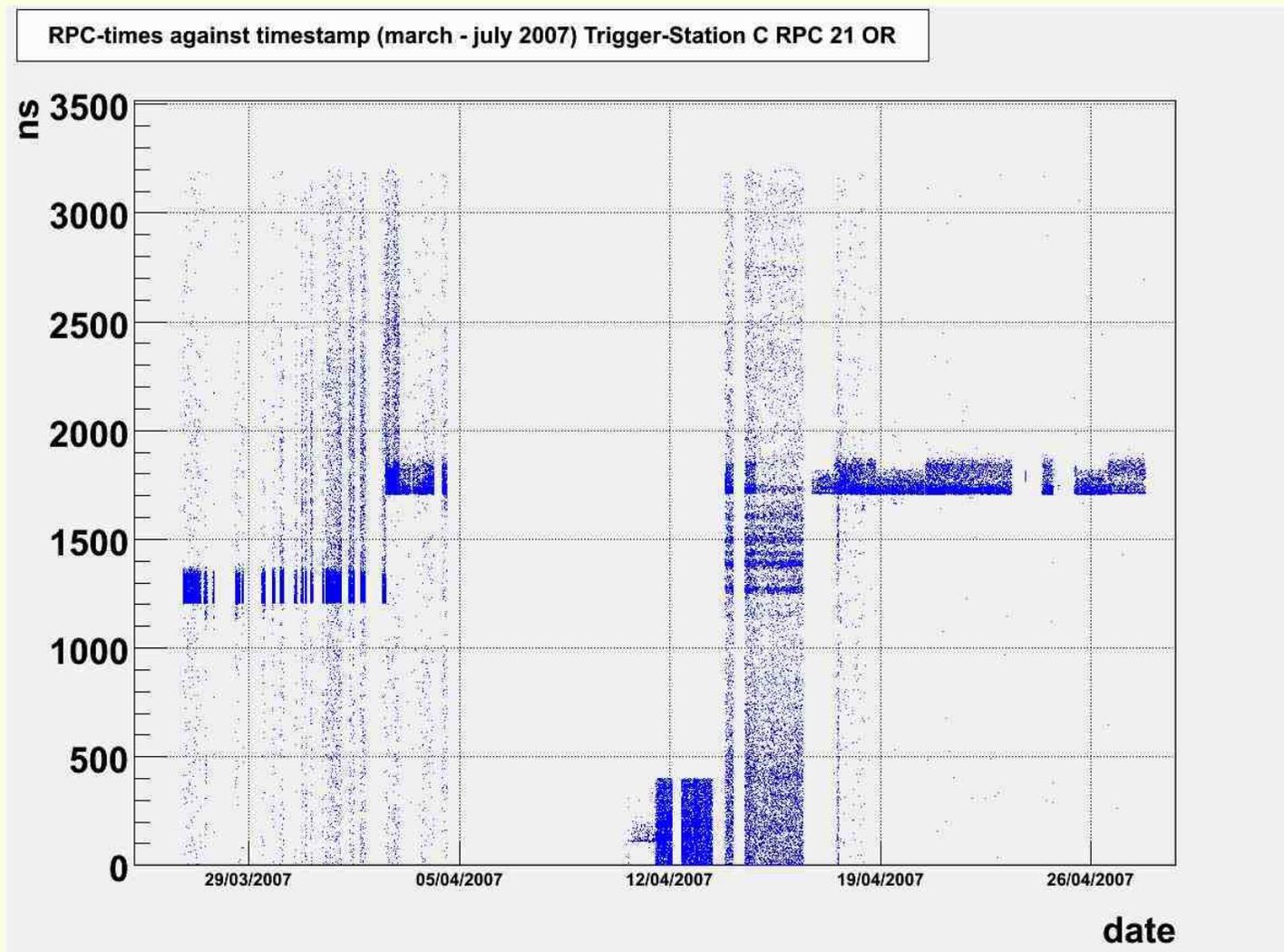
Nach Verständnis des Spektrums sind nähere Untersuchungen möglich:

- Verhalten des Timings während eines Runs (wie variiert die Spektrumslänge)?
- Wie zeigen sich die für die Spurrekonstruktion relevanten Tracks?
- Wie ist die Genauigkeit der „STOP“-Erzeugung auf dem OTB?
- Wie ist die Genauigkeit der „OR“-Erzeugung auf dem OPE?
- Gibt es Verbesserungspotential auf OTB-Ebene?

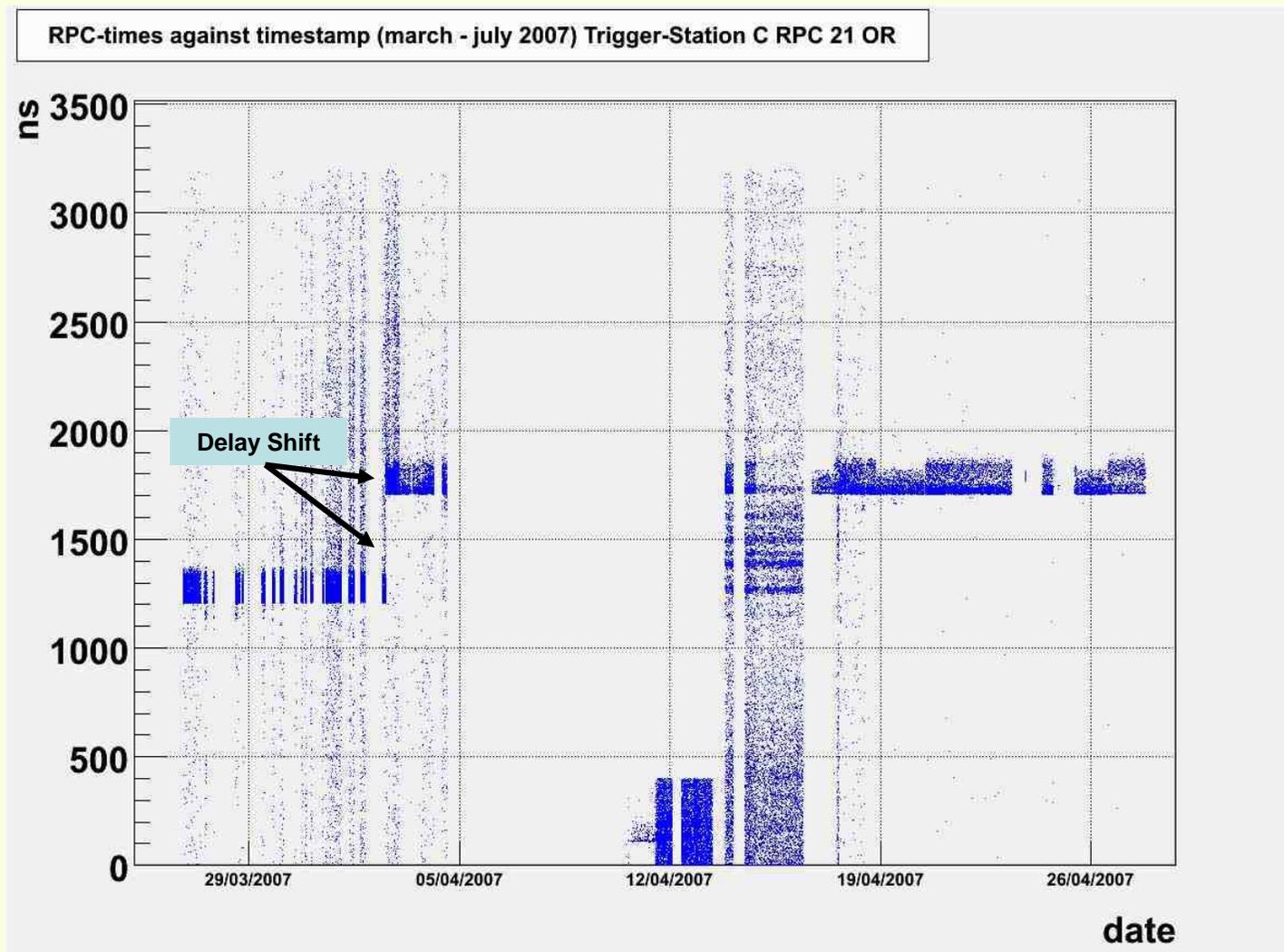
Zeitlicher Verlauf des Spektrums:



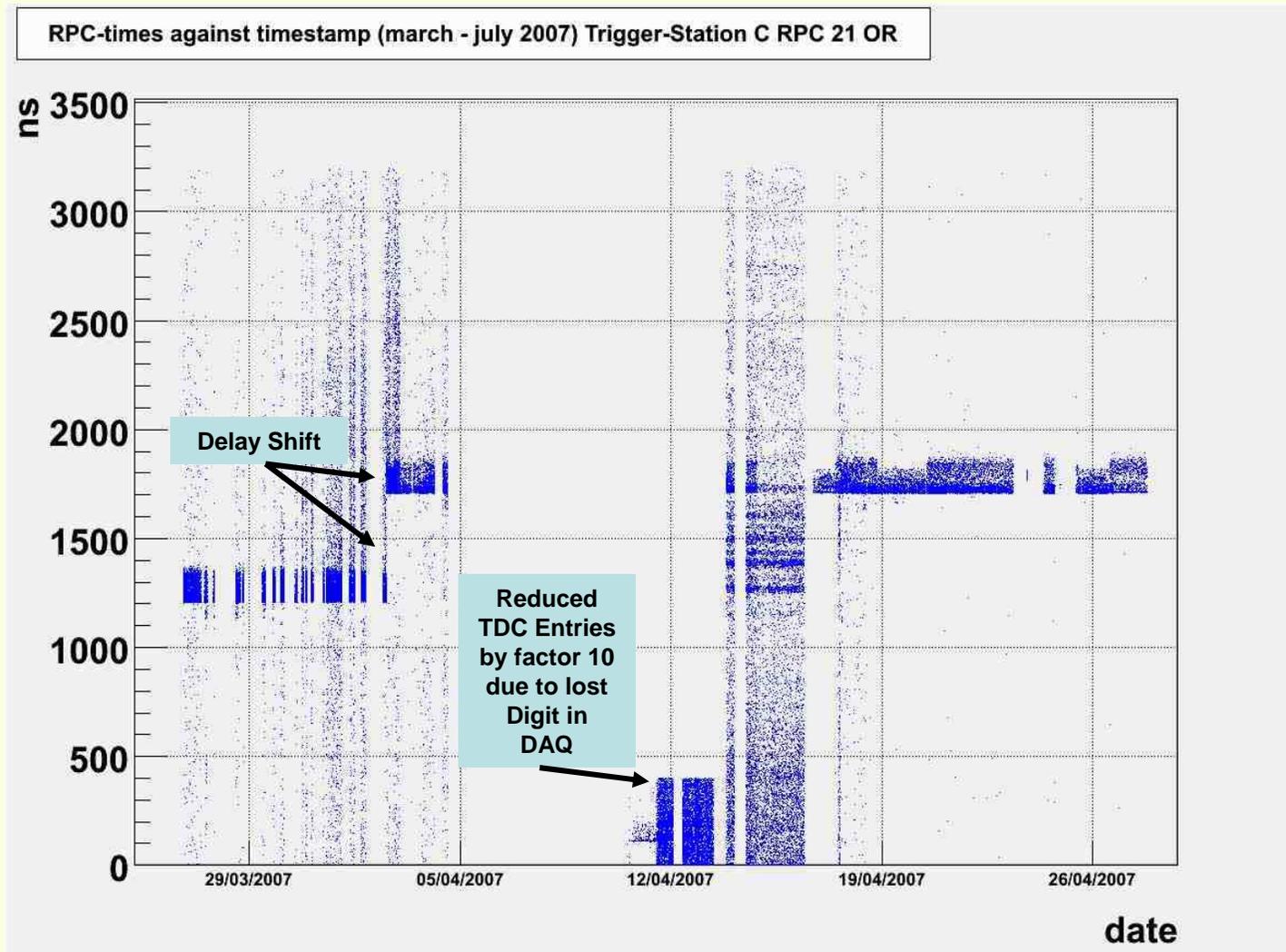
Zeitlicher Verlauf des Spektrums (März/April 2007):



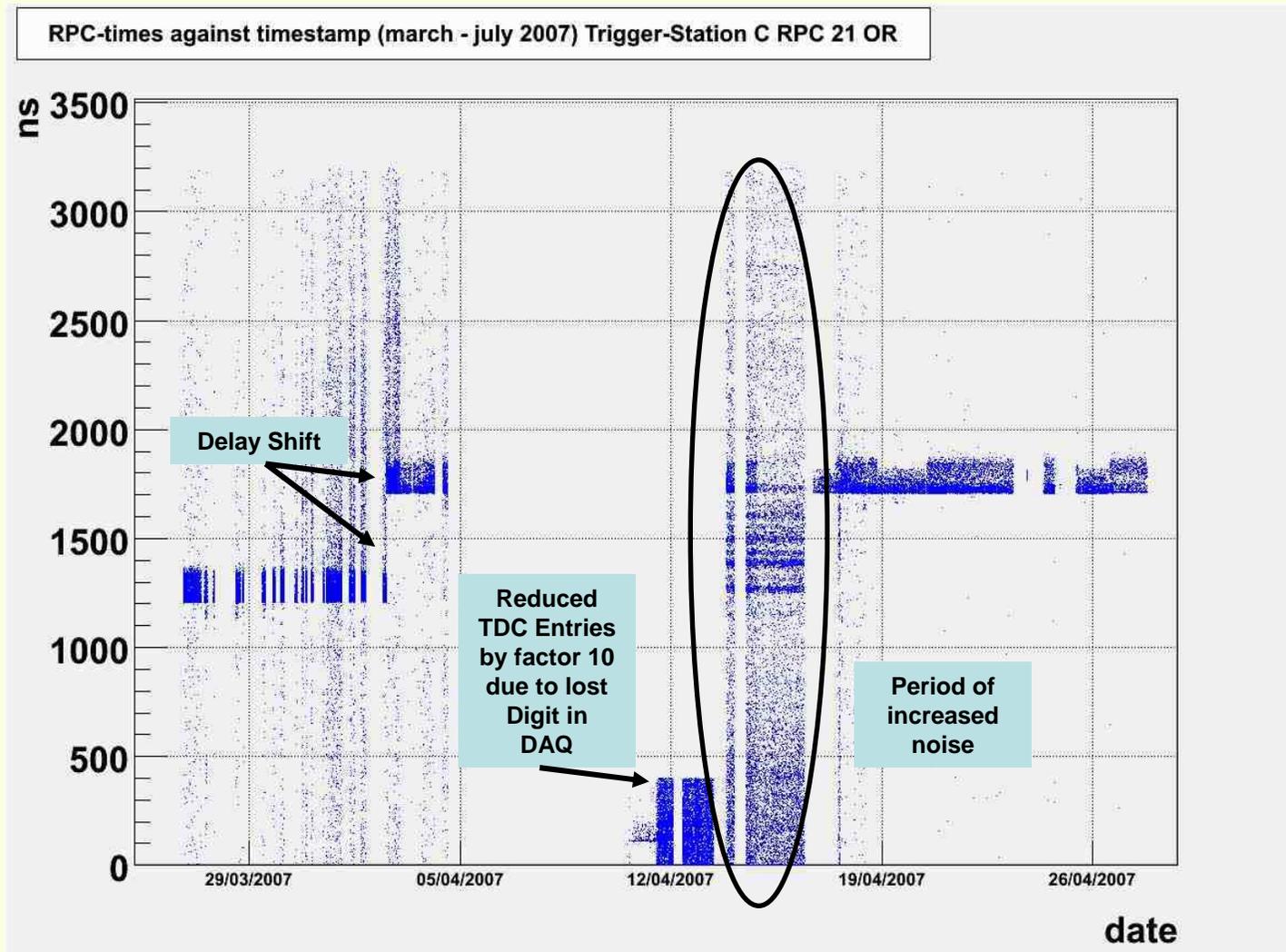
Zeitlicher Verlauf des Spektrums (März/April 2007):



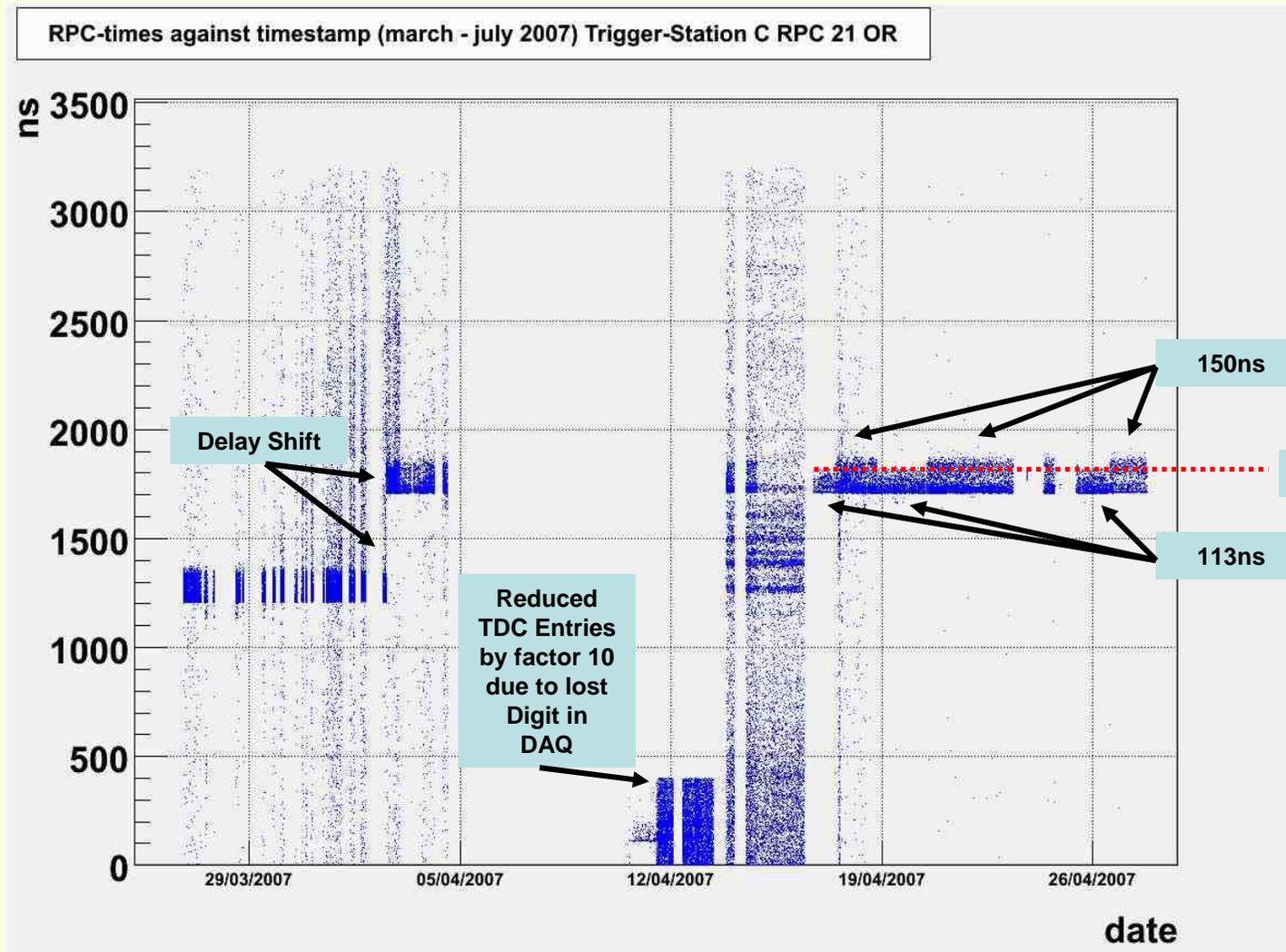
Zeitlicher Verlauf des Spektrums (März/April 2007):



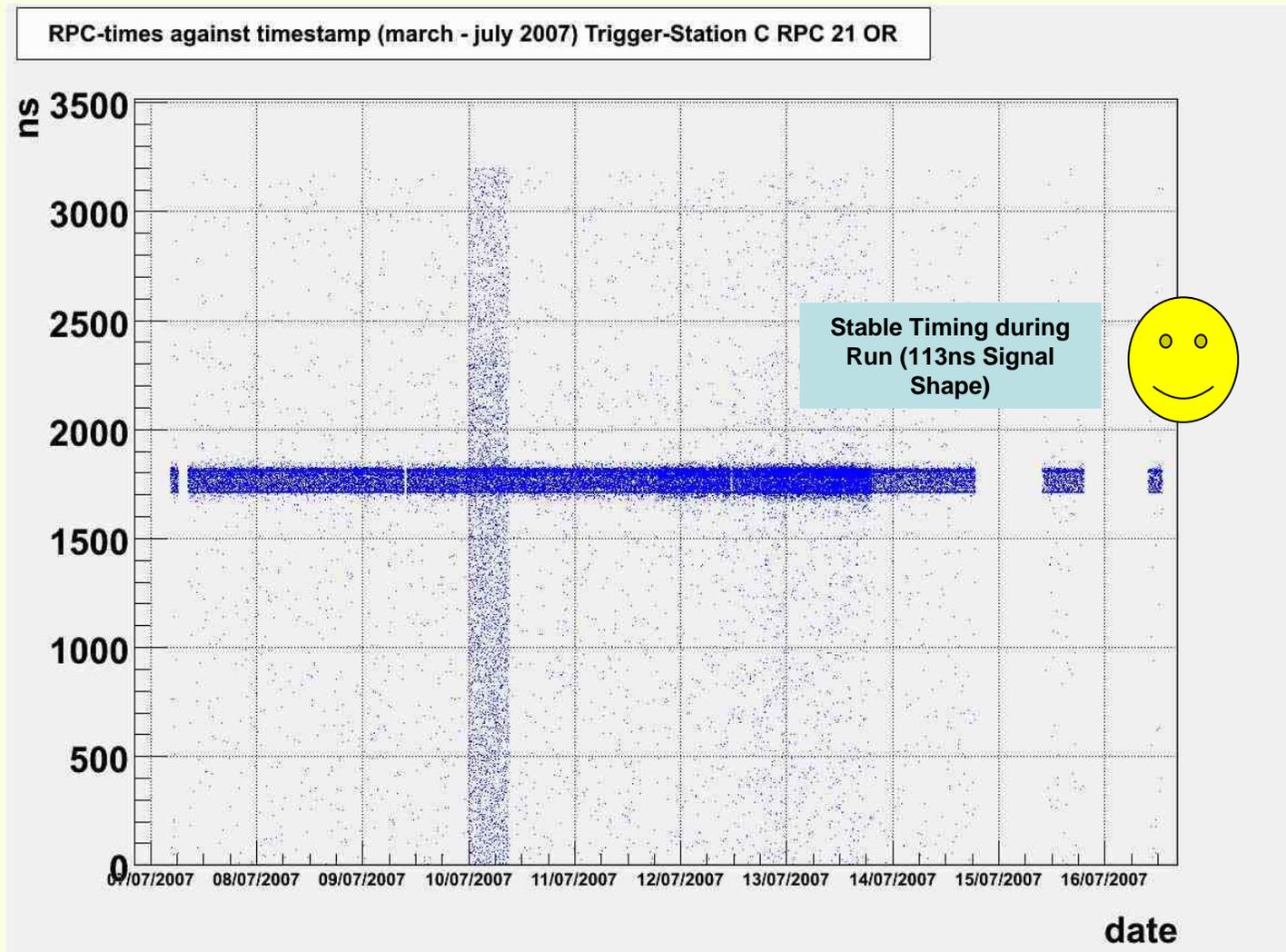
Zeitlicher Verlauf des Spektrums (März/April 2007):



Zeitlicher Verlauf des Spektrums (März/April 2007):

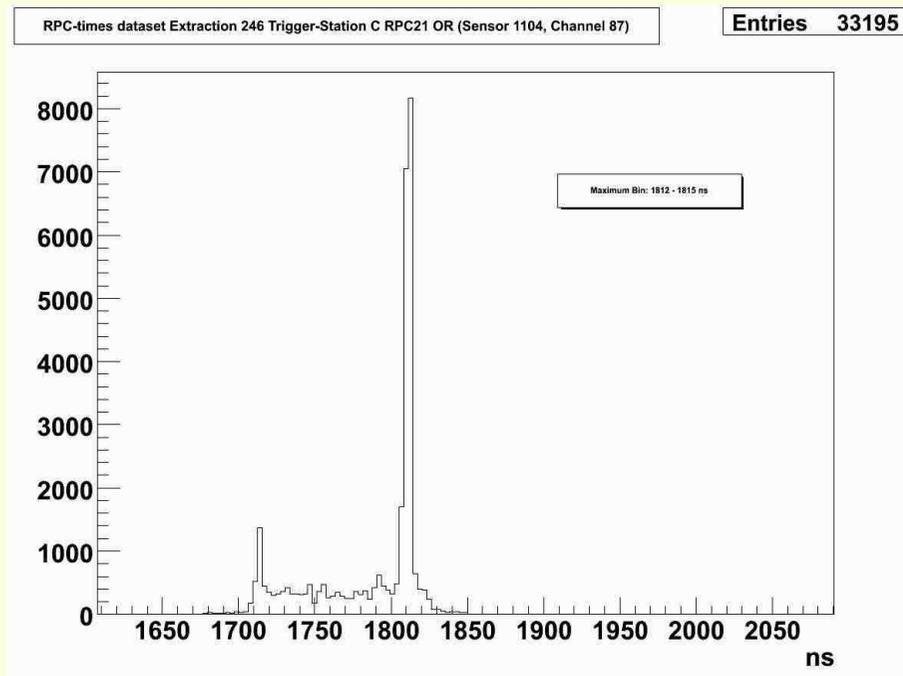


Zeitlicher Verlauf des Spektrums (Juli 2007):

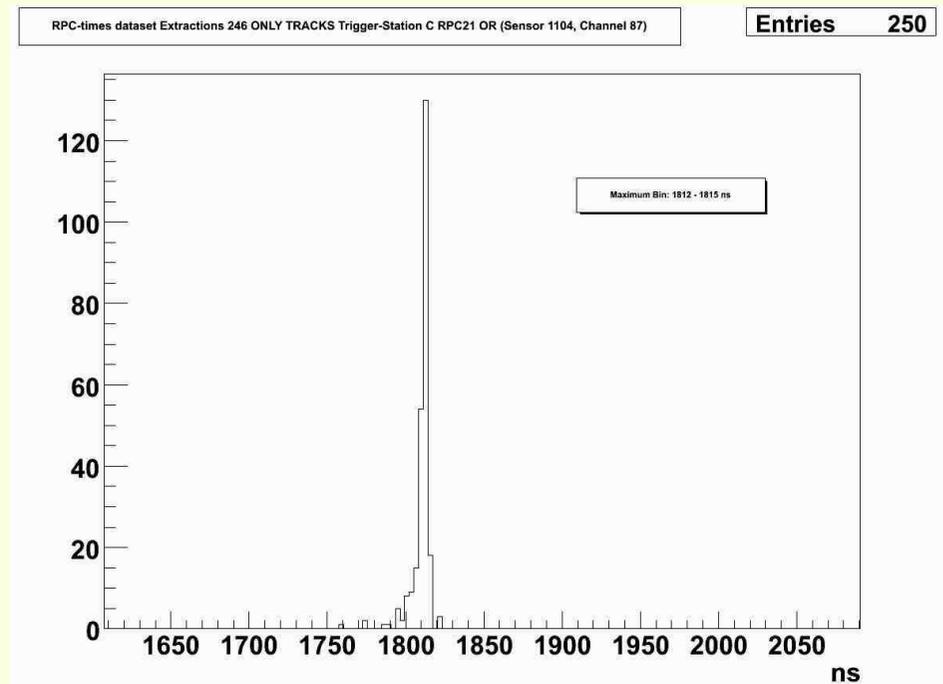


**Wie zeigen sich die für uns wichtigen
Teilchenspuren im Spektrum?**

Komplettdaten Juli
(Extraction 246):



Nur Tracks Juli
(Extraction 246):

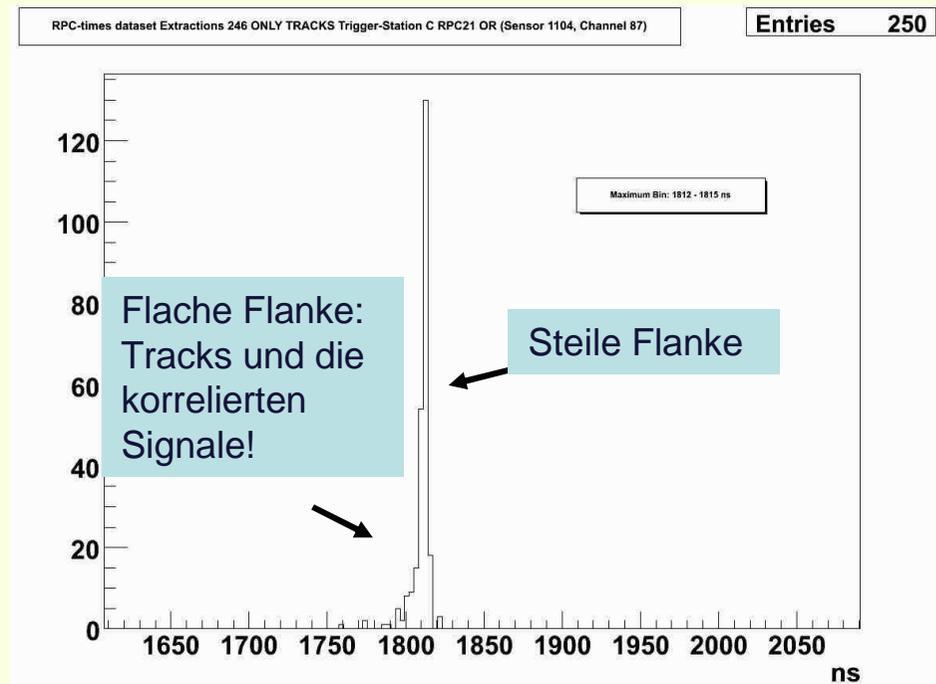
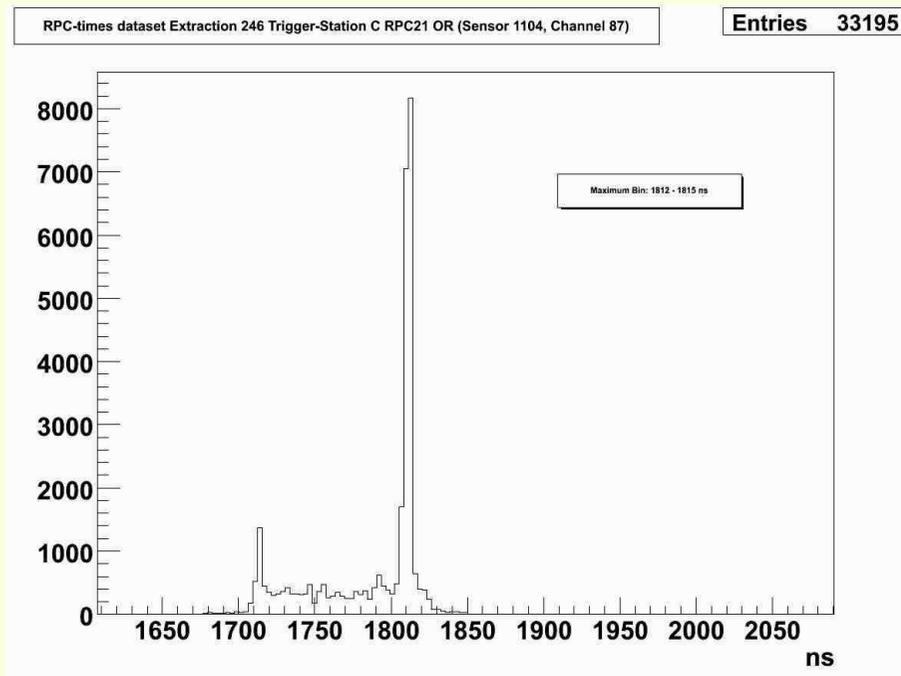


Cut für Tracks (Eike):

- mindestens 3 RPC Einträge
- Mindestens 4 PT-Einträge

Komplettdaten Juli
(Extraction 246):

Nur Tracks Juli
(Extraction 246):

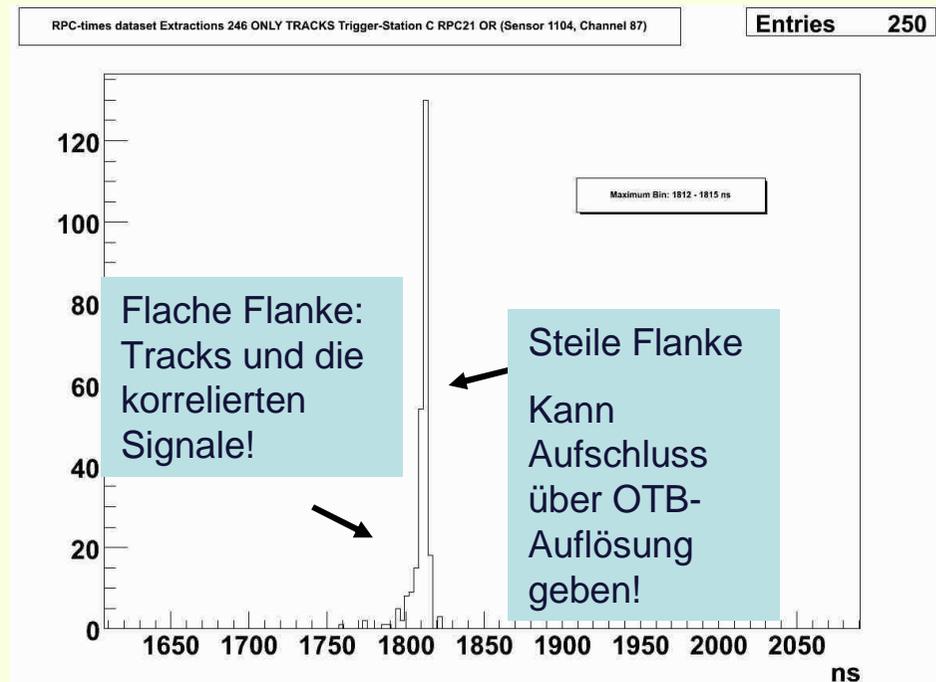
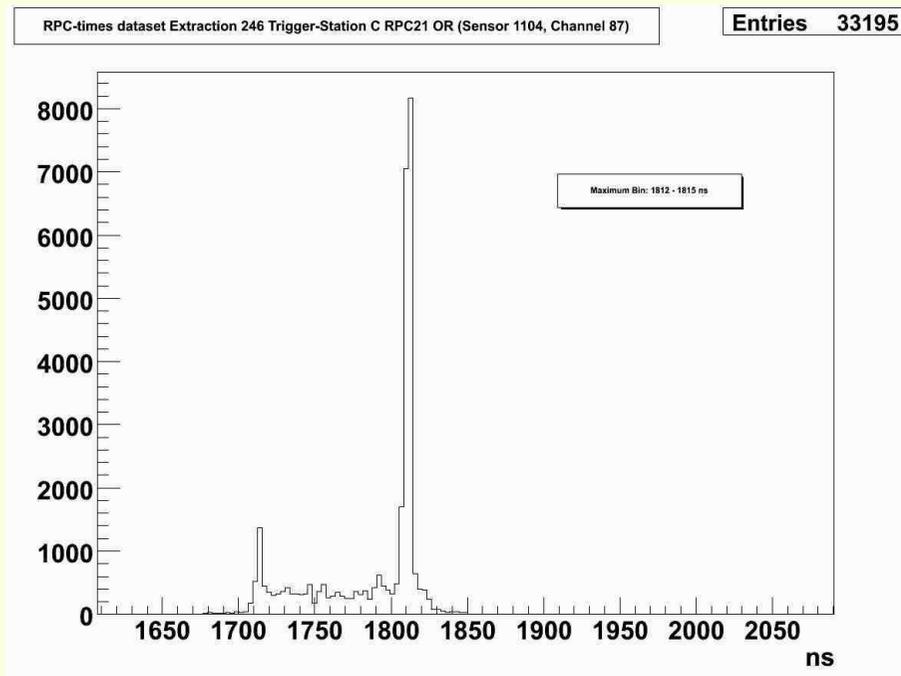


Cut für Tracks (Eike):

- mindestens 3 RPC Einträge
- Mindestens 4 PT-Einträge

Komplettdaten Juli
(Extraction 246):

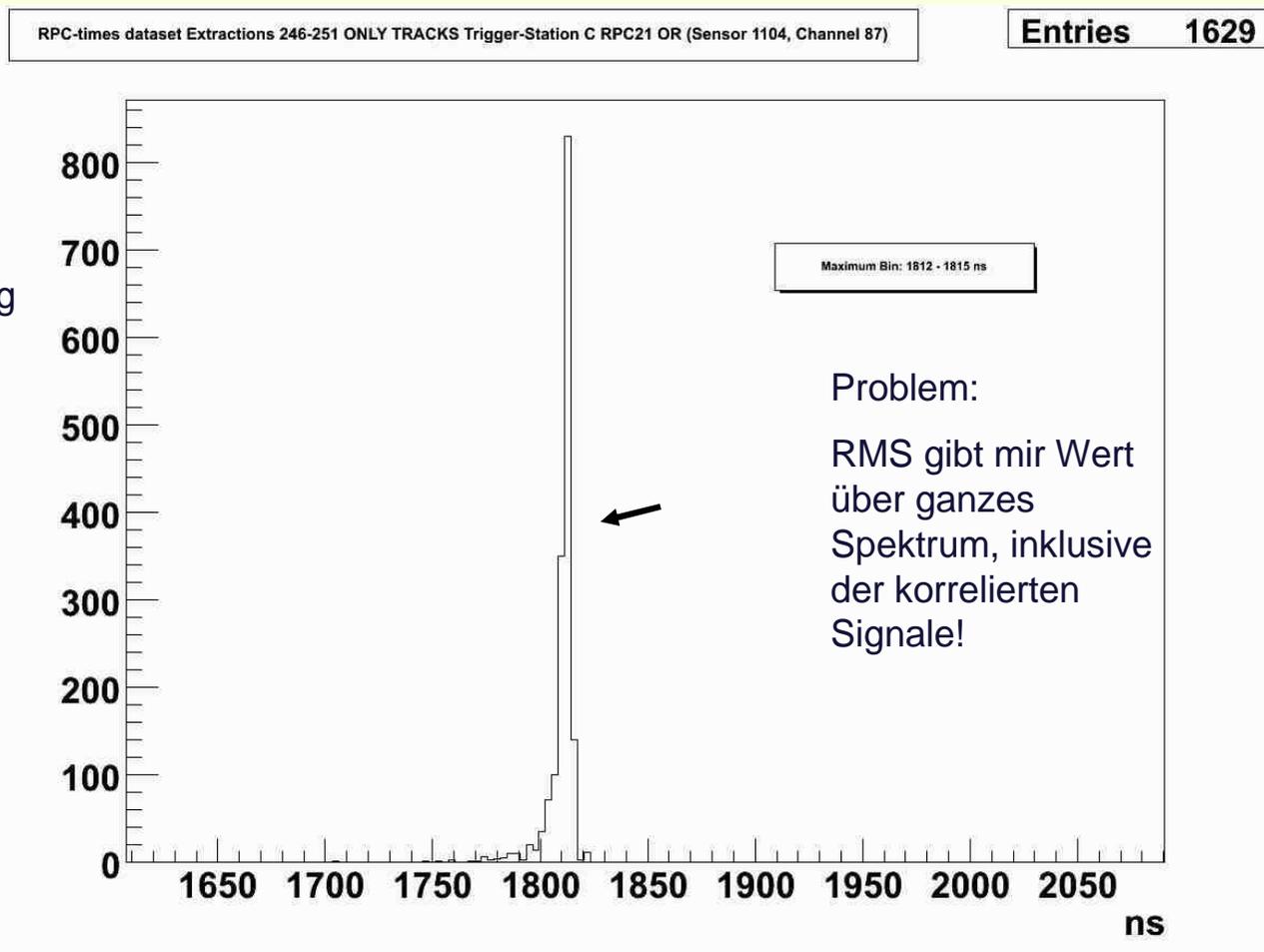
Nur Tracks Juli
(Extraction 246):



Cut für Tracks (Eike):

- mindestens 3 RPC Einträge
- Mindestens 4 PT-Einträge

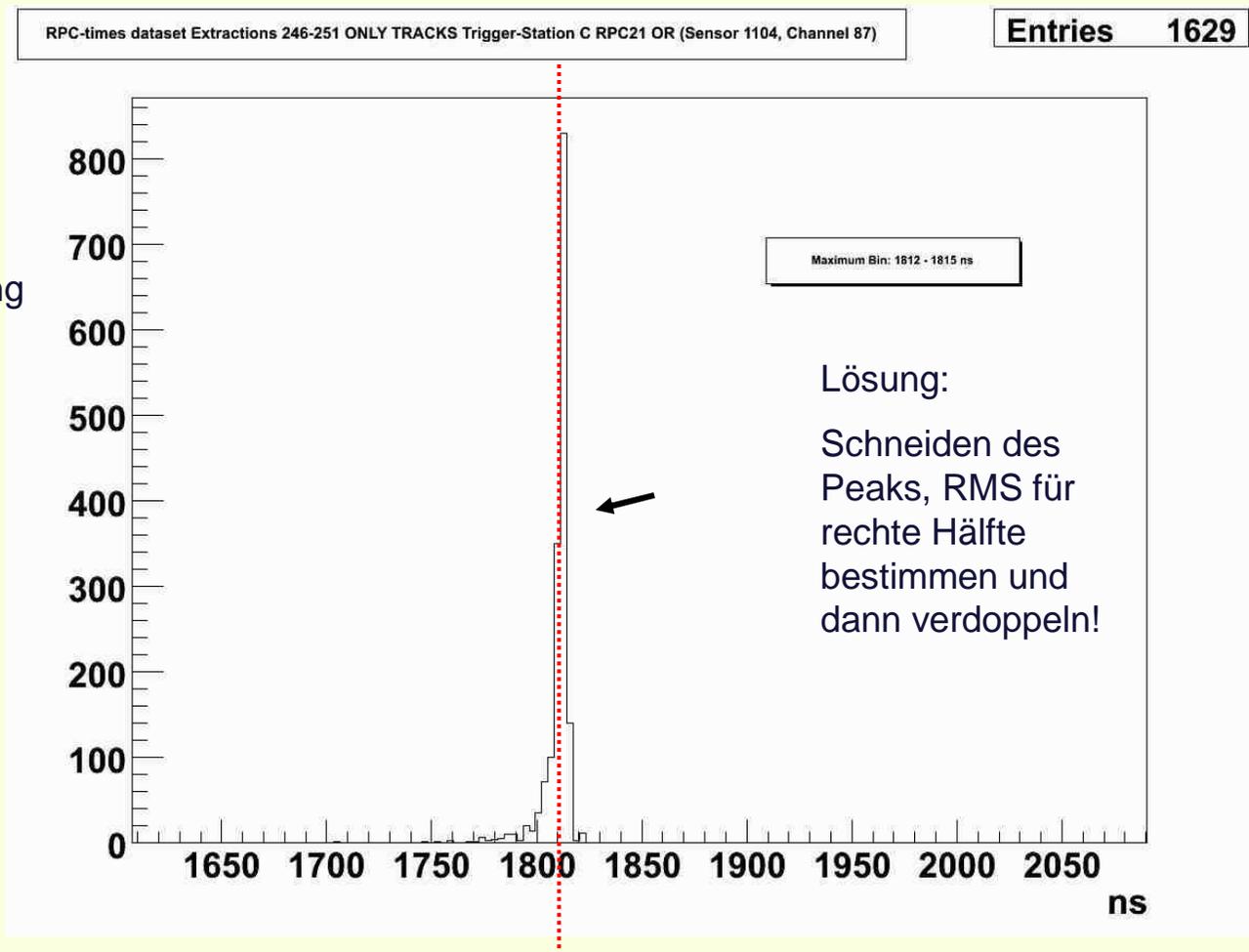
Bestimmung der Flankensteilheit rechts ergibt intrinsische Auflösung des OTB



Zur Erhöhung der
Statistik
Zusammenfassung
der Extractions
246 – 251

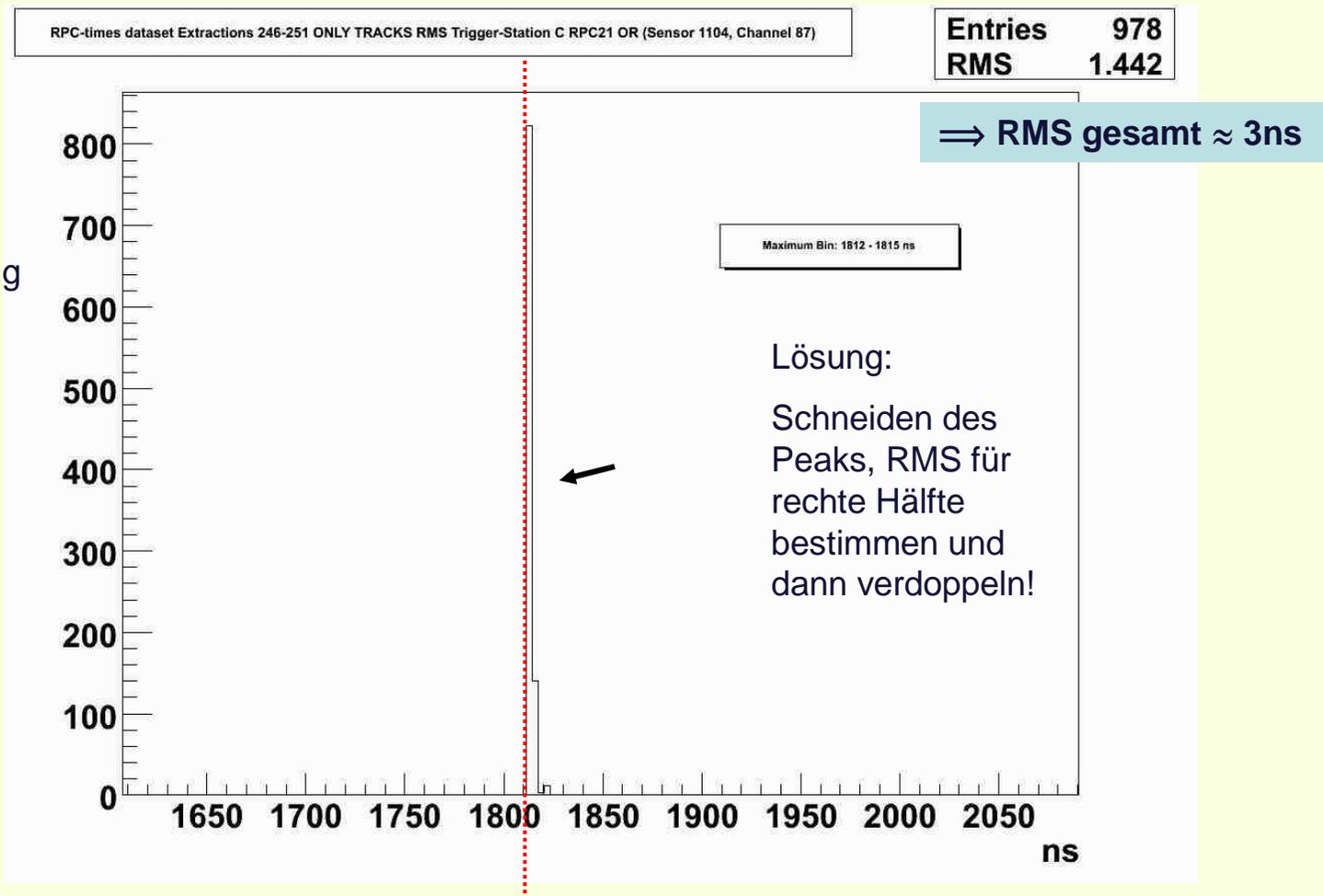
Bestimmung der Flankensteilheit rechts ergibt intrinsische Auflösung des OTB

Zur Erhöhung der Statistik
Zusammenfassung
der Extractions
246 – 251

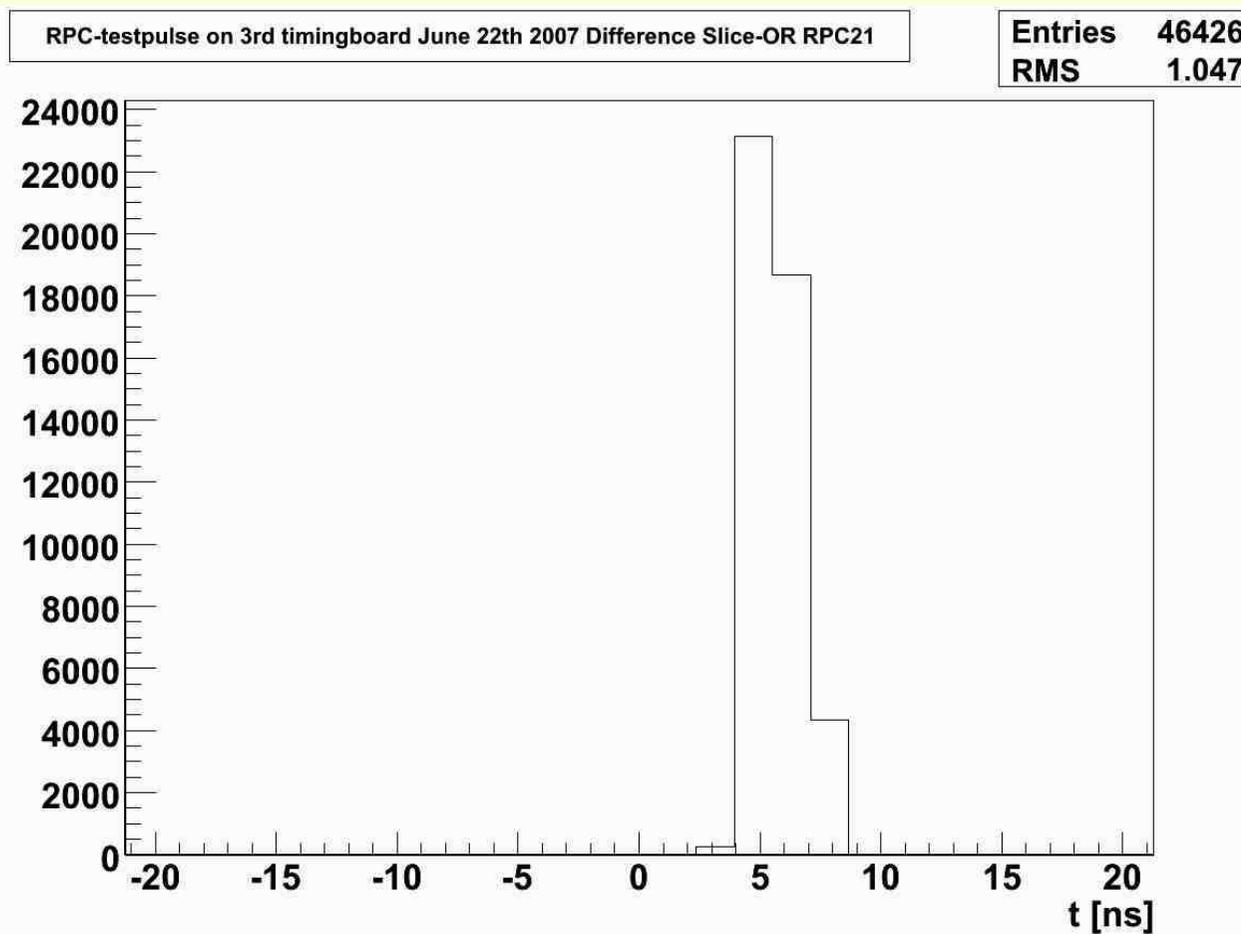


Bestimmung der Flankensteilheit rechts ergibt intrinsische Auflösung des OTB

Zur Erhöhung der Statistik
Zusammenfassung
der Extractions
246 – 251



Differenz zwischen Timing Board Signal und dem von ihm erzeugten OR:



(Slice – OR) =
Verzögerung des
OR ggü. Slice =
Gatterlaufzeit OPE

Auflösung über
RMS \approx 1ns

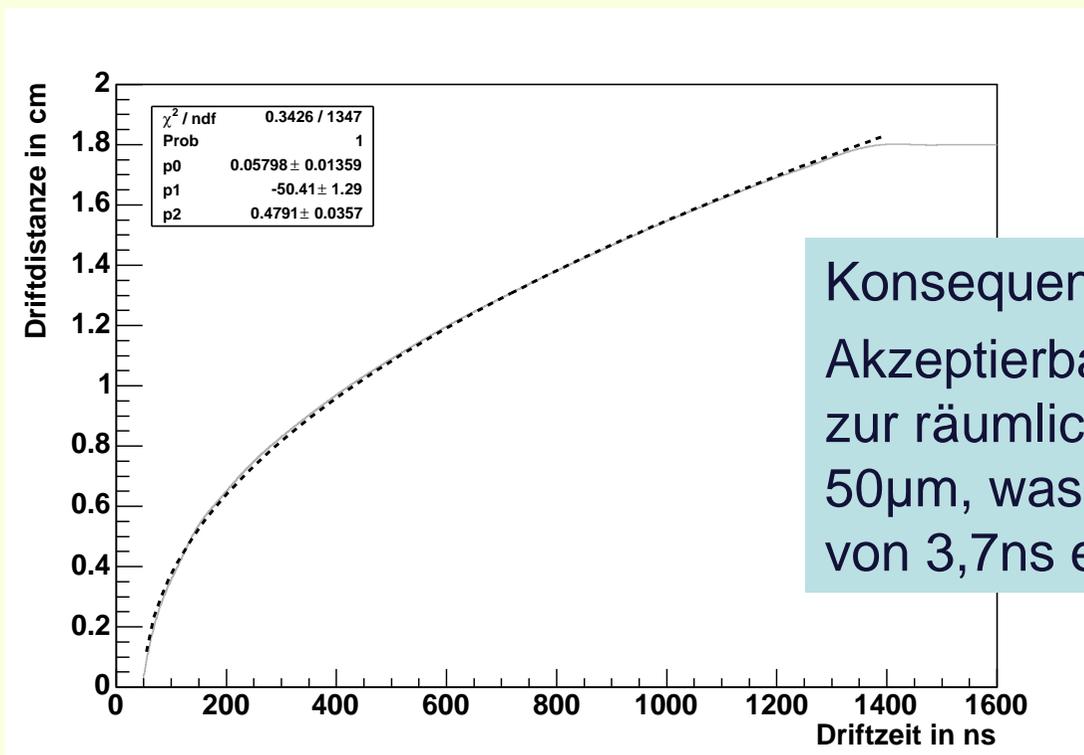
Zusammenfassung der Ergebnisse:

- Verständnis des Zusammenspiels des Triggersystems
- Mapping der Kanäle und deren Zuordnung zu RPC-Slices
- Verständnis der Signalverarbeitung auf dem Triggerboard, dadurch Verständnis der Entstehung des Timing-Spektrums
- Kontrolle und Überwachung des STOPs über Triggerboardeinstellungen
- Verständnis der Signalkorrelation bei Tracks
- Bestimmung der intrinsischen Auflösung des Triggerboards
- Bestimmung der intrinsischen Auflösung der OR-Erzeugung auf dem OPE

Triggerboard-Auflösung: $\approx 3\text{ns}$

OPE-Auflösung: $\approx 1\text{ns}$

Auflösungsvermögen RPC: 2 – 4ns



Konsequenzen für Rekonstruktion?
 Akzeptierbarer Beitrag des Triggers zur räumlichen Auflösung beträgt $50\mu\text{m}$, was einer zeitlichen Auflösung von $3,7\text{ns}$ entspricht...

Gibt es Optimierungspotential?

Wunsch: Reduzierung des Triggerns auf Rauschen

→ dadurch Vermeidung von unnötiger Daten-Akquisition

Gibt es Optimierungspotential?

Wunsch: Reduzierung des Triggerns auf Rauschen

→ dadurch Vermeidung von unnötiger Daten-Akquisition

Möglichkeit: durch Verkleinerung der Länge der Trigger-Eingangssignale kann das Majority-Fenster verkleinert werden

→ dadurch Verringerung des Zusammentreffens zweier Rauschsignale

→ dadurch Verringerung der Rausch-Triggerrate

Gibt es Optimierungspotential?

Wunsch: Reduzierung des Triggerns auf Rauschen

→ dadurch Vermeidung von unnötiger Daten-Akquisition

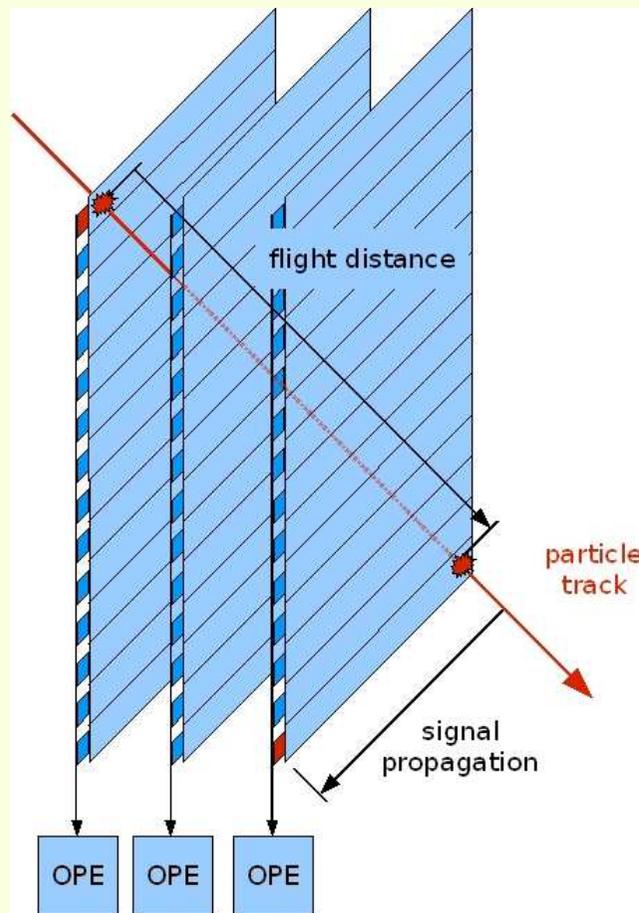
Möglichkeit: durch Verkleinerung der Länge der Trigger-Eingangssignale kann das Majority-Fenster verkleinert werden

→ dadurch Verringerung des Zusammentreffens zweier Rauschsignale

→ dadurch Verringerung der Rausch-Triggerrate

Frage: Wie klein dürfen die Signallängen gemacht werden?

Frage: Wie klein dürfen die Signallängen gemacht werden?



Maximal denkbare
Time of Flight: 38ns

Maximal denkbare
Unterschied in
Propagation Time: 32ns

⇒ Maximaler Abstand
zweier physikalisch
korrelierter
Triggersignale: 70ns
= Grenze für Signallänge

Welche Auswirkung hat eine Reduzierung auf 75ns?

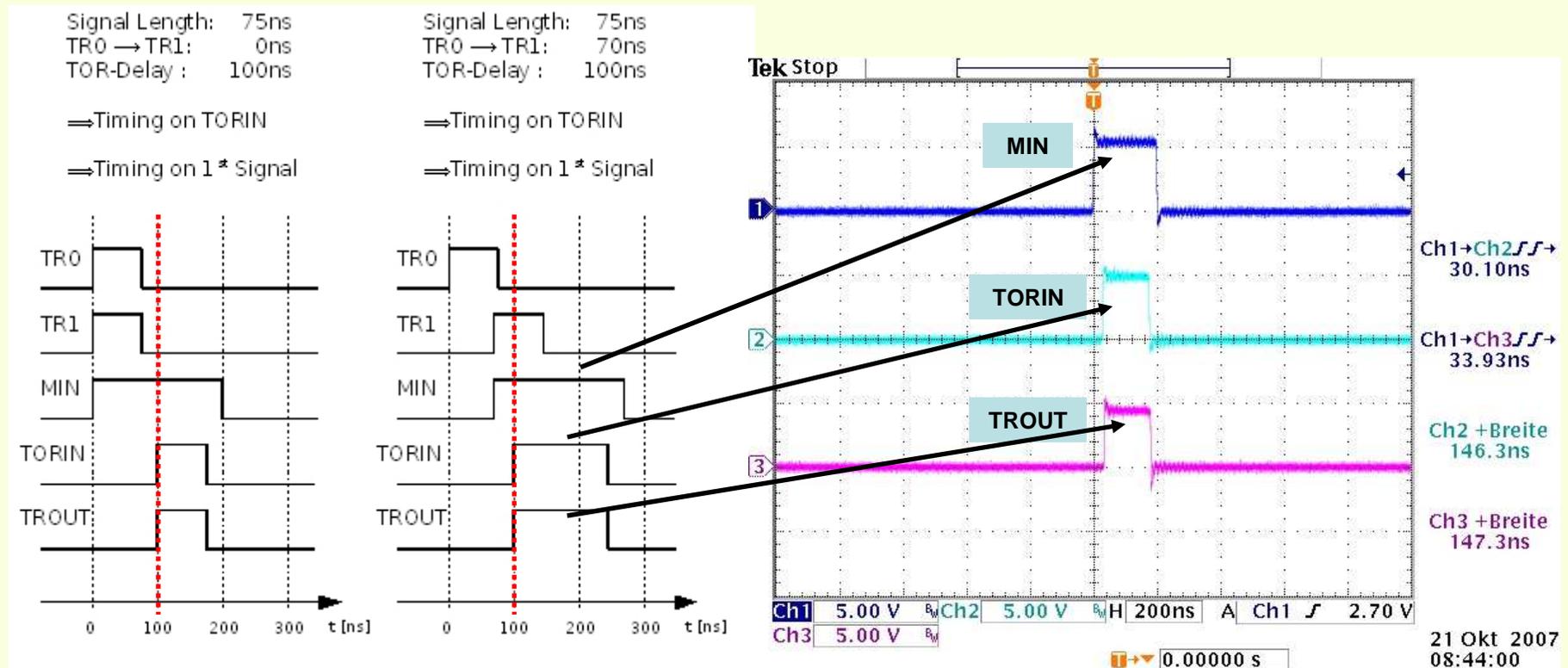
Rausch-Trigger-Rate gemäß Trigger-Note (200ns, Dezember 2005):	1,2Hz
Rausch-Trigger-Rate aktuell (113ns, unbeständig!):	0,7Hz
Rausch-Trigger-Rate bei 75ns:	0,45Hz

Welche Auswirkung hat eine Reduzierung auf 75ns?

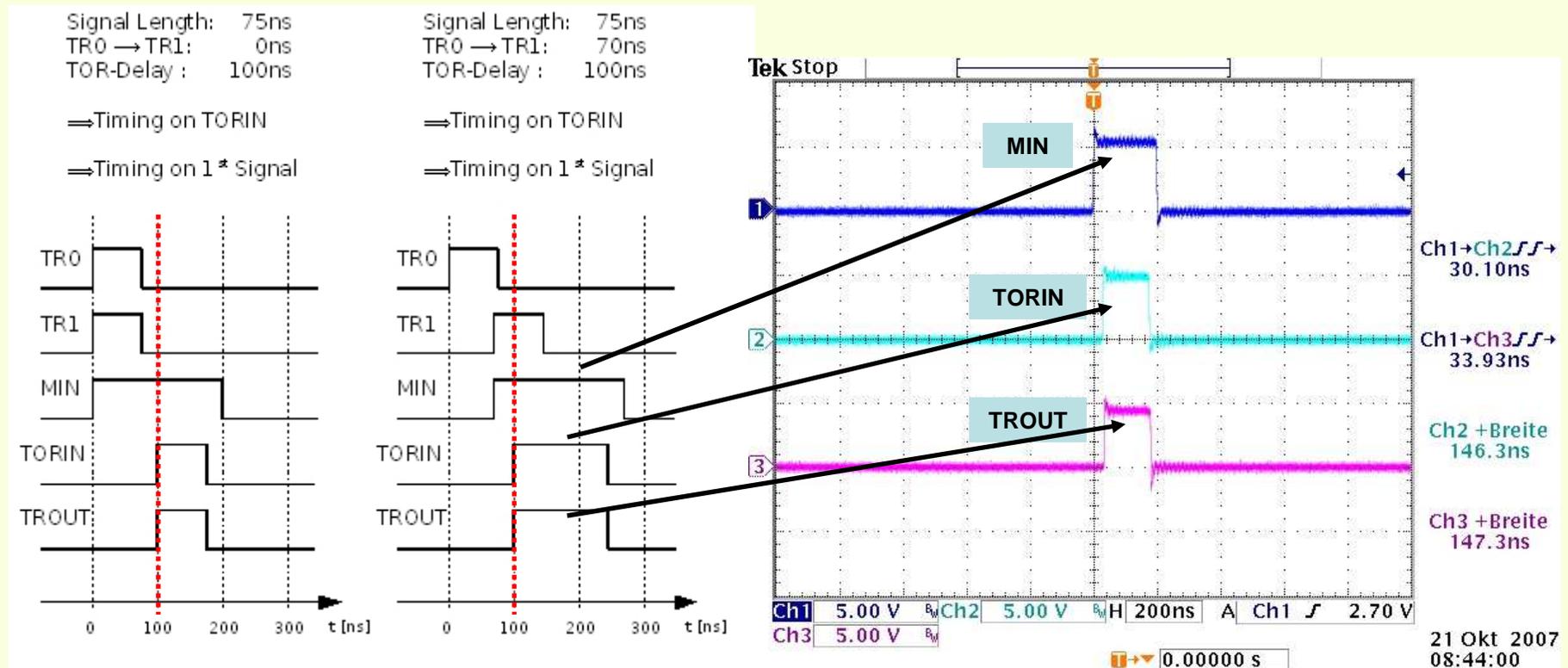
Rausch-Trigger-Rate gemäß Trigger-Note (200ns, Dezember 2005):	1,2Hz
Rausch-Trigger-Rate aktuell (113ns, unbeständig!):	0,7Hz
Rausch-Trigger-Rate bei 75ns:	0,45Hz

Das entspricht einer Reduzierung des Rausch-Trigger-Rate um über 60% gegenüber der Rate in der Trigger Note!

Funktioniert die Signalverarbeitung verlässlich bei 75ns?



Funktioniert die Signalverarbeitung verlässlich bei 75ns? Ja...



Also: Reduzierung auf 75ns ist sinnvoll...

Wie kann das erreicht werden?

Eigener Pulsweitenmanipulator am OTB-Eingang
(positiver Nebeneffekt: Unabhängigkeit von italienischen Signallängen...)

Einfachste Lösung:

Einbau eines fixen PWM auf der „Spielwiese“

Kosten \approx 150\$ pro Triggerboard (Kosten für einen PWM \approx 30\$)...

Vielen Dank für die Aufmerksamkeit



UH

