

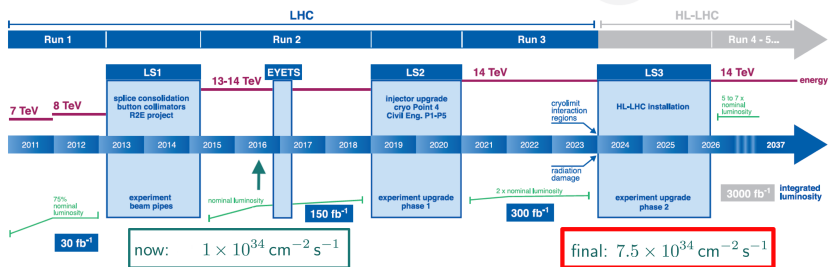
Entwicklung eines neuen Level-0 Myontriggers für das ATLAS-Experiment am High-Luminosity-LHC



28. März 2017 - DPG-Tagung Münster

Philipp Gadow, Betreuer: Oliver Kortner | Max-Planck-Institut für Physik, München

Luminositäts-Upgrade des LHC

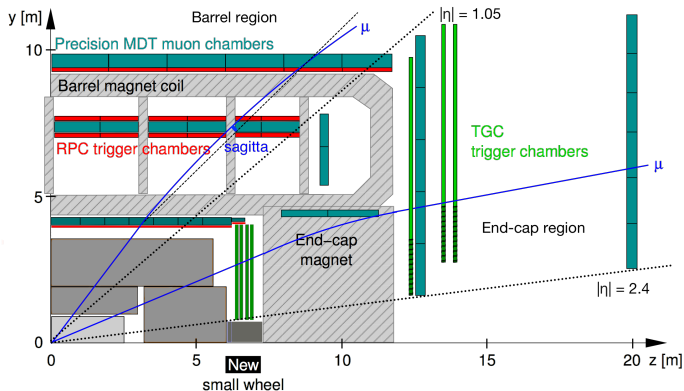


LHC Luminosität nach Upgrade um eine Größenordnung erhöht:

- ▶ Messungen des Standardmodells mit signifikant erhöhter Genauigkeit
- ▶ Suchen nach neuer Physik mit größerer Reichweite

ATLAS-Myonspektrometer am HL-LHC

$$\eta = -\ln \left[\tan \left(\frac{\theta}{2} \right) \right]$$



Impulsmessung mittels Sagitta (Spurkrümmung) in drei Lagen der Myonkammern.

Schnelle Triggerkammern, $\sigma_t \sim \mathcal{O}(1 \text{ ns})$:

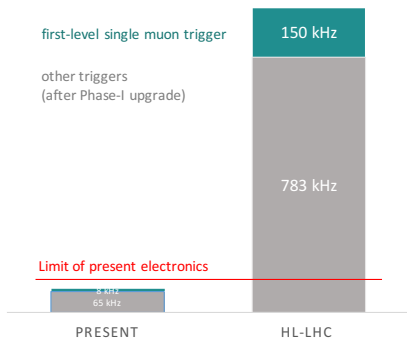
- ▶ Resistive Plate Chambers (RPC),
- ▶ Thin Gap Chambers (TGC)

Präzisions-Spurdetektoren, $\sigma_r \sim \mathcal{O}(35 \mu\text{m})$:

- ▶ Monitored Drift Tube Chambers (MDT),
6-8 Lagen aus $\varnothing 30 \text{ mm}$ Driftrohren.

Herausforderung: Hohe Triggerrate nach Upgrade

First-level trigger rates

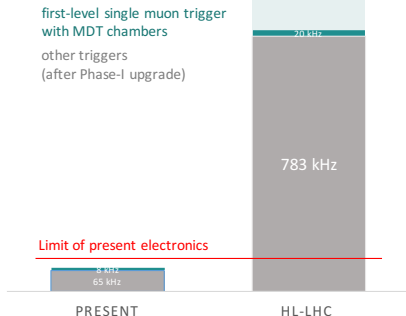


- ▶ 10× höhere Triggerrate am HL-LHC bei Triggerschwellen $\lesssim 20$ GeV überschreitet Leistungsfähigkeit der jetzigen Elektronik
- ▶ Zielvorgabe für Myontriggerrate: < 40 kHz

- ▶ Lösung: Hochselektive Trigger, insbesondere verbesserte erste Myontriggerstufe.

Herausforderung: Hohe Triggerrate nach Upgrade

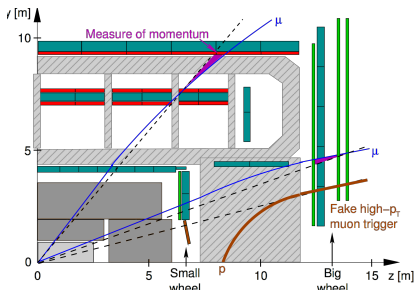
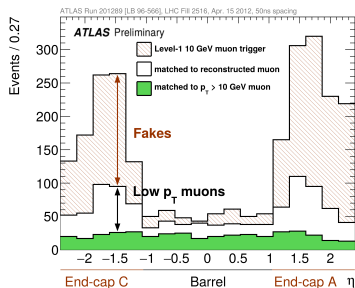
First-level trigger rates



- ▶ **10× höhere Triggerrate** am HL-LHC bei Triggerschwellen $\lesssim 20$ GeV überschreitet Leistungsfähigkeit der jetzigen Elektronik
- ▶ Zielvorgabe für Myontriggerrate: < 40 kHz

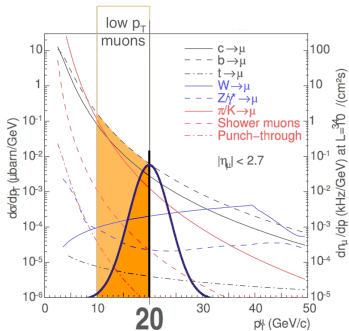
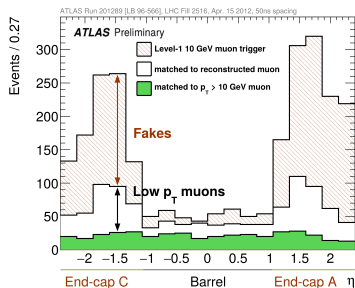
- ▶ Lösung: Hochselektive Trigger, insbesondere **verbesserte erste Myontriggerstufe**.

Beiträge zur Level-1 Myontriggerrate



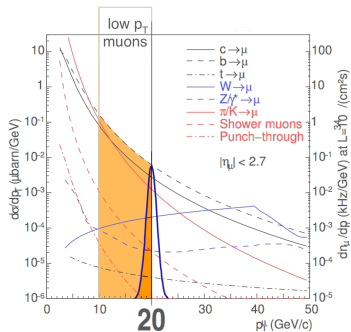
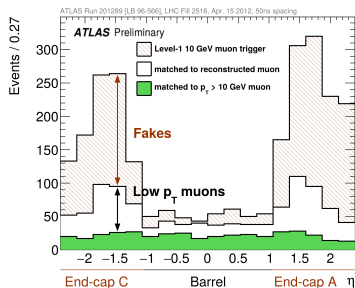
- ▶ Triggerrate dominiert durch **Fakes in den Endkappen** und durch hohe Rate von Myonen mit niedrigem p_T
- ▶ **Verbesserte Impulsauflösung** der ersten Triggerstufe nötig, um diesen Beitrag zu reduzieren

Beiträge zur Level-1 Myontriggerrate



- ▶ Triggerrate dominiert durch Fakes in den Endkappen und durch **hohe Rate von Myonen mit niedrigem p_T**
- ▶ **Verbesserte Impulsauflösung** der ersten Triggerstufe nötig, um diesen Beitrag zu reduzieren

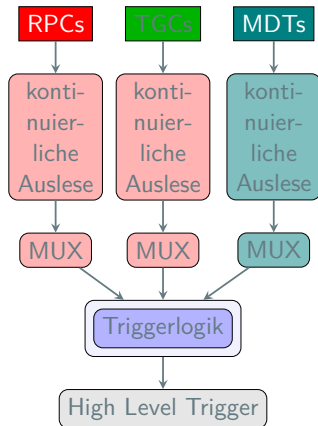
Beiträge zur Level-1 Myontriggerrate



- ▶ Triggerrate dominiert durch Fakes in den Endkappen und durch **hohe Rate von Myonen mit niedrigem p_T**
- ▶ **Verbesserte Impulsauflösung** der ersten Triggerstufe nötig, um diesen Beitrag zu reduzieren

Erste Myontriggerstufe am HL-LHC

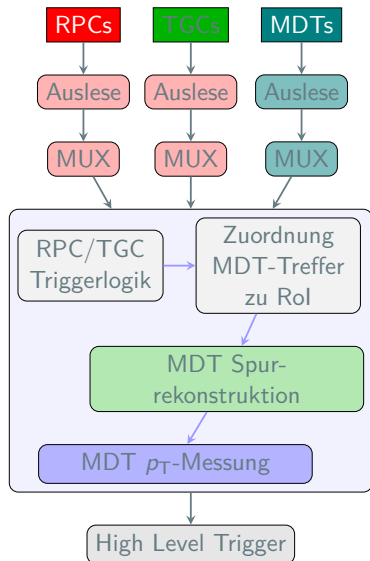
MDT-Myontrigger



Nutzung der MDT-Kammer-Information schon in erster Triggerstufe

- ▶ Möglich durch erhöhte Trigger-Latenz von $6 \mu\text{s}$ nach Phase-II Upgrade
- ▶ Impulsauflösung des MDT-Myontriggers vergleichbar mit gegenwärtigem High Level Trigger
- ▶ Reduktion der Myon-Triggerrate auf $< 20 \text{ kHz}$

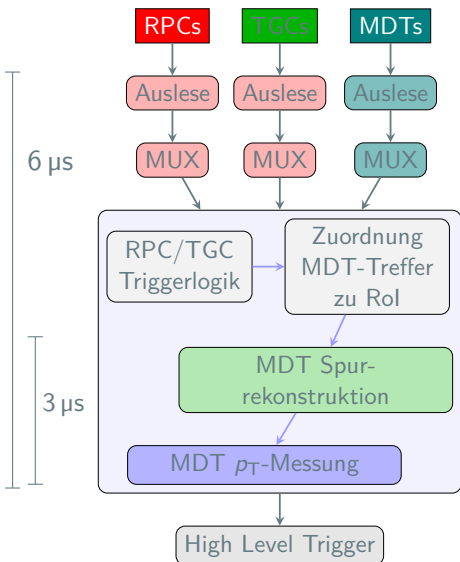
Erste Myontriggerstufe am HL-LHC



Nutzung der MDT-Kammer-Information schon in erster Triggerstufe

- ▶ Möglich durch erhöhte Trigger-Latenz von $6 \mu\text{s}$ nach Phase-II Upgrade
- ▶ Impulsauflösung des MDT-Myontriggers vergleichbar mit gegenwärtigem High Level Trigger
- ▶ Reduktion der Myon-Triggerrate auf $< 20 \text{ kHz}$

Erste Myontriggerstufe am HL-LHC

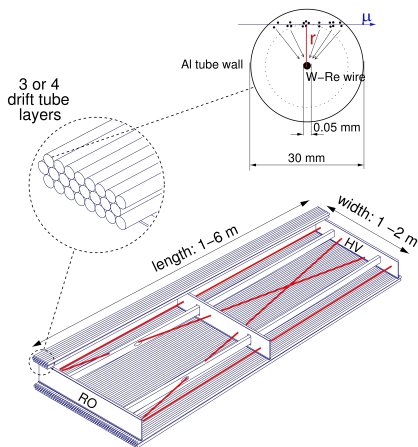


Nutzung der MDT-Kammer-Information schon in erster Triggerstufe

- ▶ Möglich durch erhöhte Trigger-Latenz von 6 μ s nach Phase-II Upgrade
- ▶ Impulsauflösung des MDT-Myontriggers vergleichbar mit gegenwärtigem High Level Trigger
- ▶ Reduktion der Myon-Triggerrate auf < 20 kHz

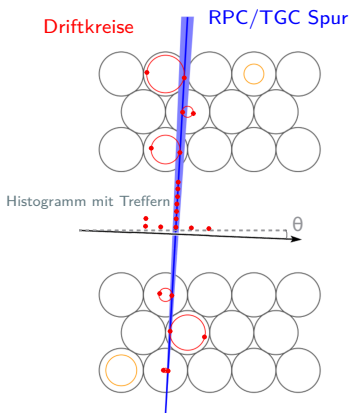
Funktionsweise der MDT-Kammern

- ▶ Je Kammer zwei Multilagenn mit 3 bis 4 Lagenn aus Driftrohren mit \varnothing 30 mm
- ▶ Gasgemisch Ar/CO₂ (97%/3%) mit 3 bar Druck
- ▶ 3080 V Hochspannung (Gasverstärkung: 2×10^4)
- ▶ Messung der Driftzeit der Elektronen aus Primäronisation zum Anodendraht bestimmt Driftradius



Schnelle Spurrekonstruktion

Parametrisiere Myonspur in Kammer als **geradliniges Spursegment**



Zwei Multilagenn aus Driftrohren in MDT-Kammer

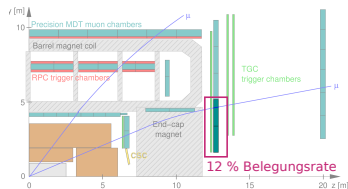
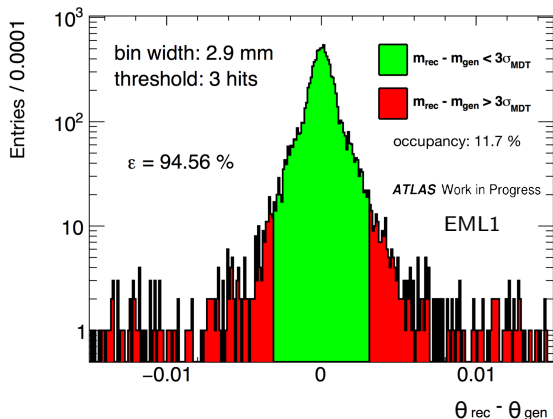
Spursegment-Rekonstruktion:

- ▶ Mustererkennung
- ▶ χ^2 -Fits an Geraden mit ausgewählten Treffern
- ▶ Wähle Kandidaten mit
 1. **höchster Anzahl Treffer** n_{hits} ,
 2. **kleinstem** χ^2

Hough Transformation:

- ▶ Standardmethode zur schnellen Mustererkennung
- ▶ Effizienz stark abhängig von Genauigkeit der RPC/TGC-Messung

Spurrekonstruktions-Effizienz



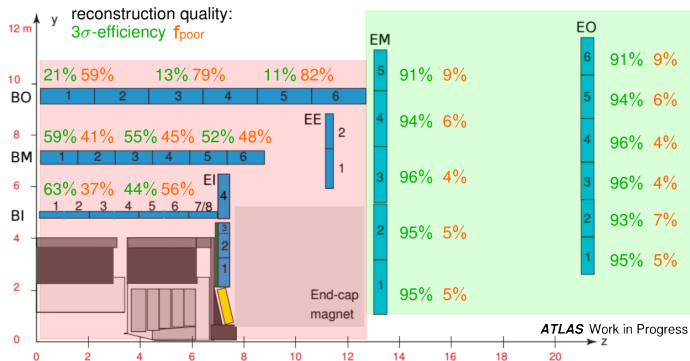
Rekonstruktion
anspruchsvoll:
bis zu 12 %
Belegungsrate

Effizienz der 1-D Hough Transformation:

- ▶ gut rekonstruiert (ϵ): $|\theta_{\text{rec}} - \theta_{\text{gen}}| < 3\sigma_{\text{MDT},\theta}$
- ▶ falsch rekonstruiert (f_{poor}): $|\theta_{\text{rec}} - \theta_{\text{gen}}| > 3\sigma_{\text{MDT},\theta}$
- ▶ nicht rekonstruiert: $n_{\text{hits}} < n_{\text{min}}$

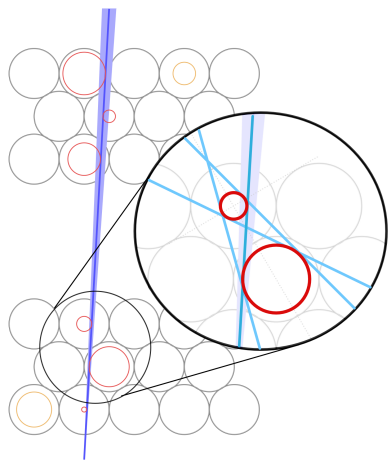
1-D Hough Transformation

MC-Studie zur Rekonstruktionseffizienz



- ▶ **Hoher Anteil** ($f_{\text{poor}} > 5\%$) falsch rekonstruierter Spuresegmente
- ▶ Die 1-D Hough Transformation ist **nicht anwendbar im Barrel-Bereich**.
- ▶ 2-D Hough Transformation: Bessere Effizienz, hoher Ressourcenverbrauch

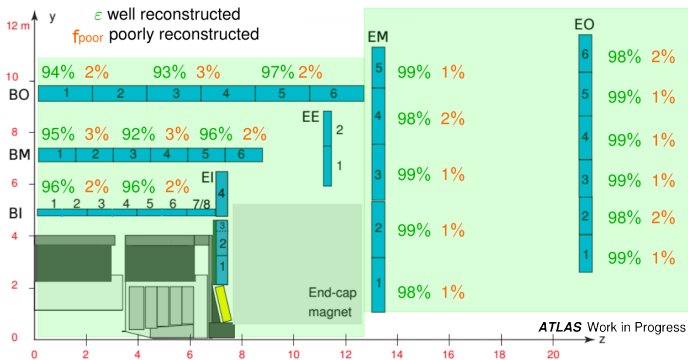
Tangentenmethode



1. Für alle Kombinationen von zwei Driftkreisen in einer Multilage: Berechne die 4 gemeinsamen Tangenten
2. Wähle mit RPC/TGC-Spur kompatible Tangenten.
3. Berechne Mittelwert dieser Tangenten
4. Suche die nächsten Treffer zu dieser Geraden
5. χ^2 -Fit an Gerade mit diesen Treffern

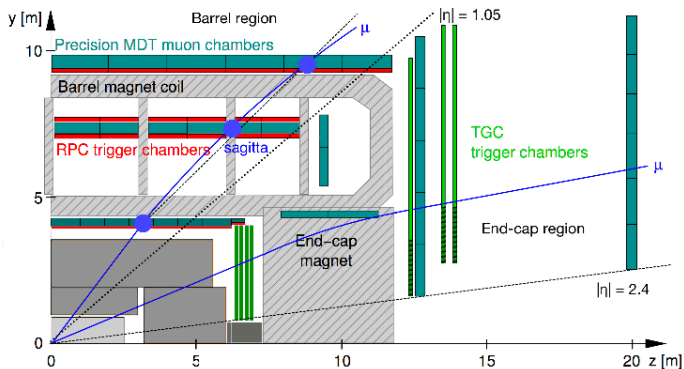
Tangentenmethode

MC-Studie zur Rekonstruktionseffizienz



- ▶ **Kleiner Anteil** falsch rekonstruierter Spuresegmente ($f_{\text{poor}} < 3\%$)
- ▶ Tangentenmethode **überall mit sehr guter Rekonstruktionseffizienz** anwendbar.

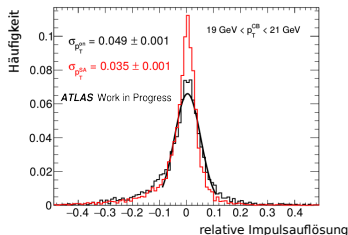
Schnelle Impulsmessung



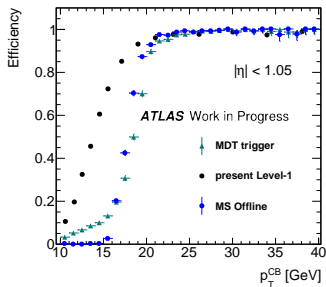
- ▶ Keine volle Spurrekonstruktion möglich:
Nutze Spursegmente für Impulsmessung
- ▶ Inhomogenes Magnetfeld erfordert lokale Parametrisierung
von $p_T^{\text{on}}(\text{sagitta}, \phi, \eta)$

Genauigkeit der schnellen Impulsmessung

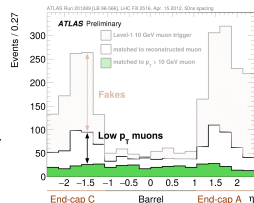
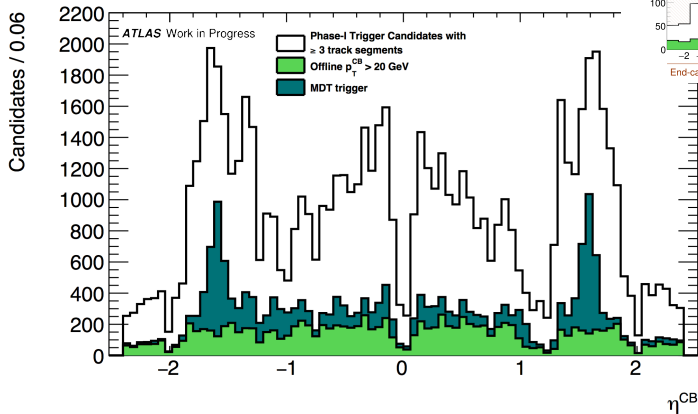
- ▶ Impulsauflösung $\sigma_{p_T^{\text{on}}} = 5\%$ der Sagitta-Messung vergleichbar mit **Standalone-Myonsystem**



- ▶ Trigger-Effizienzkurve steigt viel schärfer an als jetziger Level-1 Trigger
- ▶ Reduzierung der Triggerrate ohne Anheben der Triggerschwelle

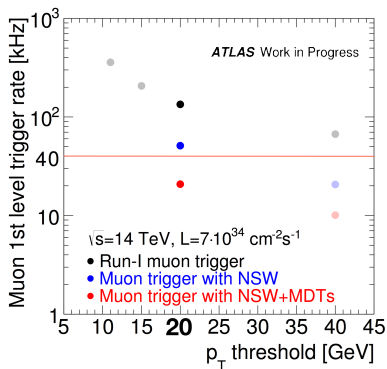


Reduzierung der Triggerrate



- ▶ Signifikante Reduzierung der Triggerrate um 60%

Reduzierung der Triggerrate



First-level muon trigger rate



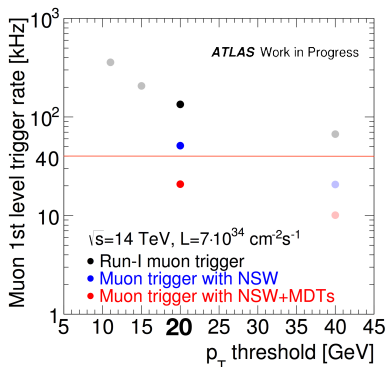
Schritt 1: Fake-Veto

Triggerrate: 150 kHz \rightarrow 50 kHz

Schritt 2: bessere p_T Auflösung

Triggerrate: 50 kHz \rightarrow 20 kHz

Reduzierung der Triggerrate



First-level muon trigger rate



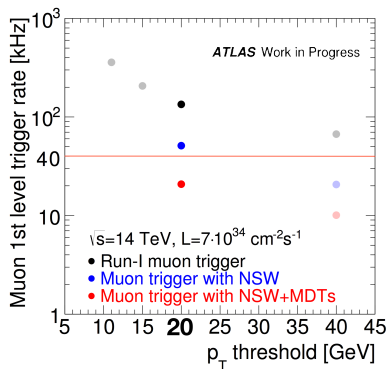
Schritt 1: Fake-Veto

Triggerrate: 150 kHz \rightarrow 50 kHz

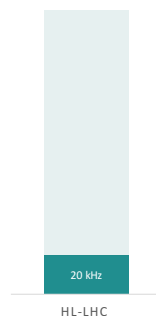
Schritt 2: bessere p_T Auflösung

Triggerrate: 50 kHz \rightarrow 20 kHz

Reduzierung der Triggerrate



First-level muon trigger rate



Schritt 1: Fake-Veto

Triggerrate: 150 kHz \rightarrow 50 kHz

Schritt 2: bessere p_T Auflösung

Triggerrate: 50 kHz \rightarrow 20 kHz

Zusammenfassung

- ▶ **Hochselektive Trigger** sind unverzichtbar, um die Triggerschwellen am HL-LHC bei der elektroschwachen Skala zu behalten.
- ▶ Um die Myon-Triggerrate zu reduzieren, müssen die **MDT-Kammern** schon in die **erste Triggerstufe** einbezogen werden.
- ▶ **Schnelle Spurrekonstruktionsalgorithmen** wurden untersucht. Der neu entwickelte **Tangentenmethode** zeigt die höchste Effizienz von $\epsilon \approx 95\%$ in allen Bereichen des Myonspektrometers.
- ▶ Mittels einer **Sagitta-basierten Impulsmessung** mit verbesserter Impulsauflösung kann die Triggerrate auf **unter 20 kHz** reduziert werden.