

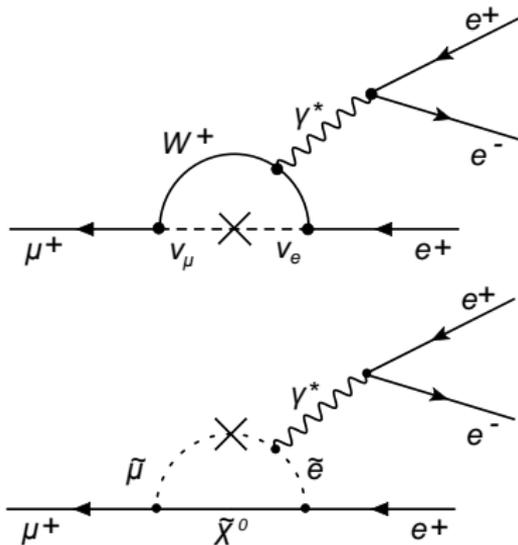
Temperaturabhängigkeit von HV-MAPS am Beispiel des MuPix7

David Maximilian Immig
für die Mu3e Kollaboration

Physikalisches Institut Heidelberg

DPG Frühjahrstagung Hamburg 2016





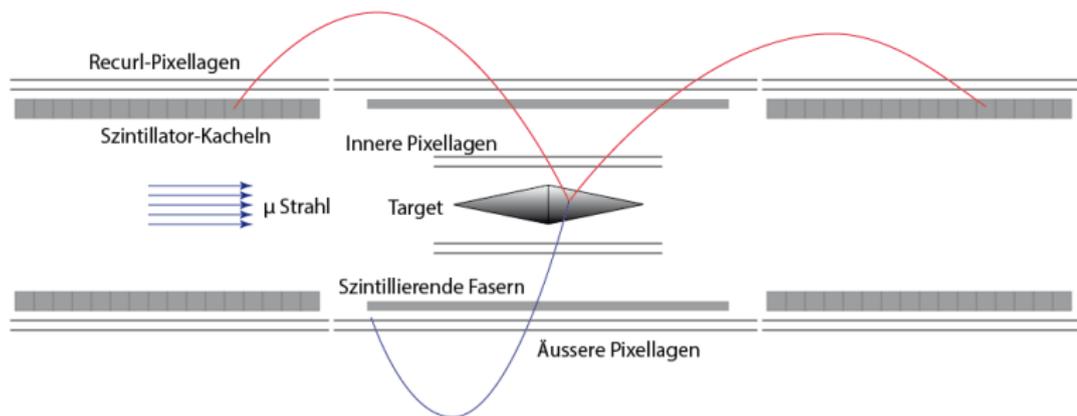
- $\mu^+ \rightarrow e^+ e^- e^+$ im SM unterdrückt mit einem Verzweigungsverhältnis $(BR) < 10^{-54}$

- SINDRUM : $BR < 10^{-12}$

SINDRUM: "Search for the decay $\mu \rightarrow 3e$ " Nucl.

Phys.,B299 1, 1988

- Zielsensitivität von mindestens 1 in 10^{16} Zerfällen
- Beobachtetes Signal wäre ein eindeutiger Hinweis auf neue Physik

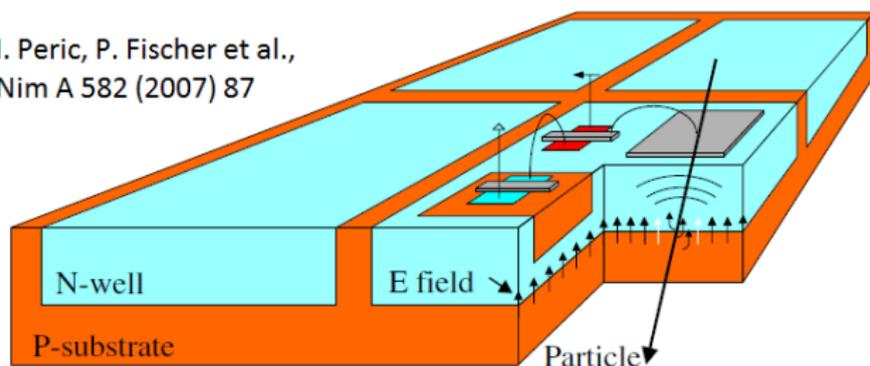


- 1T Magnetfeld
- Pixeldetektor \Rightarrow hohe Impuls- & Vertexauflösung
- Szintillierende Faser- & Kacheldetektoren \Rightarrow präzise Zeitmessung

High-Voltage Monolithic Active Pixel Sensor (HV-MAPS) Konzept

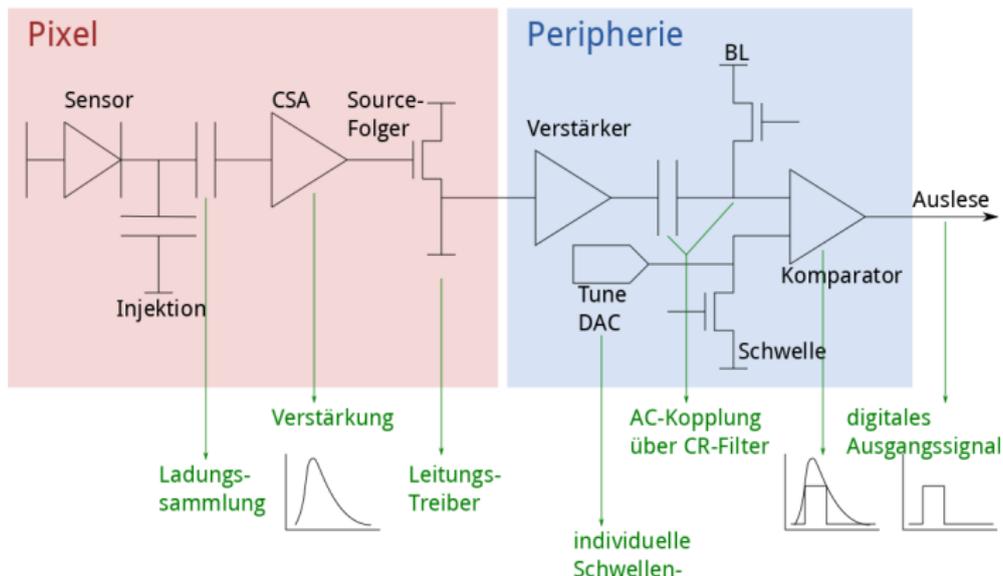
- Diode implementiert als n-Wanne in p-dotierten Substrat
- Spannung in Sperrrichtung bei -85 V
- Verarmungszone für Teilchendetektion
- Ladungssammlung via Drift

I. Peric, P. Fischer et al.,
Nim A 582 (2007) 87

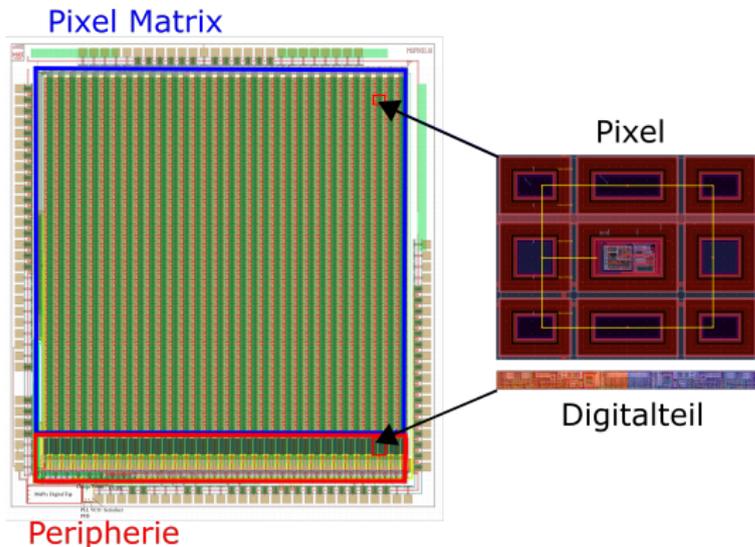


High-Voltage Monolithic Active Pixel Sensor (HV-MAPS) Konzept

- Ladungssensitiver Verstärker im Pixel
- Biasströme als 6bit DACs



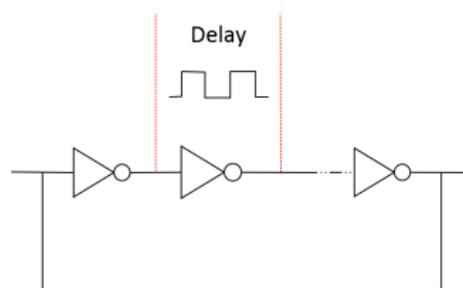
MuPix7 Prototyp



- Sensordicke: $\sim 50 \mu\text{m}$
- Sensor: $3.2 \times 3.2 \text{ mm}^2$
- Matrix: 32×40 Pixel
- Pixel: $103 \times 80 \mu\text{m}^2$

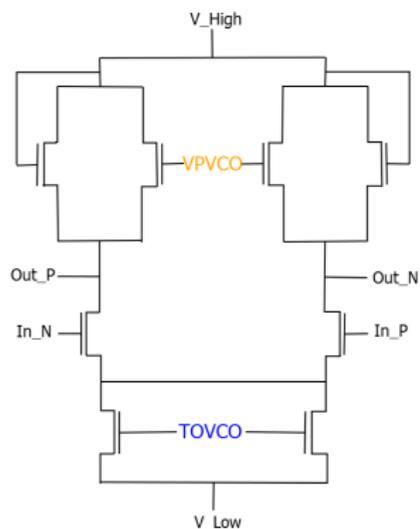
- Integrierte, null-unterdrückte Ausleseelektronik in der Peripherie
- Interne State-Machine
- Serielle Auslese & Generierung der Zeitstempel \Rightarrow Clock

Voltage-Controlled Oscillator (VCO)



- Kette aus ungerader Anzahl von Invertern
- ⇒ Feedback bewirkt Oszillation
- VNVCO und VPVCO kontrollieren Oszillationsfrequenz
- Für steigende VNVCO- & VPVCO-Werte fließt mehr Strom
- ⇒ Schaltung wechselt schneller zwischen 0 & 1
- ⇒ Kleinere Zeitverzögerung
- ⇒ Größere Frequenz

Voltage-Controlled Oscillator (VCO)

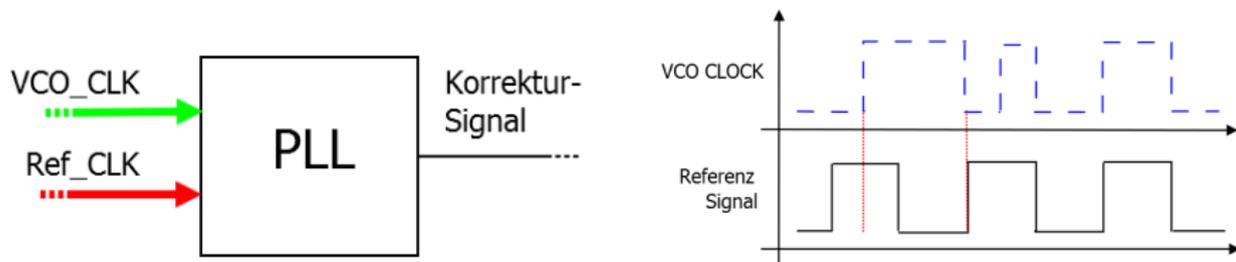


TOVCO gesteuert über VNVCO

- Kette aus ungerader Anzahl von Invertern
- ⇒ Feedback bewirkt Oszillation
- VNVCO und VPVCO kontrollieren Oszillationsfrequenz
- Für steigende VNVCO- & VPVCO-Werte fließt mehr Strom
- ⇒ Schaltung wechselt schneller zwischen 0 & 1
- ⇒ Kleinere Zeitverzögerung
- ⇒ Größere Frequenz

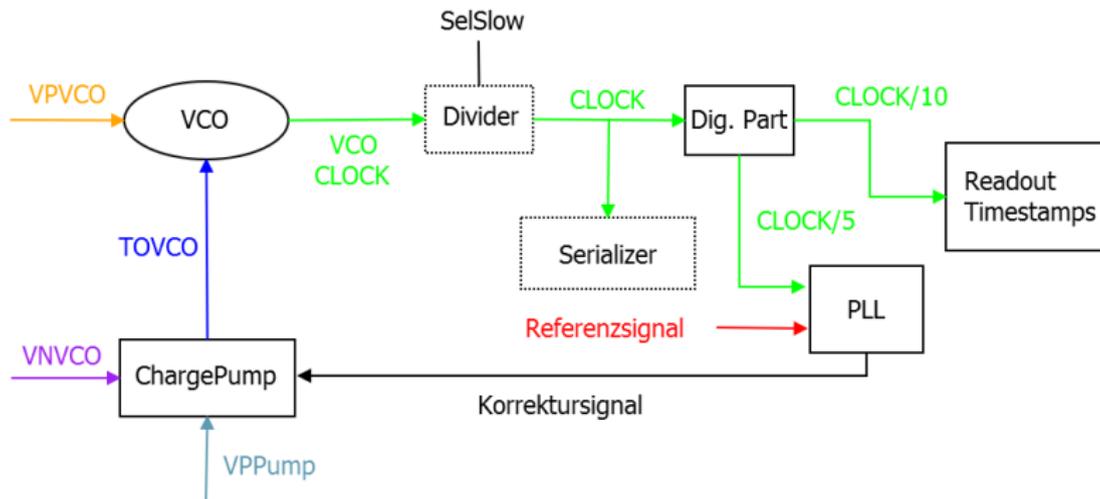
Phase-Locked Loop (PLL)

- Vergleicht Phasen von VCO_CLK und Ref_CLK
- Signale außer Phase \Rightarrow Erzeugung eines Korrektursignals
- \Rightarrow Korrektur der VCO Kontrollspannungen
- \Rightarrow Passt VCO_CLK an Ref_CLK an

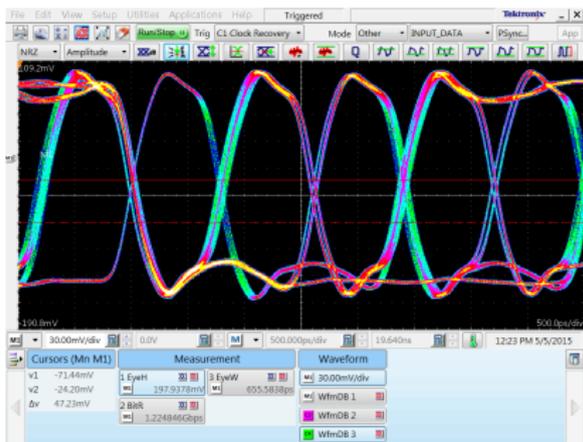


VCO und PLL

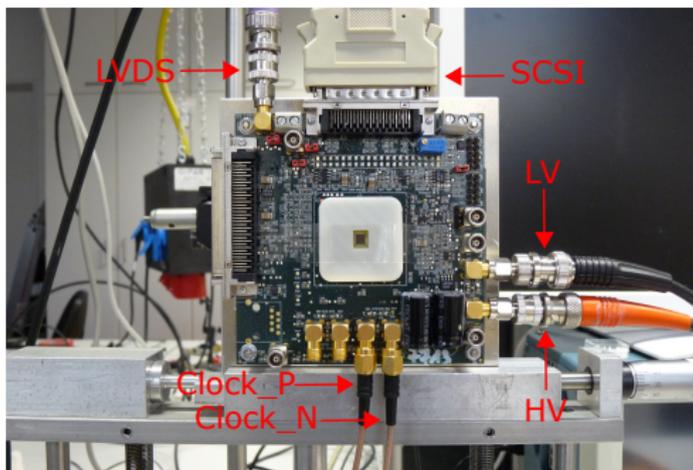
- Steuert und reguliert die Chip-Clock
- Referenzsignal vom FPGA
- ⇒ Gleiche Referenzsignalquelle für alle Chips
- ⇒ Synchronisation aller Chips



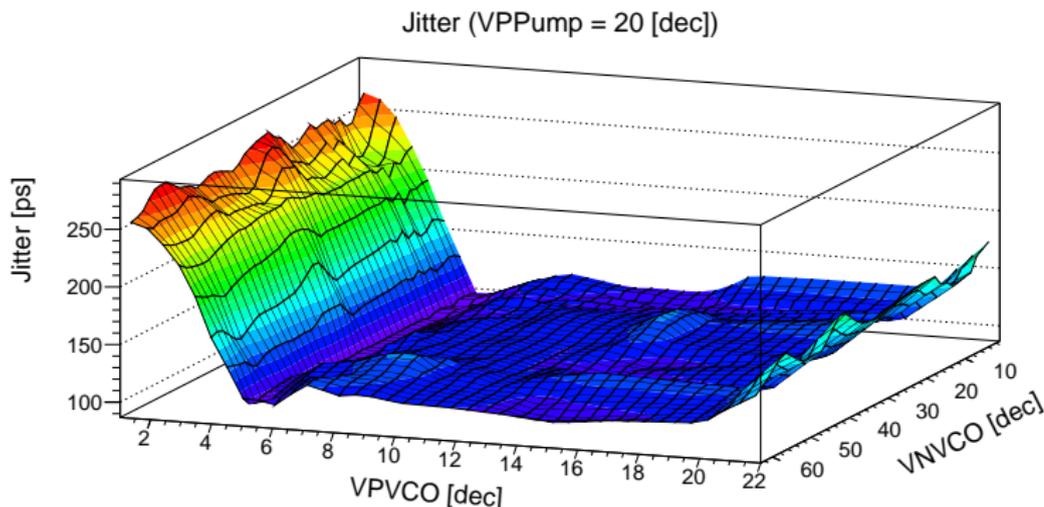
Vermessung der VCO & PLL



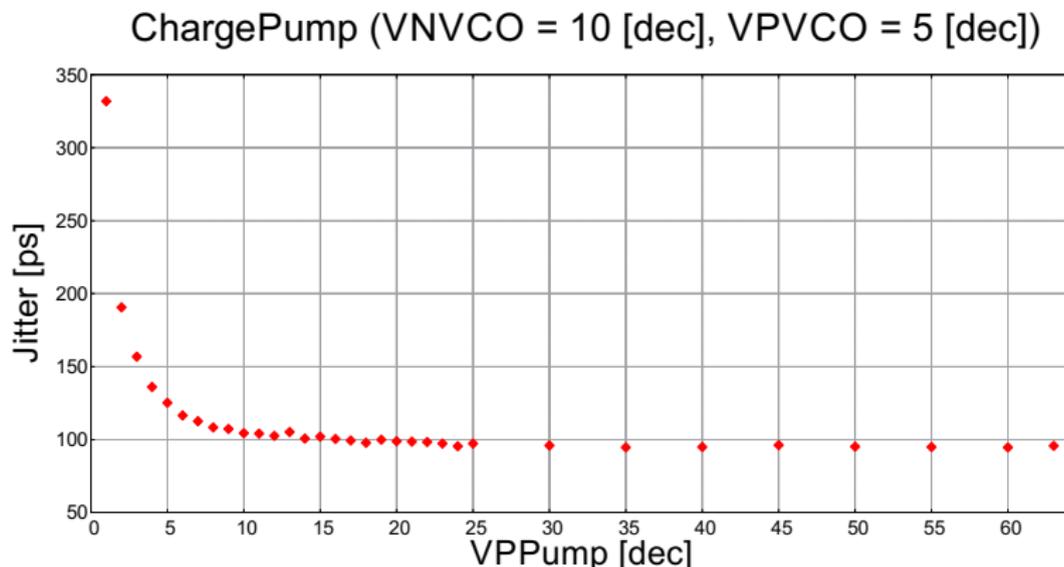
- Referenzsignal: 125 MHz
- ⇒ 1.25 Gbit/s Daten-Output
- Messung des Jitters
- ⇒ Latenzfluktuation des Referenzsignals & der Clock
- ⇒ Maß für die Stabilität der Phasensynchronisation



- Temperaturabhängigkeit des Jitters untersuchen
- ⇒ Umgebungstemperatur einstellen mittels eines Klimaschranks

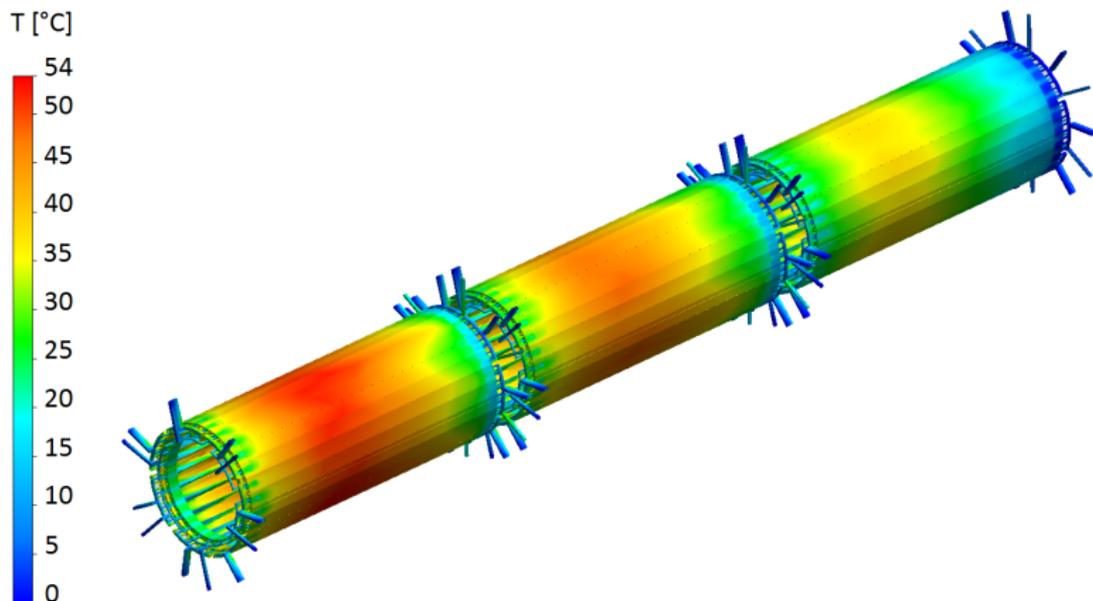


- Große Abhängigkeit von VPVCO, jedoch marginaler von VNVCO
- $VPVCO > 22$ [dec] \Rightarrow keine Phasensynchronisation
- $VNVCO > 30$ [dec] \Rightarrow Phasensynchronisation nur durch schrittweises Erhöhen von VNVCO möglich



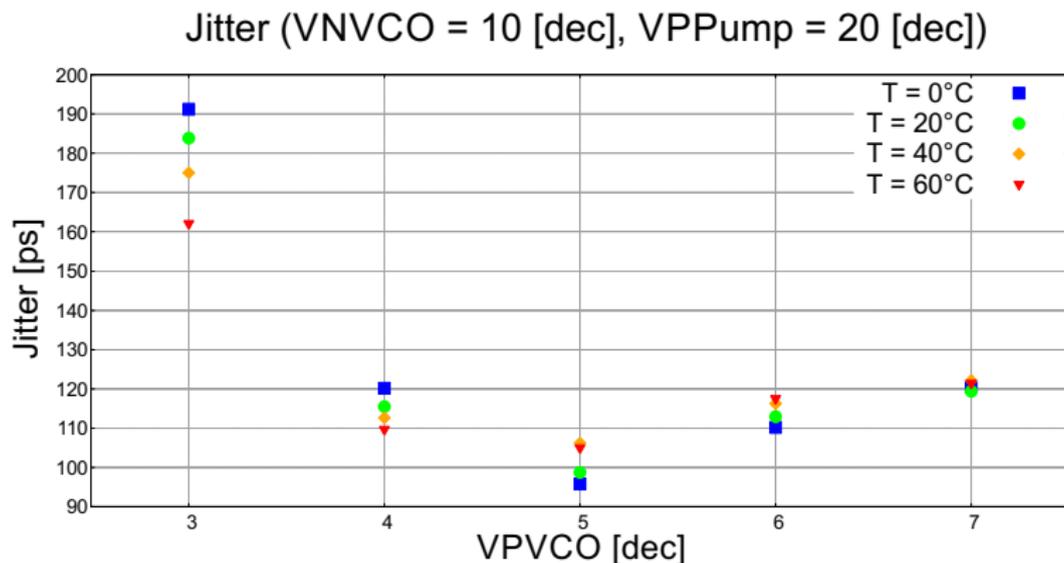
- Abhängigkeit des Jitters von der Versorgungsspannung VPPump
- $VPPump > 20 \Rightarrow$ kein höherer Verbrauch

Warum untersuchen wir Temperaturabhängigkeiten?

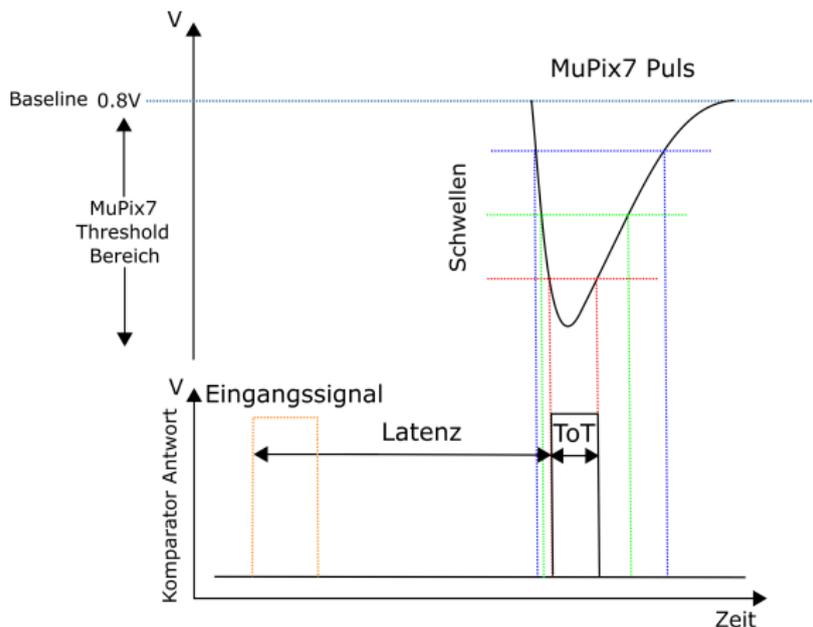


- Kühlung mit Heliumgas ($T = 0 \text{ }^\circ\text{C}$) bei $\frac{P}{A} = 400 \text{ mW/cm}^2$

Temperaturabhängigkeit des Jitter

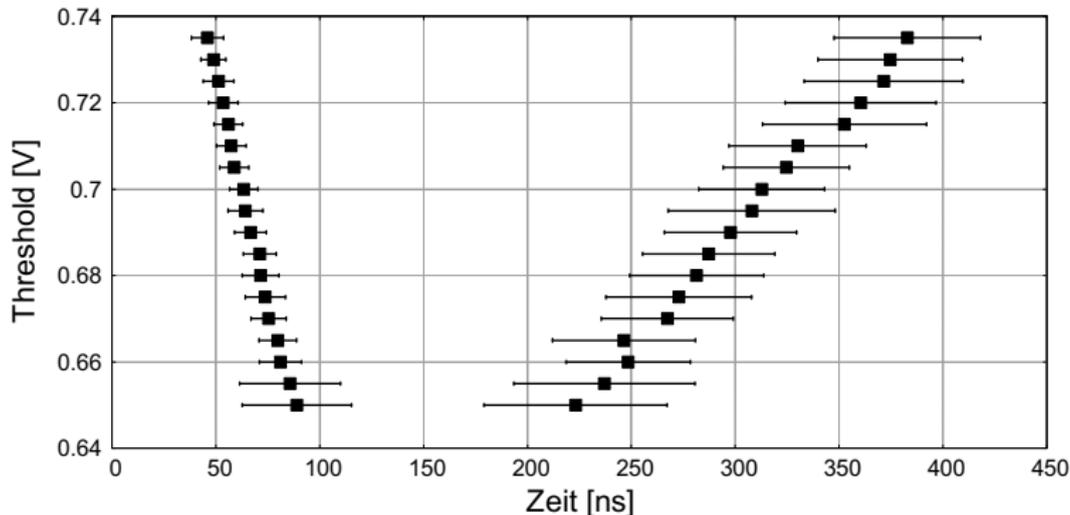


- Temperaturabhängigkeit des Jitters gegen VPVCO
- ⇒ VPVCO = 5: geeigneter Arbeitspunkt im Temperaturbereich



- Messung von Latenz und ToT via Schwellenänderung
- ⇒ Oszilloskop
- Temperaturabhängigkeit der Pulsform ⇒ Klimaschrank

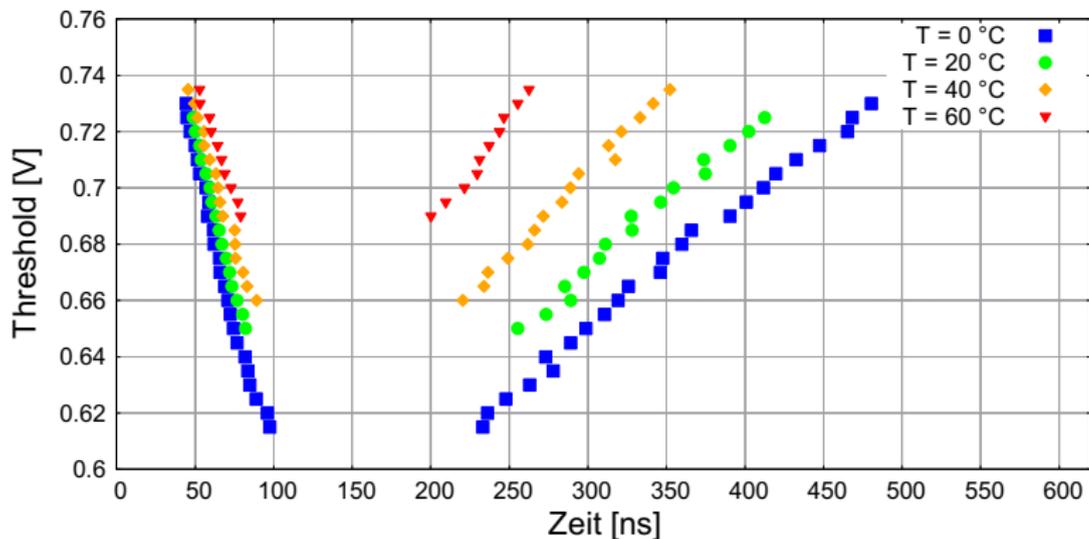
Pulsform (Injektion = 0.5 V)



- Vermessung der Latenz (linke Werte) und ToT+Latenz (rechte Werte) in 5 mV Schritten

Pulsformänderung für verschiedene Umgebungstemperaturen

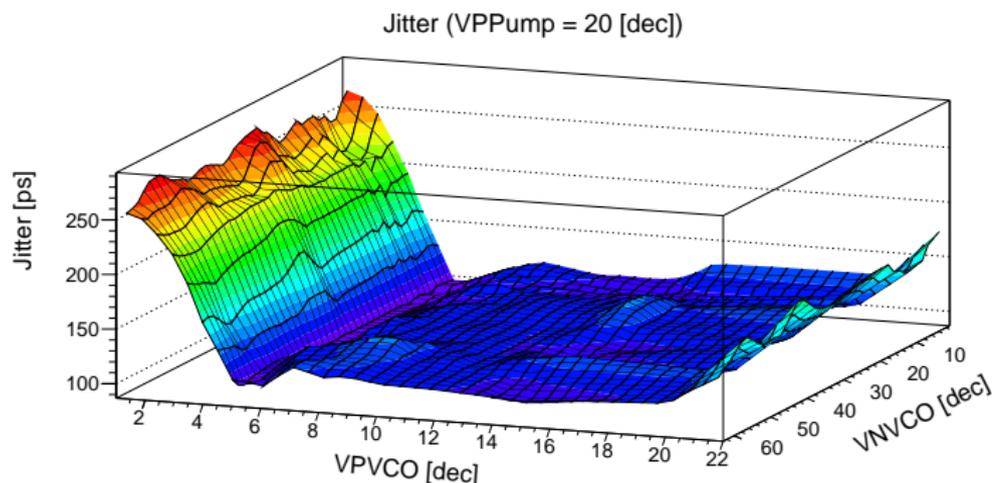
Pulsform (Injektion = 0.5 V)



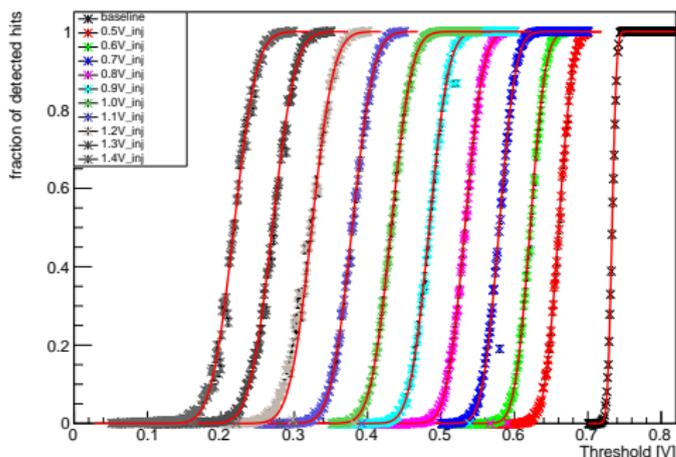
■ Pulsformänderung im Temperaturbereich von 0 °C bis 60 °C

⇒ ToT reduziert sich mit steigenden Umgebungstemperaturen

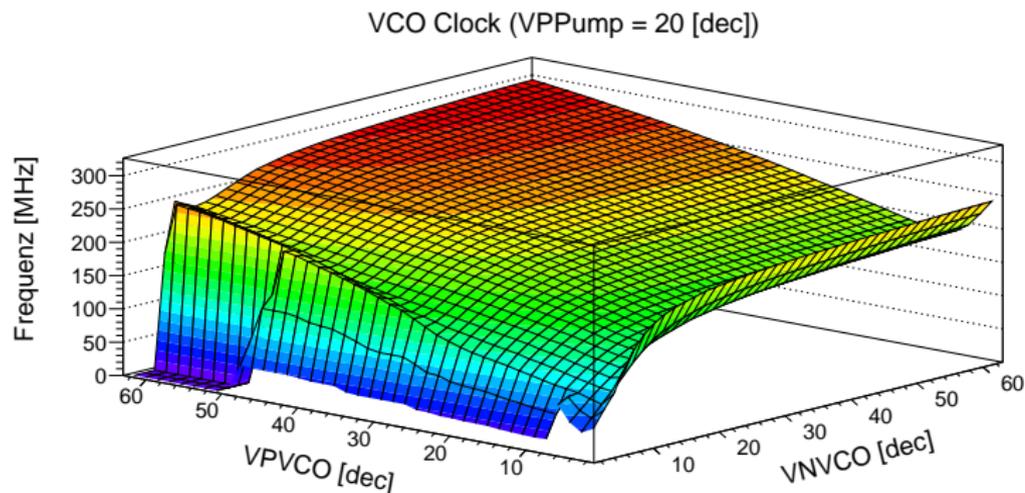
- Neuer Arbeitspunkt für die Clock mit einem Jitter < 100 ps
- Chip VCO & PLL operiert im Temperaturbereich zwischen $0\text{ }^{\circ}\text{C}$ und $60\text{ }^{\circ}\text{C}$
- Erste Ergebnisse: Pulsformänderung für verschiedene Umgebungstemperaturen



- Erweiterung des Temperaturbereichs
- Messungen des Jitters bei unterschiedlichen Referenzsignalen
- Vermessungen der Pulsamplitude für verschiedene Umgebungstemperaturen
- Untersuchung von Variationen zwischen Chips
- Untersuchung bei verschiedenen Power-Settings



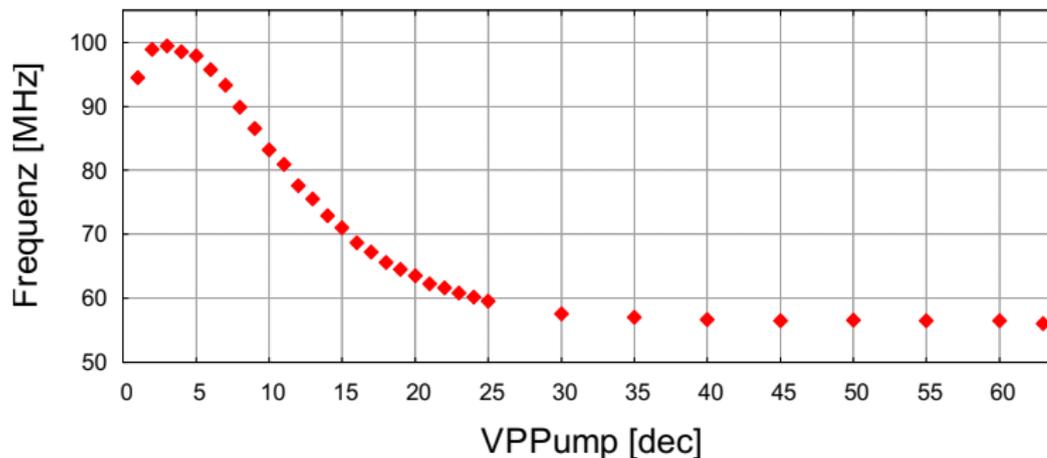
BACKUP



gemessene Frequenz verdoppelt

- Frequenz steigt mit VNVCO und VPVCO
- Für kleine VNVCO/VPVCO-Werte teils höhere Frequenzen

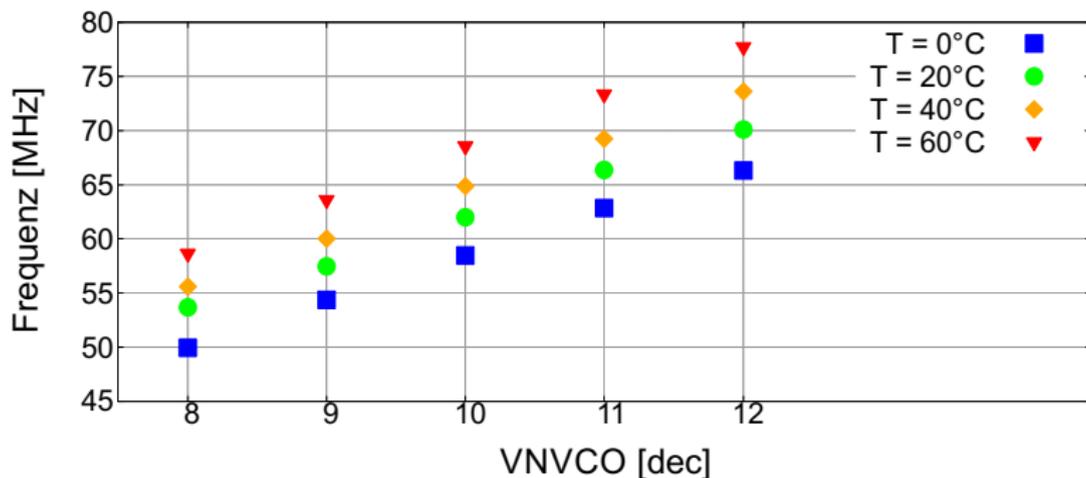
ChargePump (VNVCO = 10 [dec], VPVCO = 5 [dec])



gemessene Frequenz ist verdoppelt

Temperaturabhängigkeit der Frequenz für VNVCO ohne PLL

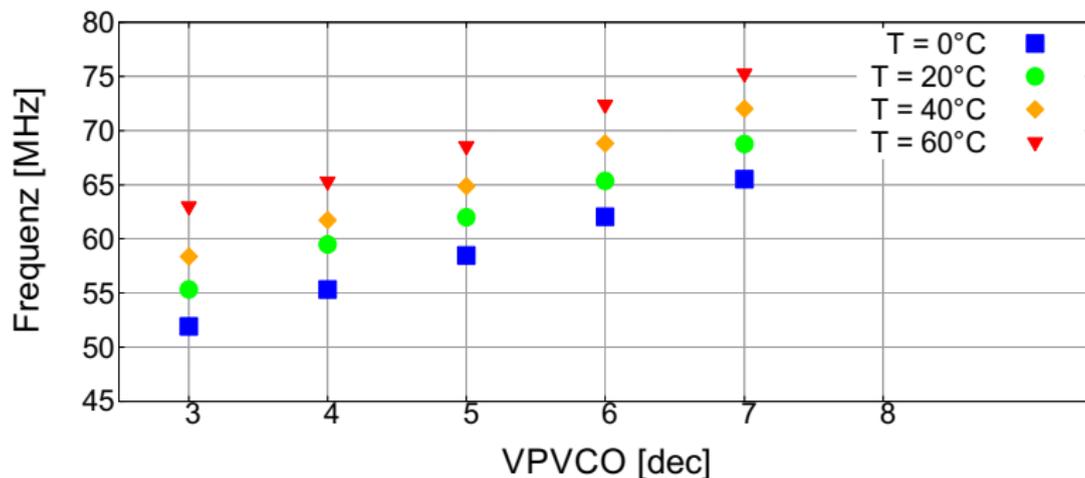
VCO CLOCK (VPVCO = 5 [dec], VPPump = 20 [dec])



gemessene Frequenz ist verdoppelt

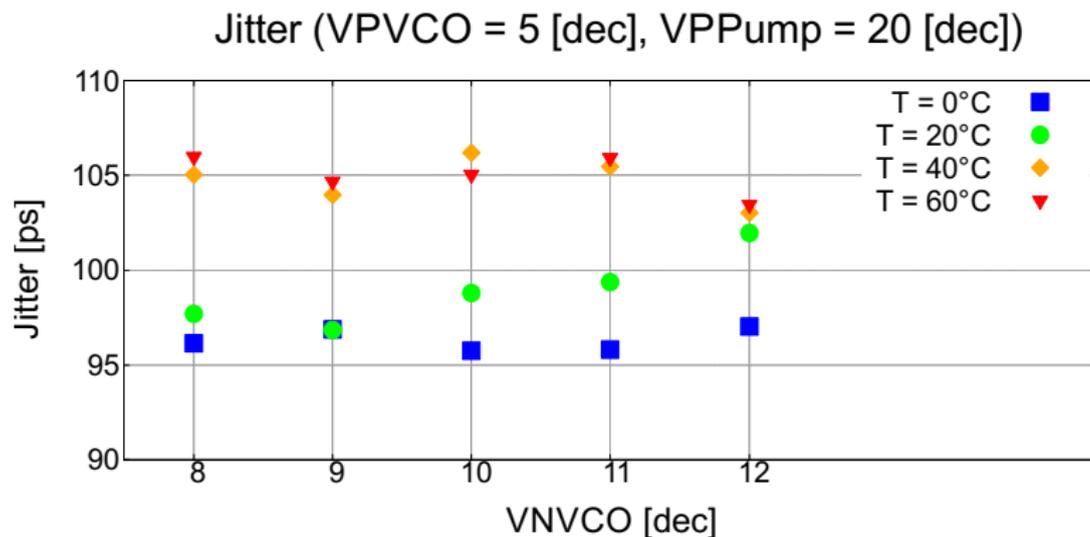
Temperaturabhängigkeit der Frequenz für VPVCO ohne PLL

VCO CLOCK (VNVCO = 10 [dec], VPPump = 20 [dec])

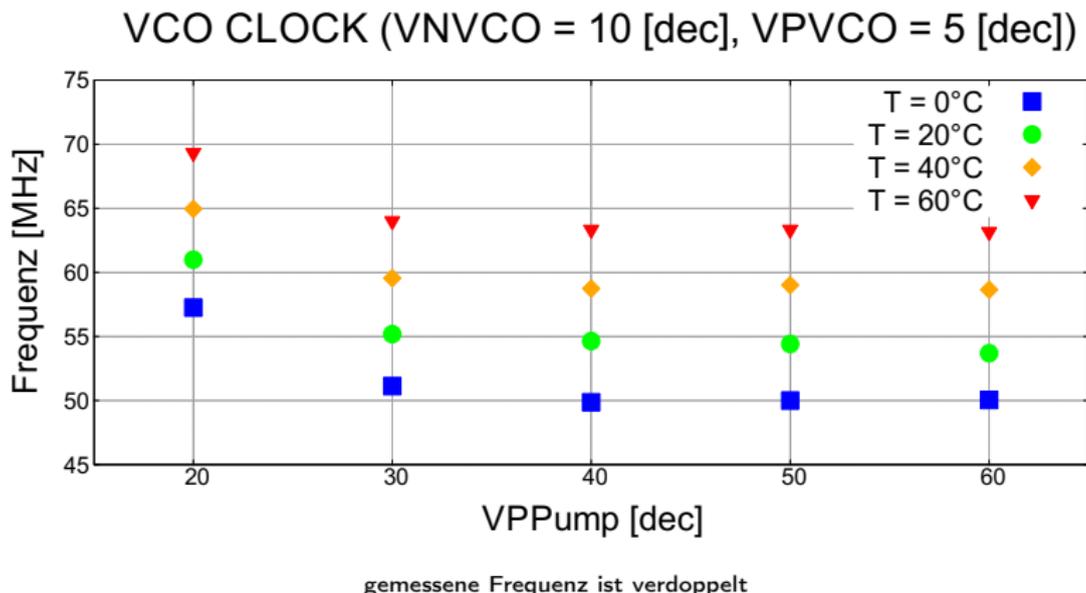


gemessene Frequenz ist verdoppelt

Temperaturabhängigkeit vom Jitter (VNVCO)



Temperaturabhängigkeit der Frequenz für VPPump ohne PLL



Temperaturabhängigkeit vom Jitter (VPPump)

