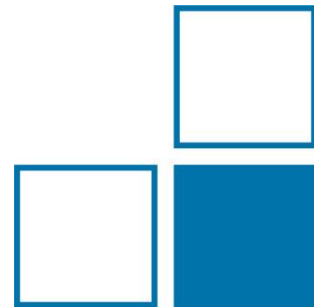


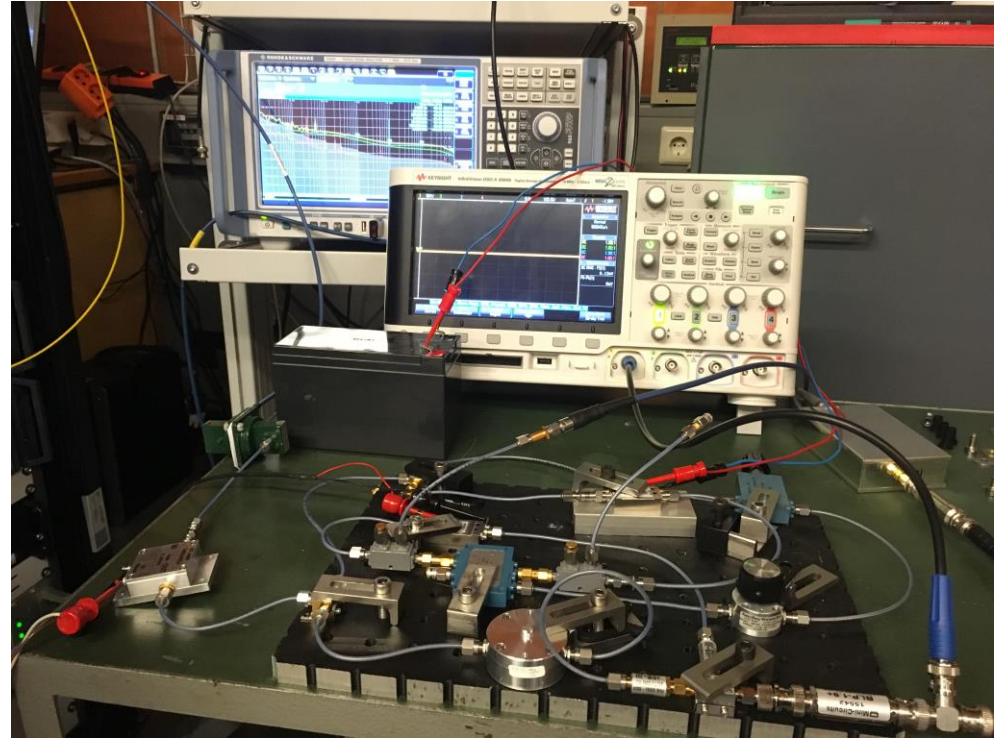
Phasenrauschmessplätze

Konzeption und Möglichkeiten für den praktischen
Aufbau

Patrick Walkemeyer, 3.73 (ehem. 4.41)



- Einleitung / Grundlagen
- Vorstellung Frequenzlineal
 - Konzept
 - Aufbau
 - Ergebnisse
- Zusammenfassung



- Realer Oszillator $\rightarrow u(t) = \hat{U}(t)[1 + \alpha(t)] \cos[2\pi f_0 t + \varphi(t)]$
- Im Frequenzbereich \rightarrow Leistungsdichtespektrum $S_\varphi(f)$ von $\varphi(t)$

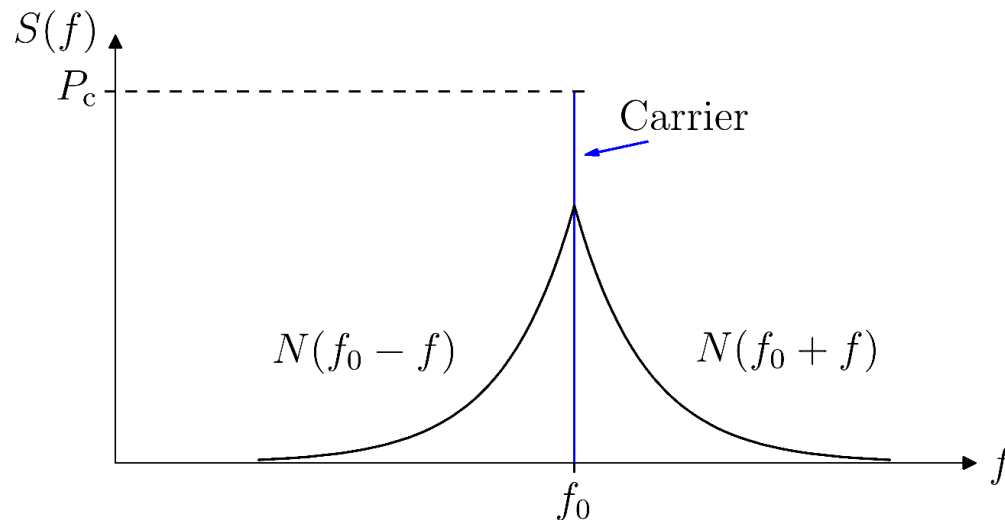
- $S_\varphi(f) = \lim_{T \rightarrow \infty} \frac{1}{2T} |\mathcal{F}\{\varphi(t)\}(f)|^2$

- Typischerweise angegeben

- $\mathcal{L}(f) = \frac{1}{2} S_\varphi(f) \quad (\text{dBc/Hz})$

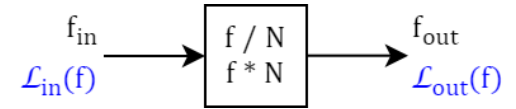
- Anschaulich gilt

- $\mathcal{L}(f) = \frac{N(f_0 + f)}{P_c} \quad (\text{dBc/Hz})$



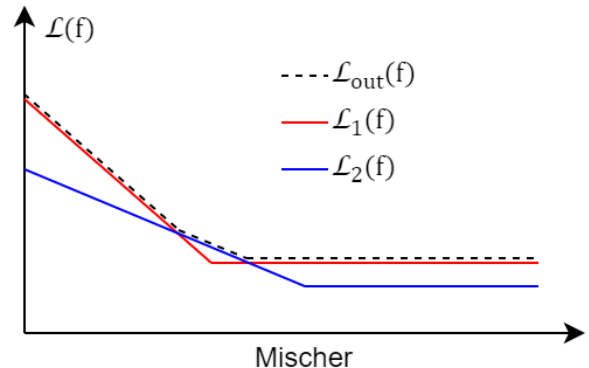
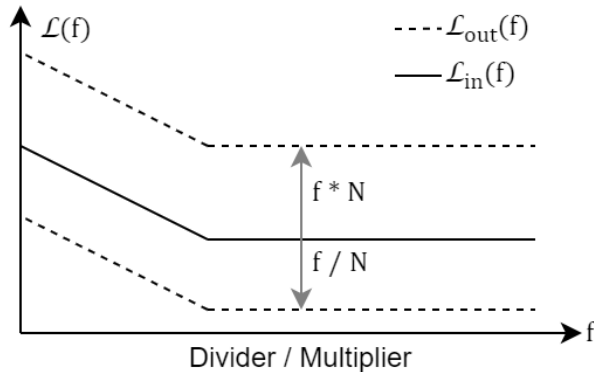
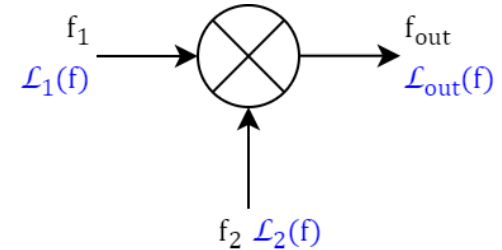
■ Phasenrauschen bei Frequenzvervielfachung / -teilung:

- $\mathcal{L}_{out}(f) = \mathcal{L}_{in}(f) + 20 \log \left(\frac{f_{out}}{f_{in}} \right)$ (dBc/Hz)



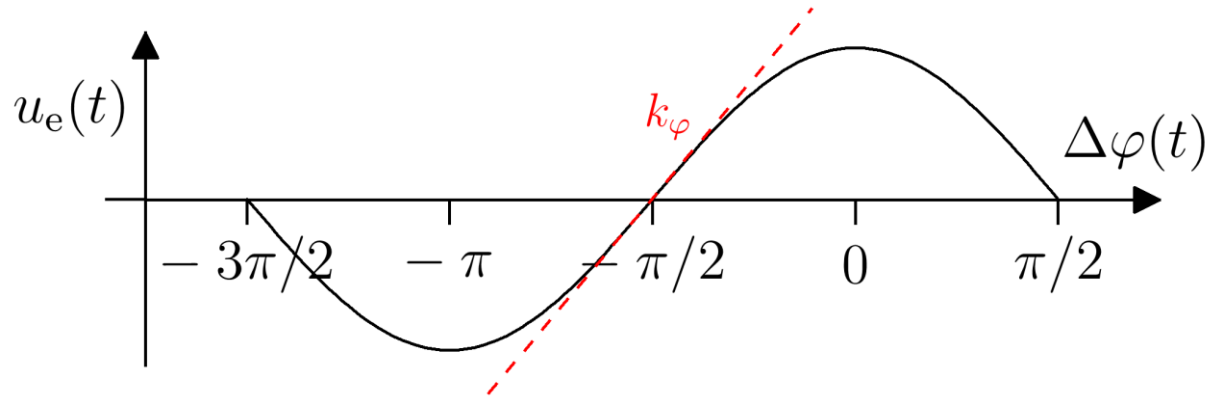
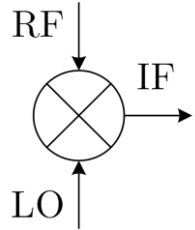
■ Phasenrauschen beim Mischen:

- $\mathcal{L}_{out}(f) = \mathcal{L}_1(f) + \mathcal{L}_2(f)$ (dBc/Hz)



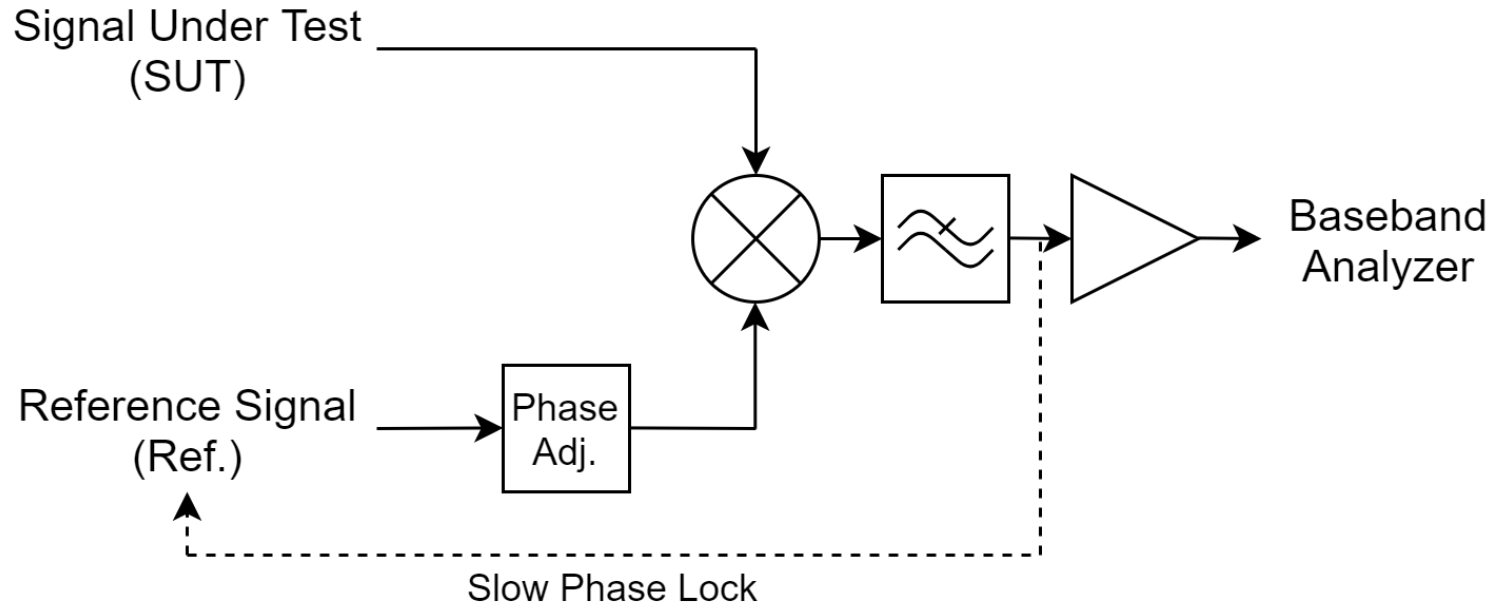
- Mischer als Phasendetektor
- Bei Frequenzgleichheit RF und LO gilt

- $u_{out,PD}(t) = \hat{U}_{out,PD} \cos(\varphi_1(t) - \varphi_2(t))$



- Linearisierung bei $-\pi/2 \rightarrow u_{out,PD}(t) = k_\varphi \cdot \Delta\varphi(t)$

- Phasenrauschmessung von Signalquellen



- Phasendetektormethode:
Häufig angewendet in Phase Noise Analysatoren (PNA)

- Phasenrauschmessung begrenzt durch
 - Eigenrauschen
 - Frequenzbereichdes Referenzoszillators

- Grenzen überwinden?
→ SUT heruntermischen!

- Down-conversion

- SUT bis zu 100 GHz
- IF < 125 MHz
- Phasenrauschen des SUT soll unverändert sein

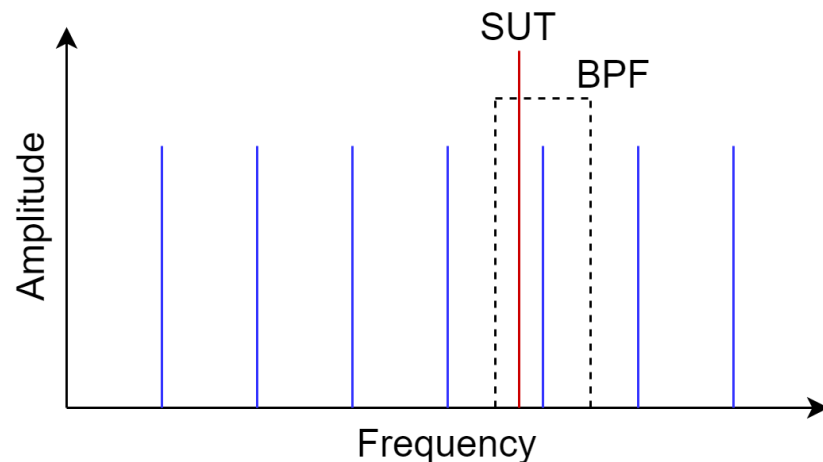
Mehr Infos zum Frequenzlineal siehe:

P. Walkemeyer, B. Lipphardt, M. Kazda. „*Referenced Frequency Ruler for the Phase Noise Analysis of Oscillators in the High GHz Range*“. IEEE IMS 2021 Conference Contribution. To be published.

➔ Geringere Anforderungen an das Phasenrauschen des PNA

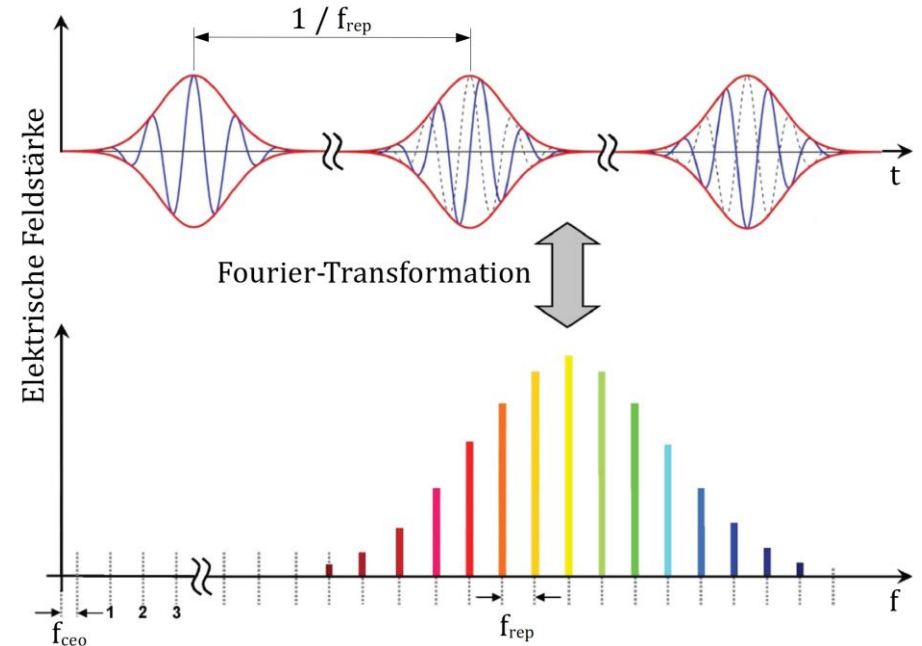
➔ Erweiterung des Frequenzbereichs des PNA

- Herkunft der Signale zum Mischen
 - „Kamm“ von Referenzsignalen
 - Modenkopplung:
Äquidistanter Abstand der „Zinken“
 - Frequenzbereich: bis 100 GHz möglich
- Stabilitätstransfer
 - Kamm angebunden an low noise Referenz
 - Phasenrauschen übertragen auf ganzen Kamm
 - Frequenz jeder Zinke festgelegt



SUT: Signal Under Test
BPF: Band Pass Filter

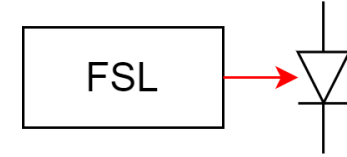
- Basis: Femtosekundenlaser (FSL)
 - Erzeugt Folge kurzer Laserpulse
 - Repetitionsrate ~ 250 MHz
 - Dauer der Pulse ~ 100 fs
- Pulsfolge im Frequenzbereich
→ Optischer Frequenzkamm
 - Spektrale Breite $\sim 4,4$ THz
 - Mittenfrequenz ~ 190 THz



I. Ernsting. „Entwicklung u. Anwendung eines Frequenzkamm-basierten Lasersystems für die Präzisionsspektroskopie an ultrakalten Molekülen und Atomen“. Diss. 2009 [edit]

- Konvertierung in den Mikrowellenbereich

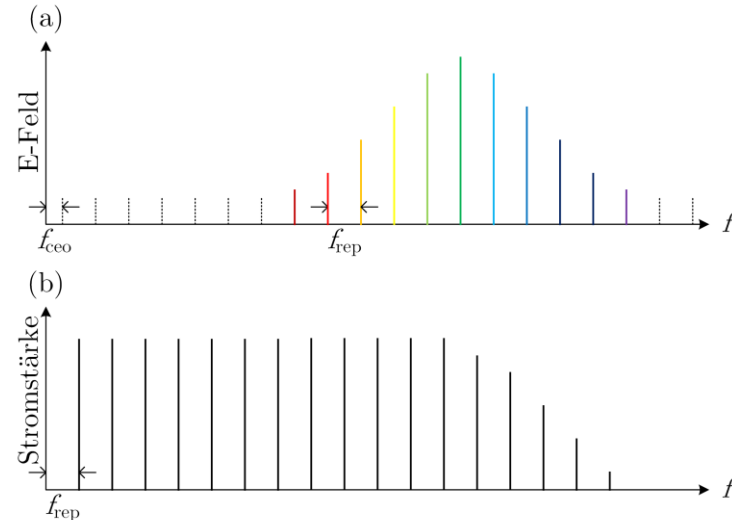
- Detektion der Pulse mithilfe einer Photodiode
- Max. Breite des Mikrowellenkamms \rightarrow Breite optischer Kamm



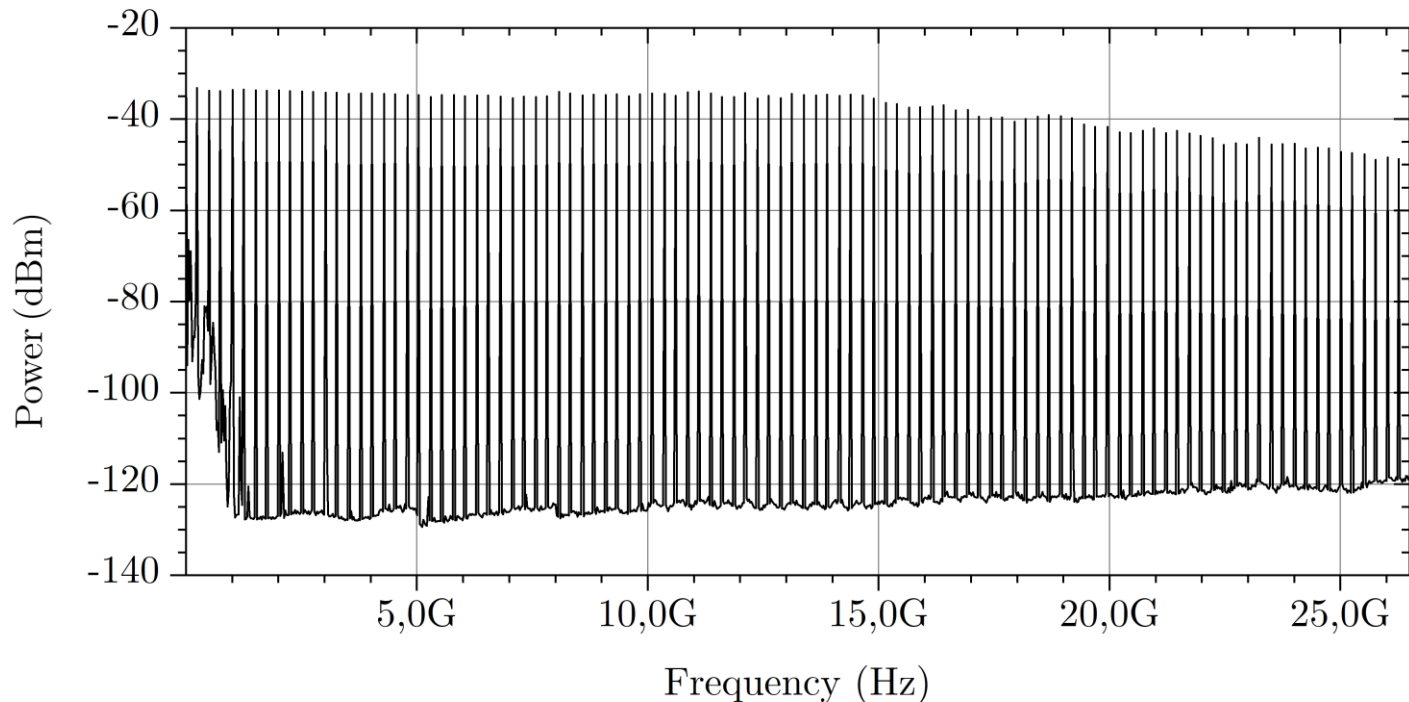
- Bandbreiten kommerziell erhältlicher Fotodioden:

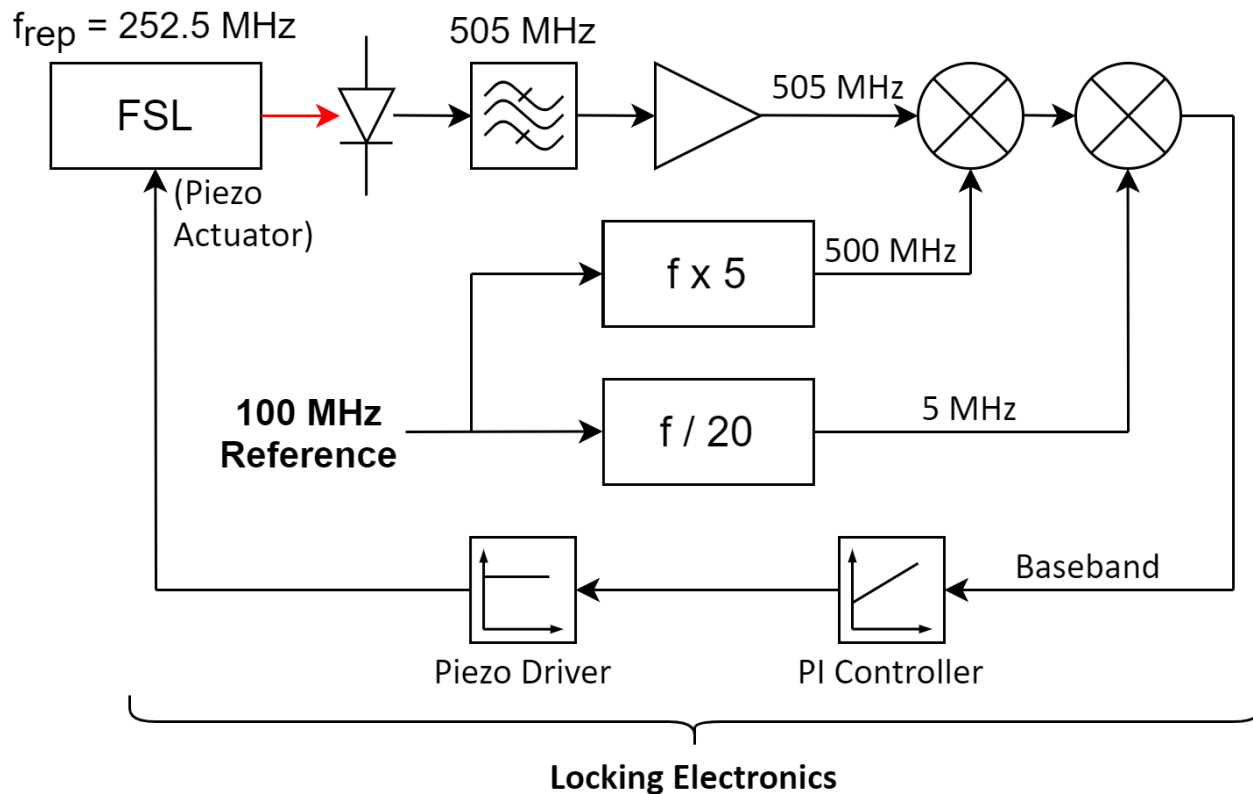
- DSC40S: 16 GHz
- DSC10ER: 60 GHz
- XPDV412xR: 100 GHz

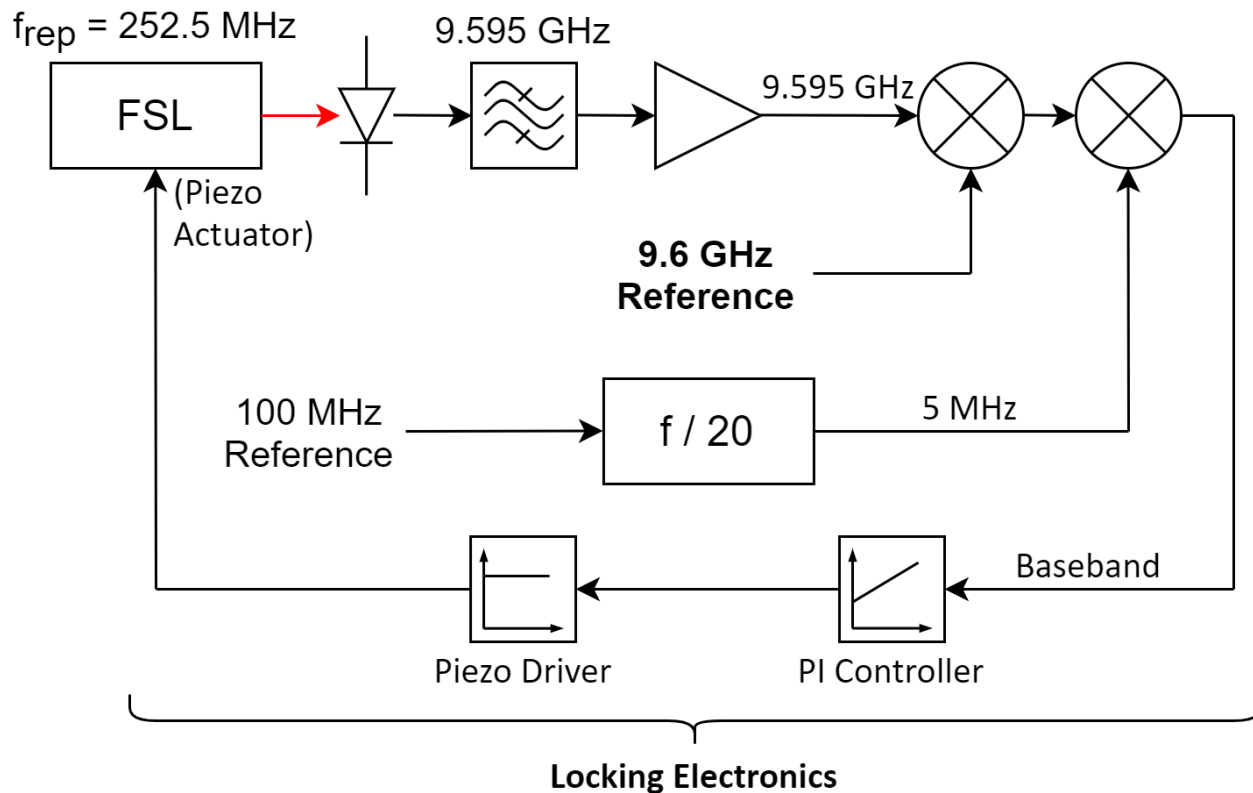
(z.B. Discovery Semiconductor, Inc.
oder II-IV Incorporated / Finisar)

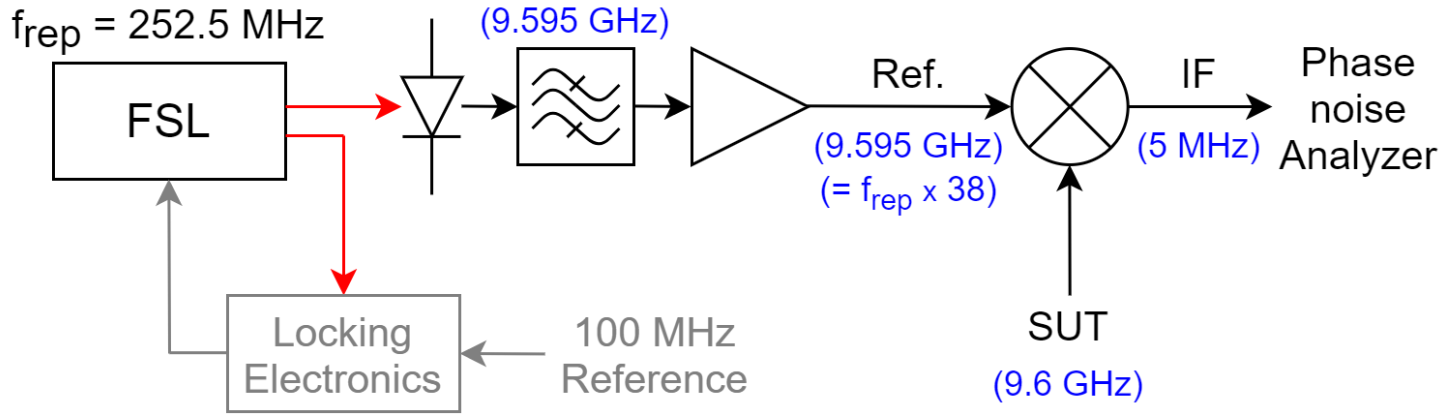


- Mikrowellenkamm am Ausgang der Photodiode (DSC40S, 16 GHz)

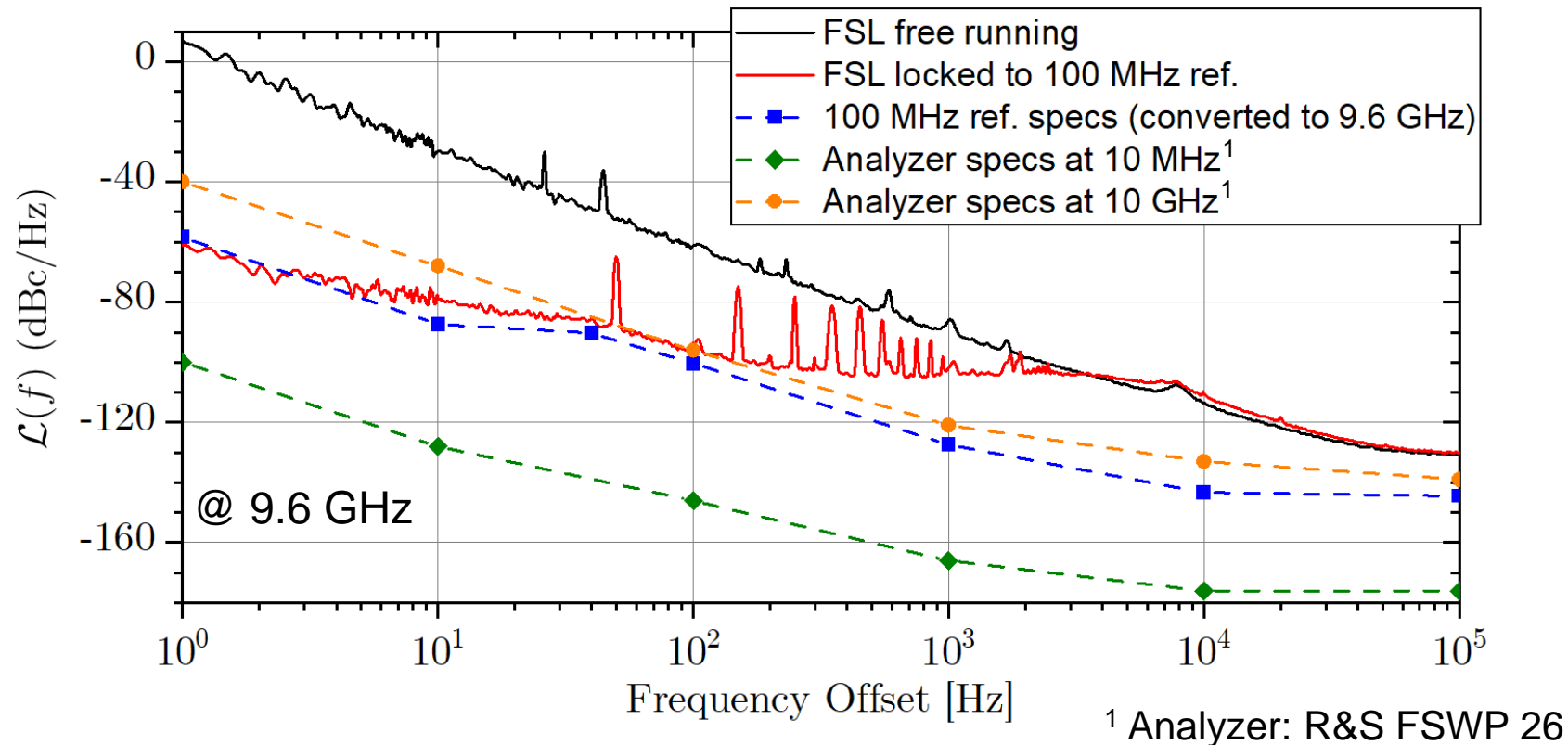


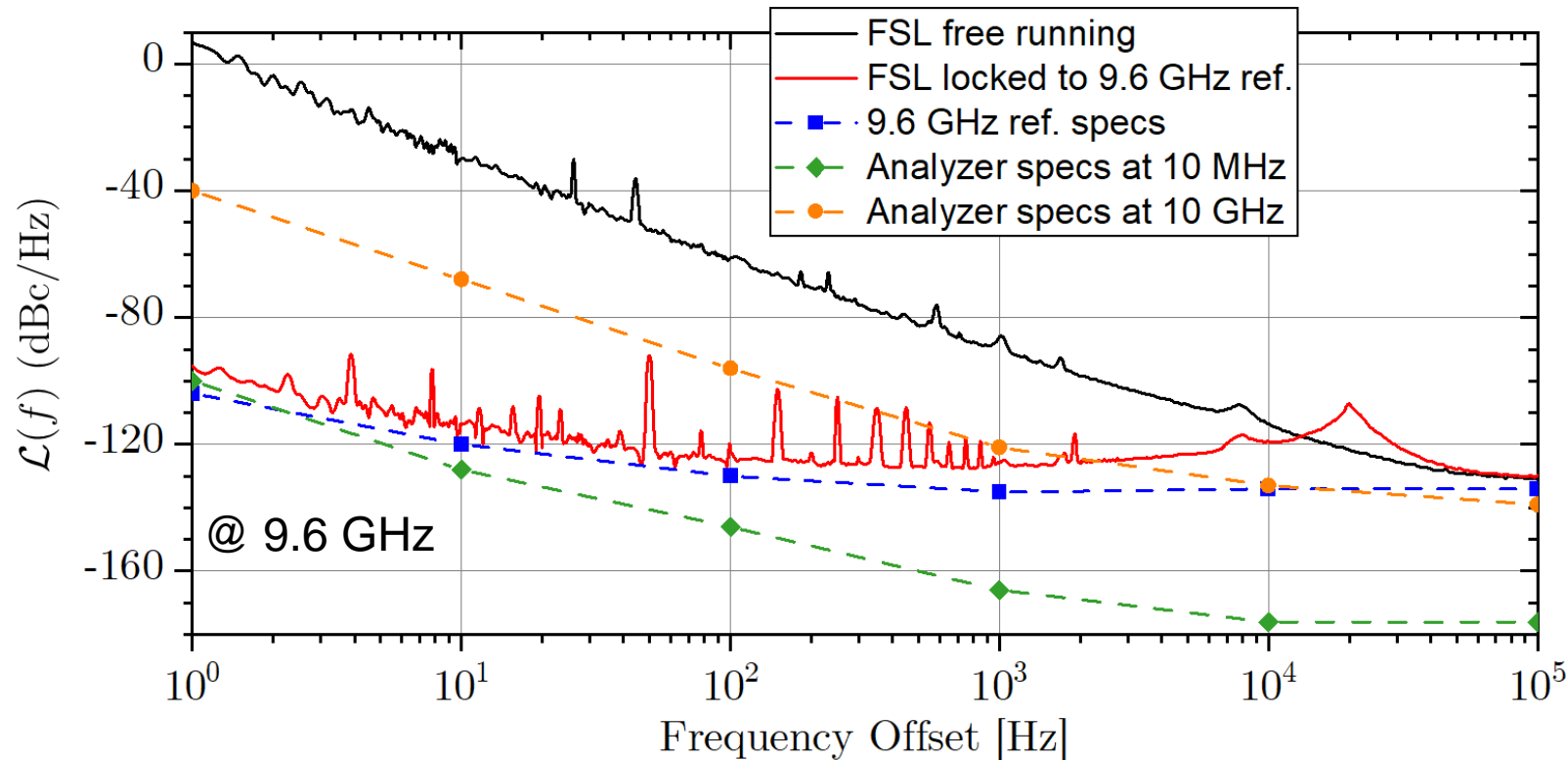






- **Blau:** Signale für die Verifizierungsmessung





- Grundlagen Phasenrauschen / -messung
- Vorstellung Frequenzlineal
 - Low Phase Noise Signale zum Heruntermischen
 - Frequenzbereich bis zu 100 GHz
 - Phasenrauschen nur durch Referenzsignal bestimmt – nicht durch das System
 - State-of-the-art Referenz (9,6 GHz)
 - 100 dBc/Hz @ 1 Hz (vs. -40 dBc/Hz Phase Noise Analyzer Limit)

- Bandbreitebegrenzung 20 kHz
 - Verbessern durch Einsatz von EOMs (Elektro-Optische Modulatoren)
→ Bis zu 1 MHz Regelbandbreite möglich¹

- Phasenrauschen bei hohen Frequenzoffsets
 - Verbessern durch den Einsatz kavitätsstabilisierter optischer Referenzsignale
→ Bis zu -166 dBc/Hz @ ≥ 5 kHz² möglich

¹ W. Zhang et. al., "Characterizing a Fiber-Based Frequency Comb With Electro-Optic Modulator," *IEEE T-UFFC*, vol. 59, no. 3, pp. 432–438, 2012.

² M. Giunta et. al., "Compact and ultrastable photonic microwave oscillator," *Optics Letters*, vol. 45, no. 5, pp. 1140–1143,

