

# VOM QUARZ ZUM RAUSCHARMEN UND HOCHSTABILEN OCXO

WIE PHASENRAUSCHEN DIE WELT VERÄNDERT

FREQUENCY CONTROL PRODUCTS

MADE IN GERMANY



## JULIAN EMMERICH

- Dr. rer. nat. Physik
- 3 Jahre Projekt- und Produktmanager KVG



### Kooperationsprojekt:

„Rückführung von Phasenrauschen“

mit dem Ziel:

Entwicklung eines weltweiten Standards für Phasenrauschmessungen für hochpräzise Frequenzquellen.

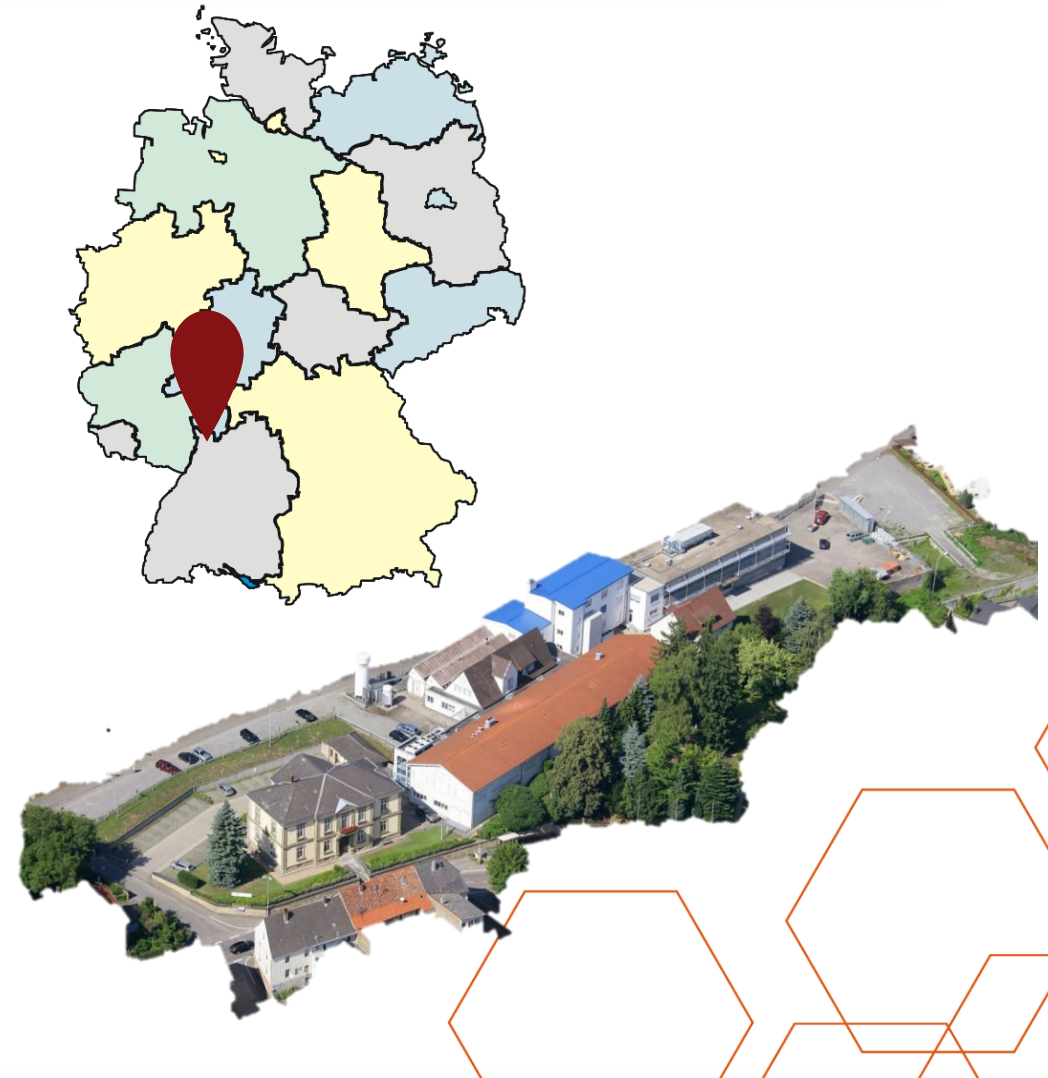
## HARALD RUDOLPH

- Dipl.-Ing. der Elektrotechnik
- 4 Jahre Entwicklungsleiter Oszillatoren KVG
- 15 Jahre Leiter Produktmanagement KVG
- Jetzt im (Un-) Ruhestand

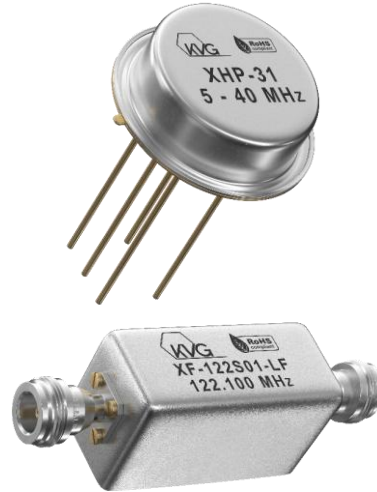
# COMPANY FACTS



<b>Name:</b>	KVG Quartz Crystal Technology GmbH
<b>Address:</b>	Waibstadter Strasse 2-4 74924 Neckarbischofsheim Germany
<b>Management:</b>	Manfred Klimm (CEO, owner)
<b>Employees:</b>	approx. 60
<b>Business Activity:</b>	Development, production, and sales of oscillators, quartz filters, and sensor crystals
<b>Sales Area:</b>	Operating worldwide with numerous representations
<b>Fields of Activity:</b>	Test and measurement technology Medical technology Sensor technology Aerospace and defense technology



# COMPANY TIMELINE

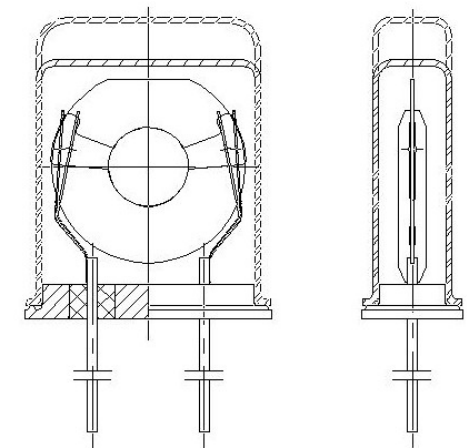
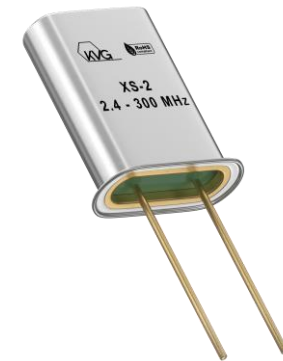
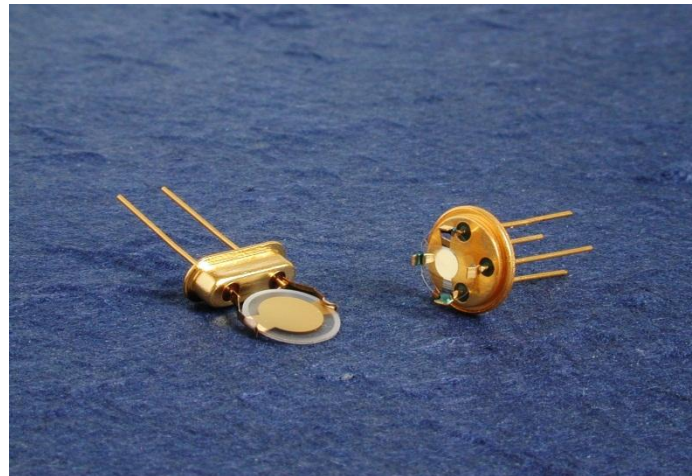
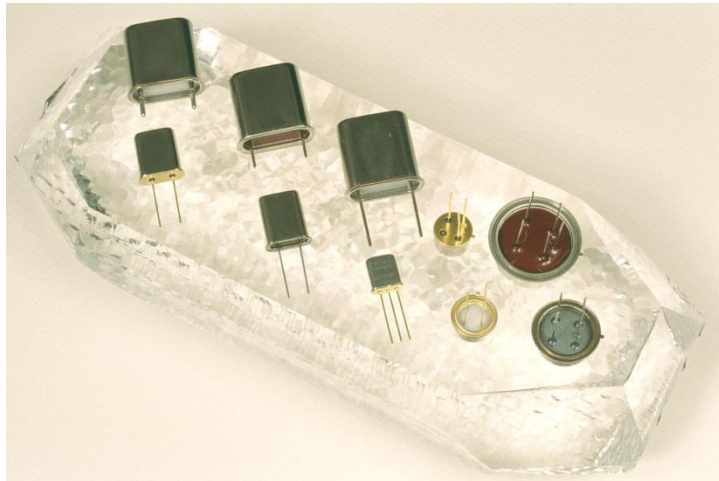


- 1946:** KVG was founded by Kurt Klingsporn as “Kristallverarbeitung Neckarbischofsheim”
- 1964:** Start of Production of Crystal Filters
- 1983:** Manufacturing of Sensor Crystals
- 1984:** First supplier for NMT- Base stations, Crystal filters and OCXO.
- 1986:** Surface Mount Technology (SMT) for Filters and Oscillators
- 1990:** First supplier to Nokia Corporation and Alcatel of OCXO's for GSM-Base stations
- 1995:** Introduction of IM HFF Crystals
- 1997:** Main supplier for Pager Crystals to customer Motorola
- 1998:** Implementation of ASIC Technology for TCXOs
- 2002:** private owned “KVG Quartz Crystal Technology GmbH”
- 2005:** Low Phase Noise OCXOs and RF TCXOs
- 2010:** Low G-Sensitivity OCXOs
- 2014:** Introduction of mechanical damped OCXO modules
- 2015:** Ultra low Phase Noise RF-OCXO and very low G-Sensitivity OCXO
- 2016:** EN9100 certification
- 2017:** PLL-OCXO Module 10/100 MHz
- 2019:** Frequency sources up to 10 GHz
- 2022:** Research cooperation with DESY (German Electron Synchrotron, Hamburg) for the development of high-performance frequency sources for particle accelerators
- 2024:** Research cooperation with PTB Braunschweig



# DER SCHWINGQUARZ

## DAS UNBEKANNTE WESEN



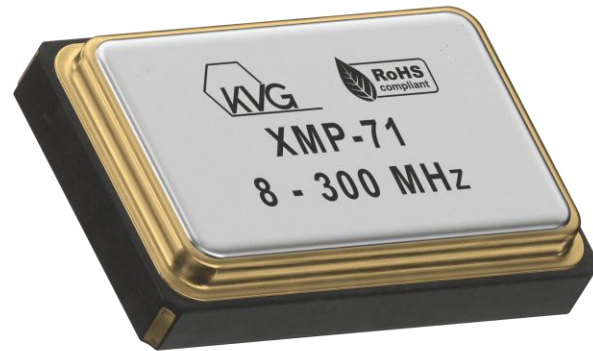
# DER SCHWINGQUARZ

## DAS UNBEKANNTE WESEN



# DER SCHWINGQUARZ

## DAS UNBEKANNTE WESEN



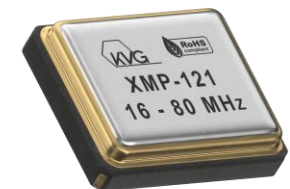
5,0 mm x 3,2 mm



3,2 mm x 2,5 mm



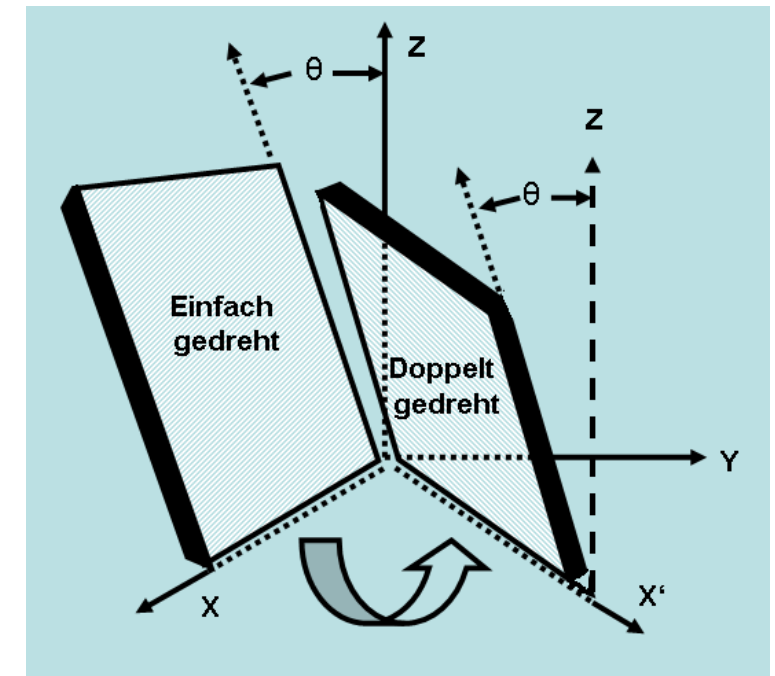
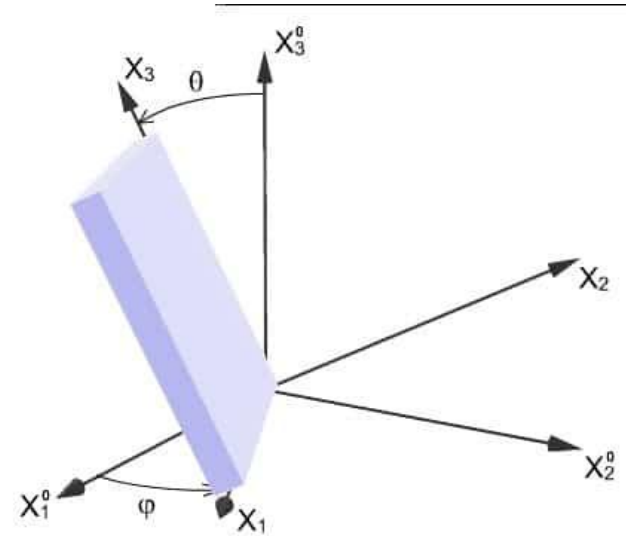
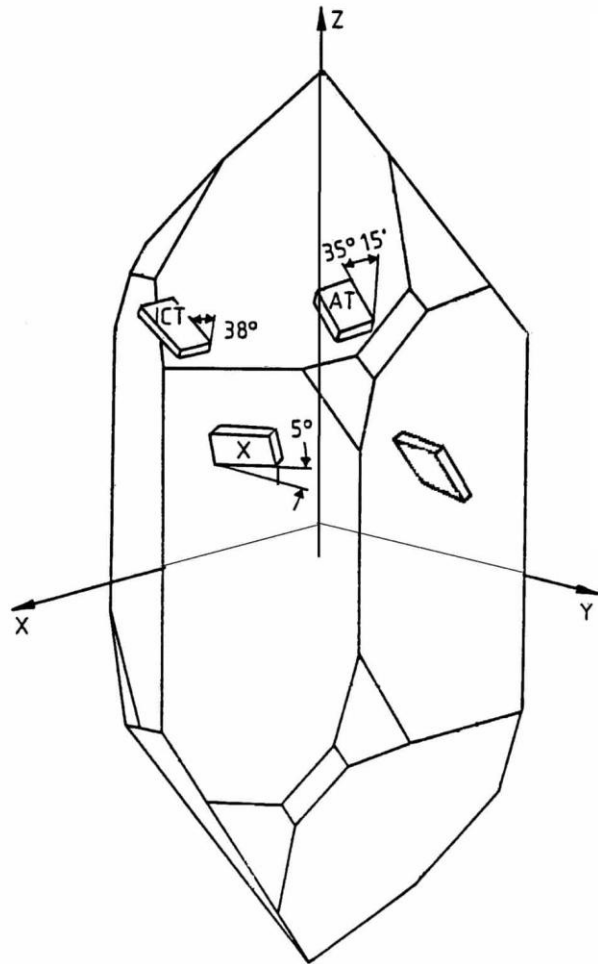
2,5 mm x 2,0 mm



2,0 mm x 1,6 mm

# DER SCHWINGQUARZ

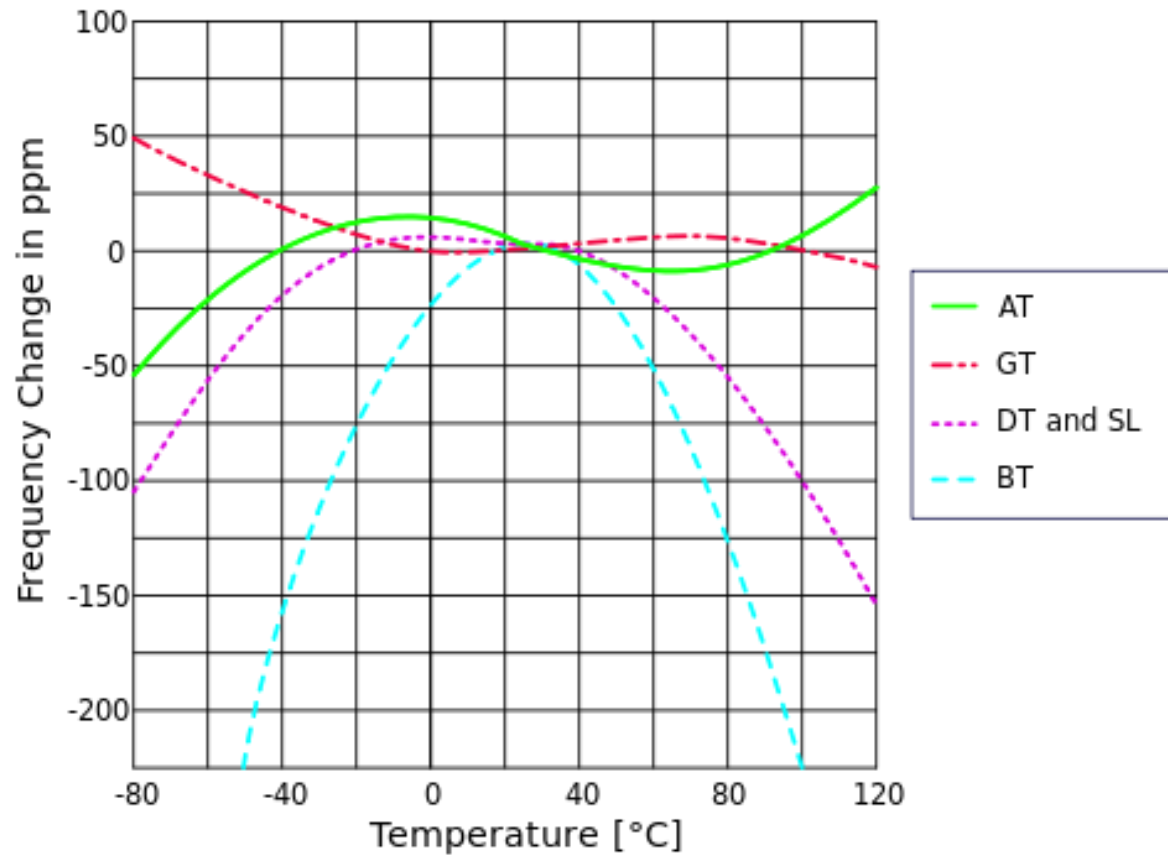
## DAS UNBEKANNTE WESEN





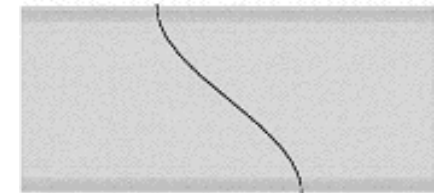
# DER SCHWINGQUARZ

## DAS UNBEKANNTE WESEN

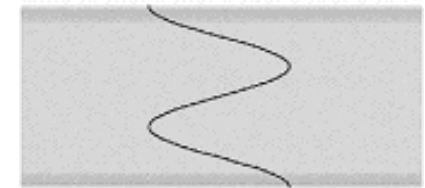


Temperaturabhängigkeit der Frequenz  
abhängig vom Schnittwinkel

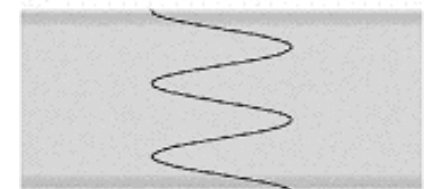
Grundton



3. Oberton



5. Oberton



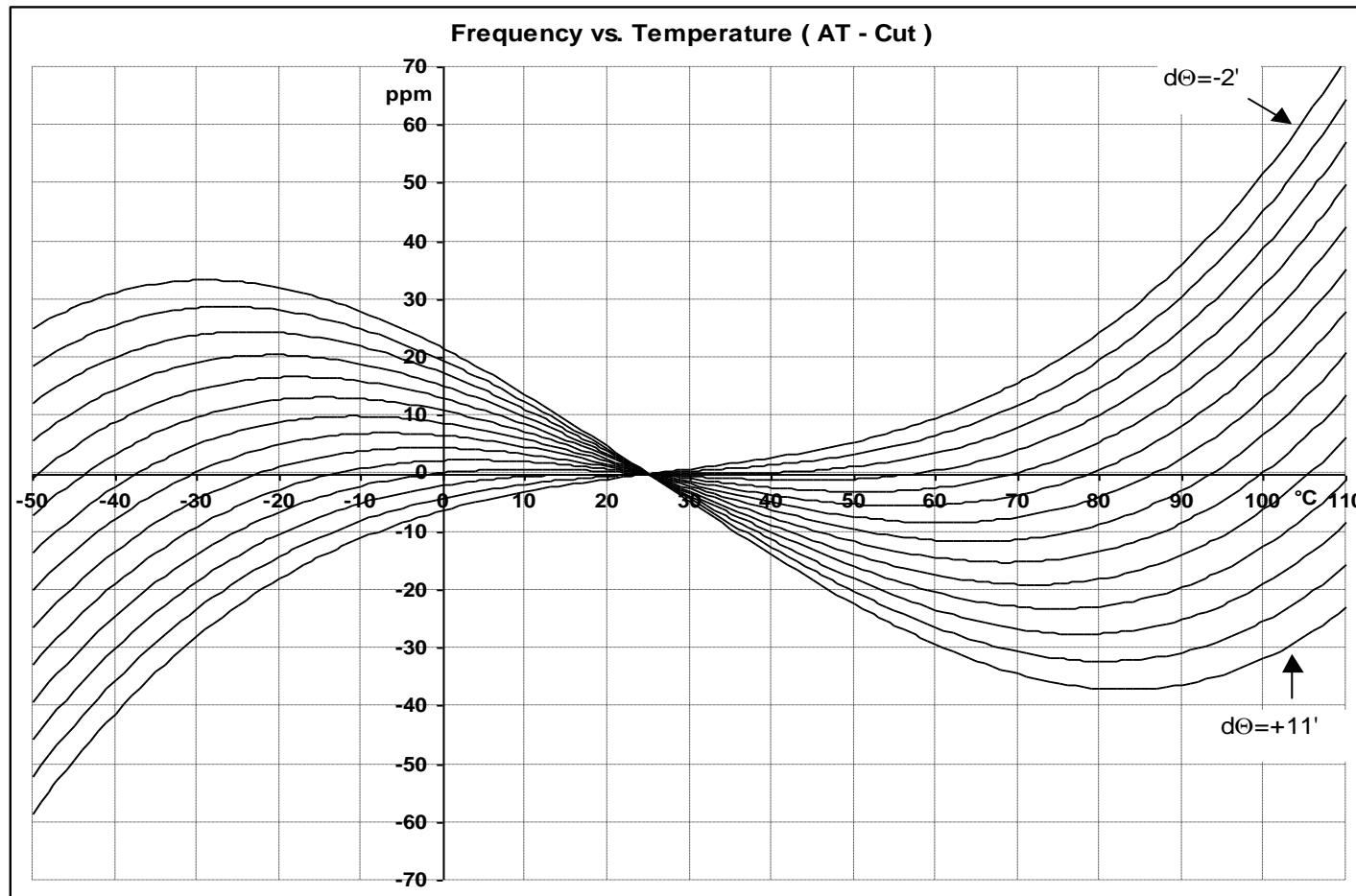
Schwingungsmoden  
von Schwingquarzen

# DER SCHWINGQUARZ

## DAS UNBEKANNTE WESEN

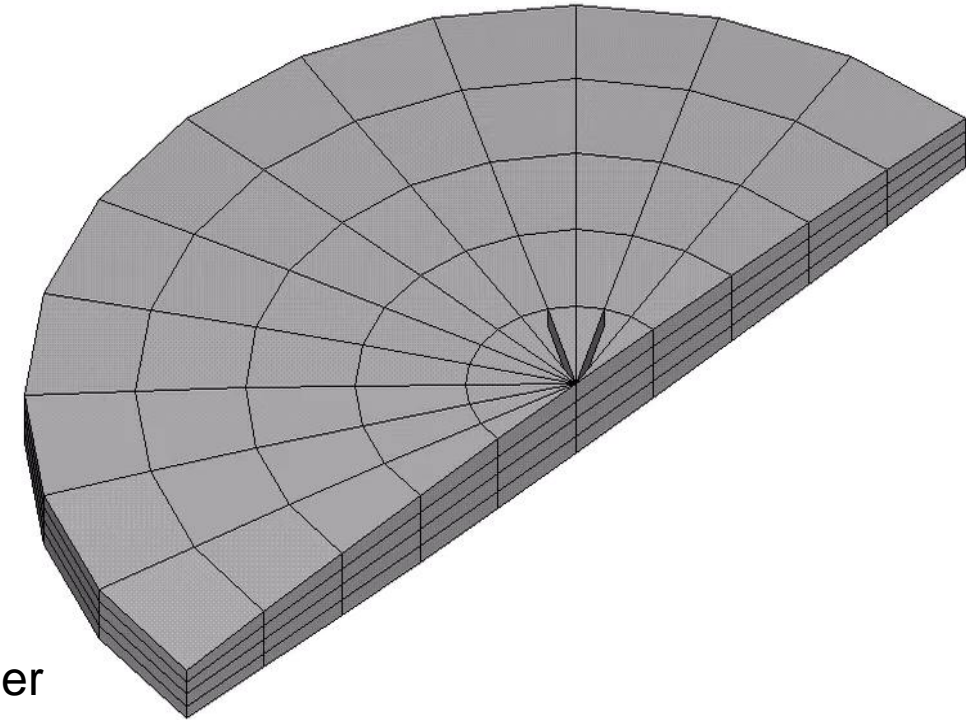
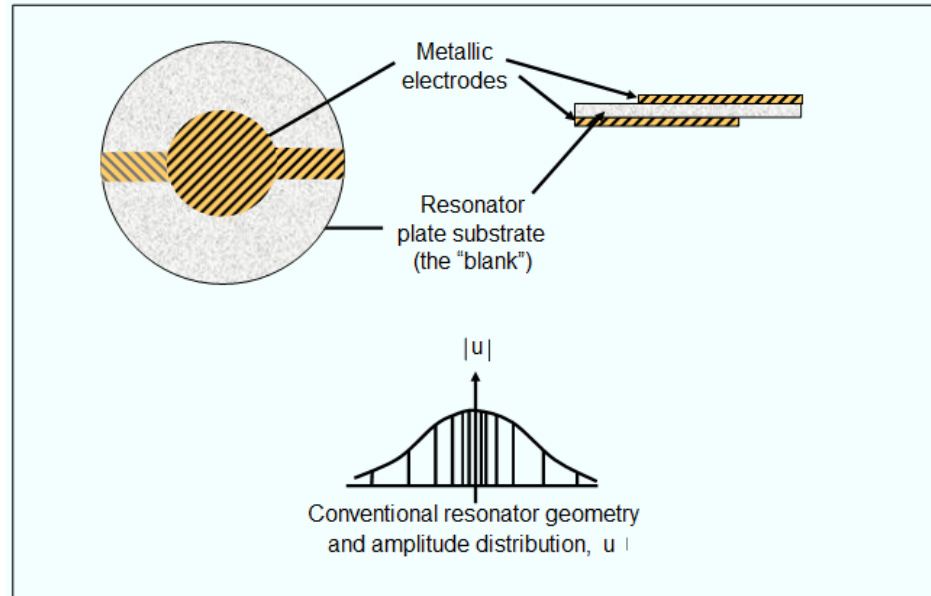


Temperaturabhängigkeit der Frequenz abhängig vom Schnittwinkel für den AT-Schnitt



# DER SCHWINGQUARZ

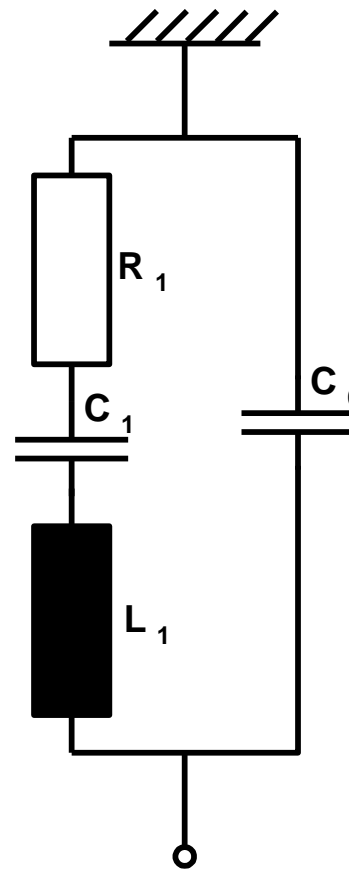
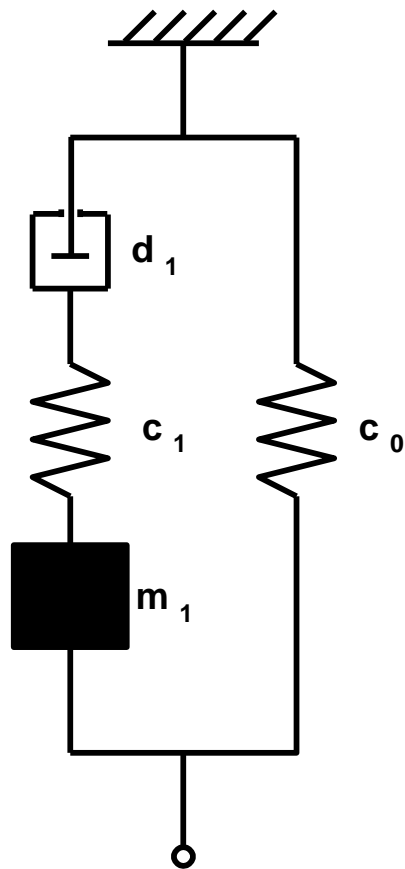
## DAS UNBEKANNTE WESEN



AT- und SC-Schnittquarze sind sog. Dickenscherschwinger

Quelle: John R. Vig, „*Quartz Crystal Resonators and Oscillators For Frequency Control and Timing Applications - A Tutorial*“, US Army Communications-Electronics Research, Development & Engineering Center Fort Monmouth, NJ, USA, February 2005

### MECHANISCH-ELEKTRISCHE ANALOGIE

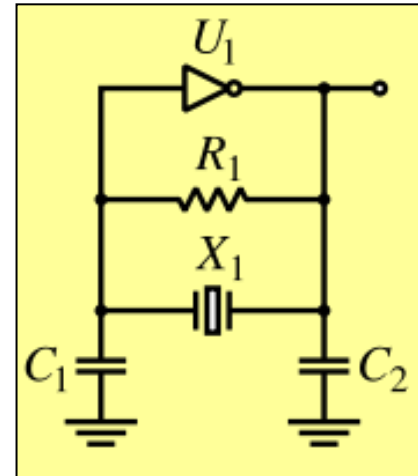
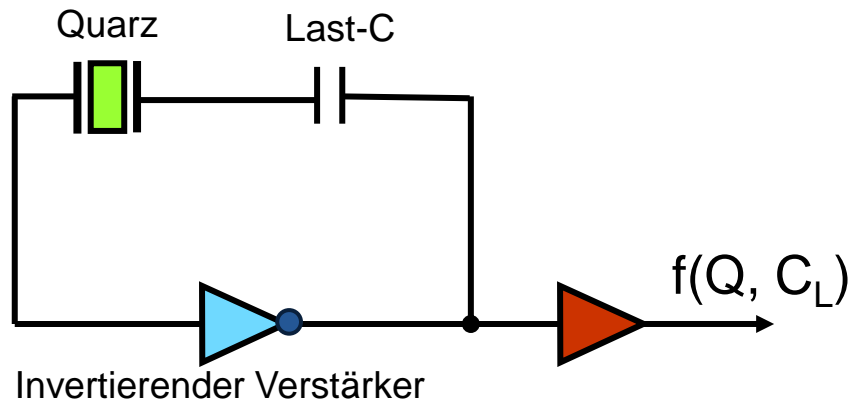




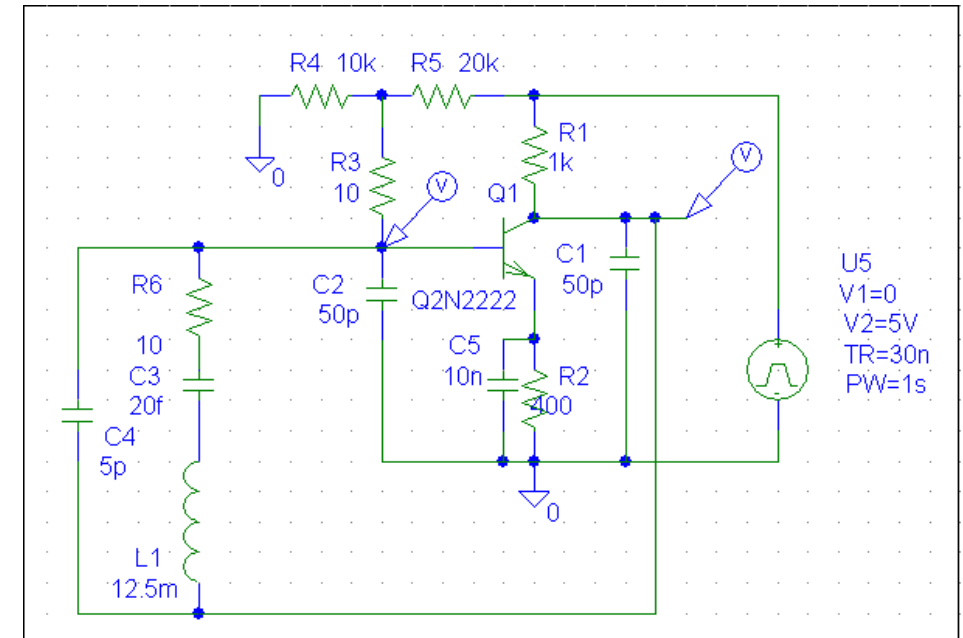
# DER QUARZOSZILLATOR

## VOM XO ZUM VCOCXO

### Einfaches Oszillatormodell eines XO

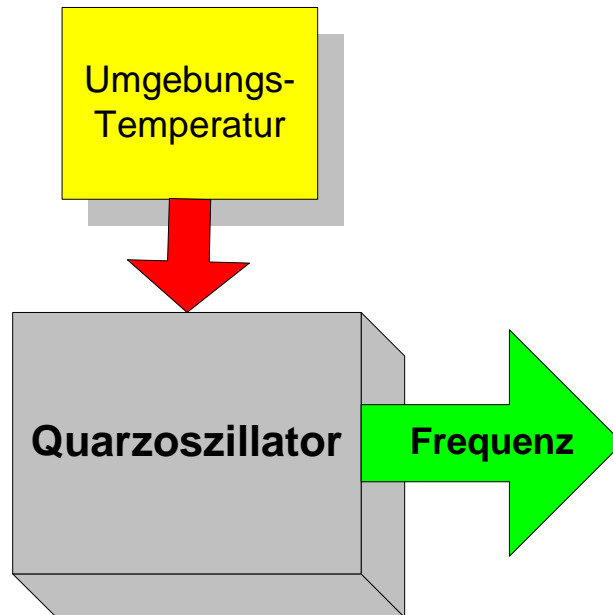


### PIERCE-OSZILLATOR



# DER QUARZOSZILLATOR

## VOM EINFACHEN XO ZUM VCOCXO



$$df/f_0 = c + df(T)/f_0 + df(V_S)/f_0 + df(Z_L)/f_0 + df(t)/f_0$$

$$\Delta f(T)/f_0 = a + b \cdot \Delta T + c \cdot (\Delta T)^2 + d \cdot (\Delta T)^3$$

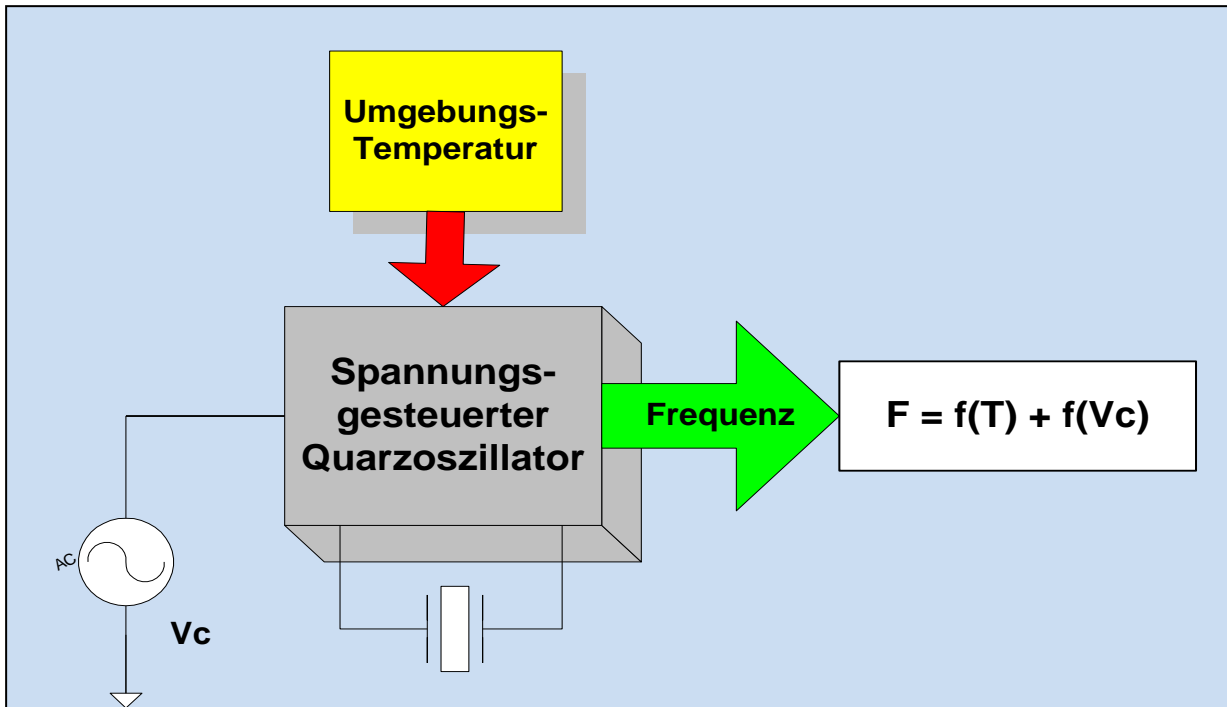
mit  $\Delta T = T - T_0$  ( $T_0$  = Inversionstemperatur)

und  $f_0$  = Nominalfrequenz

# DER QUARZOSZILLATOR

## VOM EINFACHEN XO ZUM VCOCXO

### Die Frequenz des VCXOs

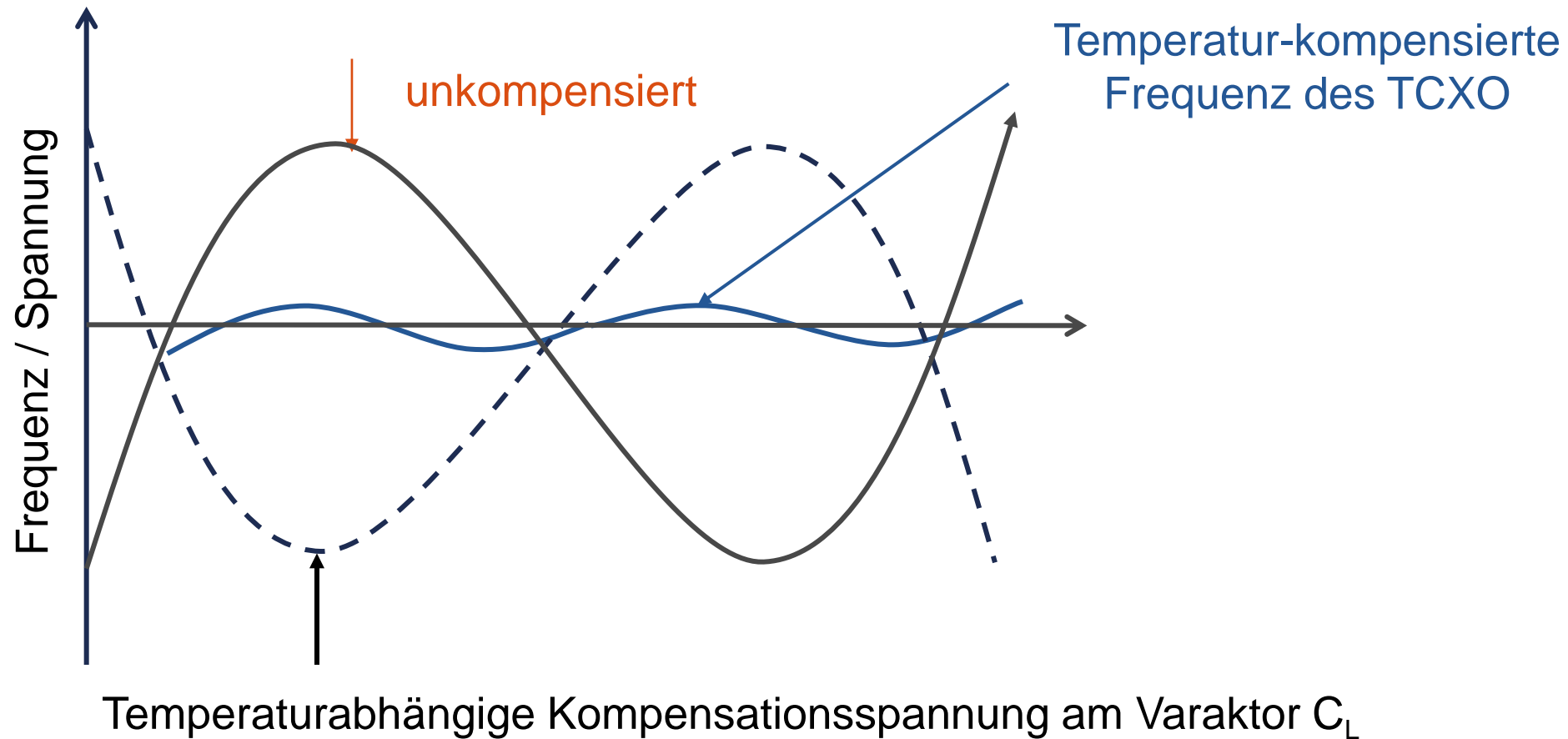


$$\delta f/f_0 = a + b \cdot (T - T_0) + c \cdot (T - T_0)^2 + d \cdot (T - T_0)^3 + k \cdot (V_c - V_0)$$

mit Ziehsteilheit  $k = \delta f/f / \delta V_c$  [ppm/V]

# DER QUARZOSZILLATOR

## VOM EINFACHEN XO ZUM VCOCXO



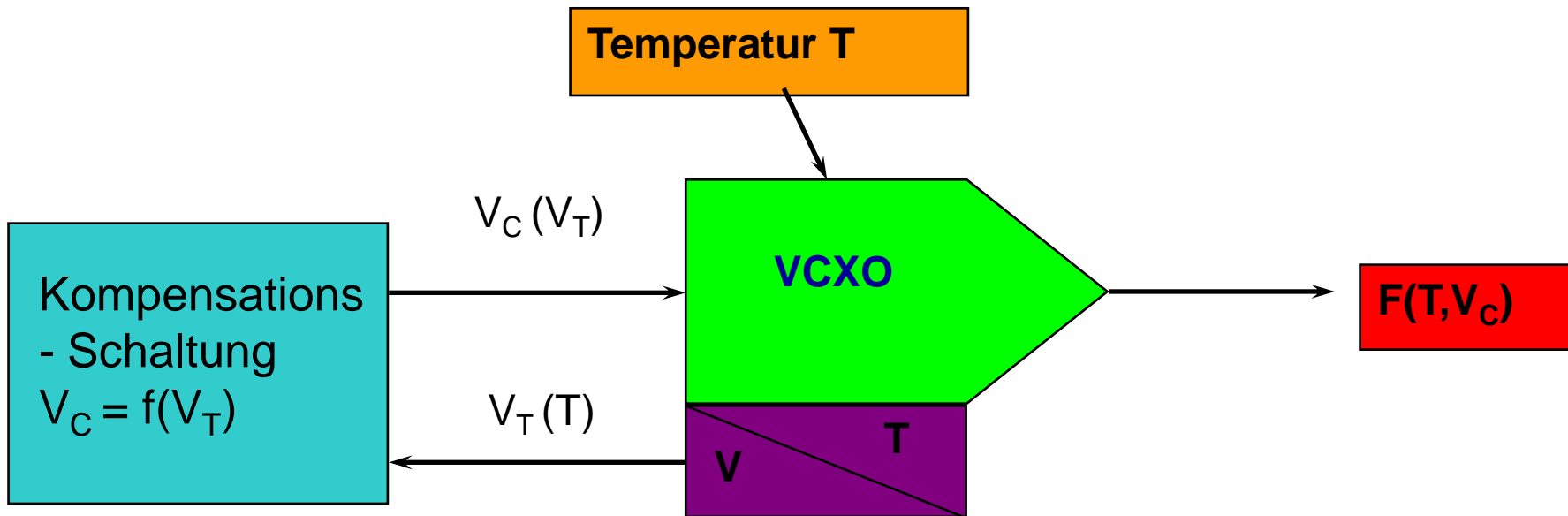


# DER QUARZOSZILLATOR

## VOM EINFACHEN XO ZUM VCOCXO



### Prinzip des ‚Temperature Compensated Quartz Crystal Oscillator‘ (TCXO)



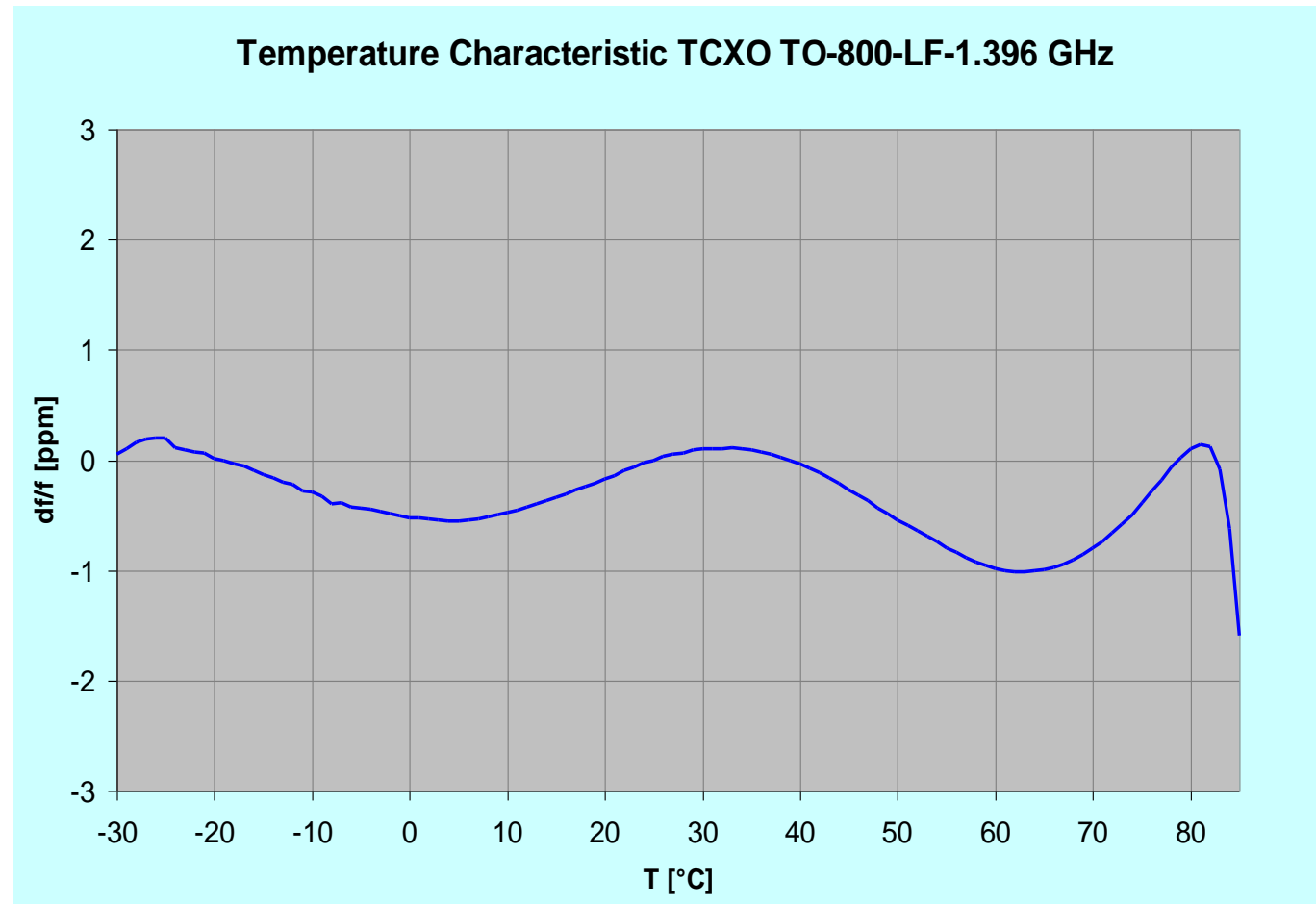
$$V_C = f(V_T) = V_0 + b \cdot (V_T - V_0) + c \cdot (V_T - V_0)^2 + \dots + g \cdot (V_T - V_0)^6$$

# DER QUARZOSZILLATOR

## VOM EINFACHEN XO ZUM VCOCXO



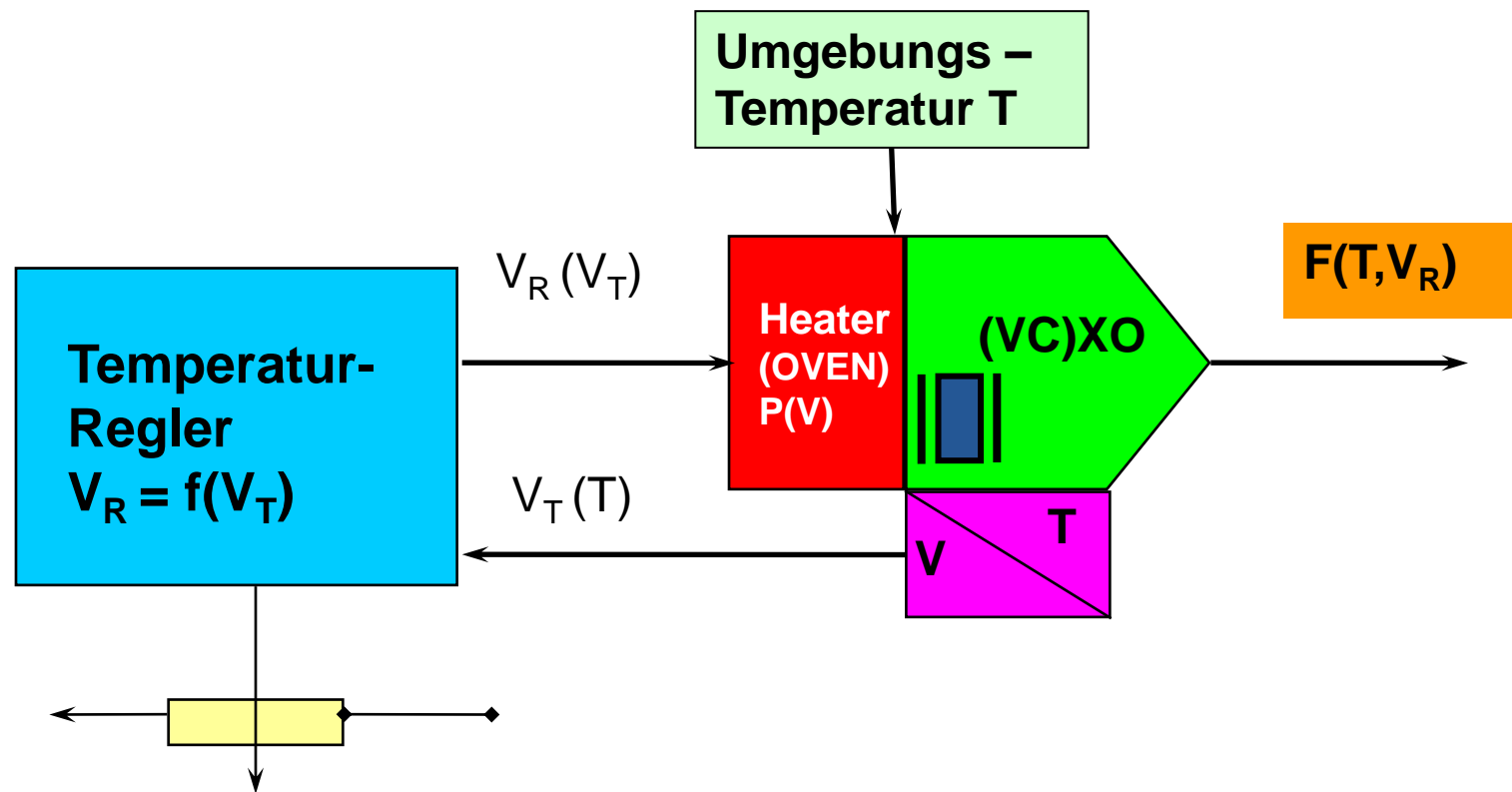
### $F(T)$ eines 1.395 GHz TCXO



# DER QUARZSZILLATOR

## VOM EINFACHEN XO ZUM VCOCXO

### Funktionsprinzip eines OCXOs

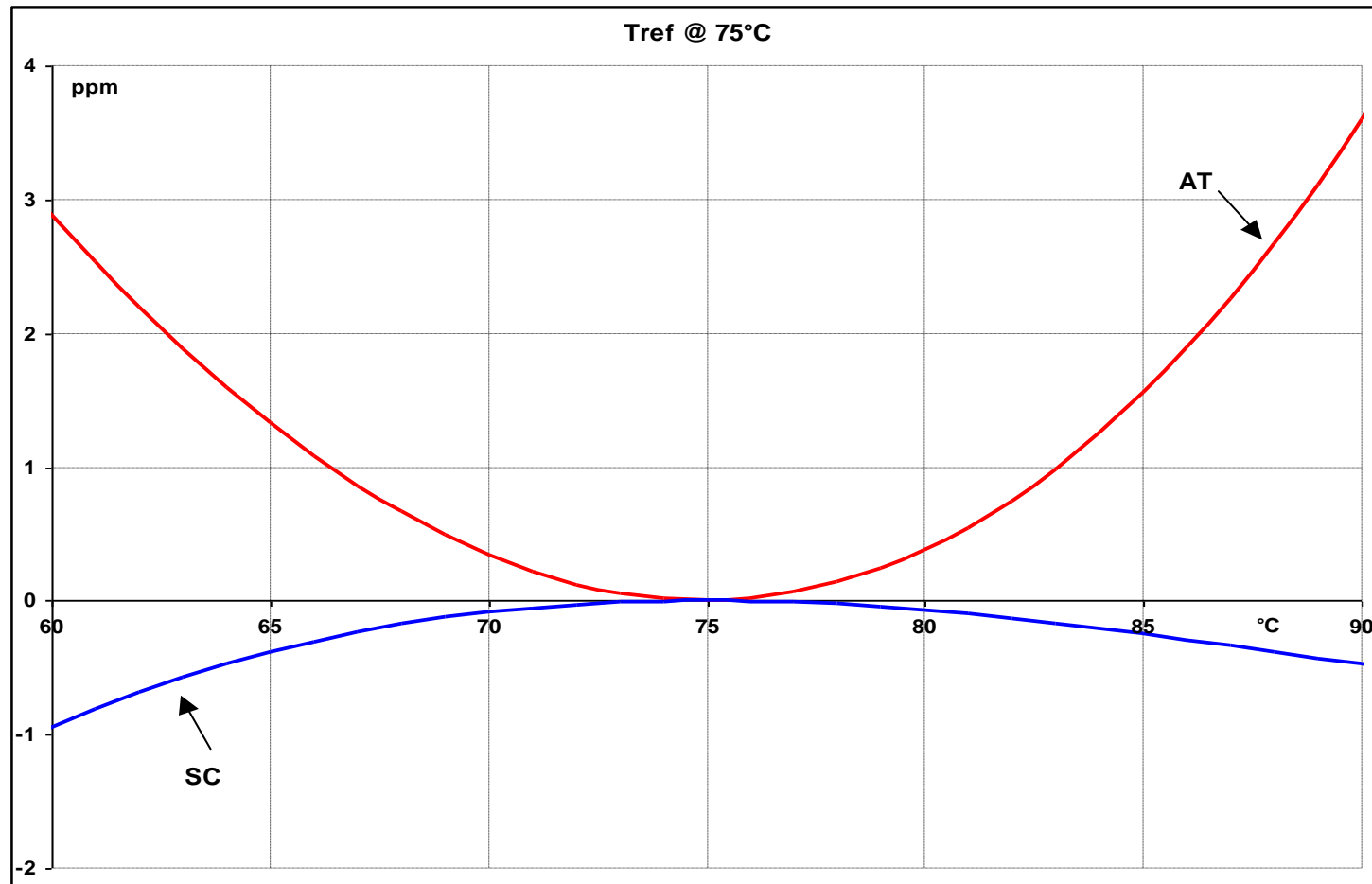


# DER QUARZOSZILLATOR

## VOM EINFACHEN XO ZUM VCOCXO



### Vergleich AT-/SC-Quarz im Umkehrpunkt





## Frequenz eines Quarzoszillators

ist abhängig von:

- Abgleichtoleranz
  - Temperatur
  - Betriebsspannung
  - Ausgangslast
  - Zeit
- $df/f_0 = c + df(T)/f + df(V_S)/f + df(Z_L)/f + df(t)/f$

## Was ist Frequenzstabilität?

- Frequenzstabilität
  - Kurzzeitstabilität
  - Langzeitstabilität

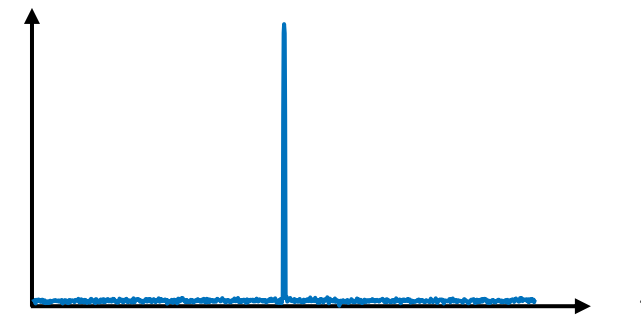
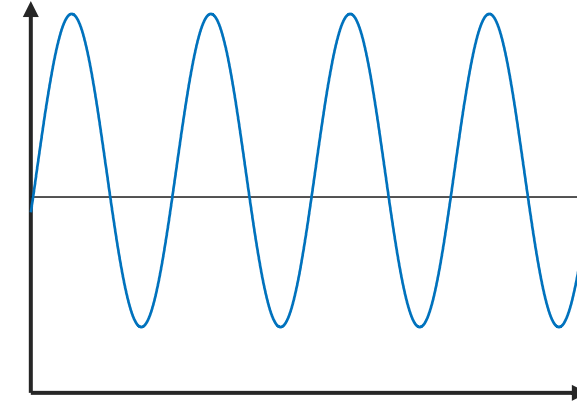
- Kurzzeitstabilität
  - ‚Allan Variance‘
  - Phasenrauschen
  - Phasenjitter
- Langzeitstabilität
  - Frequenzdrift
  - Aging

# THE IDEAL OSCILLATOR SIGNAL

- Ideal oscillator signal is usually a pure sinusoid

$$V(t) = A \cdot \cos(\omega t + \phi) \quad \omega = 2\pi f$$

- Amplitude “A” is constant.
- Radial frequency “ $\omega$ ” is constant
- Phase offset “ $\phi$ ” is constant
- In the frequency domain, a pure sinusoid appears as a single narrow spectral line

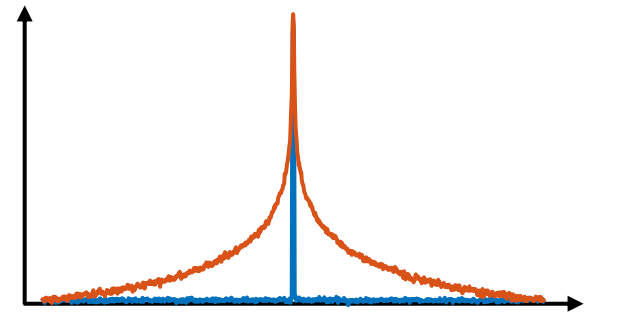
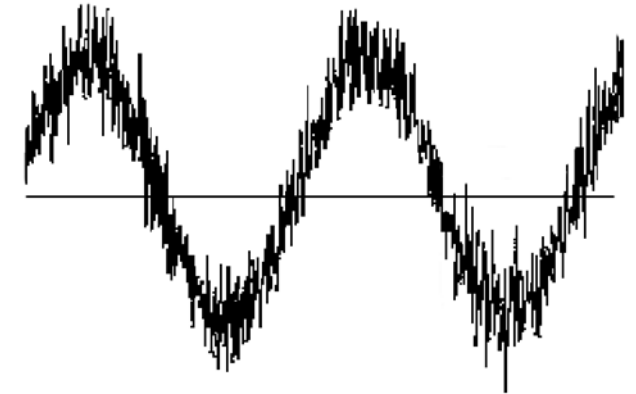
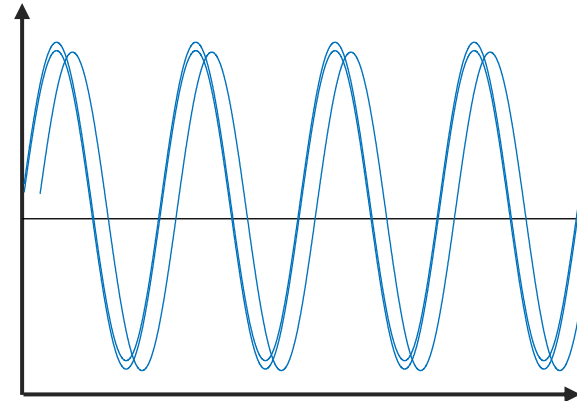


# THE REAL OSCILLATOR SIGNAL

- A non-ideal (real) oscillator signal

$$V(t) = A(t) \cdot \cos(\omega t + \phi(t))$$

- Radial frequency “ $\omega$ ” is still constant
- Amplitude “ $A(t)$ ” is a function of time
- Phase offset “ $\phi(t)$ ” is a function of time
- Creates sidebands in the frequency domain
- In most cases, the effects of phase variations are much larger and more important than the effects of amplitude variations





# DER QUARZSZILLATOR

## Definition Phasenrauschen



- Sinusförmiges Signal mit Amplituden- und Phasenrauschen:

$$u(t) = (A_0 + \varepsilon(t)) \cdot \sin[2\pi f_0 t + \phi(t)]$$

- Die Spektrale Rauschleistungsdichte für Phasenänderungen:

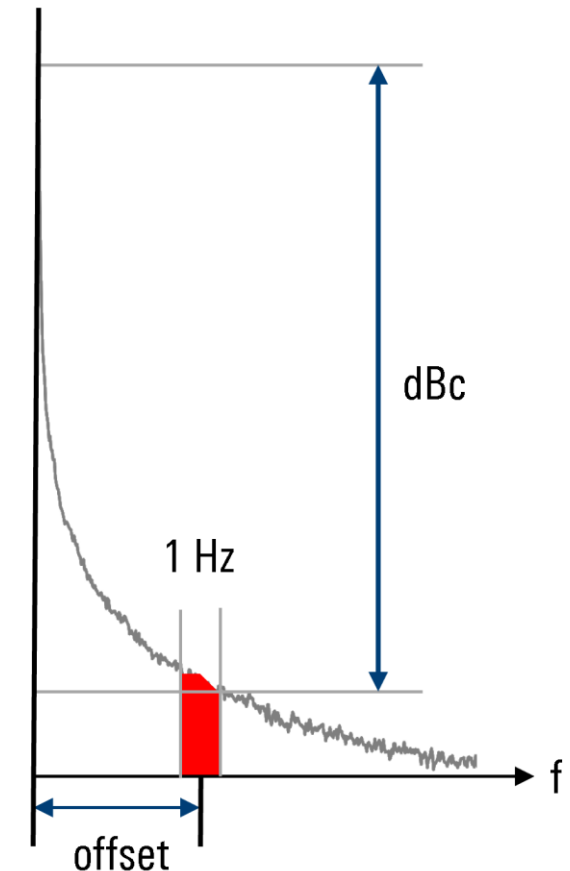
$$S_\phi(f_m) = \frac{(\Delta\phi_{rms}(f_m))^2}{B}$$

- Das Einseitenband-Phasenrauschen:

$$L(f_m) = \frac{1}{2} S_\phi(f_m)$$

- Definition:

$$L(f_m) = 10 \log \left[ \frac{P_{SSB}(f_m)}{P_C} \right]$$



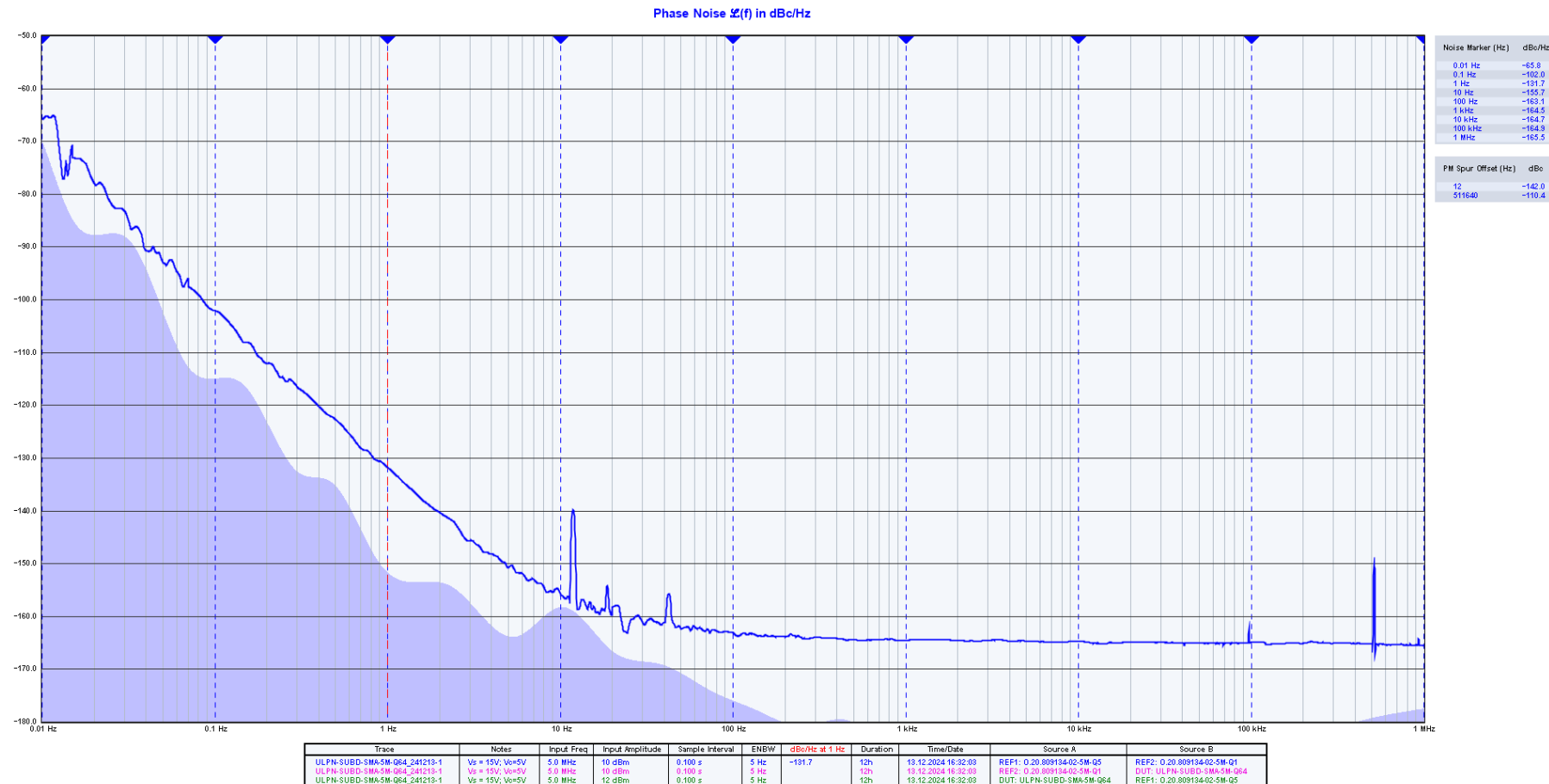
# DER QUARZSZILLATOR

## VOM EINFACHEN XO ZUM VCOCXO



### Phase Noise Measurement Results

### ULPNO-SUBD-SMA-5M



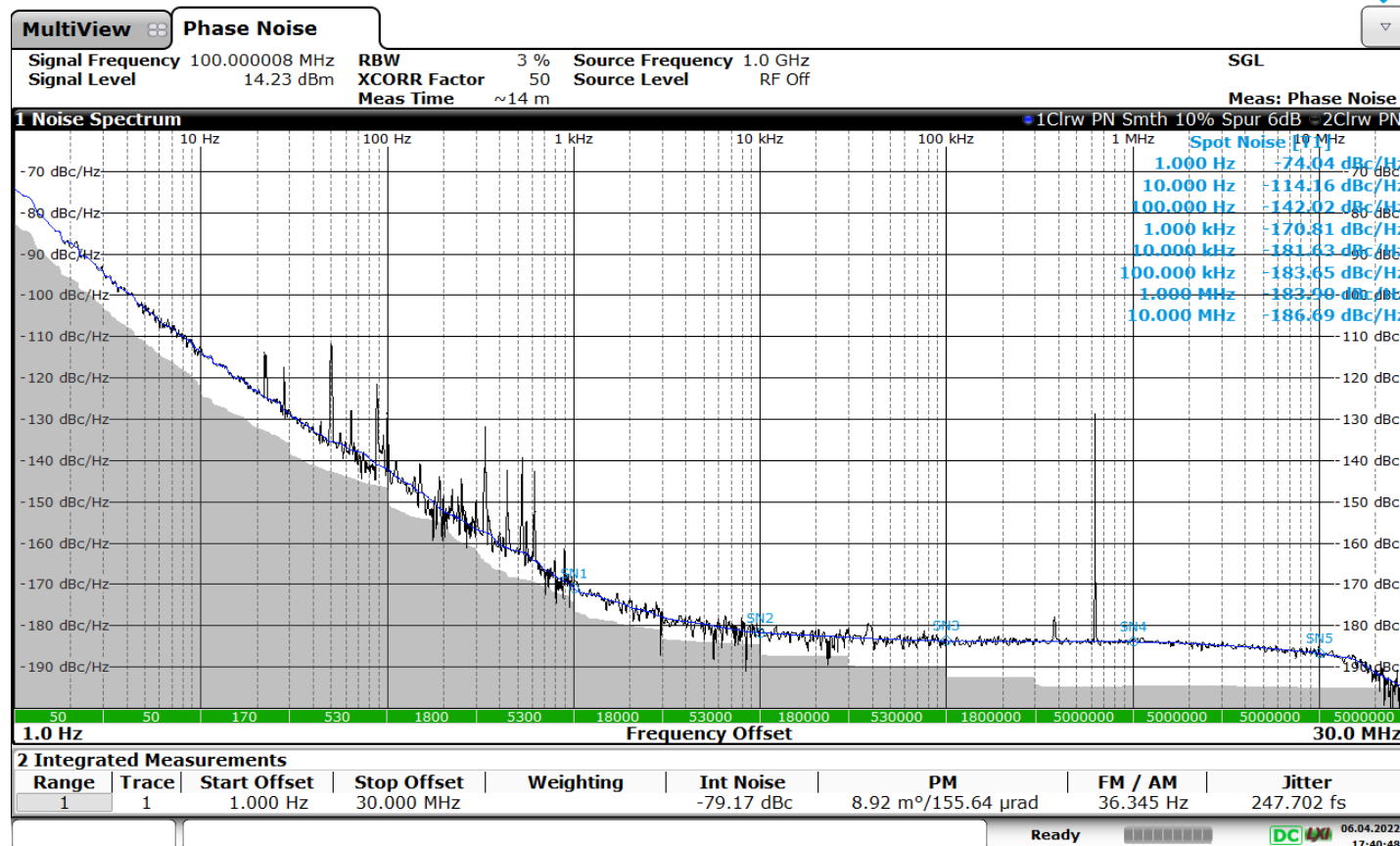
# DER QUARZOSZILLATOR

## VOM EINFACHEN XO ZUM VCOCXO



### Phase Noise Measurement Results

### 100 MHz ULPN OCXO



17:40:48 06.04.2022



## Zivile Luftfahrt

- Avionik (Flugkontroll- und Managementsysteme, Kommunikation, Navigation, Sensorik)
- Überwachungsradar für die zivile Luftverkehrskontrolle
- Wetterradar



## Medizintechnik

### Beispiele:

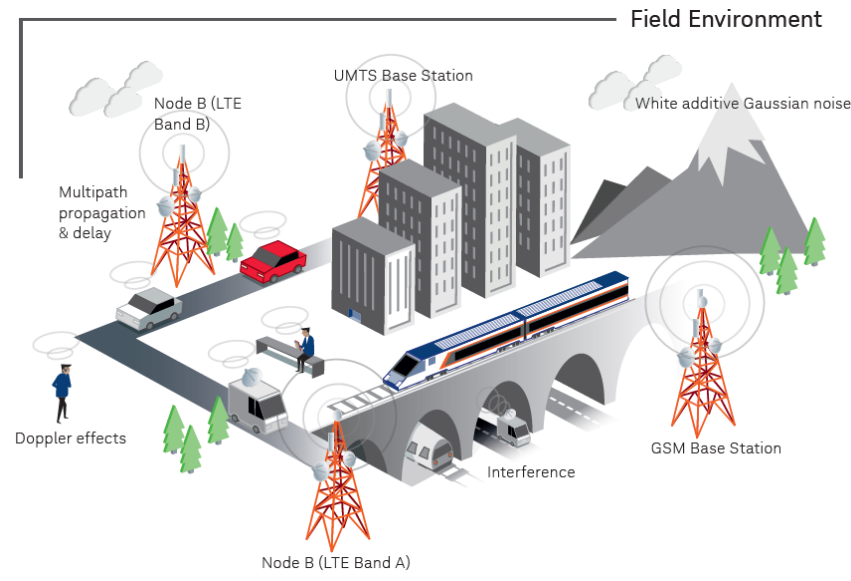
- CT und MRT
- Kernspin
- MRT für Pharmaindustrie



## Messtechnik

### Beispiele:

- Messgeräte und -systeme für Mobilfunk
- Mobile Network Testing
- Base Station Simulation
- Signal Analyzer
- Spectrum- und Network-Analyzer





# Anwendungsbeispiele

## Verteidigung

### Beispiele:

- Handfunksprechgeräte
- Satellitenkommunikation
- Flugabwehrradar
- Luftüberwachung
- UAV unbemannte Flugzeuge





## Grundlagenforschung

### Beispiele:

- Masterclocks (Frequenzmodule) der KVG steuern Teilchenbeschleuniger der DESY Hamburg und am CERN (Genf)
- Kooperation in der Entwicklung neuer Hochleistungs-Frequenzquellen



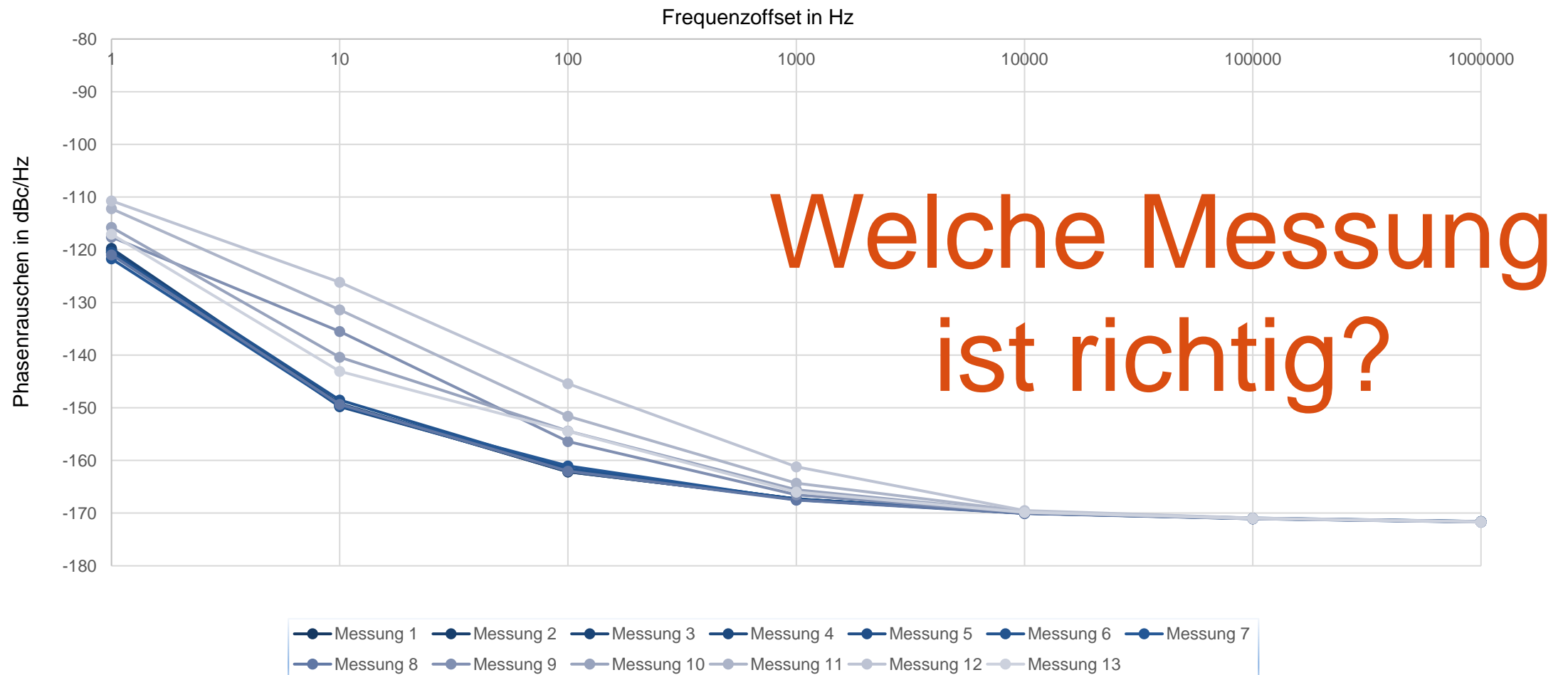
## Wer viel misst,



misst viel Mist.

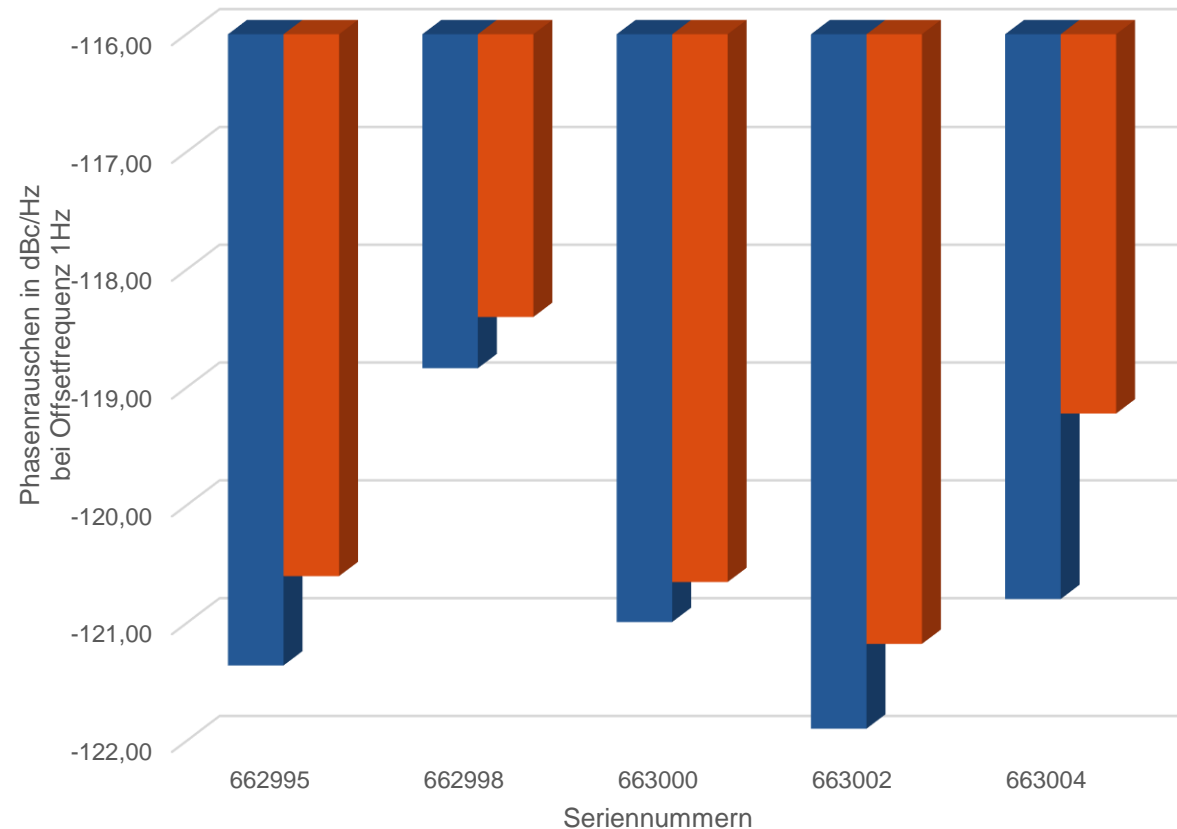
# ZEITLICHER VERLAUF DER PN-MESSUNG

STÜNDLICHE AUTOMATISCHE WIEDERHOLUNGSMESSUNG  
AM SELBEN MESSAUFBAU



# SYSTEMATISCHE ABWEICHUNGEN ZWISCHEN VERSCHIEDENEN MESSSYSTEMEN

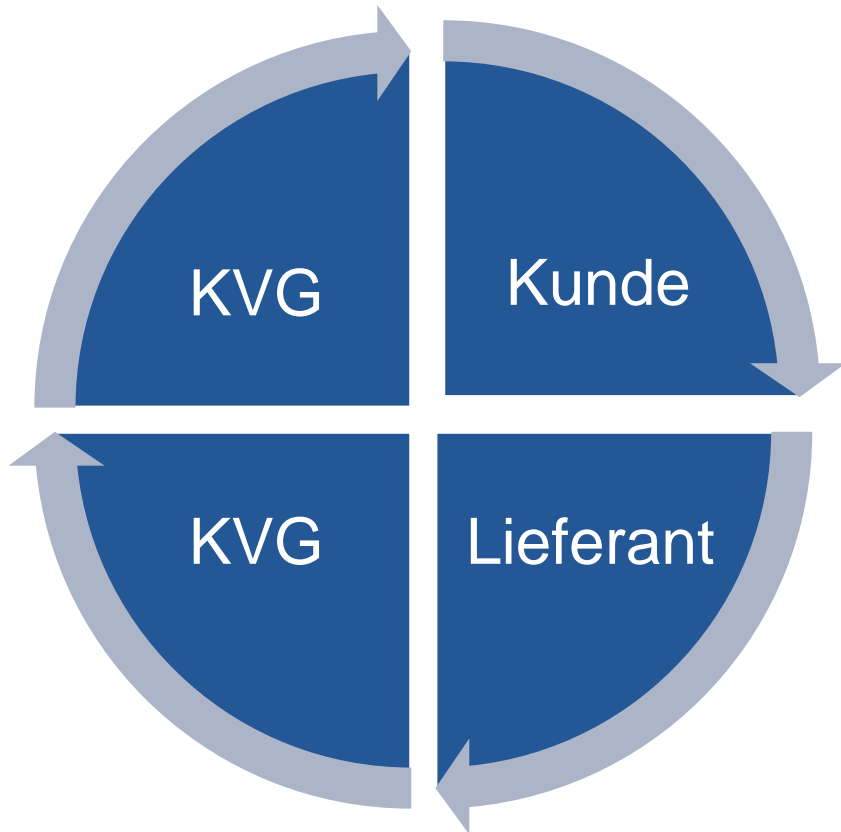
Gegenüberstellung verschiedener Messgeräte



Welches Messgerät misst richtig?

■ MESSUNG MUTEC MIT MULTIBOX  
■ MESSUNG MUTEC MIT HOLZWORTH

# WARUM SIND WIEDERHOLBARE PN-MESSUNGEN SO WICHTIG?



## Wer hat nun Recht?

# RÜCKFÜHRUNG VON PHASENRAUSCHEN

Urmeter



Urkilogramm



Ur-Phasenrauschquelle



*Projektverantwortliche vor der primären Atomuhr  
der PTB Braunschweig:  
v.l.n.r.: Nora Meyne, Omid Abed, Alexander  
Kotiukov, Thomas Kleine-Ostmann, Julian  
Emmerich*



**VIELEN DANK**  
FÜR IHRE AUFMERKSAMKEIT

**KVG-GMBH.DE**

