

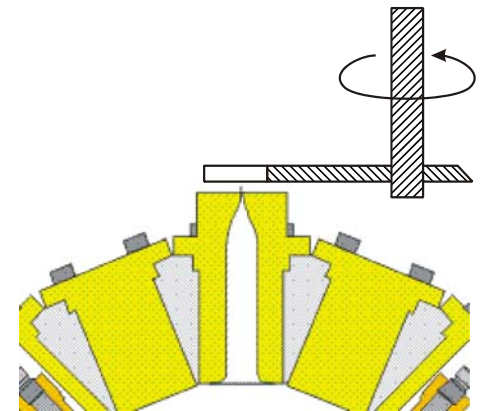
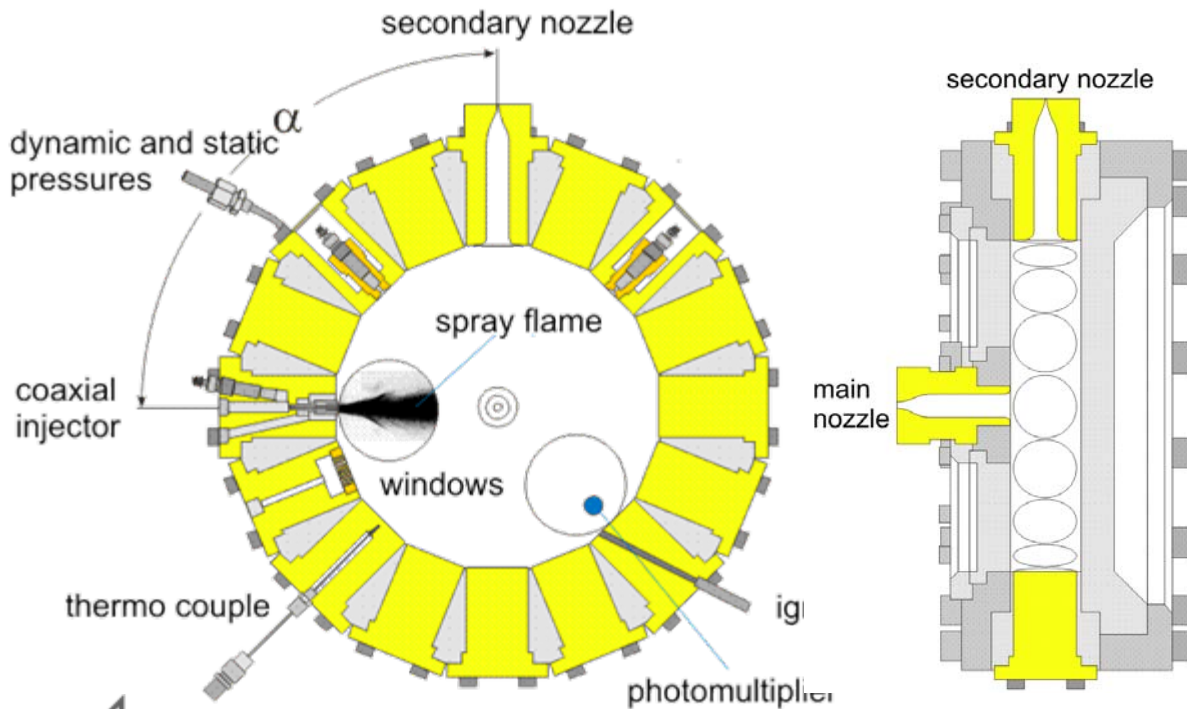
# Auswertung dynamischer Druckdaten von Experimenten an der HF-Brennkammer mit der Hilbert-Huang und der Fourier-Transformation

**C. Pegg, M. Oswald**  
Institut für Raumfahrtantriebe  
DLR Lampoldshausen



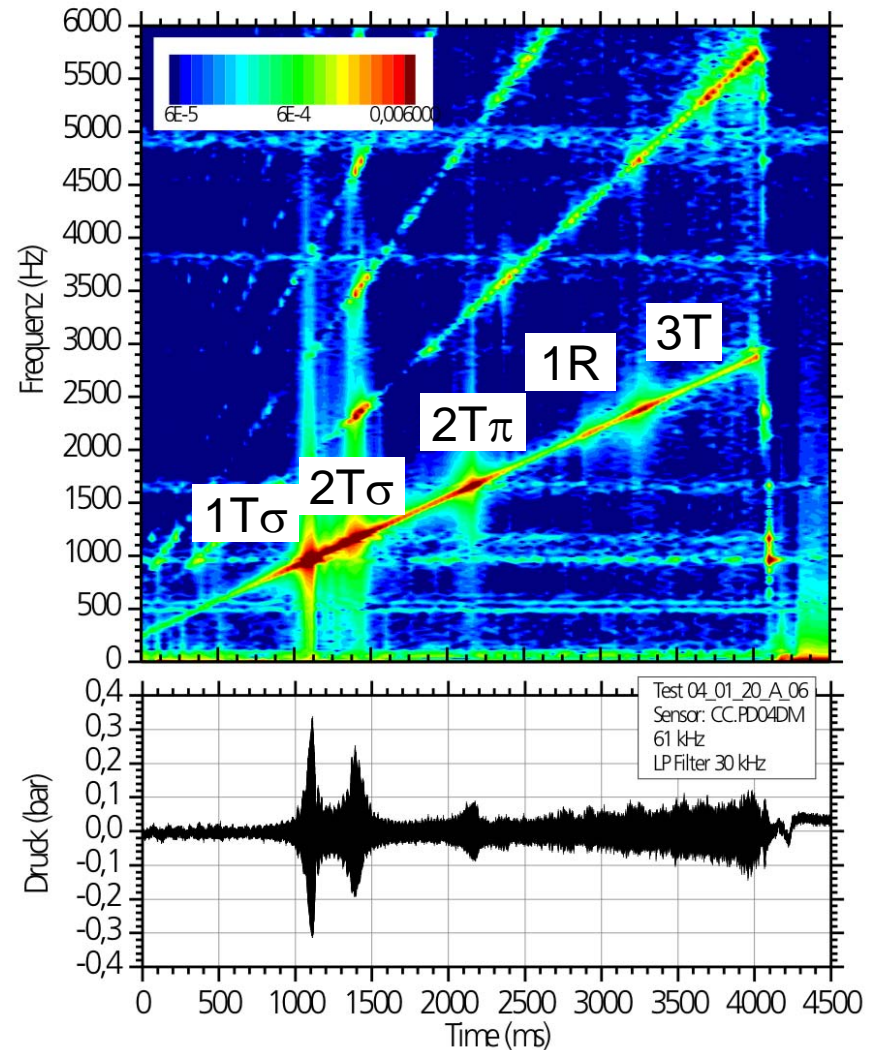
# HF-Brennkammer

- Durchmesser x Höhe: 20 cm x 4 cm
- $p_c$  bis 10 bar
- LOX, GH2 @ 77K
- Koaxial-Injektor
- Anregung mit Sirene



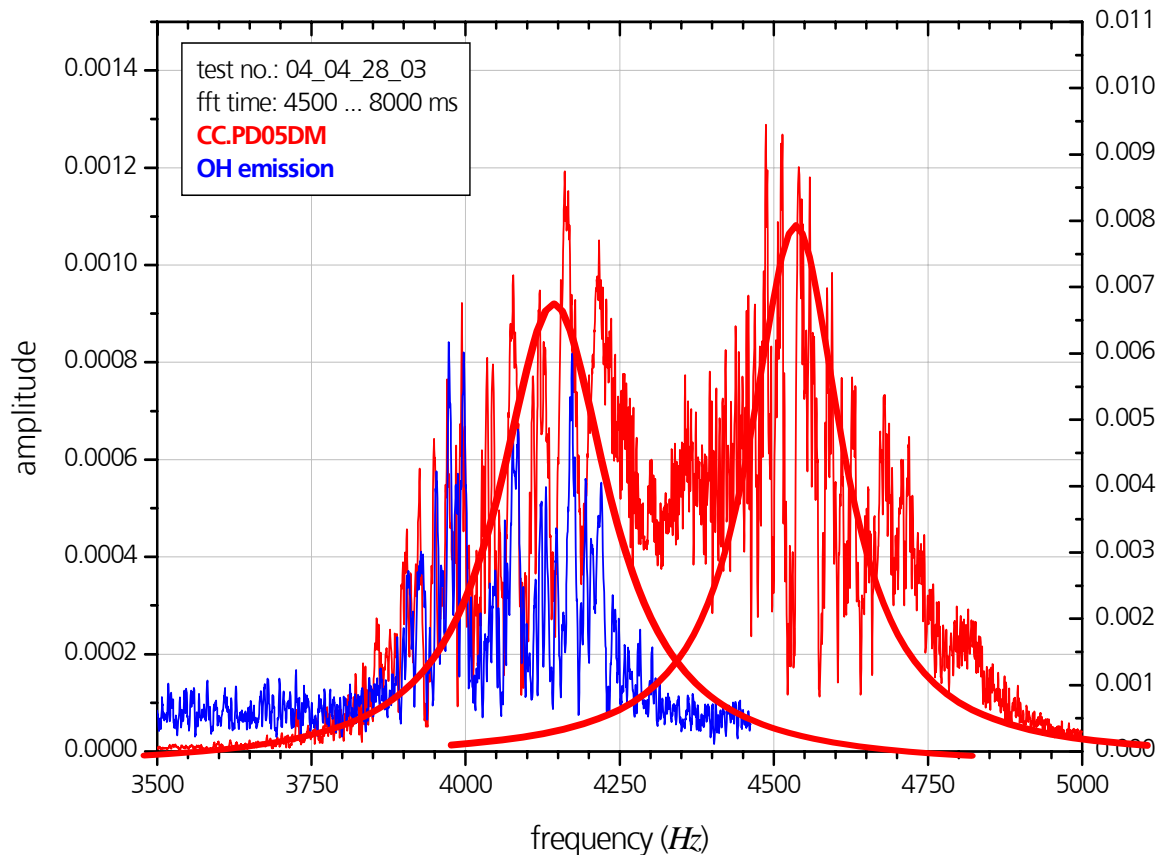
# Resonanzen

- Anregung mit der Sirene
- Durchstimmen der Anregungsfrequenz
- große Schwingungsamplituden bei Resonanz mit akustischen Eigenmoden der Brennkammer



# Resonanzprofile

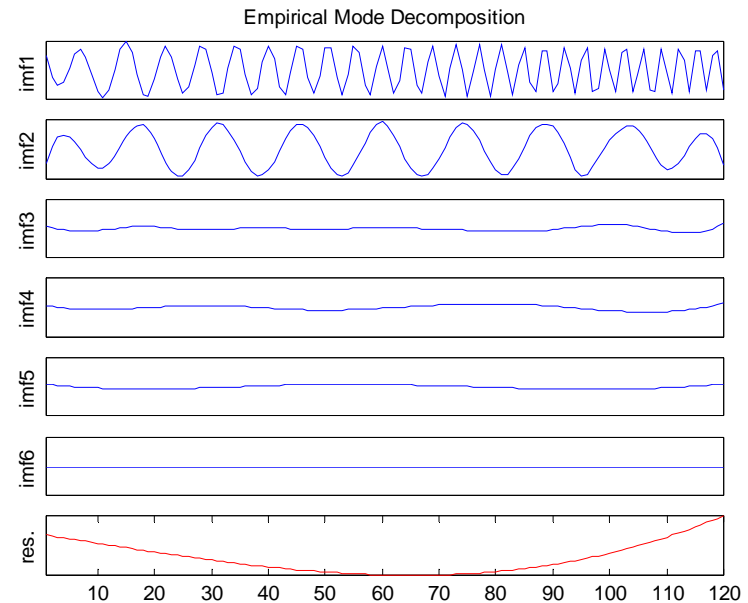
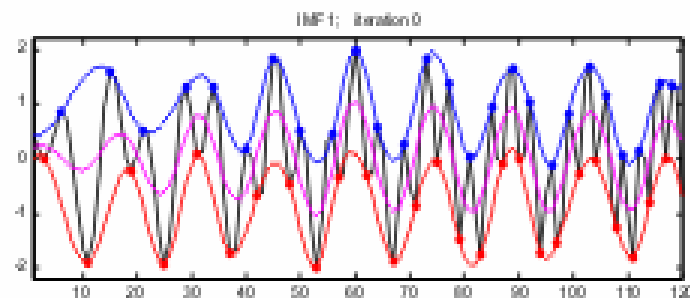
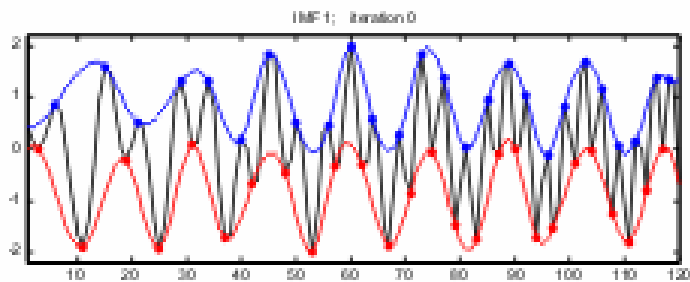
- für eine gedämpfte harmonische Schwingung  $A(t) \propto \cos(\omega t) * \exp(-\frac{\Gamma}{2}t)$
- Leistungsspektrum:  $\tilde{A}(\omega) \cdot \tilde{A}^*(\omega) \propto \frac{1}{(\omega - \omega_0)^2 + (\Gamma/2)^2}$  (Lorentz-Profil)



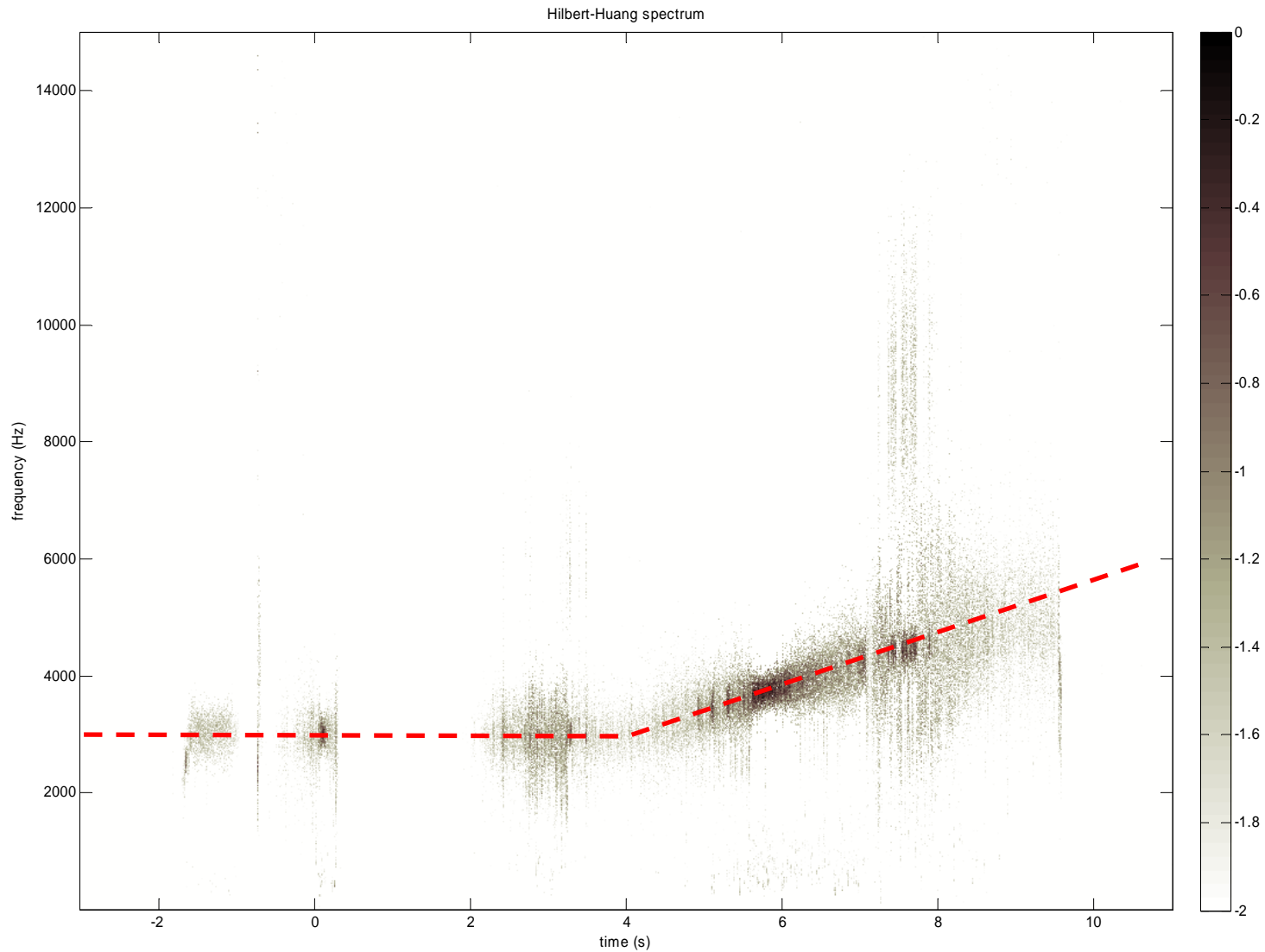
# Hilbert-Huang-Transformation

## Zerlegung eines Signals durch "empirical mode decomposition"

- Bestimmung der lokalen Extrema von  $s(t)$
  - Spline-Interpolation aller Maxima bzw. Minima
  - Bestimme den Mittelwert  $m(t)$
  - Ziehe Mittelwert vom Signal ab:  $d_1(t)=s(t)-m(t)$
- durch wiederholtes Anwenden Extraktion verschiedener IMFs

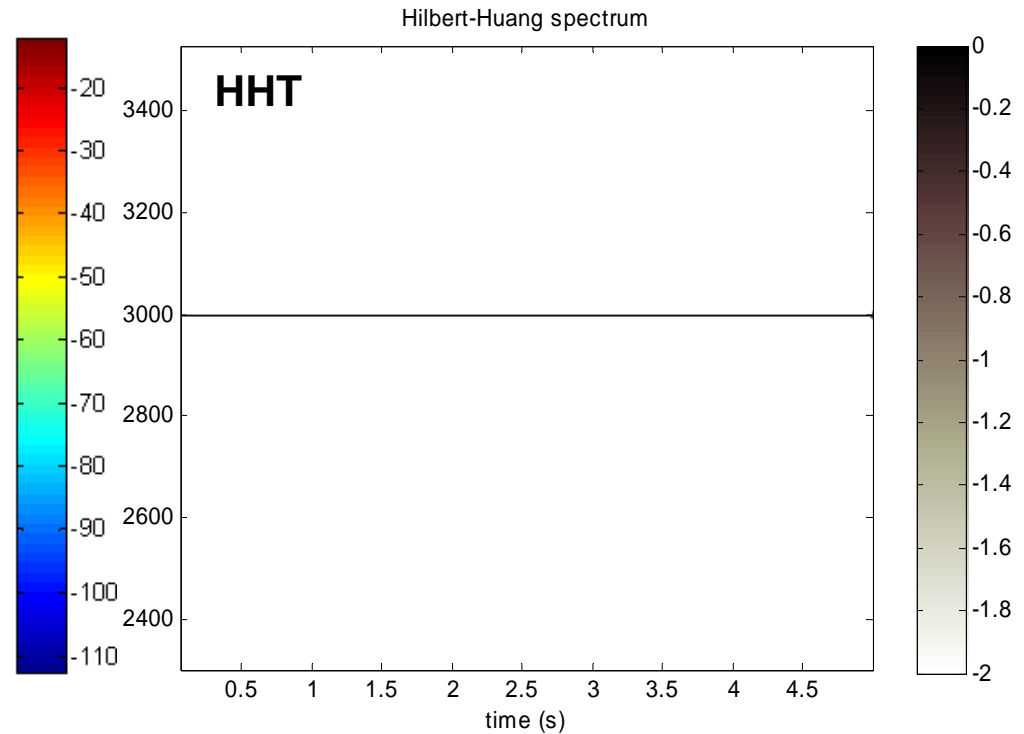
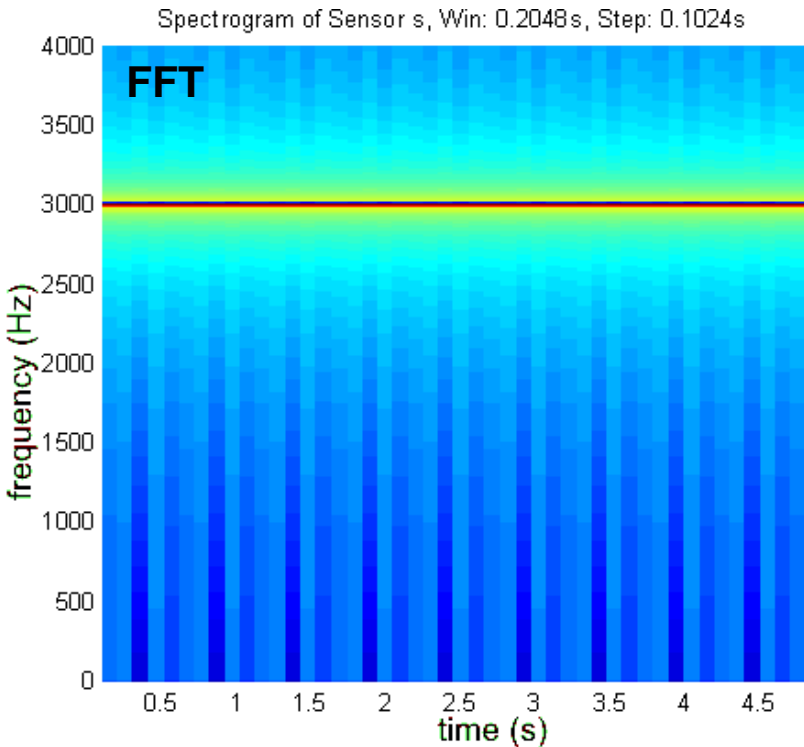


# Hilbert-Huang-Spektrum



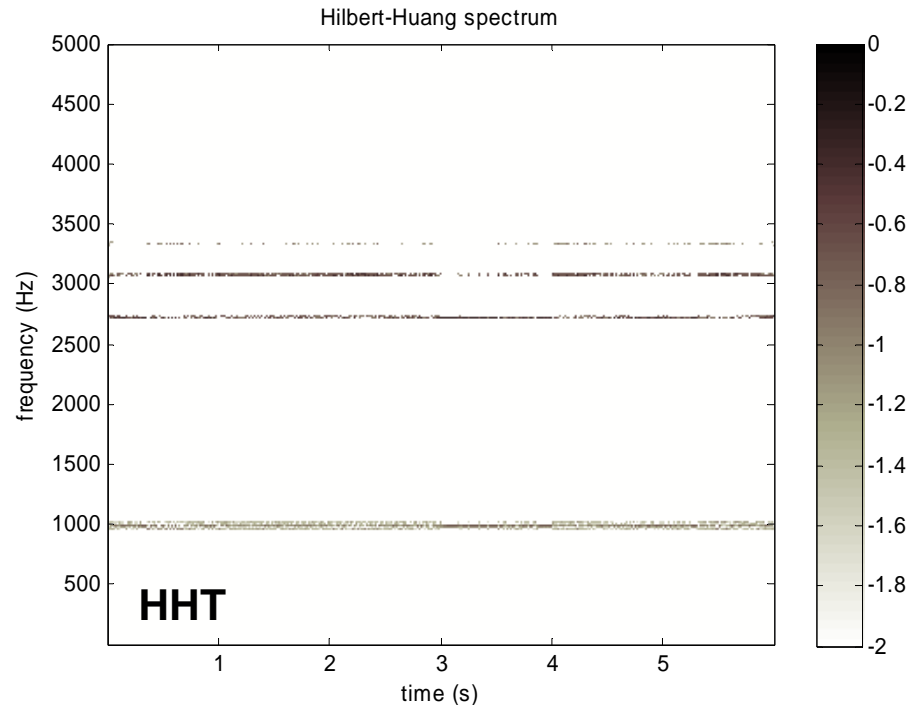
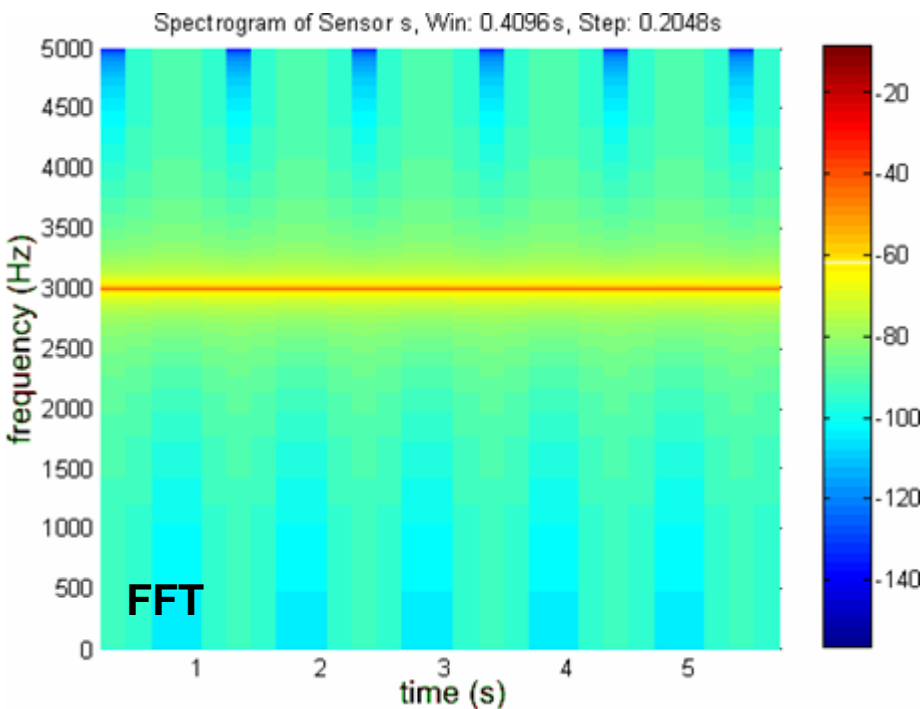
# Anzahl der Punkte pro Periode (1/4)

- synthetisches harmonisches Signal mit 3kHz
- 6.6 Abtastpunkte pro Periode
- FFT und HHT liefern gleiches Ergebnis



# Anzahl der Punkte pro Periode (2/4)

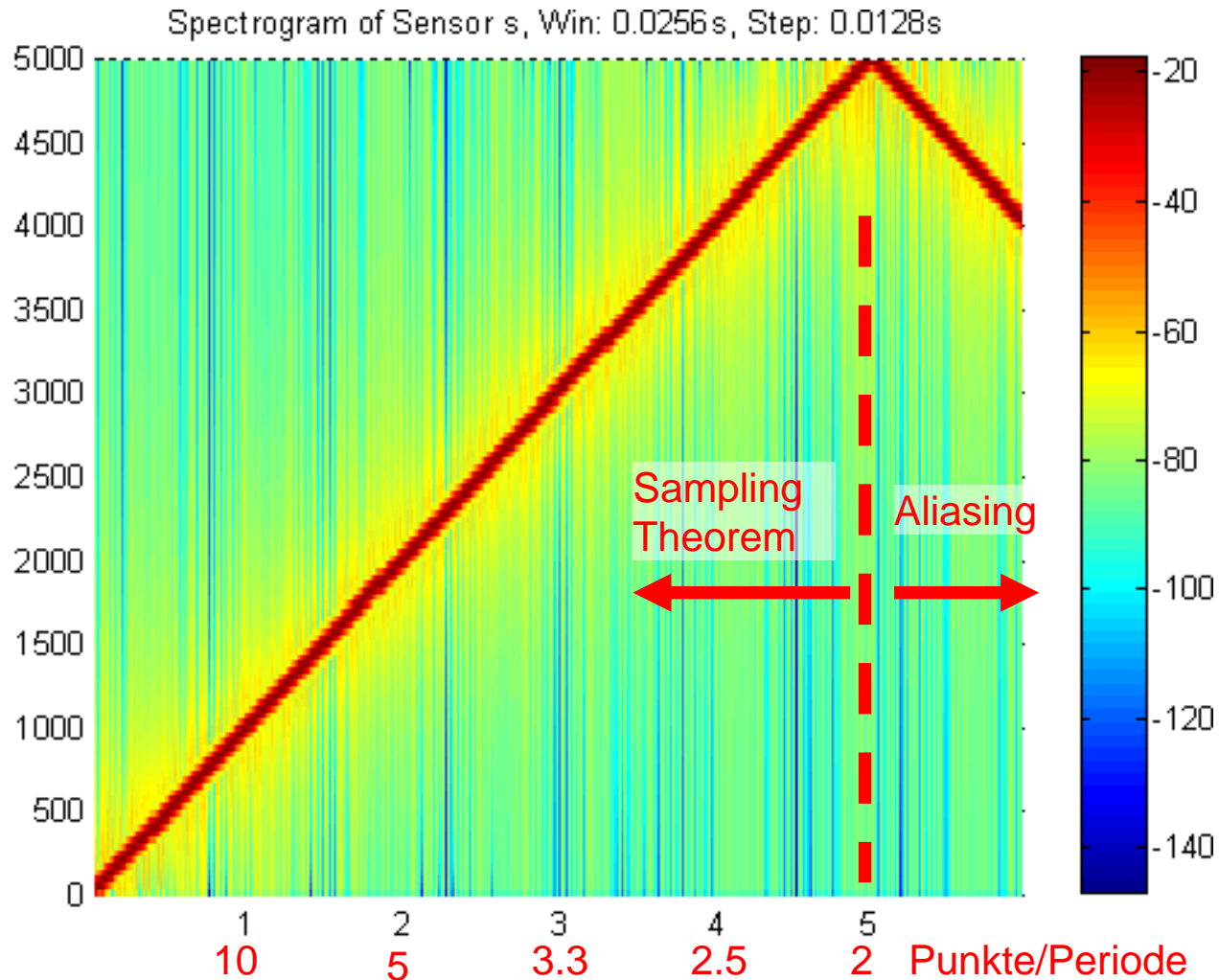
- synthetisches harmonisches Signal mit 3kHz
- 3.3 Abtastpunkte pro Periode
- FFT: richtiges Ergebnis
- HHT liefert Frequenzen, die im Signal nicht enthalten waren





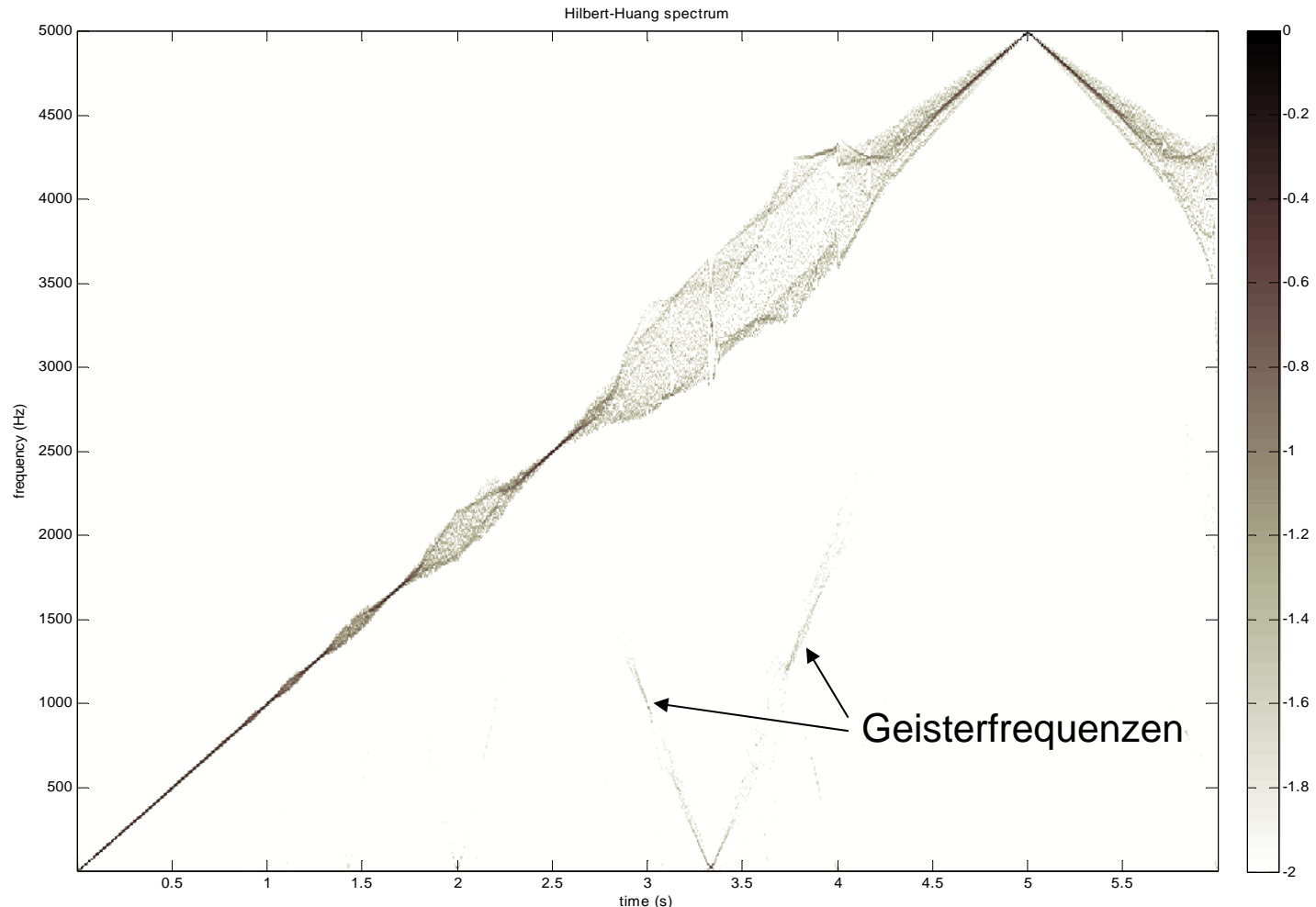
# Anzahl der Punkte pro Periode (3/4)

## FFT einer synthetischen chirp-Funktion



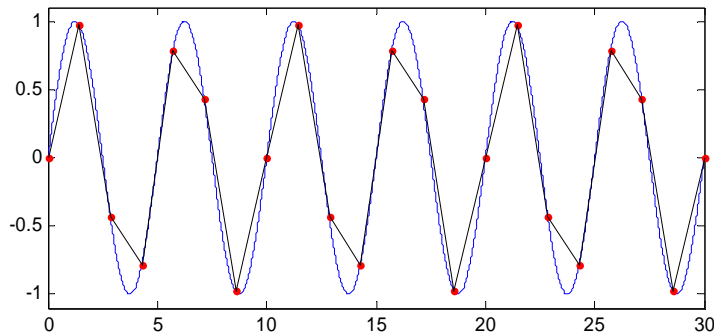
# Anzahl der Punkte pro Periode (4/4)

## HHT einer synthetischen chirp-Funktion

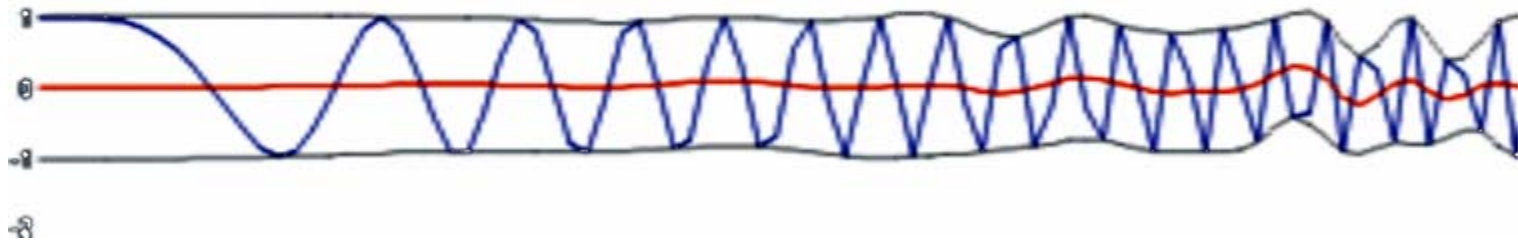


# Was passiert bei zu kleiner Abtastrate?

➤ 3.3 Punkte/Periode



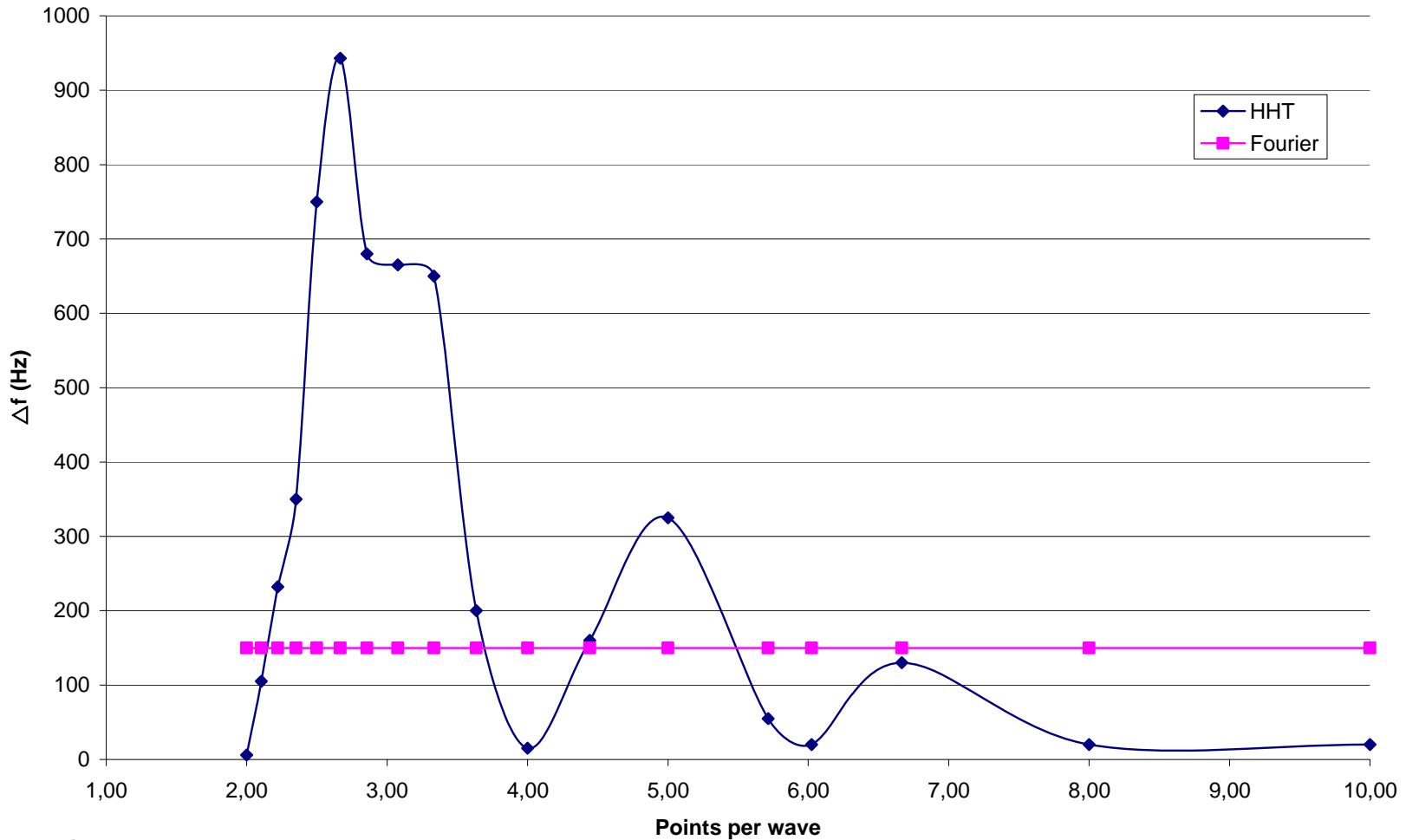
➤ Chirp-Signal



- bei zu kleinen Abtastraten ist der Mittelwert nicht mehr konstant
- es werden virtuelle Frequenzen erzeugt.

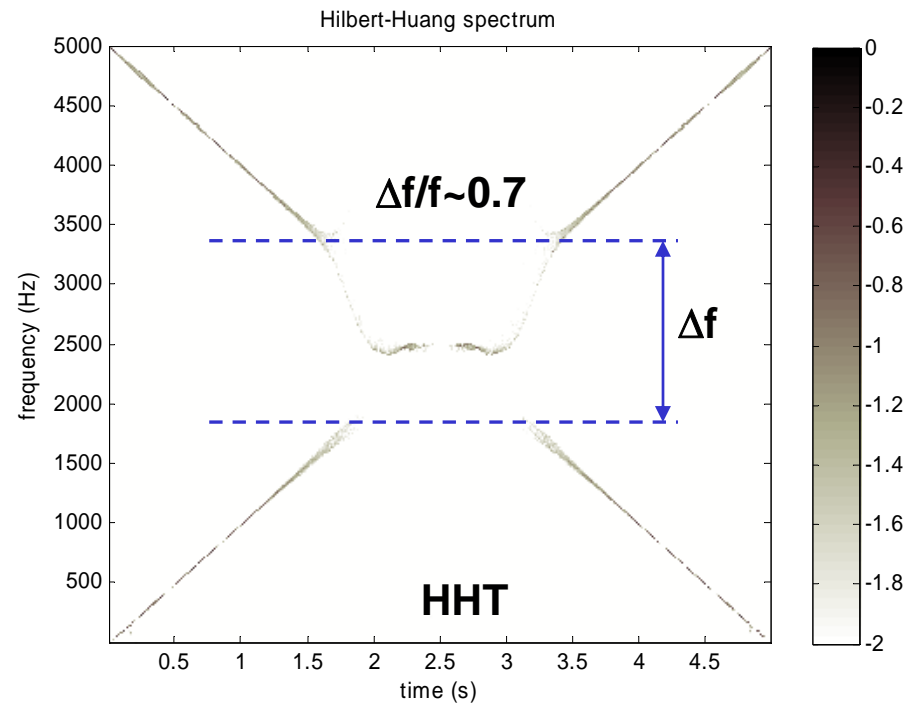
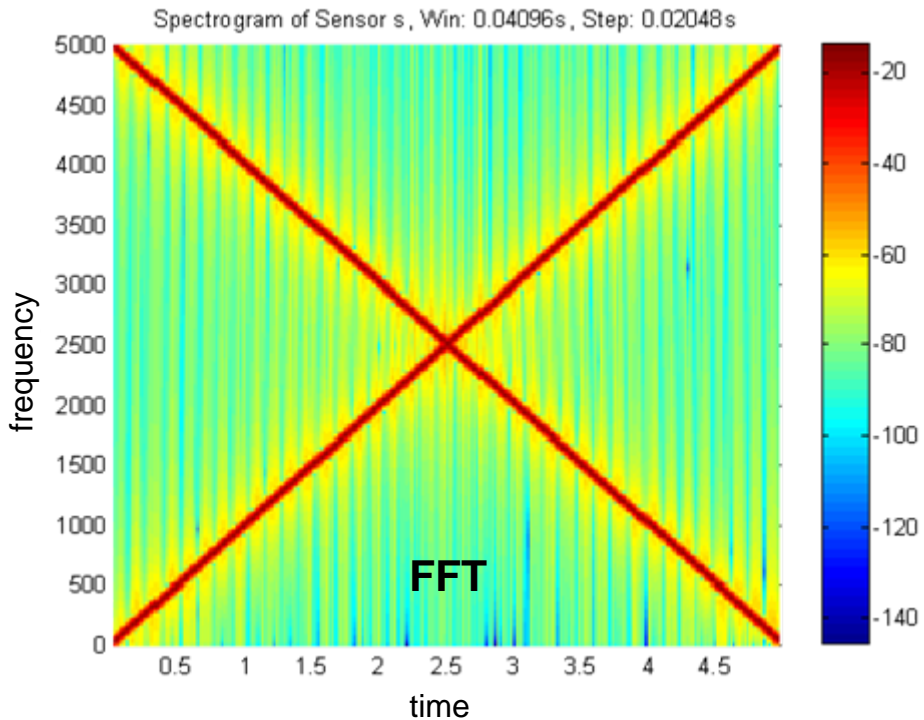
# Genauigkeit der Frequenzbestimmung

Resolution of One Chirp Function, Sampling rate 10,000 Hz



# Frequenztrennung

- Analyse eines synthetischen Signals aus 2 Chirp-Funktionen
  - FFT: gutes Ergebnis
  - HHT: gutes Ergebnis nur großen Frequenzunterschieden



# Zusammenfassung

- HHT gut geeignet für Systeme mit zeitabhängiger Frequenz
- HHT bzgl. Genauigkeit der Frequenzbestimmung FFT überlegen, da keine Frequenzdiskretisierung vorliegt (bei FFT  $f_n = n \cdot 2\pi/T$ )

aber

- HHT braucht mehr als 10 Abtastpunkte/Periode für zuverlässiges Ergebnis
- HHT trennt zwei Frequenzen  $f$  und  $f + \Delta f$  nur, wenn  $\Delta f/f > 0.7$

