

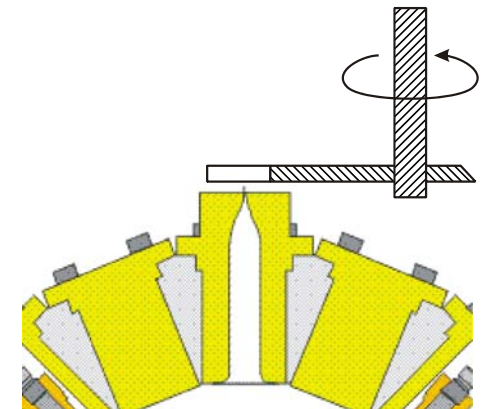
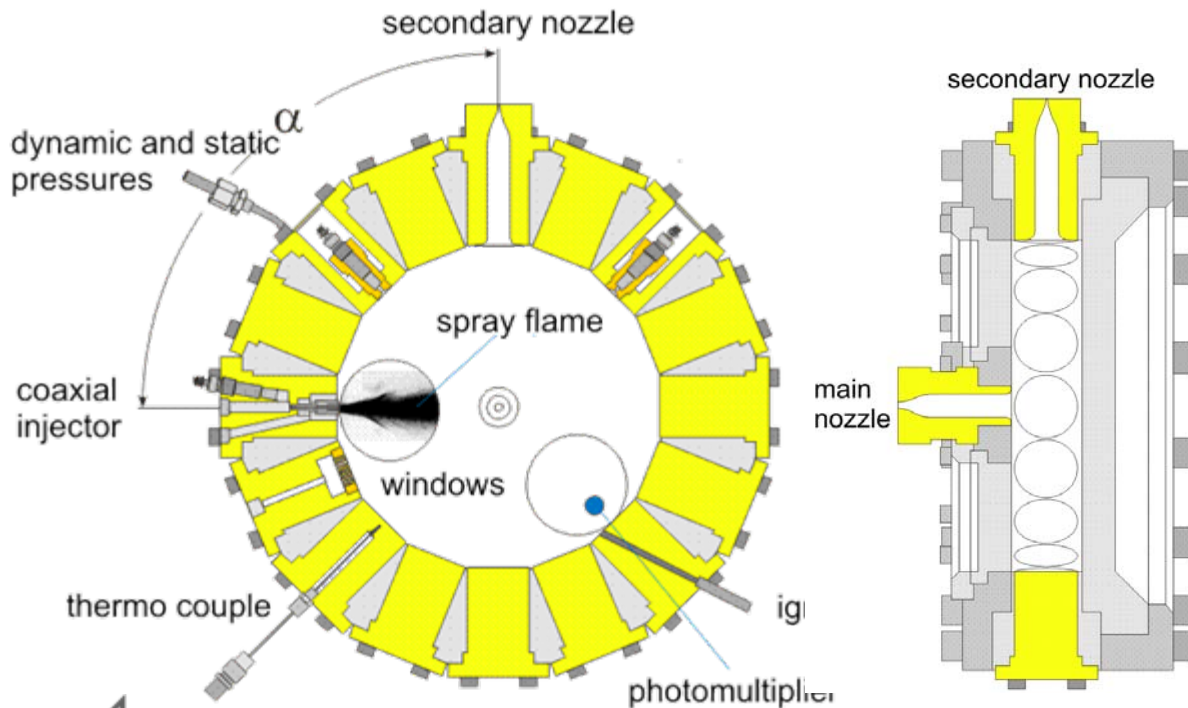
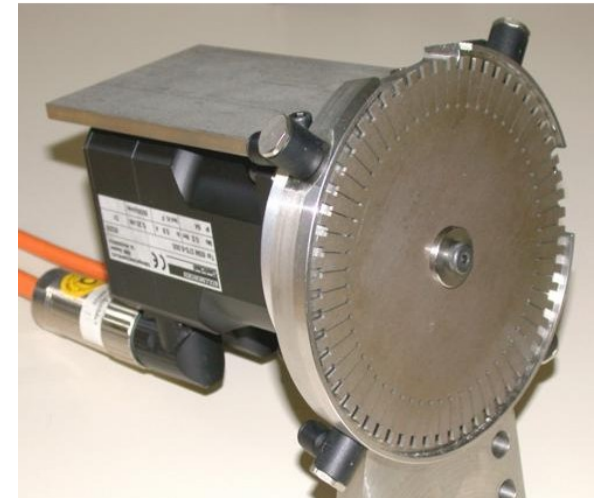
Auswertung dynamischer Druckdaten von Experimenten an der HF- Brennkammer mit der Hilbert-Huang- und der Fourier-Transformation

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



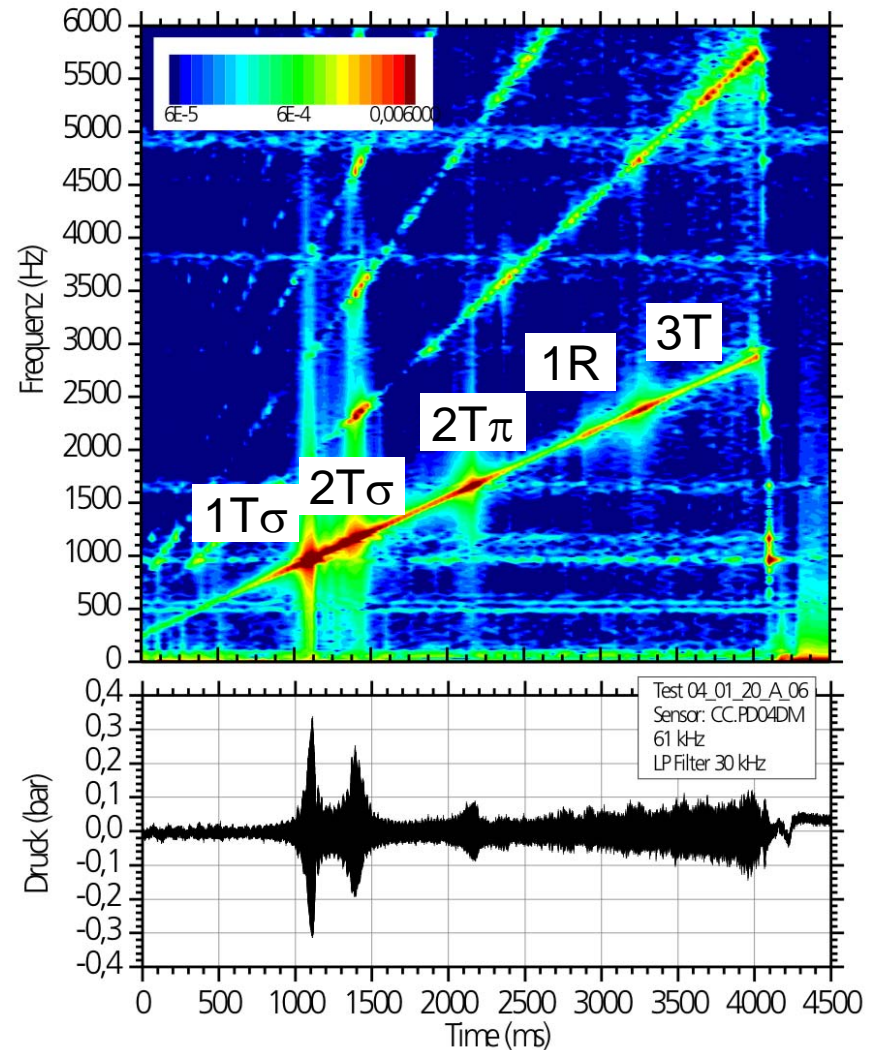
HF-Brennkammer

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



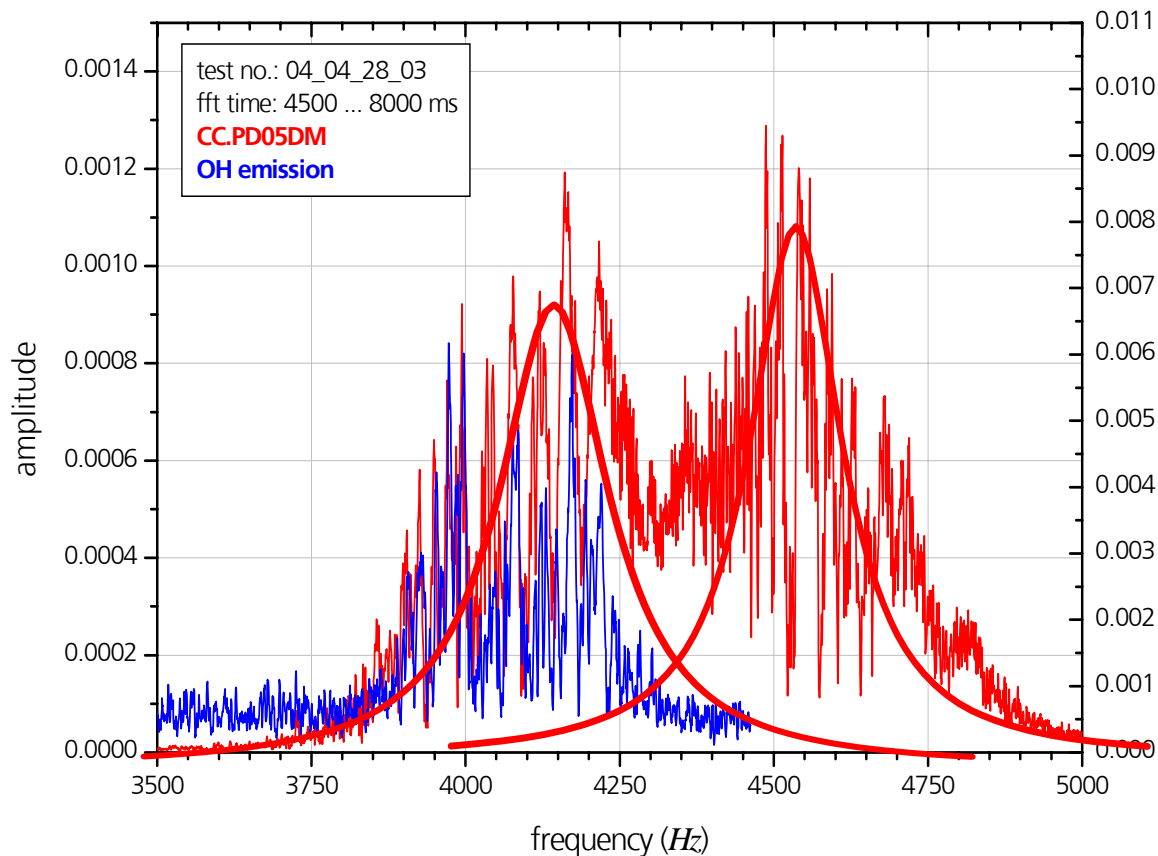
Resonanzen

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



Resonanzprofile

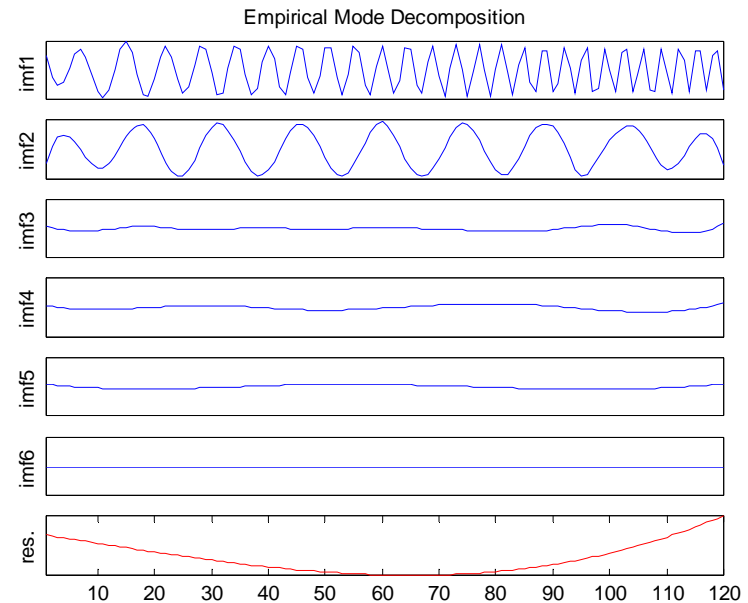
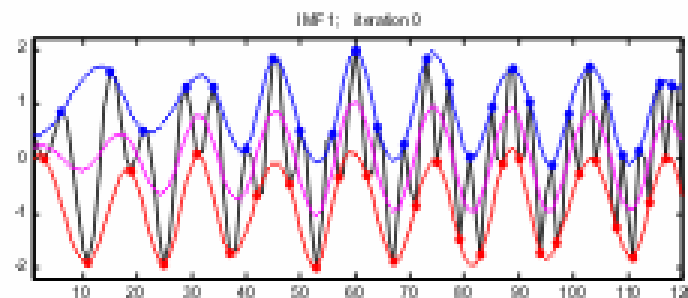
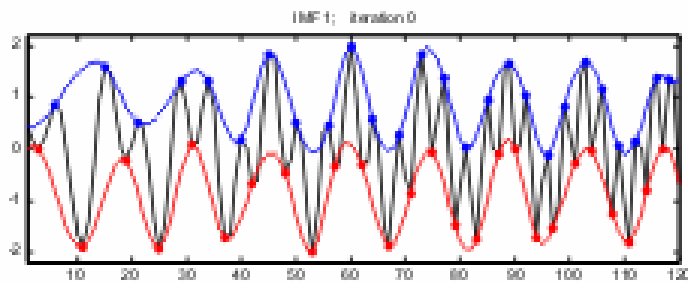
- für eine gedämpfte harmonische Schwingung $A(t) \propto \cos(\omega t) * \exp(-\frac{\Gamma}{2}t)$
- Leistungsspektrum: $\tilde{A}(\omega) \cdot \tilde{A}^*(\omega) \propto \frac{1}{(\omega - \omega_0)^2 + (\Gamma/2)^2}$ (Lorentz-Profil)



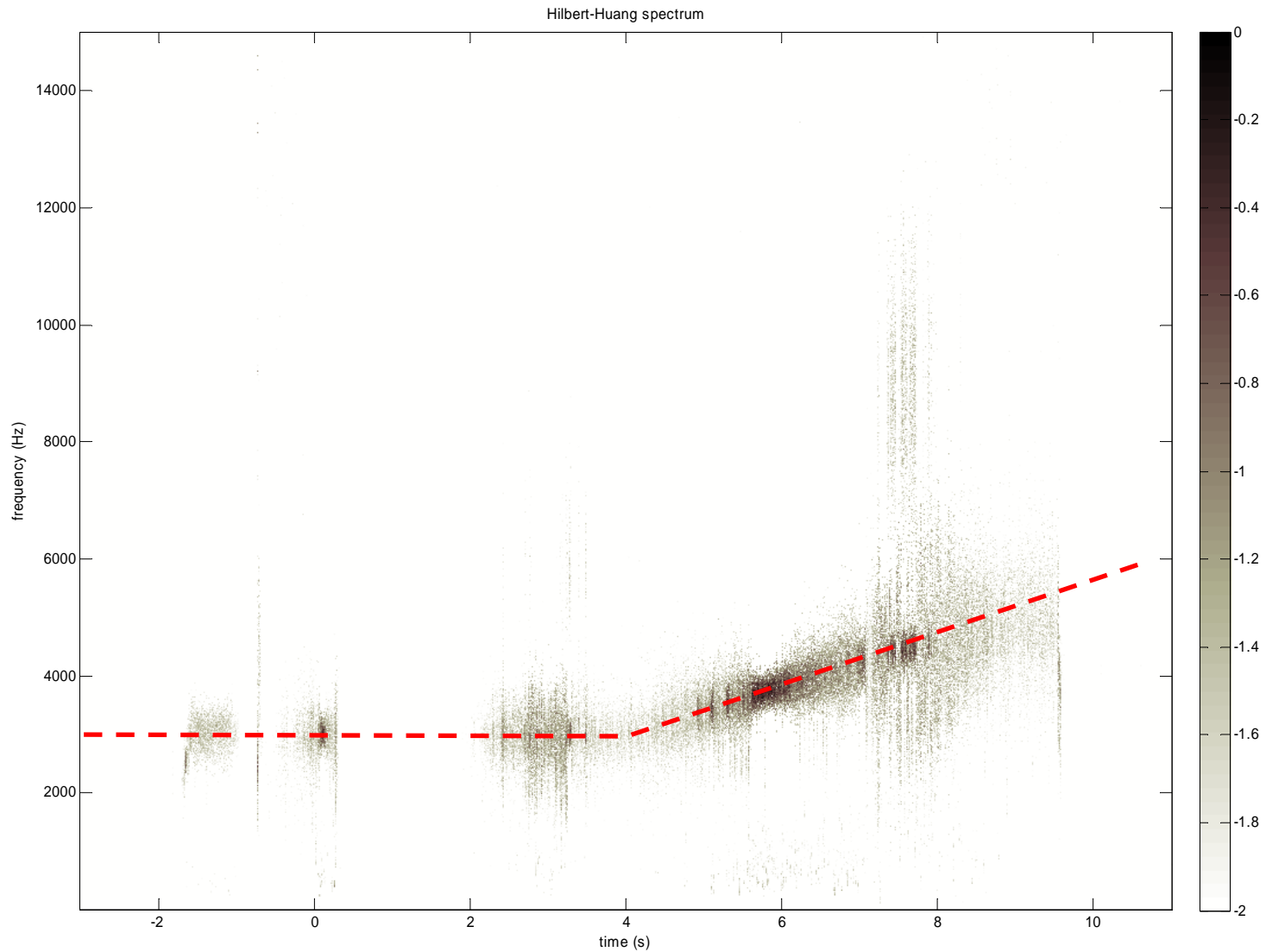
Hilbert-Huang-Transformation

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

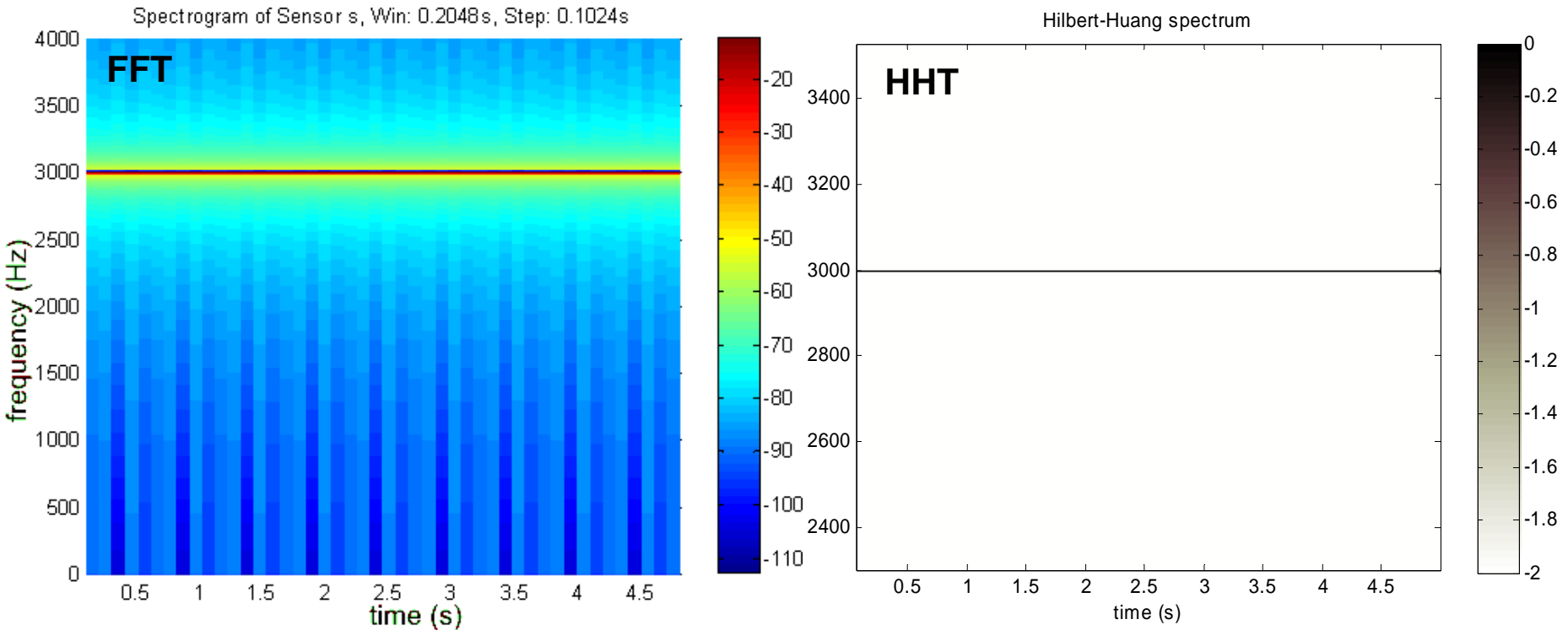


Hilbert-Huang-Spektrum



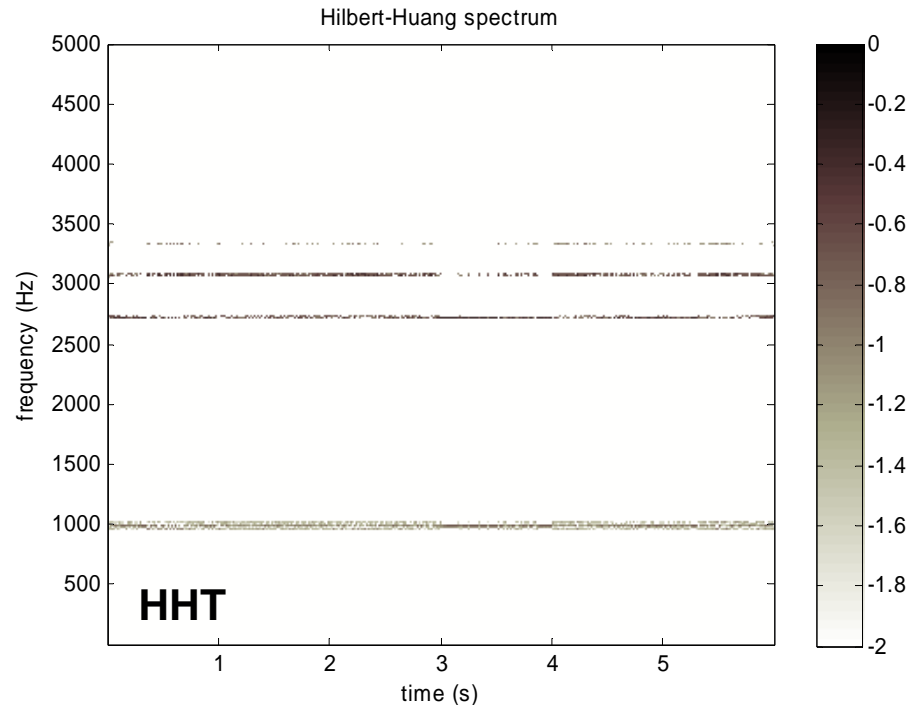
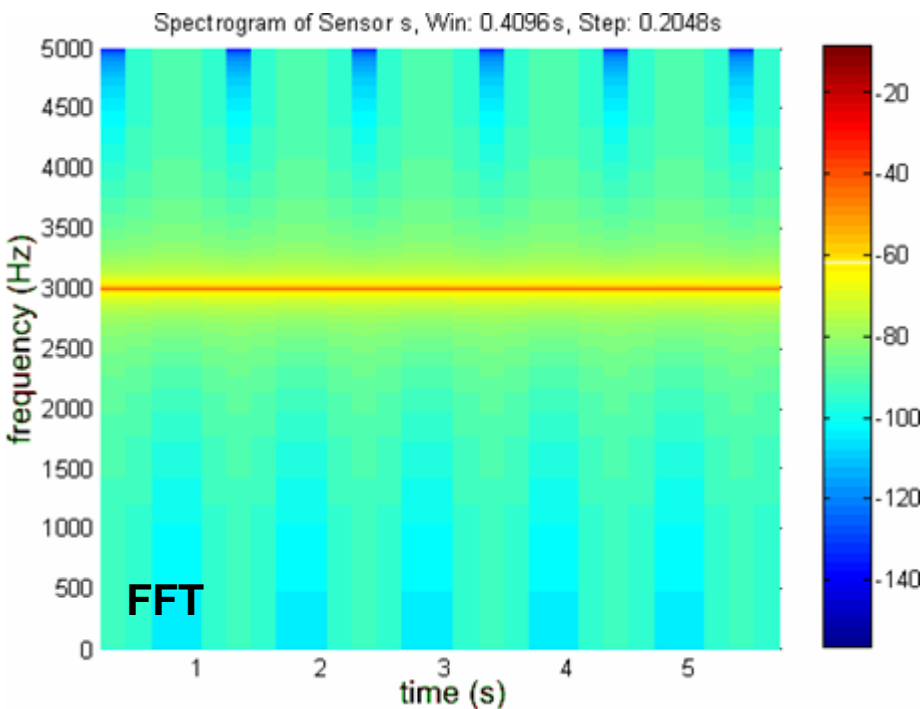
Anzahl der Punkte pro Periode (1/4)

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



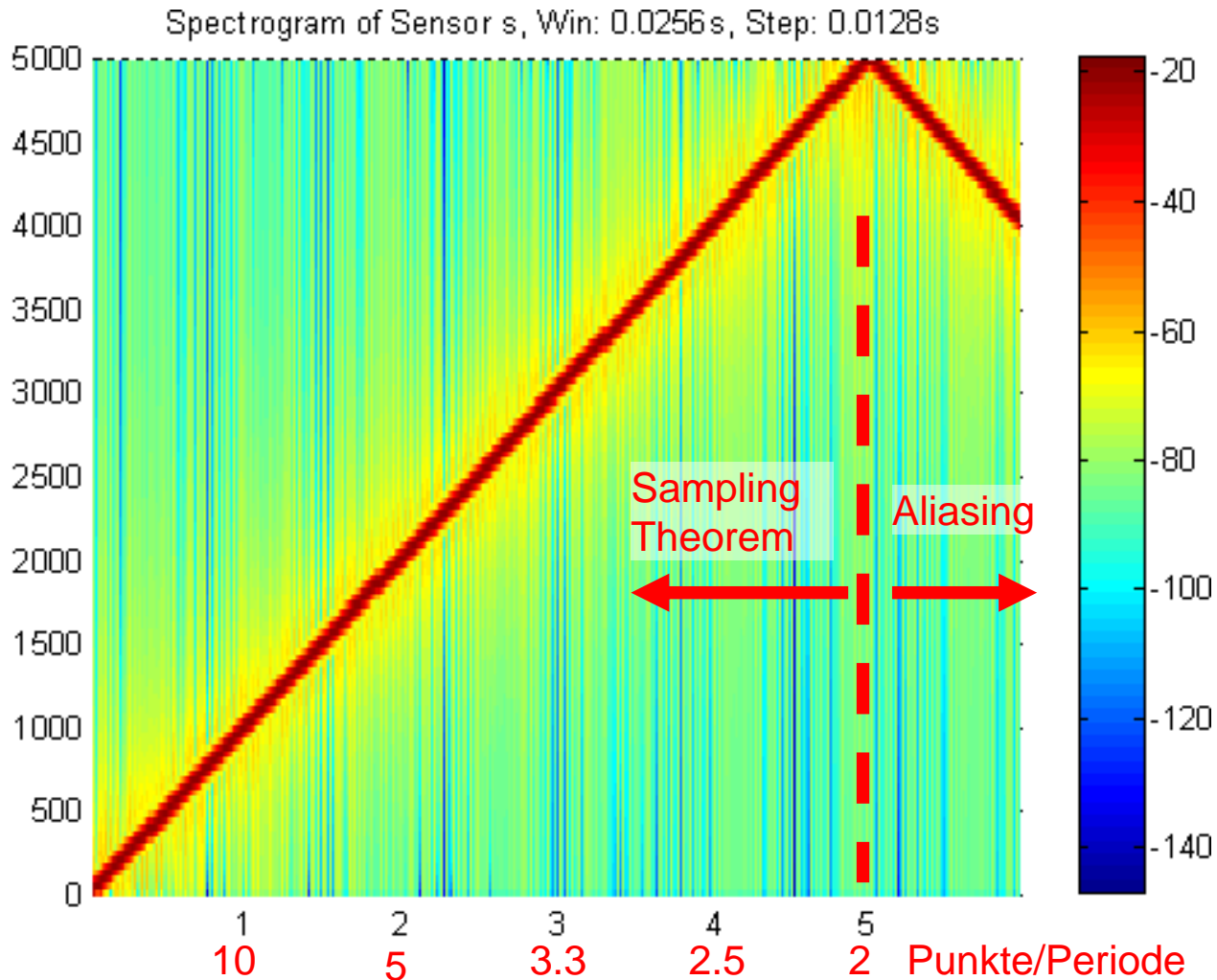
Anzahl der Punkte pro Periode (2/4)

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



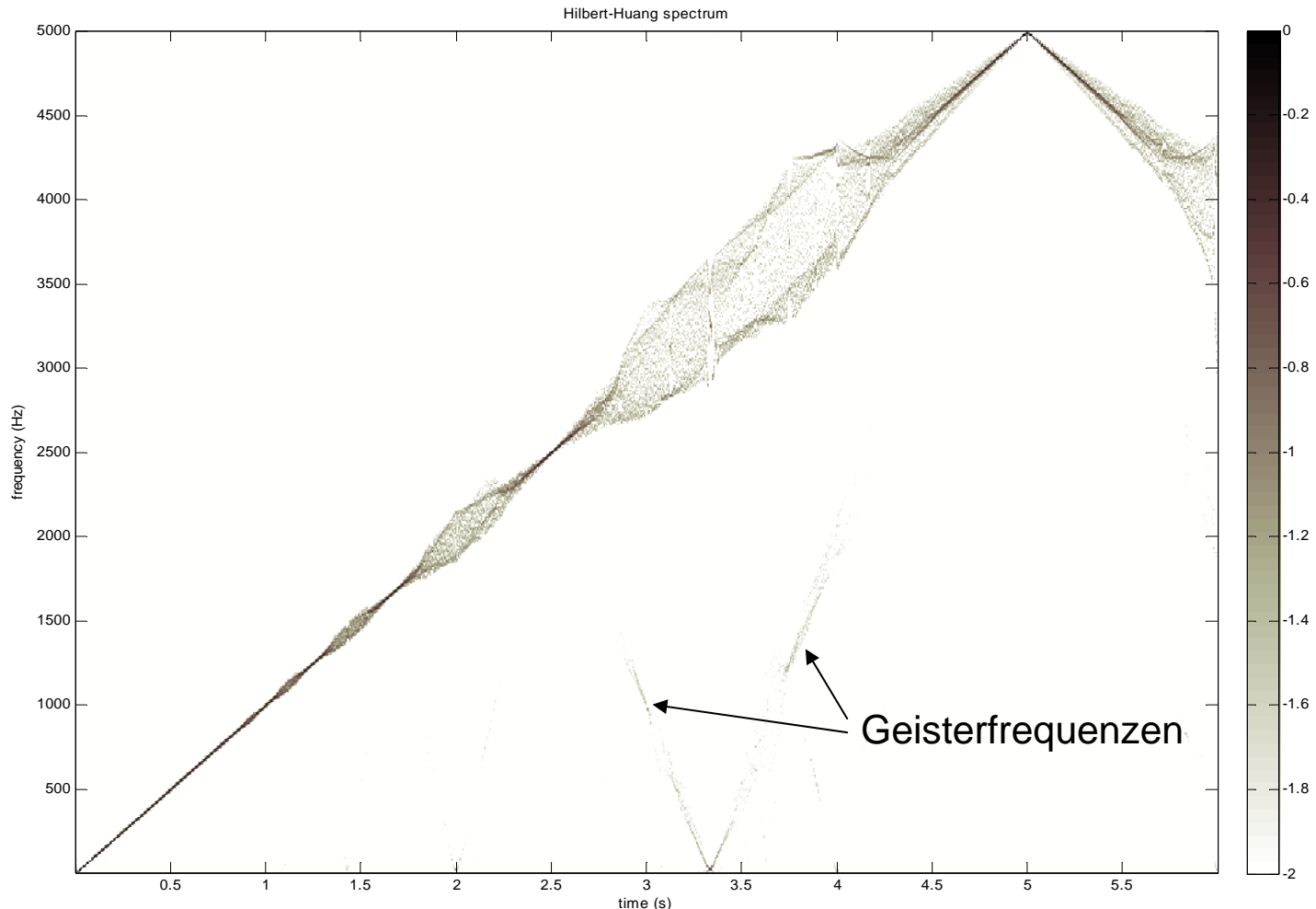
Anzahl der Punkte pro Periode (3/4)

FFT einer synthetischen chirp-Funktion



Anzahl der Punkte pro Periode (4/4)

HHT einer synthetischen chirp-Funktion



10

5

3.3

2.5

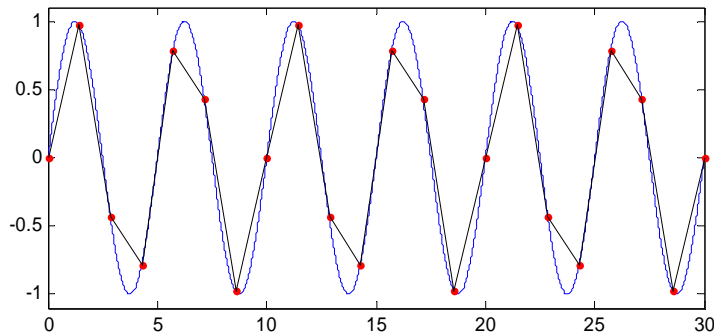
2

Punkte/Periode

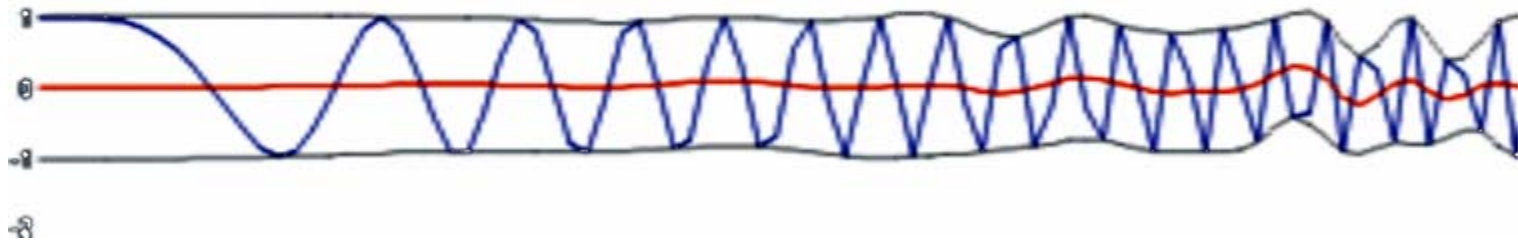


Was passiert bei zu kleiner Abtastrate?

➤ 3.3 Punkte/Periode



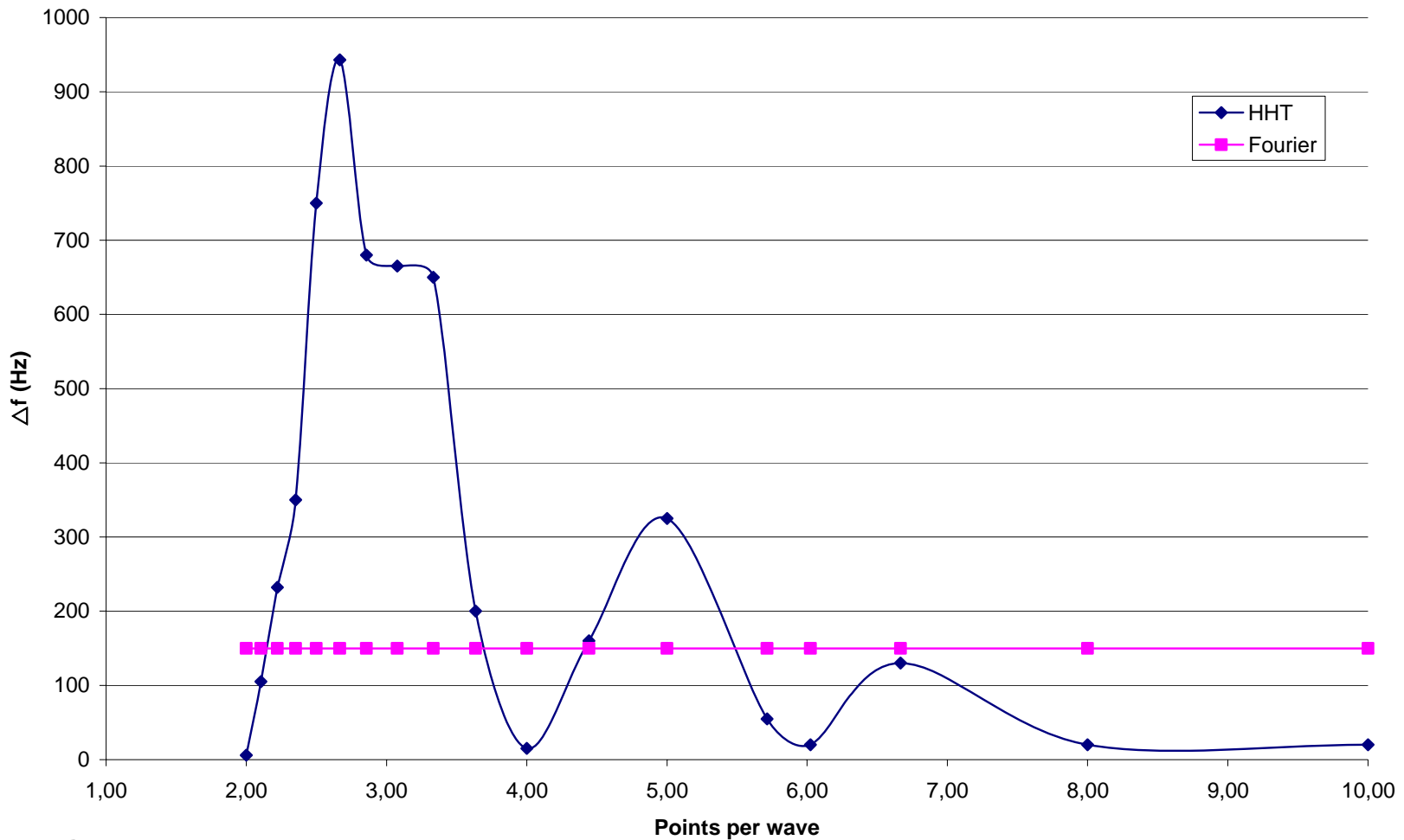
➤ Chirp-Signal



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

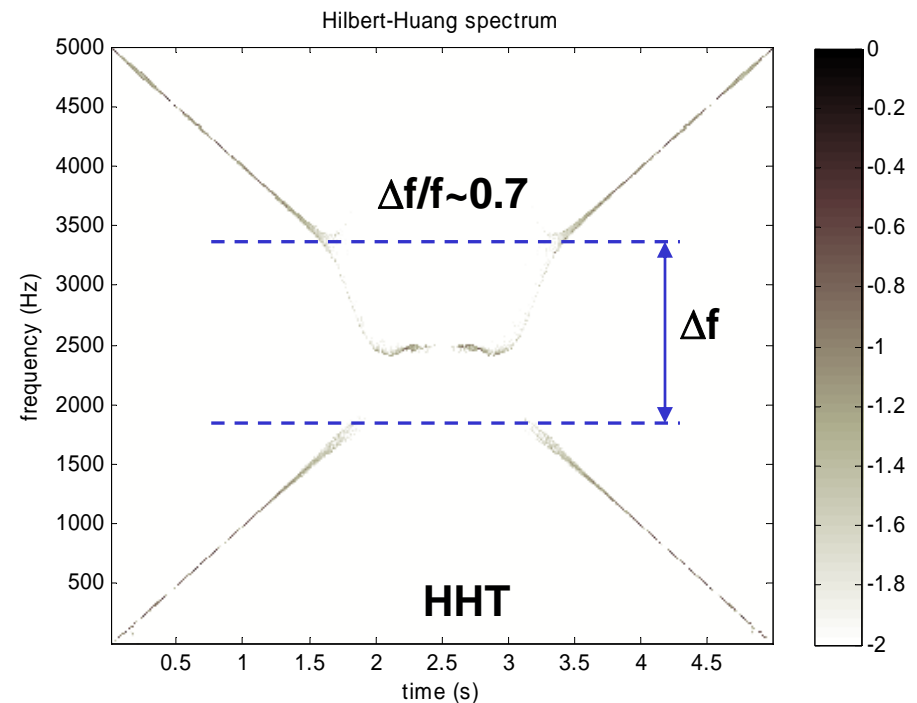
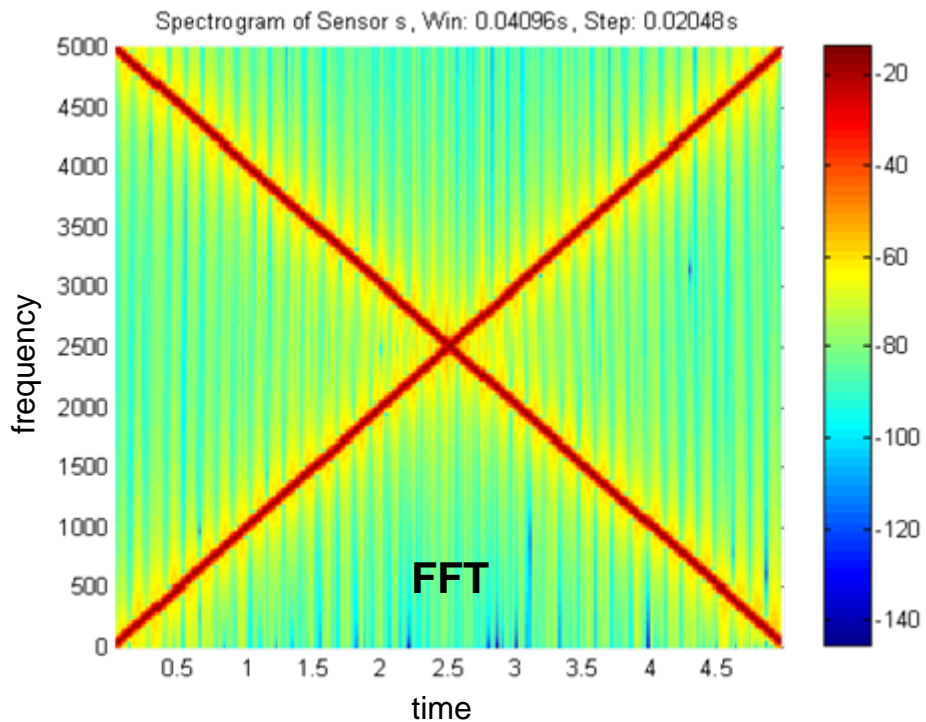
Genauigkeit der Frequenzbestimmung

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 $\Delta f/f > 0.7$

