

Untersuchung von codierten Ansteuersignalen hinsichtlich der axialen Auflösung in der ultraschallbasierten Bildgebung

Daniel Kiefer

Masterarbeit
Lehrstuhl für Sensorik

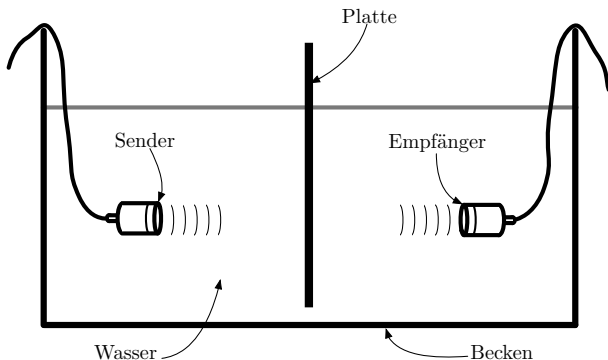
Betreuer:
M. Sc. Michael Fink
Dr. techn. Stefan J. Rupitsch

Erlangen, 27. April 2016

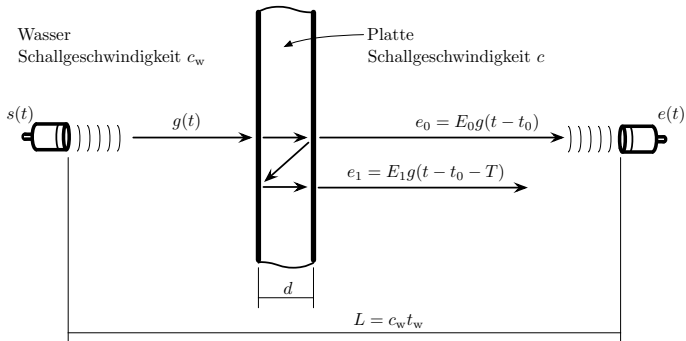
Inhalt

- 1 Einleitung
 - Motivation
 - Modell der Platte
 - Axiale Auflösung
- 2 Ansteuersignale
 - Konditionierung zur Erhöhung der axialen Auflösung
- 3 Pulscompressionsverfahren
- 4 Messergebnisse
- 5 Zusammenfassung

Motivation



Aufgabe: Dicke d und Schallgeschwindigkeit c der Platte *simultan* bestimmen



Dicke und Schallgeschwindigkeit

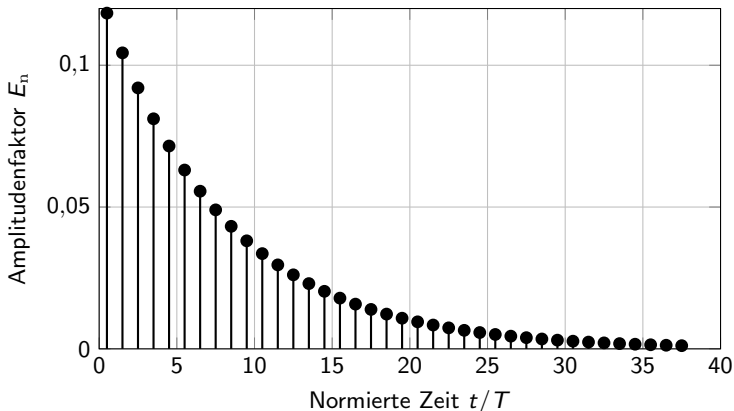
$$d = c_w \left(t_w - t_0 + \frac{T}{2} \right)$$

$$c = c_w \left(1 + 2 \frac{t_w - t_0}{T} \right)$$

- ⇒
- Referenzmessung: c_w , $t_w = L/c_w$
 - bestimme: t_0 , $T = 2d/c$

Modell im Zeitbereich

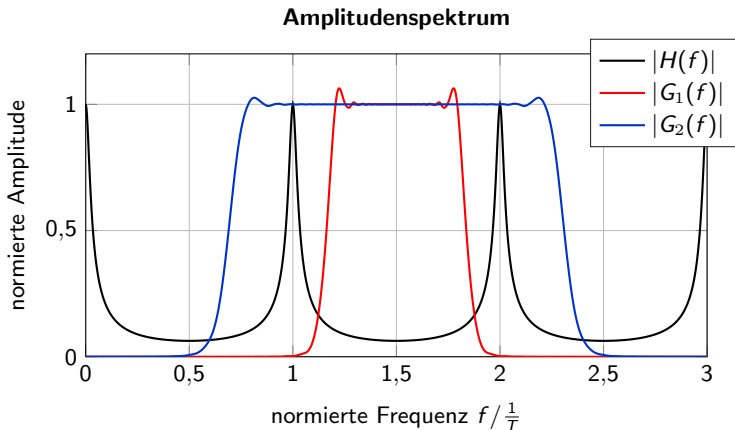
Impulsantwort $h(t)$ einer Stahlplatte in Wasser



- Ankunftszeit des direkt transmittierten Schalls t_0

- Verzögerung zwischen den Mehrfachreflexionen T

Modell im Frequenzbereich

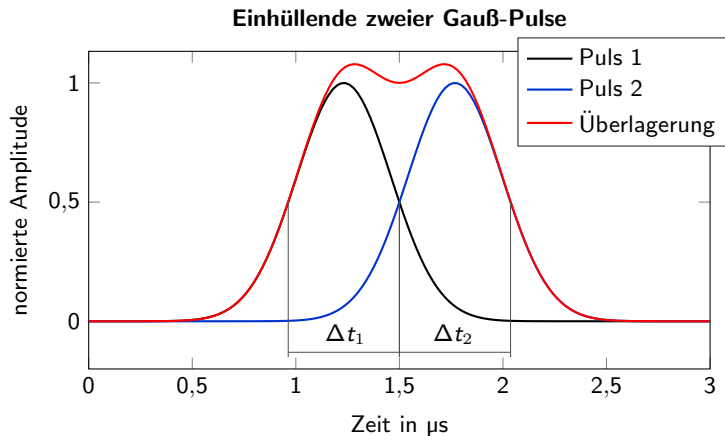


$H(f)$ Übertragungsfunktion (Transmissionsfaktor)
 einer Stahlplatte in Wasser: $h(t) \circ \bullet H(f)$

$$B_g \geq \frac{1}{T}$$

$$\Rightarrow T_{\min} = \frac{1}{B_g}$$

Die axiale Auflösung



axiale Auflösung

$$\Delta t \approx T_{\min} = \frac{1}{B_g}$$

minimale Plattendicke

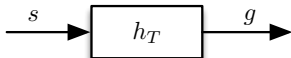
$$d_{\min} = \frac{1}{2} c \Delta t$$

Verbesserung der axialen Auflösung

durch Wahl von:

Ansteuersignal $s(t)$ + Signalverarbeitung

Anforderungen an das Interrogationssignal $g(t)$



- hohe *Bandbreite* da $\Delta t \approx \frac{1}{B_g}$
- hohe *Energie* für gutes SNR
 - ▶ Amplitude
 - ▶ Zeitdauer D
 - ▶ Bandbreite B

Ansteuersignale $s(t)$

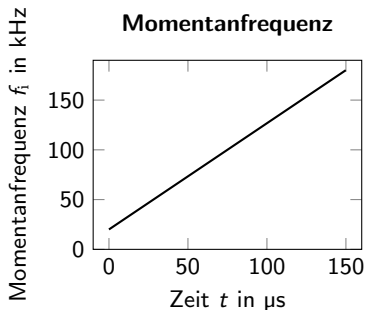
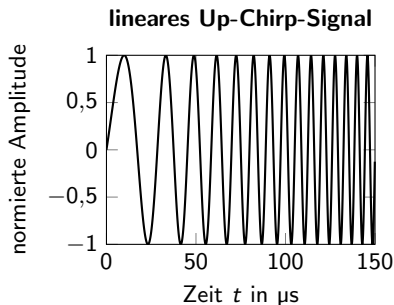
Pulse

- B groß
- D gering
→ SNR niedrig

codierte Ansteuersignale

- hohes *Zeit-Bandbreite-Produkt* DB
→ gutes SNR
- frequenz- / phasenmoduliert
- D groß: Pulskompression erforderlich

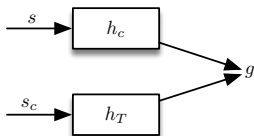
Chirpsignal



$$\psi(t) = a(t) \exp \left[j \left(\omega_M t + \frac{\Omega}{2} t^2 \right) \right] \quad \text{für} \quad -\frac{D}{2} \leq t \leq \frac{D}{2},$$

- linear frequenzmoduliertes Signal
- Dauer D
- Bandbreite $B \approx \Delta f$
- Chirprate $\Omega = 2\pi \frac{\Delta f}{D}$

Konditionierung von Ansteuersignalen



$$g(t) = s_c(t) * h_T(t) = s(t) * h_c(t)$$



$$G(f) = S_c(f)H_T(f) = S(f)H_c(f)$$

$$\Rightarrow S_c(f) = \frac{S(f)H_c(f)}{H_T(f)}$$

Wiener-Filter zur Entfaltung:

$$S_c(f) \approx S(f)H_c(f) \frac{H_T^*(f)}{|H_T(f)|^2 + |H_T(f)|^{-2}}$$

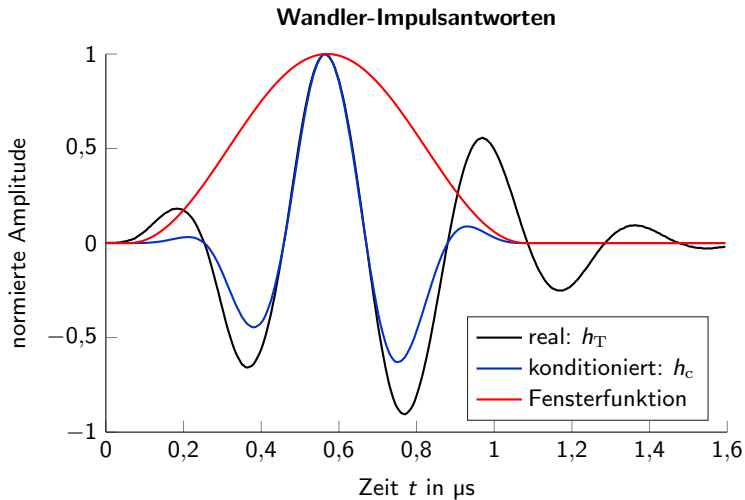


Abbildung: h_c durch Hanning-Fensterung von h_T

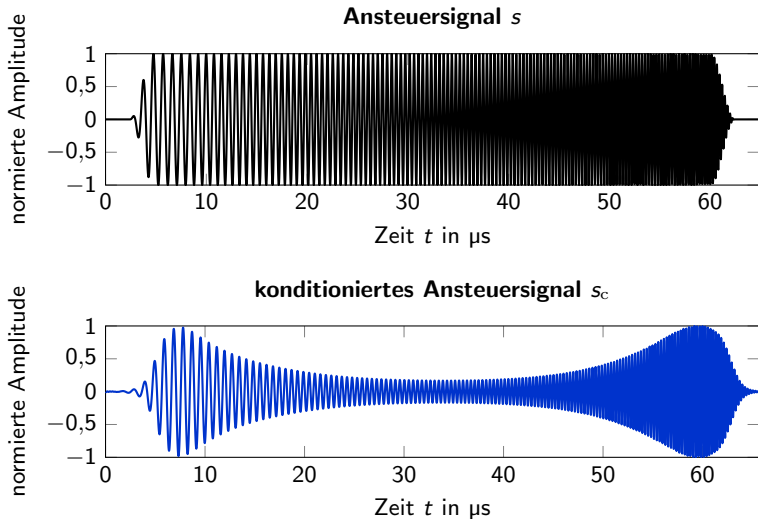


Abbildung: Chirpsignal mit $f_M = 2,4 \text{ MHz}$, $B = 3,0 \text{ MHz}$, $D = 60 \mu\text{s}$ und Tukey-Fenster

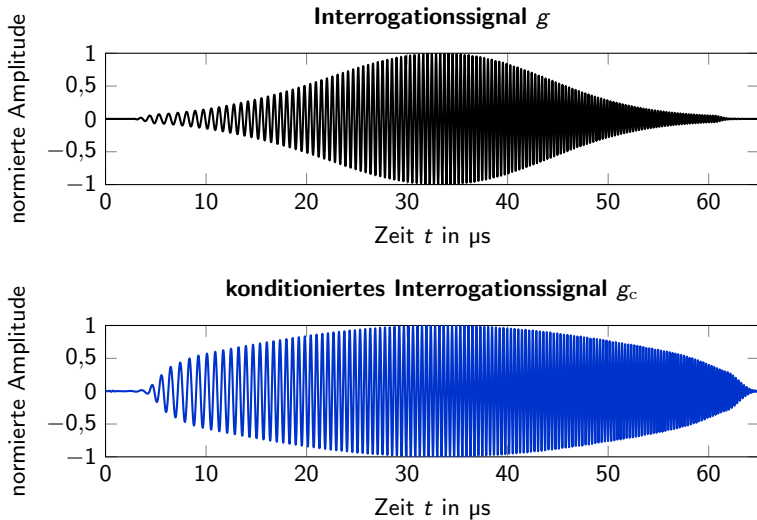
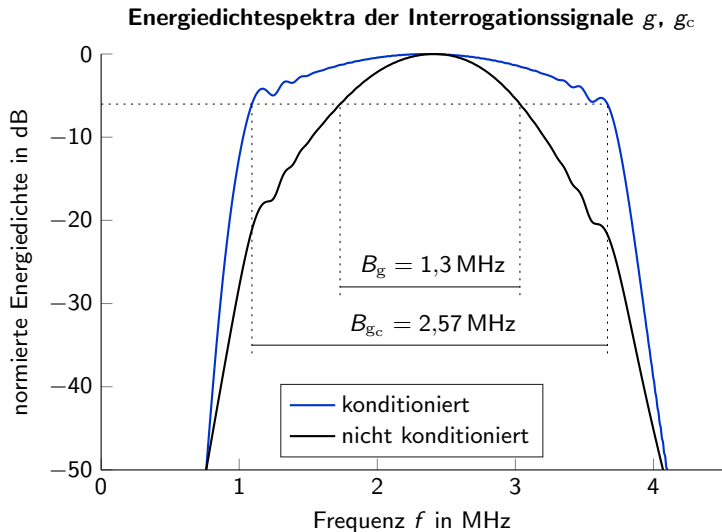
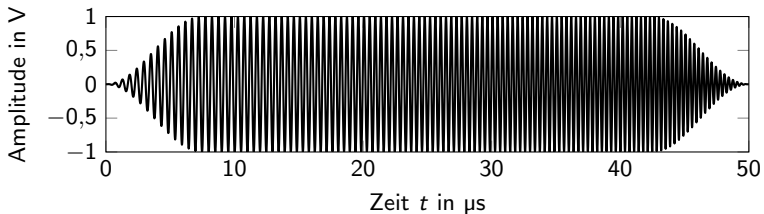


Abbildung: zugehörige Interrogationssignale

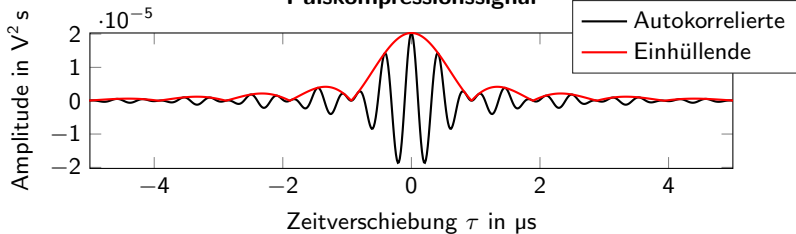


Pulskompression

*„Not with a Bang, but a Chirp“
- B. M. Oliver (Bell Lab. Mem. 1951)*

Sendesignal $s(t)$ 

Pulskompressionssignal



- Auflösung

- Nebenkeulenpegel (SLL)

Pulskompressionsfilter

- Korrelationsfilter (signalangepasstes oder konjugiertes Filter)

$$K(f) = G^*(f)$$

- mismatched Filter

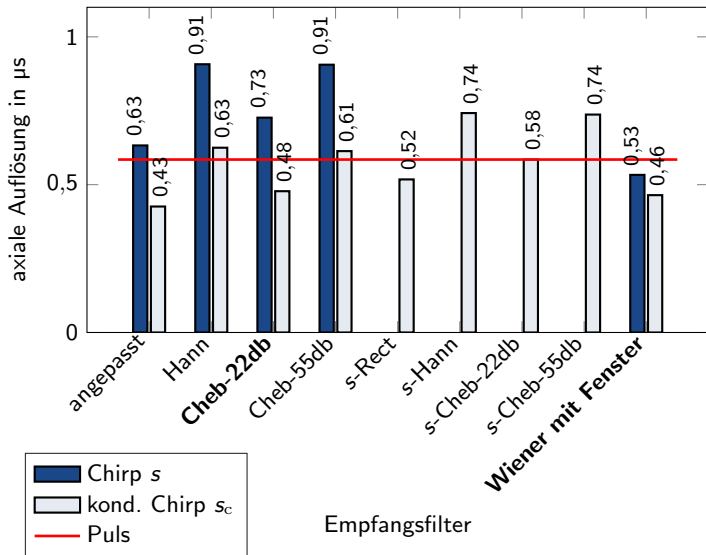
$$K(f) = W(f)G^*(f), \text{ mit Fensterfunktion } W(f) : \mathbb{R} \rightarrow \mathbb{R}$$

- Wiener-Filter

$$K(f) = \frac{G^*(f)}{|G(f)|^2 + 1/\text{SNR}(f)}$$

- Fraktionale Fourier-Transformation

Vergleich der axialen Auflösung



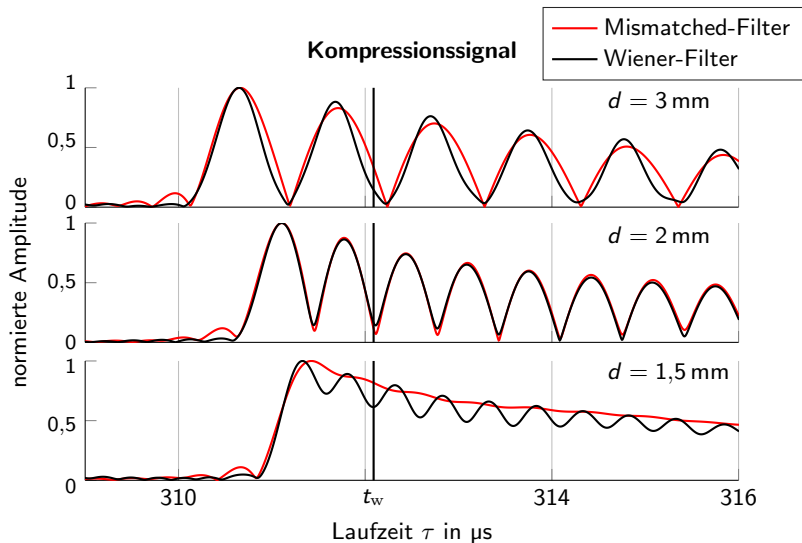
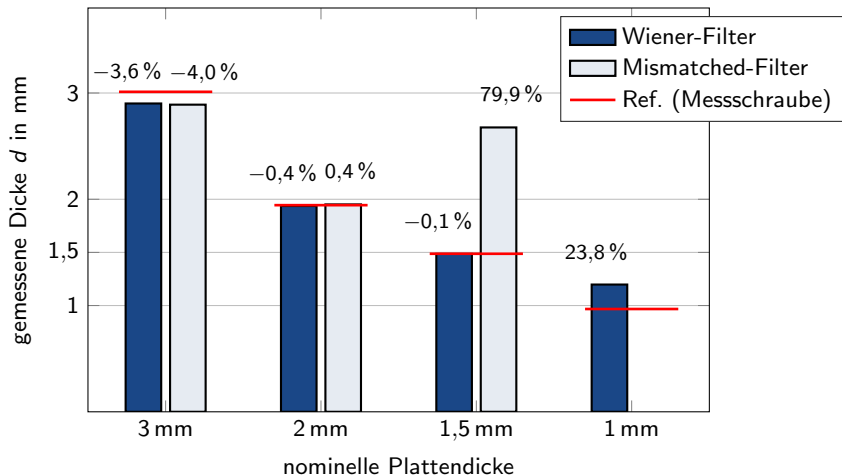


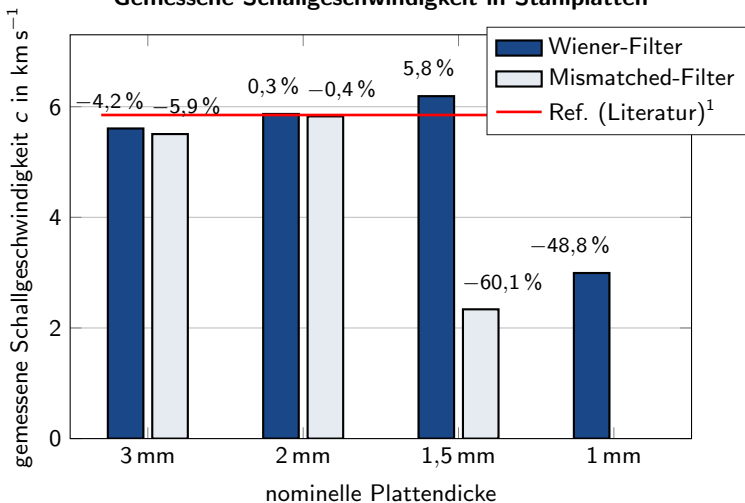
Abbildung: Komprimierte Signalformen für drei verschiedene Stahlplatten

Gemessene Dicke von Stahlplatten



Relative Abweichung zur Referenz in Prozent

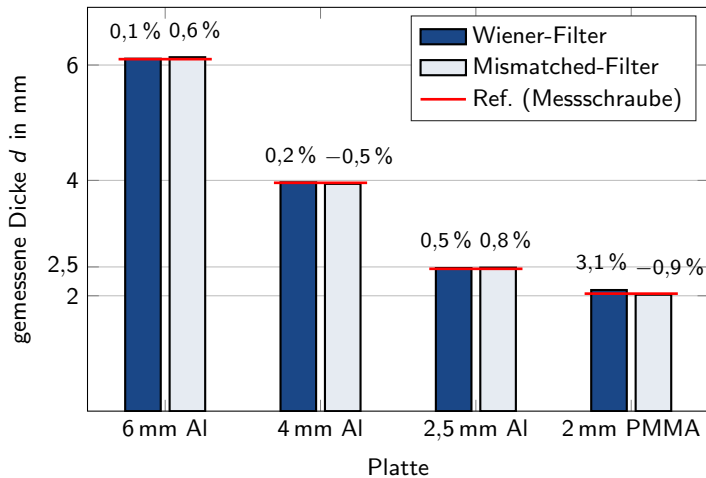
Gemessene Schallgeschwindigkeit in Stahlplatten



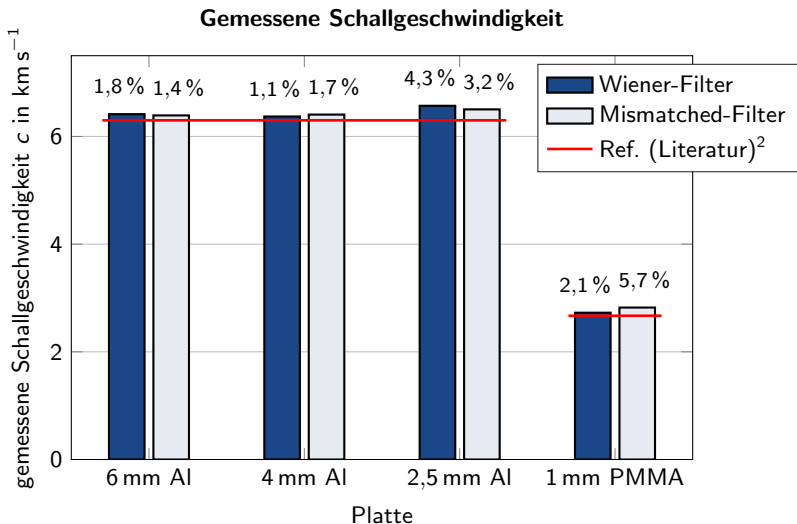
Relative Abweichung zur Referenz in Prozent

¹Joseph L. Rose. *Ultrasonic Waves in Solid Media*. Cambridge University Press, 2004. ISBN: 978-0-521-54889-2, S. 44.

Gemessene Dicke



Relative Abweichung zur Referenz in Prozent



Relative Abweichung zur Referenz in Prozent

²Joseph L. Rose. *Ultrasonic Waves in Solid Media*. Cambridge University Press, 2004. ISBN: 978-0-521-54889-2, S. 44.

Zusammenfassung

- Codierte Ansteuersignale
 - ▶ erhöhtes SNR
- Konditionierung
 - ▶ erhöht axiale Auflösung
 - ▶ Kompromiss: SNR \leftrightarrow axiale Auflösung

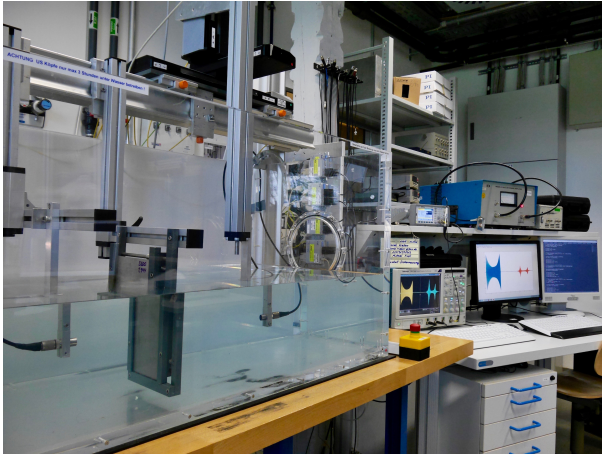
Zusammenfassung

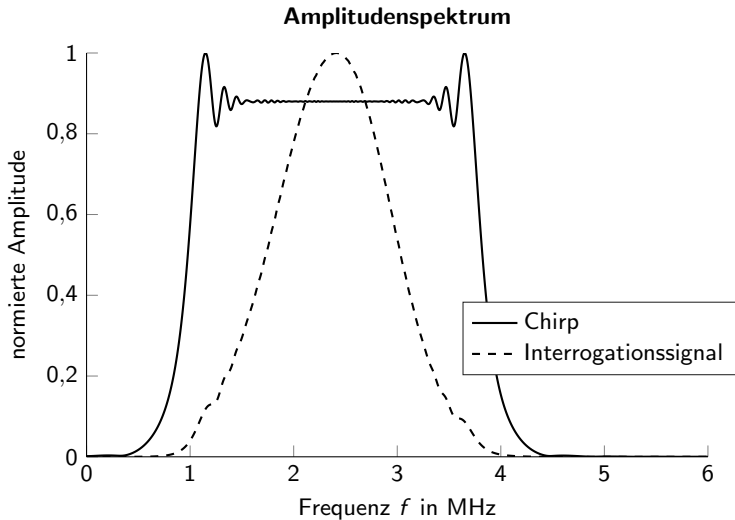
- Codierte Ansteuersignale
 - ▶ erhöhtes SNR
- Konditionierung
 - ▶ erhöht axiale Auflösung
 - ▶ Kompromiss: SNR \leftrightarrow axiale Auflösung
- Pulskompression
 - ▶ Wiederherstellen der axialen Auflösung eines zeitlich langen Sendesignals
 - ▶ Elimination des Phasengangs des Empfangssignals
 - ▶ Kompromiss: axiale Auflösung \leftrightarrow SLL
- Dünnere Platten können vermessen werden!

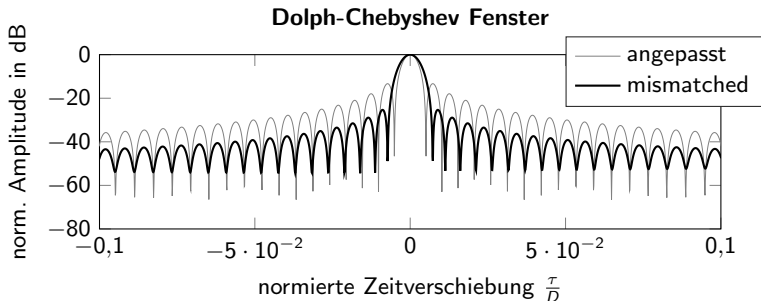
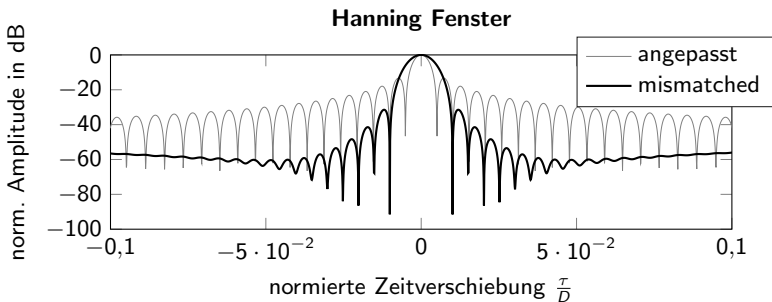
Ausblick

- komplementäre Phasencodes
- anpassen eines parametrischen Signalmodells
 - $T = \text{konst}$ ist wertvolle a-priori Information welche durch ein bildgebendes Verfahren nicht ausgenutzt wird.

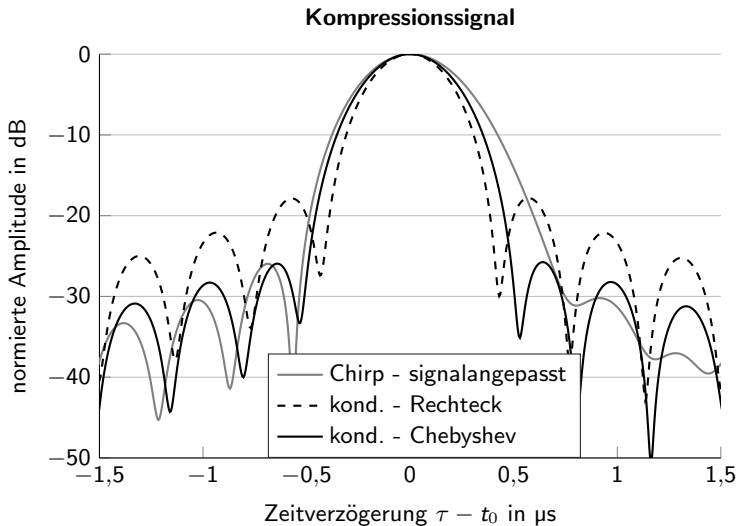
Vielen Dank für Ihre Aufmerksamkeit!







Mismatched-Filter



Wiener-Filter

