

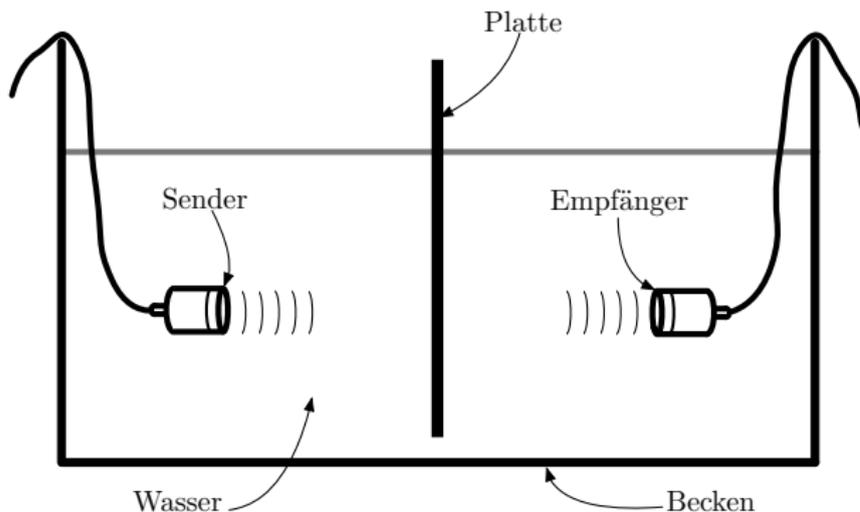
Simultane Bestimmung der Plattendicke und Schallgeschwindigkeit mit codierten Ultraschallsignalen

M. Sc. Daniel A. Kiefer
M. Sc. Michael Fink
Dr. techn. Stefan J. Rupitsch

Lehrstuhl für Sensorik
Friedrich-Alexander-Universität Erlangen-Nürnberg

Wien, 11. Mai 2017

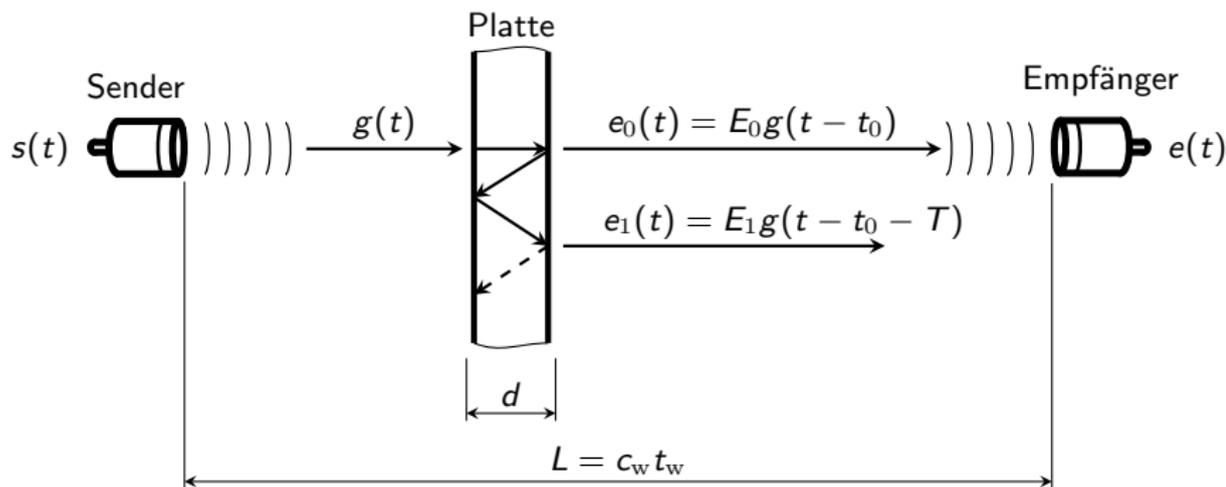
Motivation



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

Inhalt

- 1 Einleitung
- 2 Ansteuersignale
- 3 Pulscompressionsverfahren
- 4 Messergebnisse
- 5 Zusammenfassung



Dicke und Schallgeschwindigkeit

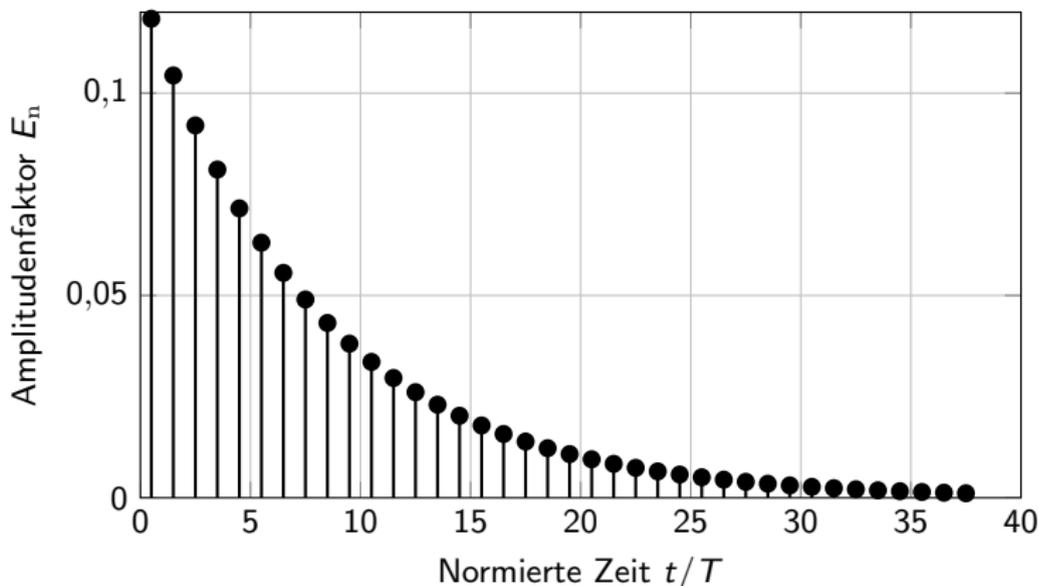
$$d = c_w \left(t_w - t_0 + \frac{T}{2} \right)$$

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

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

Modell im Zeitbereich

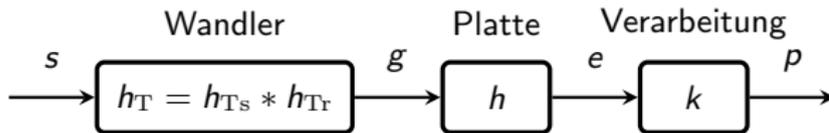
Impulsantwort $h(t)$ einer Stahlplatte in Wasser



● t_0 : Ankunftszeit des direkt transmittierten Schalls

● T : Verzögerung zwischen den Mehrfachreflexionen

Verbesserung der axialen Auflösung

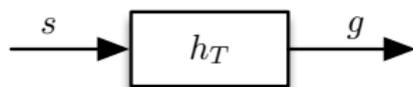


Wahl von:

Ansteuersignal $s(t)$

Signalverarbeitung

Anforderungen an das Interrogationssignal $g(t)$



- ① hohe *Bandbreite* da $\Delta t \approx \frac{1}{B_g}$
- ② hohe *Energie* für gutes SNR
 - ▶ Amplitude
 - ▶ Zeitdauer $D \times$ Bandbreite B

Ansteuersignale $s(t)$

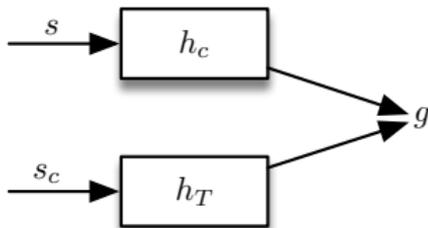
Pulse

- B groß
- D gering
 - ax. Auflösung gut
 - SNR niedrig

codierte Ansteuersignale

- hohes *Zeit-Bandbreite-Produkt* DB
 - SNR hoch
 - ax. Auflösung gut
- frequenz- / phasenmoduliert
- D groß: Pulskompression nötig

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 (nur Amplitude):

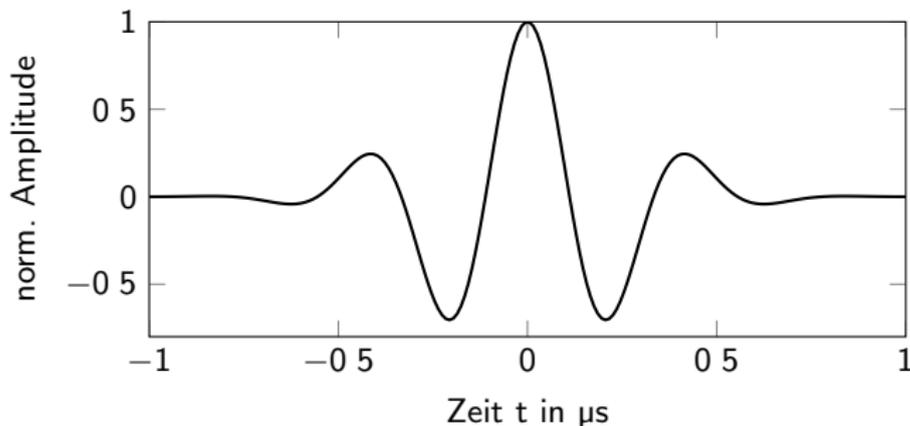
$$S_c(f) \approx S(f) \frac{|H_c(f)H_T^*(f)|}{|H_T(f)|^2 + \beta|H_T(f)|^{-2}}$$

- Modell für "konditionierten Wandler" $h_c(t) \circ \text{---} \bullet H_c(f)$ benötigt

Konditionierung von Ansteuersignalen

- Gauß-Puls als Modell für den “konditionierten Wandler”

$$h_c(t) = e^{-\frac{t^2}{2\sigma^2}} \cos(2\pi f_c t)$$



- Vorteil: Bandbreite kann beliebig vorgegeben werden

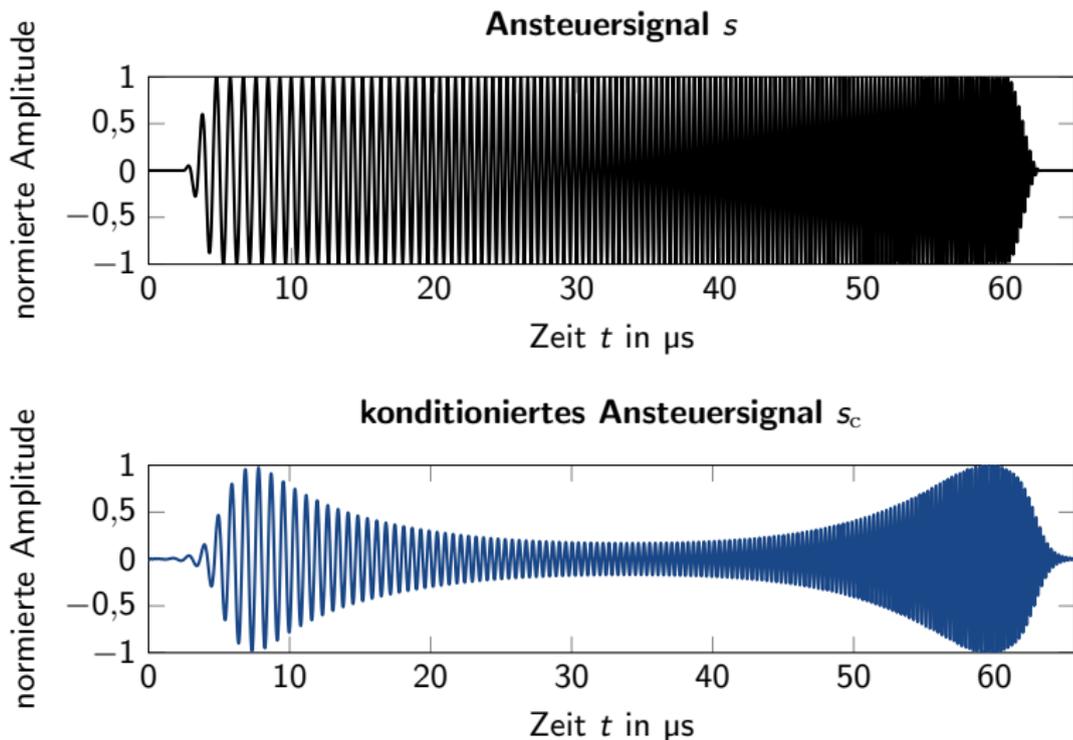


Abbildung: Chirpsignal mit $f_M = 2,4 \text{ MHz}$, $B = 3,0 \text{ MHz}$,
 $D = 60 \mu\text{s}$ und Tukey-Fenster

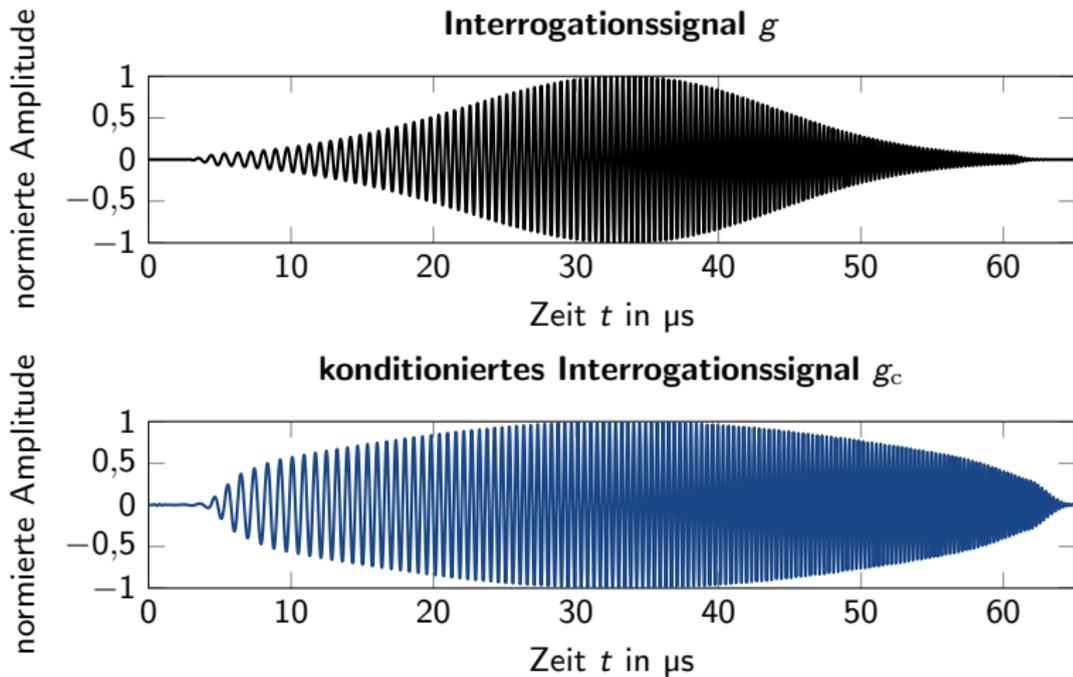
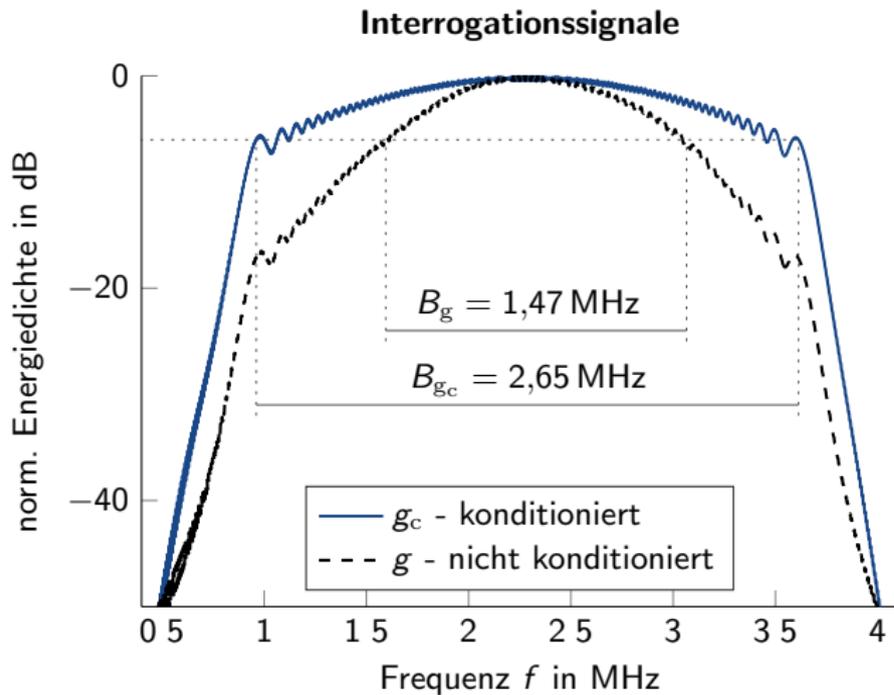


Abbildung: zugehörige Interrogationssignale



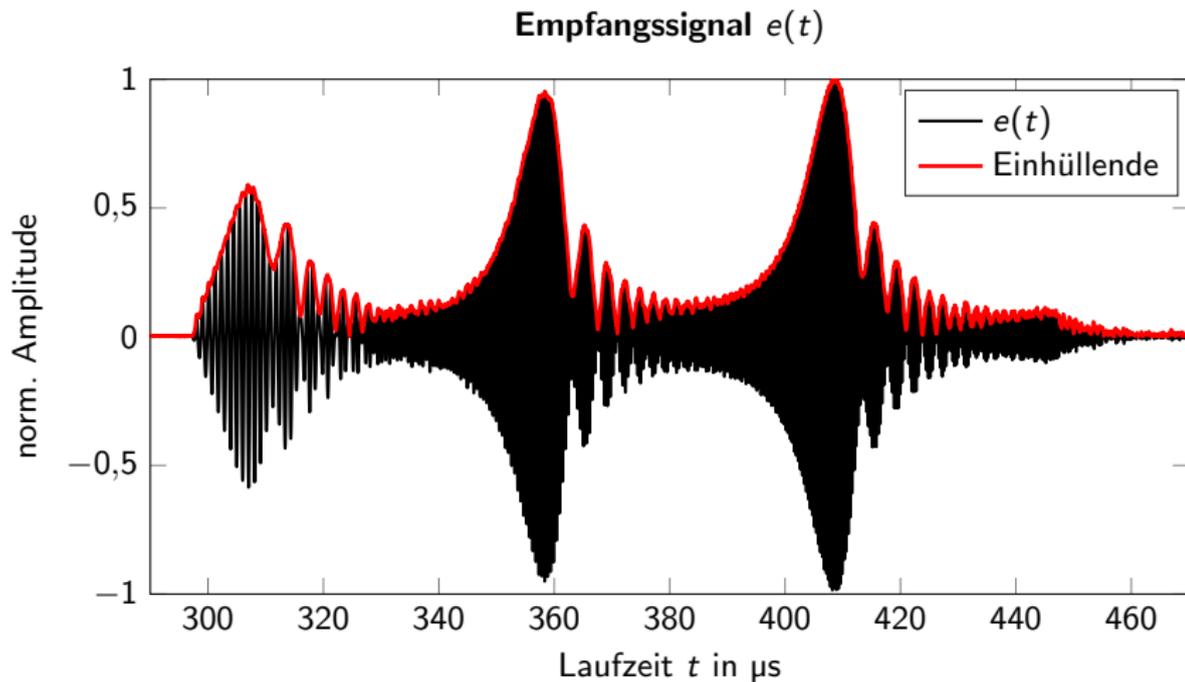
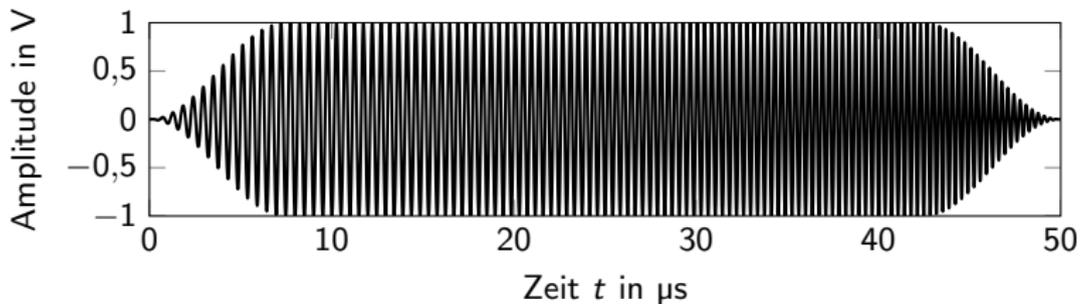


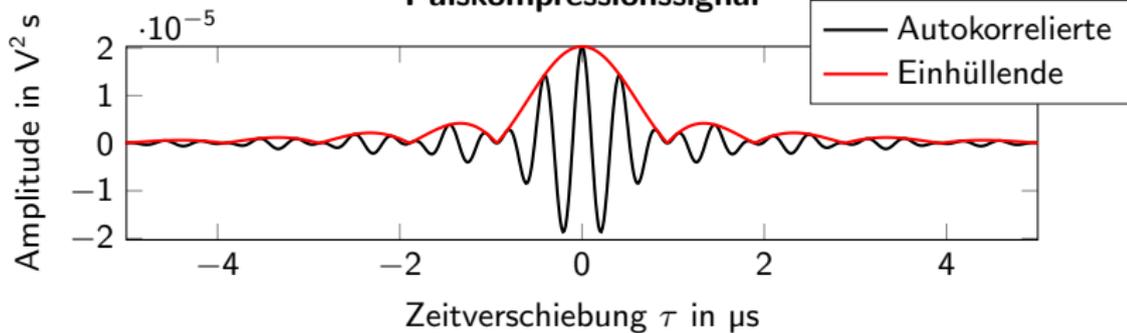
Abbildung: Gemessenes Empfangssignal bei Transmission des konditionierten Chirps durch eine Stahlplatte in Wasser.

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)

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

- Korrelationsfilter mit Fensterung

$$K(f) = w(f)S^*(f), \text{ mit reeller Fensterfunktion } w(f)$$

- Wiener-Filter mit Fensterung

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

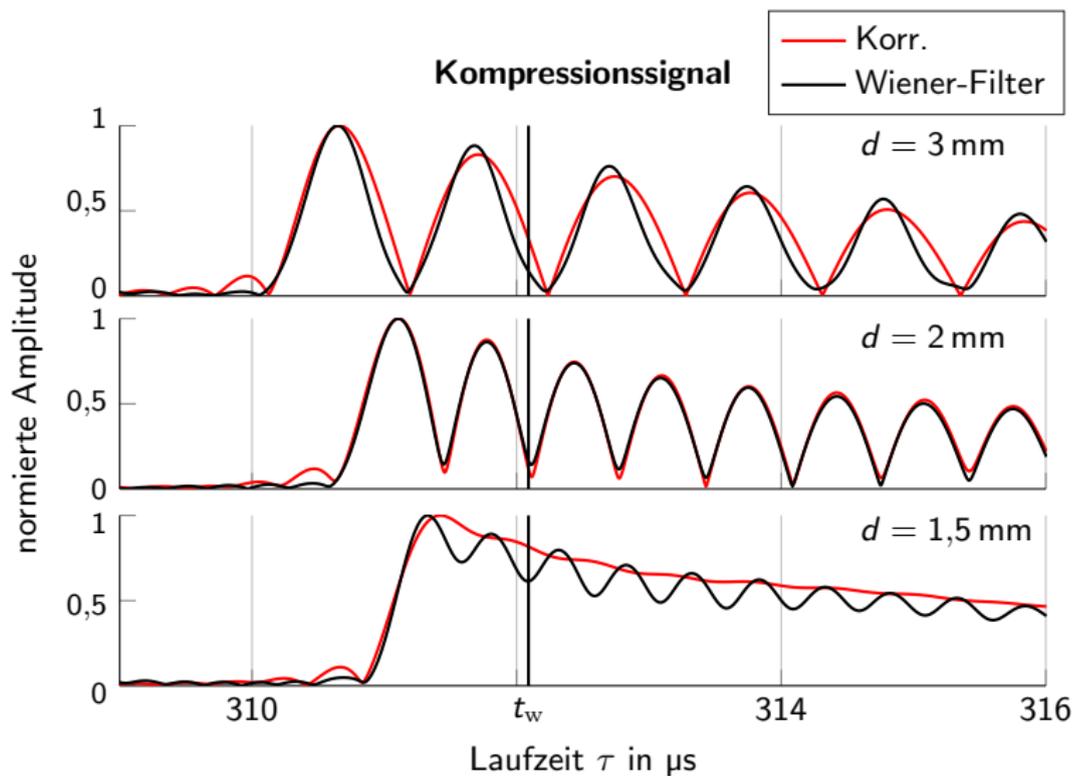
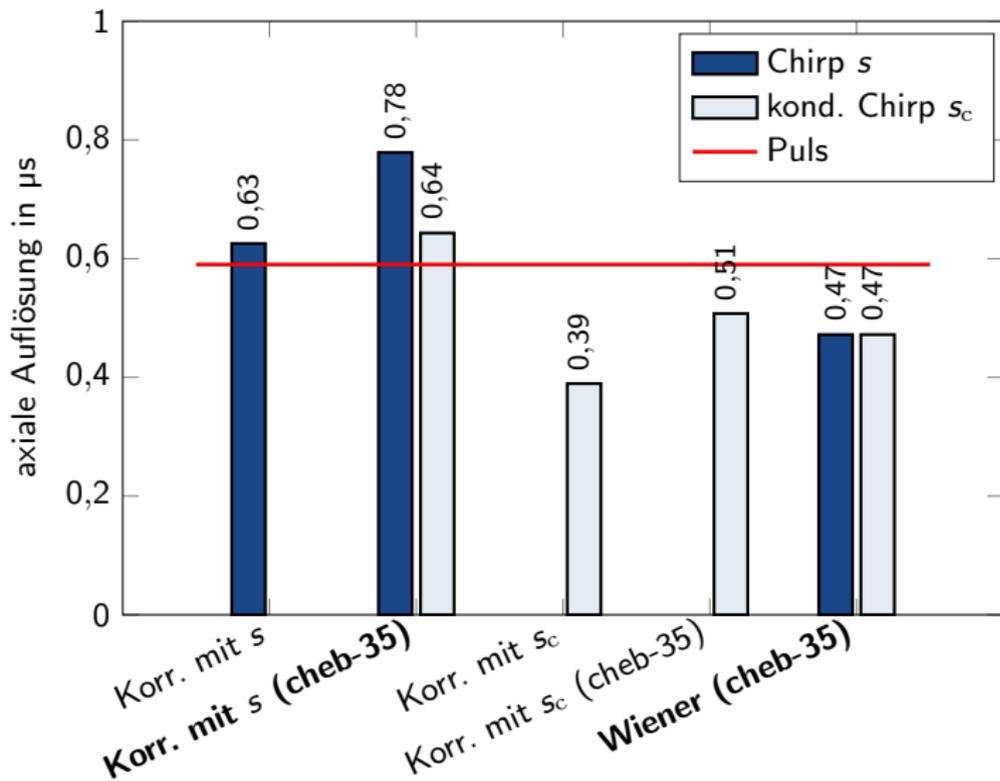
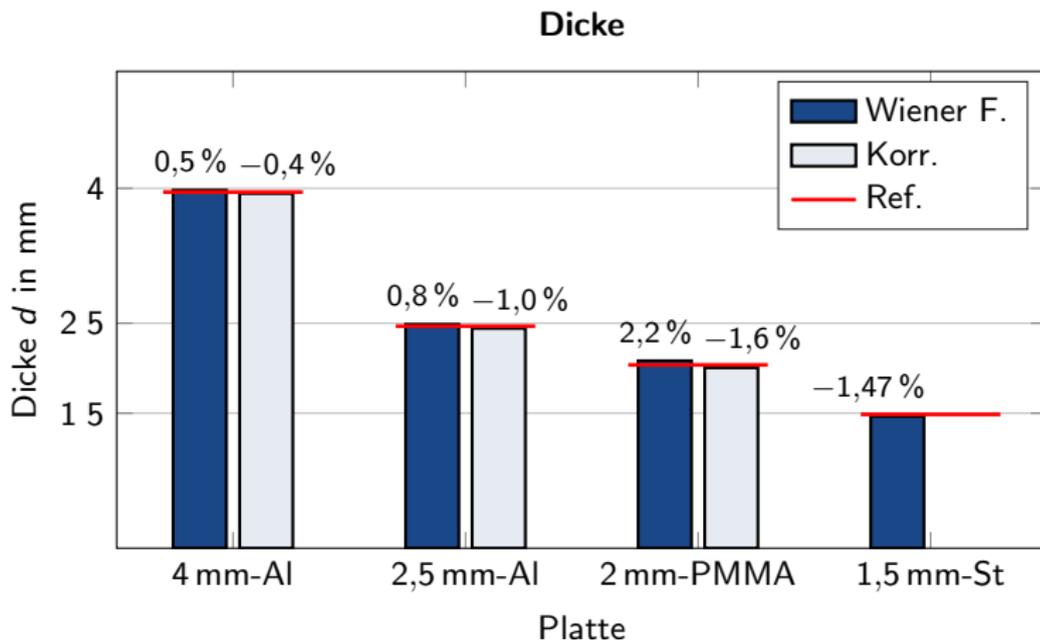


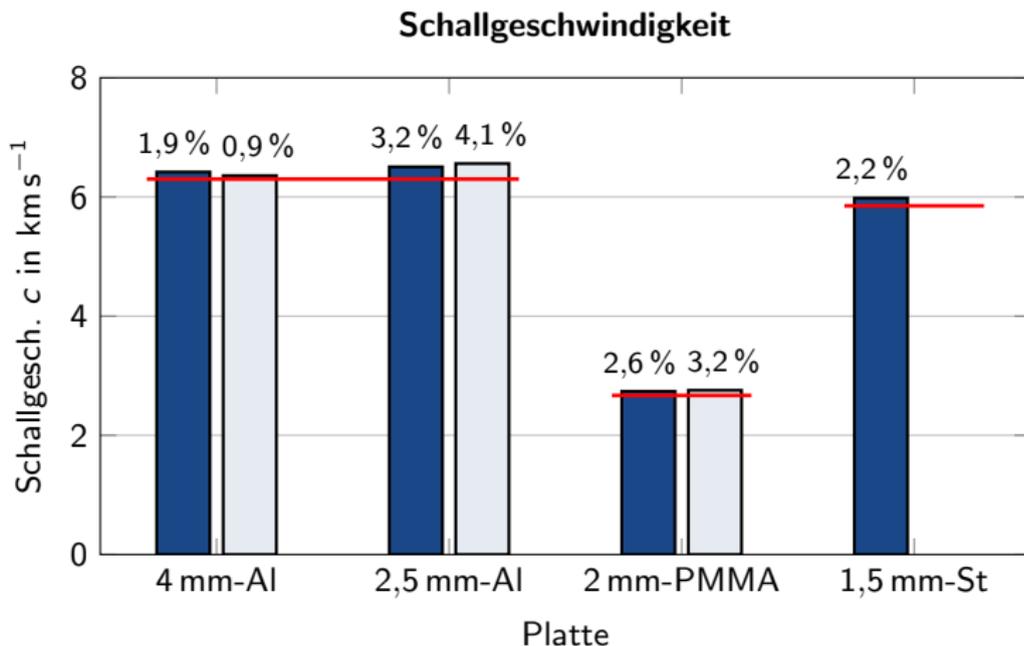
Abbildung: Empfangssignale nach der Pulskompression für drei verschiedene Stahlplatten

Vergleich der axialen Auflösung

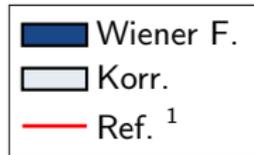




Relative Abweichung zur Referenz in Prozent



Relative Abweichung zur Referenz in Prozent
Referenz gemessen mit 10 MHz-Kontaktwandler.



¹Joseph L. Rose. *Ultrasonic Waves in Solid Media*. en. Cambridge University Press, Sep. 2004, S. 44

Zusammenfassung

- Codierte Ansteuersignale
 - ▶ erhöhtes SNR
- Konditionierung
 - ▶ erhöht axiale Auflösung
 - ▶ Kompromiss: SNR \leftrightarrow axiale Auflösung
- Pulskompression
 - ▶ Wiederherstellen der axialen Auflösung eines zeitlich langen Sendesignals
 - ▶ Kompromiss: axiale Auflösung \leftrightarrow SLL

Vielen Dank für Ihre Aufmerksamkeit!

