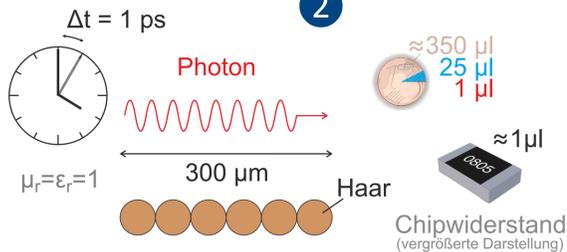


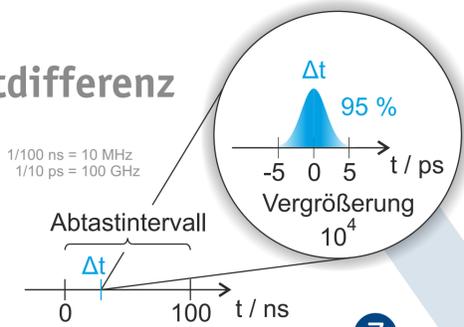
Ultraschall-Laufzeitdifferenzmessung mit analytischen Signalen

Am Institut für Kommunikationstechnik und Biosignalverarbeitung der HTWK Leipzig wird ein innovatives abtastendes Verfahren zur Laufzeit- und Laufzeitdifferenzmessung entwickelt und erforscht. Motiviert wird dies durch steigende Anforderungen bezüglich der Genauigkeit in der nicht-invasiven Durchfluss-Messtechnik mittels Ultraschall bzw. der Clamp-On-Technologie. Der sogenannte Clamp-On-Sensor wird hierbei einfach an den flexiblen Schlauch geklemmt und kann den Volumenstrom des Mediums durch die Schlauchwand hindurch, ohne direkten Kontakt zu jenem, nicht-invasiv messen. Die Bestimmung der Laufzeitdifferenz zweier sinusförmiger Signale bzw. Wellenpakete findet in vielen Disziplinen der Messtechnik Anwendung (Distanzmessung, Materialprüfung, Geschwindigkeitsmessung). Die Forschungsergebnisse sind daher nicht auf die Durchflussmessung beschränkt. Eine hohe Genauigkeit sowie Effizienz sind die wesentlichen Merkmale des Verfahrens.

Größenordnung



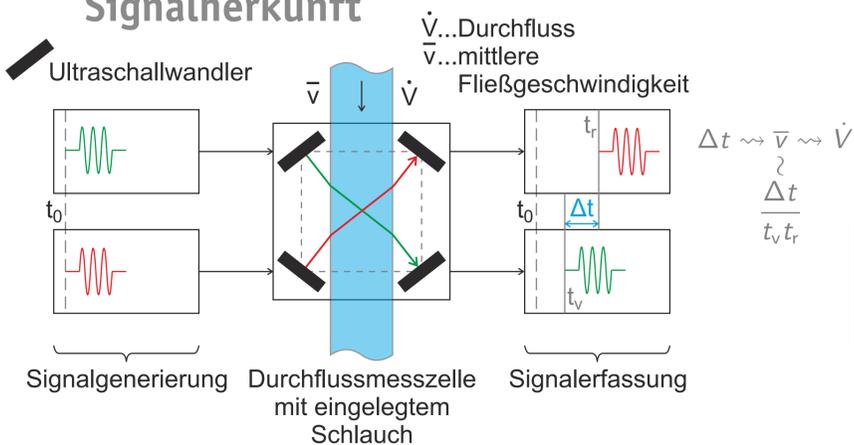
Laufzeitdifferenz



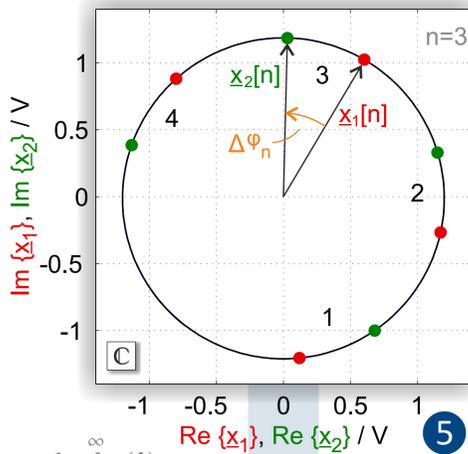
1

Clamp-On-Sensor

Signalherkunft

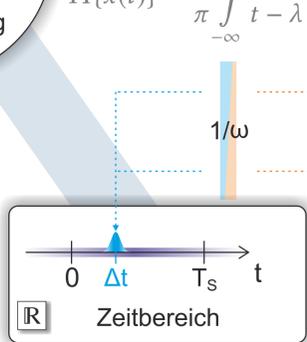


analytisches Signal | Gauß-Ebene



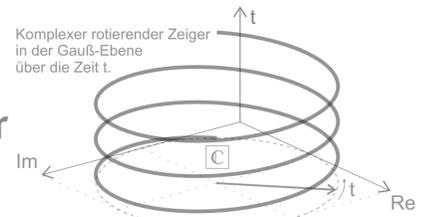
Hilbert

$$H\{x(t)\} = \frac{1}{\pi} \int_{-\infty}^{\infty} \frac{x(\lambda)}{t-\lambda} d\lambda$$

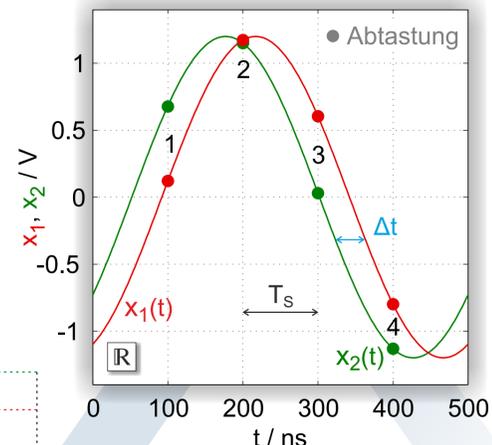


6

Komplexe Zeiger

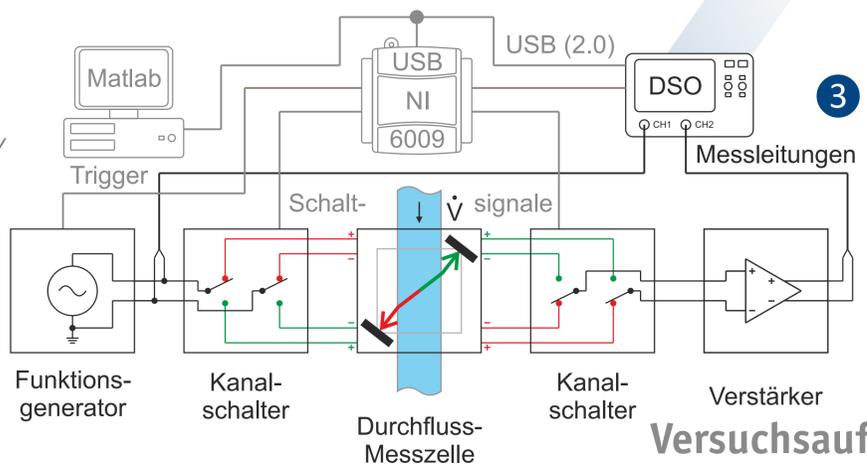
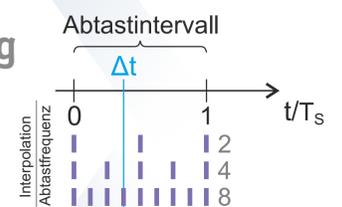


reelles Signal | Zeitbereich



Abtastung

4



Versuchsaufbau

1 Eine sogenannte Ultraschalldurchflussmesszelle generiert die zeitlich zueinander verschobenen Signale in Abhängigkeit von der Fließgeschwindigkeit (Mitführeffekt) des strömenden Mediums durch jene. Aus diesem zeitlichen Versatz Δt kann auf den Durchfluss geschlossen werden. 2 Die zu bestimmenden Laufzeitdifferenzen liegen im einstelligen Pikosekundenbereich. Erst mit solch einer zeitlichen Genauigkeit können Clamp-On-Sensoren im zweistelligen $\mu\text{l/s}$ -Bereich messen. 3 Es wurde ein Versuchsaufbau zur Generierung und Vermessung von Durchflüssen entwickelt. Dieser besitzt eine bezüglich der Schallrichtung umschaltbare Ultraschallmessstrecke (Kanalschalter). 4 Die Vermessung der reellen sinusförmigen Schwingungszüge $(x_1(t), x_2(t))$ erfolgt mit der Abtastperiodendauer T_s durch ein digitales Speicheroszilloskop (DSO). Die Abtastung erfolgt simultan, sodass sich Abtastpaare ergeben (1..4). Für die Laufzeitdifferenz Δt gilt: $\Delta t < T_s$. Eine Verschiebung der Signale im gerasterten Abtastbereich allein führt nicht zum Ziel, wie es bspw. bei etablierten Korrelationsverfahren der Fall ist. Erst durch eine Verfeinerung des Rasters (Erhöhung der Abtastfrequenz, Interpolation) wird Δt von der Abtastung erfasst. 5 Durch die Verwendung analytischer Signale wird sowohl eine hohe Genauigkeit, als auch eine hohe Effizienz (geringe Anforderungen an die Rechentechnik) erreicht. Analytische Signale sinusförmiger Zeitfunktionen sind komplexe rotierende Zeiger in der Gauß-Ebene, charakterisiert durch Betrag und Phase ϕ . Die beiden Schwingungszüge generieren jeweils einen dieser Zeiger. Die eingeschlossene Phaseninformation $\Delta\phi$ spielt hierbei eine wesentliche Rolle. Die generierten komplexen Zeiger rotieren nicht kontinuierlich, sie springen zum nächst höheren Abtastpaar. Dennoch: Die Phaseninformation ist quasi wertkontinuierlich. 6 Die Rasterverfeinerung als Grundgedanke wird über eine Hilbert-Transformation in den Phasenbereich erreicht. Jedes Abtastpaar liefert ein $\Delta\phi$ inkl. eines Rauschens (dargestellt als Verteilung: \blacktriangle), bedingt durch die rauschbehafteten abgetasteten Signale. Mit der Kreisfrequenz ω der Signale kann schließlich Δt bestimmt werden. 7 Die Abbildung aus dem gerasterten Abtastbereich erfolgt in den quasikontinuierlichen Phasen- und schließlich in den Zeitbereich. Die Laufzeitdifferenz Δt kann somit effizient und trotz eines vergleichsweise groben Abtastrasters hochgenau bestimmt werden. Das Verfahren ist bei anwendungsnahen Signal- und Messparametern derzeit in der Lage, aus einem Abtastraster von 100 ns, ein Äquivalenzraster von 10 ps zu erzeugen. Laufzeitdifferenzen zwischen den Abtastpunkten werden somit „sichtbar“ (Lupeneffekt).