

Einsatz von digitalen Filtern für die Ultraschallprüfung

Elmar DOHSE, Thomas ERTHNER, Roy PLOIGT, Gottfried SCHENK
BAM Bundesanstalt für Materialforschung und -prüfung
Fachgruppe 8.4: Akustische und elektromagnetische Verfahren
Arbeitsgruppe: Gerätetechnik für Ultraschall und Wirbelstromprüfung
Unter den Eichen 87
12205 Berlin
E-Mail: Elmar.Dohse@BAM.de

Die immer weiter voran schreitende Digitalisierung und Miniaturisierung von Elektronikkomponenten ermöglicht auch fortschreitende Innovationen der Gerätetechnik für die zerstörungsfreie Prüfung mit Ultraschall.

Eine dieser Neuerungen ist die digitale Filtertechnik, die direkt im Messsystem integriert wird und in der Lage ist, die digitalisierten Messdaten in Echtzeit zu verarbeiten. Die erforderlichen Filteralgorithmen werden in der Regel in FPGAs (Field Programmable Gate Arrays) oder DSPs (Digital Signal Processors) implementiert. Bei heutigen Messsystemen sind FPGAs und DSPs ohnehin fast immer vorhanden, weil sie als zentrale Steuereinheiten fungieren. Voraussetzungen sind eine ausreichende große Anzahl an integrierten Logikfunktionen im FPGA bzw. eine ausreichende Rechenleistung im DSP.

Zum Einsatz kommen vorwiegend so genannte IIR-Filter (Infinite Impulse Response) oder FIR-Filter (Finite Impulse Response), die in ihrem Filterverhalten sehr ähnlich sind, sich aber in ihrem mathematischen Algorithmus unterscheiden und abhängig von den Anforderungen an die Rechenzeit, den Speicherbedarf und die Genauigkeit ausgewählt werden. Dieser Aspekt soll an dieser Stelle aber nicht weiter vertieft werden.

Ziel des Einsatzes der Filtertechnik ist die Erhöhung des Signal-Rausch-Verhältnisses durch Unterdrückung bzw. Dämpfung von Signalanteilen aus Frequenzanteilen im Messsignal, von denen man weiß, dass sie im Nutzsignal nicht vorkommen bzw. für dessen Bewertung bedeutungslos sind. Als typische Störsignalquellen sind hier elektronisches Rauschen und elektromagnetische Belastungen aus der Umgebung zu nennen, wie z.B. durch größere Maschinen oder auch vom Manipulatorsystem der Ultraschallprüfanlage selbst erzeugt werden. Die Erfahrung zeigt, dass bei unseren Anwendungen das Signal-Rausch-Verhältnis bei optimal angepassten Parametern um bis zu 20 dB verbessert werden kann.

Vorteile gegenüber analoger Filtertechnik

- optimale Anpassung möglich, da nahezu beliebige Filterparameter und -typen realisierbar sind
- flexible Handhabung, da die Filtereigenschaften per Software geändert werden
- letztlich geringerer Hardwareaufwand durch Einsparung einer Vielzahl diskret aufgebauter analoger Filterstufen

- kein Einfluss von Bauteiltoleranzen und Alterung von Bauteilen auf die Filtereigenschaften (solange es nicht zum Ausfall kommt)

Nachteile gegenüber analoger Filtertechnik

- da die Filterung erst nach der Analog-Digital-Wandlung erfolgt, kann die Konkurrenz der Störsignale mit dem Nutzsignal im Eingangsbereich des Analog-Digital-Umsetzers zu einer zusätzlichen Dynamikbegrenzung des Nutzsignals führen (dieses Phänomen wird im Beitrag näher diskutiert)
- grundsätzlich begrenzter Wertebereich (Eingangsbereich vom Analog-Digital-Umsetzer)
- "Quantisierungsrauschen" durch interne Rundungs-, Abschneide- und Begrenzungsoperationen
- Einsatz von komplexen FPGAs / DSPs (Kosten)

Bemerkung zu den Nachteilen digitaler Filterung: Das Quantisierungsrauschen muss im Verhältnis zum elektronischen Rauschen analoger Filter betrachtet werden. Bei unseren Anwendungen schneiden die digitalen Filter besser ab. Die hohen Kosten beim Einsatz von FPGAs und DSPs für die Signalfilterung relativieren sich zugunsten dieser Technik, wenn sie für das Gerät ohnehin eingesetzt wird.

In der Anwendung bieten digitale Filter viele Vorteile, es müssen aber auch die Randbedingungen für den richtigen Umgang von digitalen Filtern bekannt und berücksichtigt werden.

Hier ein exemplarisches Beispiel dafür, worauf der Anwender achten muss, um nicht gravierende Fehler zu machen:

Ein wesentlicher Punkt beim Einsatz von digitalen Filtern ist der begrenzte Eingangsspannungsbereich des AD-Wandlers. Im Gegensatz zur Analogtechnik, bei der es bei zu großen Signalen zunächst zu Verzerrungen kommt, gehen bei der Überschreitung der maximalen Eingangsspannung am AD-Wandler alle Informationen über die Signalform verloren.

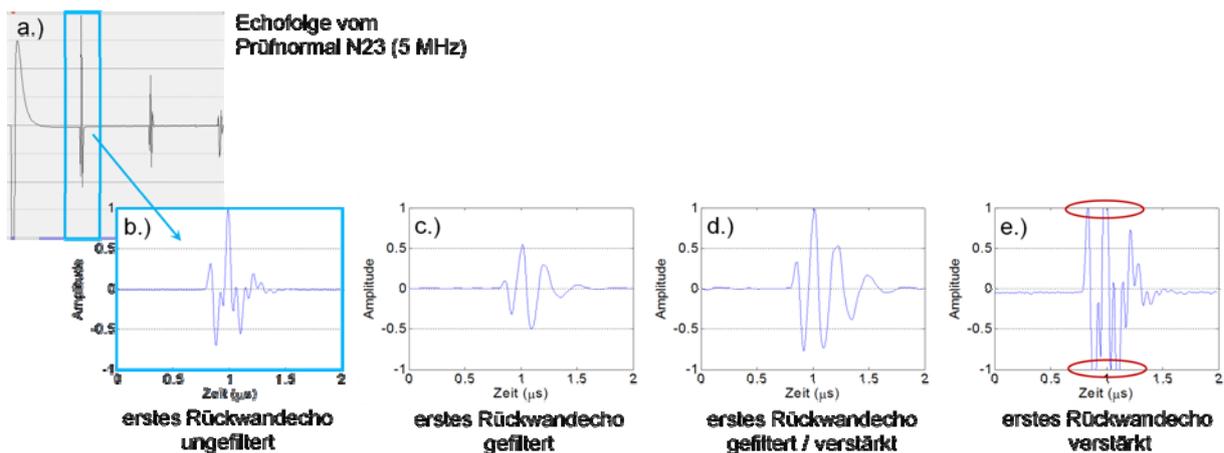


Abbildung 1: Einfluss des Eingangsbereiches bei der Filterung

Das in Abbildung 1a dargestellte A-Bild zeigt den ausklingenden Sendeimpuls und drei aufeinander folgende Rückwände vom Prüfnorm N23. Das Prüfnorm ist ein fest aufgebautes System aus Ultraschallwandler und Prüfkörper, das zur Kalibrierung und für vergleichende Messungen an Ultraschallprüfgeräten dient. Das Eingangssignal wird mit einer analogen Schutzschaltung auf ± 2 Volt begrenzt, um die folgende Verstärkerstufe

nicht durch den Sendeimpuls zu zerstören. In der Verstärkerstufe wird das Signal auf den Dynamikbereich von ± 1 Volt des Analog-Digital-Umsetzers angepasst. Das Signal wird nun mittels eines 14 Bit Analog-Digital-Umsetzers mit einer Taktrate von 100 MHz digitalisiert. Der interne Dynamikbereich des nun folgenden FPGAs liegt bei 18 Bit (interne Verarbeitungstiefe). Dies bedeutet, dass die durch unvermeidliche Rundungen auftretende Ungenauigkeiten abgefangen werden können. Zudem kann der Dynamikbereich hierbei nach „oben“ erweitert werden und somit Filterkoeffizienten >1 für die Berechnung genutzt werden.

Für die weitere Betrachtung (Abbildung 1b bis 1e) wird das erste Rückwandecho aus der Abbildung 1a herangezogen. Die Abbildung 1b zeigt das erste ungefilterte Rückwandecho. Die Verstärkung ist so gewählt, dass der Dynamikbereich des AD-Umsetzers und damit der des Darstellungsbereiches optimal ausgenutzt wird. Nach der Filterung mit einem Bandpass von 2,5 MHz bis 7,5 MHz, was für den verwendeten Prüfkopf mit einer Nennfrequenz von 5 MHz und einer üblichen Frequenzbandbreite von ca. 60% optimal sein sollte, wird das Signal wesentlich kleiner (Abbildung 1c). Wird das Signal nun durch den analogen Verstärker, der vor dem AD-Wandler sitzt, zusätzlich verstärkt, um den Darstellungsbereich auszunutzen, wird das Signal verzerrt (Abbildung 1d). Gut zu erkennen ist diese Verzerrung am Größenverhältnis der ersten und zweiten negativen Schwingung in den Abbildungen 1c und 1d. In der Abbildung 1c ist die erste Schwingung kleiner als die zweite und in der Abbildung 1d die erste Schwingung größer als die zweite.

Der Grund für die Verzerrung ist am verstärkten aber ungefilterten Signal zu erkennen (Abbildung 1e). Der Dynamikbereich des Analog-Digital-Umsetzers ist weit überschritten und dem digitalen Filter stehen nicht mehr alle Informationen aus dem ursprünglichen Signal zur Verfügung.

Im Frequenzbereich (Abbildung 2) sieht man, warum in diesem Beispiel das gefilterte Rückwandecho (Abbildung 1c) zum ungefilterten Rückwandecho (Abbildung 1b) kleiner wird. Dies ist selbstverständlich unabhängig davon, ob digital oder analog gefiltert wird!

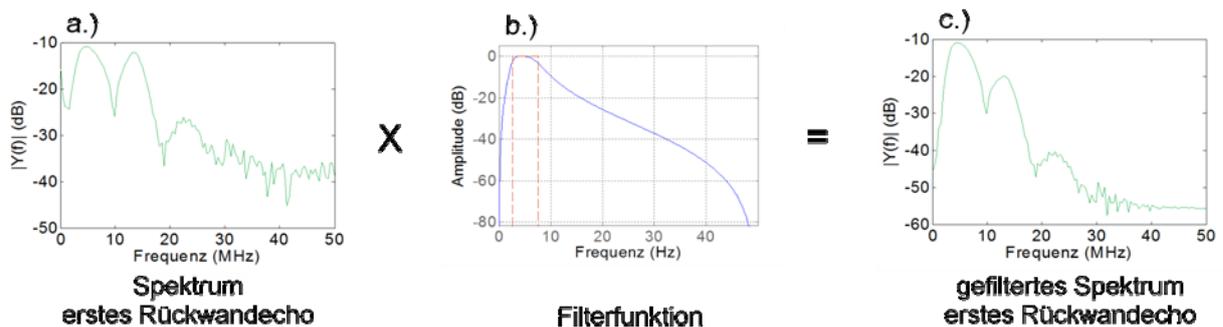


Abbildung 2: Filterung im Frequenzbereich

Das ungefilterte Spektrum des hier genutzten Prüfkopfes weist neben der Grundfrequenz von 5 MHz auch einen deutlichen Anteil bei 13 MHz im Frequenzgang auf (Abbildung 2a)

Durch die Filterung mit der in Abbildung 2b dargestellten Filterfunktion, wird dieser Anteil erheblich gedämpft (Abbildung 2c). Dies bewirkt die Reduzierung der Impulsamplitude in Abbildung 1c.

Fazit:

Der Einsatz von digitalen Filtern in Ultraschallprüfgeräten ist Stand der Technik und hat in der Regel deutlich mehr Vor- als Nachteile gegenüber analogen Filtern. Anhand des Beispiels wurde im Beitrag auf eine spezifische Fehlerquelle bei digitaler Filterung hingewiesen. Die Übersteuerung des AD-Wandlereingangs hat eine Unterschätzung der Signalamplitude zur Folge, die man im Signal selbst nicht oder schwer erkennt. Hierauf müssen Entwickler und Anwender achten.

Wie bei der Analogtechnik muss selbstverständlich auch bei digitaler Filtertechnik der vielfältige Einfluss auf das Signal berücksichtigt werden, um die Verschlechterung der Prüfaussage zu vermeiden.

An dieser Stelle seien drei Beispiele genannt: Bei der Echohöhenbewertung (AVG) geht ein Amplitudenfehler direkt in das Ergebnis ein. Da jegliche Filteroperation eine Änderung der Phaseninformation im UT-Impuls hervorruft, könnte es bei Auswerteverfahren, die die Phaseninformationen nutzen (z.B. SAFT) zu Verfälschungen kommen. Und letztens, wenn zu schmalbandig gefiltert wird, um die Störungen besser zu unterdrücken, verlängert sich der Ergebnisimpuls. Dadurch erscheint z.B. die Richtcharakteristik von Prüfköpfen verändert und auch die Amplitude einer Gitterkeule bei Phased-Array Prüfköpfen.

Dies alles zeigt, dass besonders durch die erweiterten Möglichkeiten der digitalen Filtertechnik dem richtigen Umgang damit auch eine noch größere Bedeutung zukommt, um Fehler zu vermeiden.

Einsatz von digitalen Filtern für die Ultraschallprüfung

E. Dohse, T. Erthner, R. Ploigt, G. Schenk; BAM, Berlin

BAM Bundesanstalt für Materialforschung und -prüfung; Unter den Eichen 87, 12205 Berlin

Die zunehmende Digitalisierung und Miniaturisierung von Elektronikkomponenten ermöglicht eine Vielzahl von Innovationen in der Ultraschall-Gerätetechnik.

Einer dieser Neuerungen ist die digitale Filtertechnik, die direkt im Messsystem integriert werden kann und in der Lage ist, die digitalisierten Messdaten in Echtzeit zu verarbeiten. Die erforderlichen Filteralgorithmen werden in der Regel in FPGAs (Field Programmable Gate Array) oder DSPs (Digital Signal Processor) implementiert, die als zentrale Steuereinheiten fungieren und in jedem System vorhanden sind. Voraussetzung ist eine ausreichende Anzahl an integrierten Logikfunktionen im FPGA bzw. Rechenleistung im DSP.

Zum Einsatz kommen so genannte IIR-Filter (Infinite Impulse Response) oder FIR-Filter (Finite Impulse Response), die sich vor allem in ihrem mathematischen Algorithmus unterscheiden.

Hauptziel des Einsatzes der digitalen Filtertechnik ist die Erhöhung des Signal-Rausch-Verhältnisses, das bei optimalen Parametern um bis zu 20 dB verbessert werden kann.

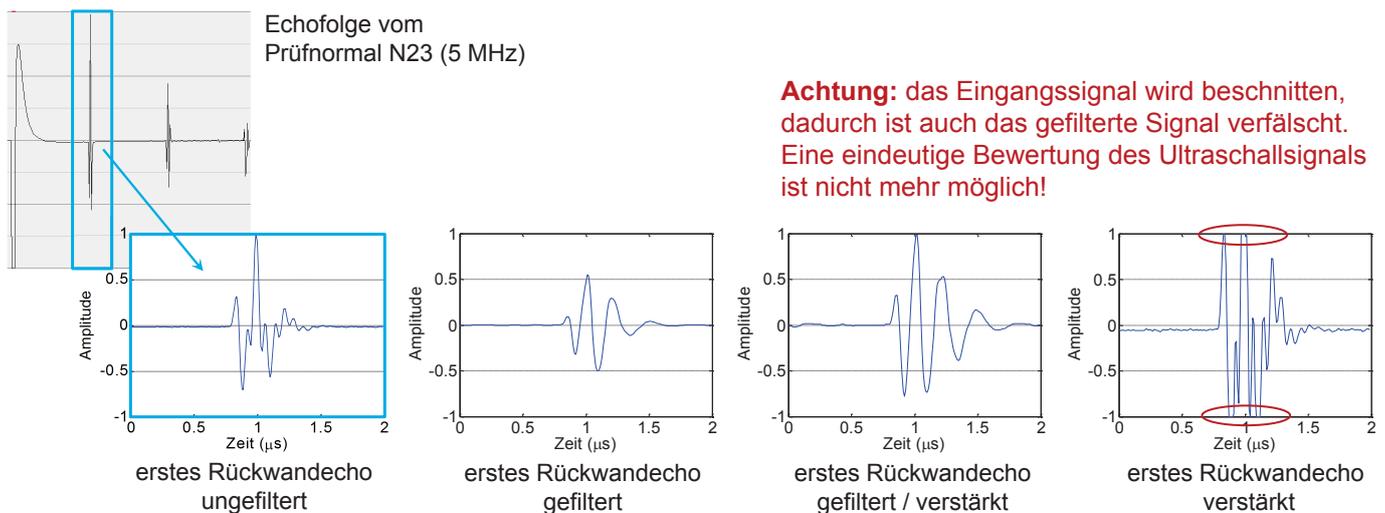
Vorteile

- nahezu beliebige Filterparameter und -typen möglich, durch Software einstellbar
- geringer Hardwareaufwand durch Einsparung einer Vielzahl diskret aufgebauter analoger Filterstufen
- kein Einfluss von Bauteiltoleranzen und Alterung von Bauteilen

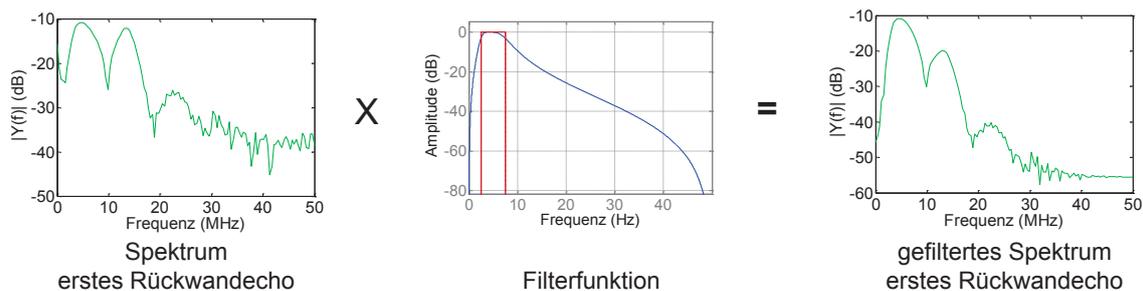
Nachteile

- begrenzter Wertebereich (Eingangsbereich vom Analog-Digital-Umsetzer)
- "Quantisierungsrauschen" durch interne Rundungs-, Abschneide- und Begrenzungsoperationen
- Einsatz von komplexen FPGAs / DSPs (Kosten)

Der Anwender muss beim Einsatz von digitalen Filtern besonders auf den begrenzten Eingangsbereich achten.



Im Frequenzbereich sieht man, warum das gefilterte Rückwandecko kleiner wird. Das ursprüngliche Spektrum weist neben der Grundfrequenz einen erheblichen Energieanteil im höheren Frequenzbereich auf, der durch den Filter gedämpft wird.



Kontakt:

Dipl.-Ing. Elmar Dohse

Tel.: 030 8104-4644;

Email: Elmar.Dohse@bam.de