

Neue Aspekte des Einsatzes von Laser-Doppler-Systemen (Vibrometer) im Bereich der ZfP-Bauverfahren

R. Behrendt, Polytec, Waldbronn/Berlin

Laser-Doppler-Vibrometer zur berührungslosen Erfassung statischer, quasi-statischer und hochdynamischer Oberflächenbewegungen haben sich in vielen Bereichen der Bauwerksdiagnose bewährt. Eine neue Gerätegeneration mit signifikant verbesserten technischen Spezifikationen bildet die Grundlage sowohl für einen neue Qualität bei eingeführten Messaufgaben als auch die erstmalige Möglichkeit der Bearbeitung völlig neuer Aufgabenstellungen.

1. Neue leistungsfähigere Vibrometeroptiken

Ein integriertes Autofokussystem sowie eine optionale längere Brennweite (Teleobjektiv) von $f = 200 \text{ mm}$ bei den Standard-Einpunkt-vibrometeroptiken führen zu verbesserten Signal-Rausch-Abständen und ermöglichen größere Messentfernungen. Somit werden stabile Messentfernungen bis über 100 Meter für Anwendungen wie Gebäudeschwingungen und Messung zur Brückstatik möglich.

Im Bild 1 wird das für Optiken mit unterschiedlichen Brennweiten diskutiert. Mit der **Super-Long-Range** ($f = 200 \text{ mm}$) Optik vergrößert sich der Arbeitsabstand bei gleichbleibendem Signal-Rausch-Verhältnis gegenüber der LR-Optik ($f = 100 \text{ mm}$) um den Faktor 2, gegenüber der MR-Optik sogar um den Faktor 5.

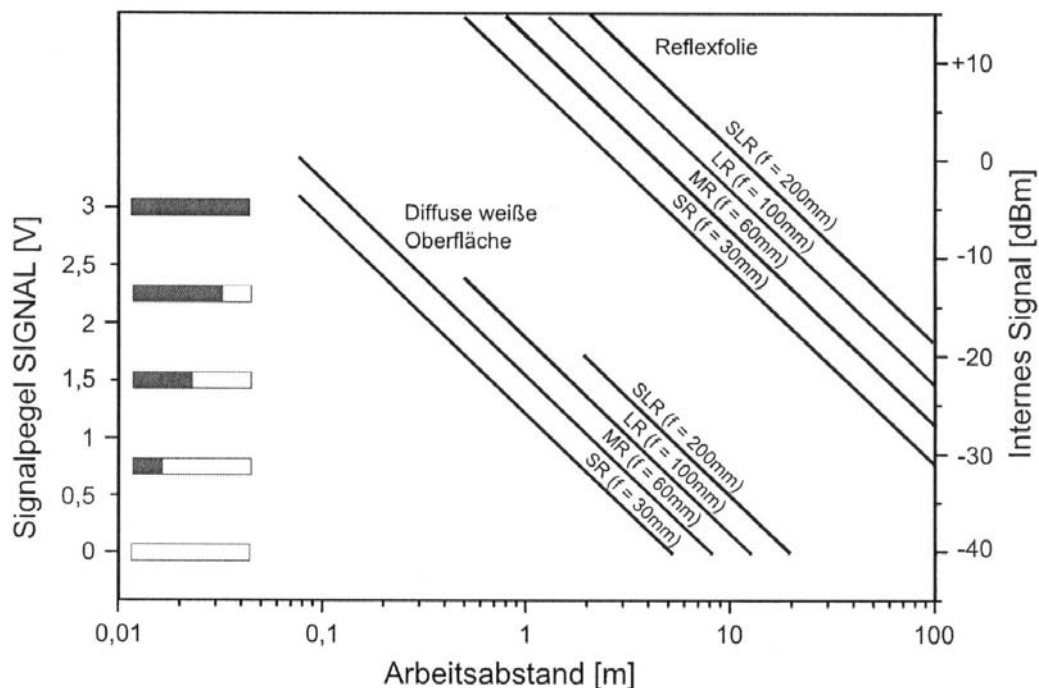


Abb. 1 – Signalpegel in Abhängigkeit vom Arbeitsabstand, gemessen auf einer diffusen weißen Oberfläche und 3M Scotchlite Tape® (Reflexfolie)

2. Vibrometer-Controller mit verbesserten Weg- und Geschwindigkeits-demodulatoren

Neue Vibrometer-Elektroniken führen auch auf der elektrischen Seite zu einer deutlichen Signalverbesserung. So bietet der neue Geschwindigkeitsdecoder VD-06 mit interner digitaler Signalverarbeitung optimale Demodulationseigenschaften von Ultraschallsignalen im für das Bauwesen relevanten Frequenzbereich bis 1,5 MHz.

	NF-Decoder VD-01	HF-Decoder VD-02	US-Decoder VD-06
Frequenzbereich	0 Hz ... 50 kHz	0,5 Hz ... 1,5 MHz	0 Hz ... 350 kHz
Empfindlicher Messbereich	100 nm/s	200 nm/s	50 nm/s
Linearitätsfehler der Amplitude	< 0,25 %	< 1 %	< 0,1 %
Linearitätsfehler im Frequenzgang	0,2 dB	0,5 dB	0,1 dB

Tabelle 1 – Vergleich von für die US-Bauwerksdiagnostik geeigneten Vibrometergeschwindigkeitsdecodern (Auflösung bezogen auf 1 Hz Bandbreite)

Insbesondere die extrem geringen Linearitätsfehler sowohl im Frequenzgang als auch in der Asteueramplitude sind gegenüber anderen Sensoren einzigartig.

3. Vorteilhafte kompakte Optik-Elektronik-Einheiten für den mobilen Einsatz

Gegenüber einem Standardsystem mit Einpunktoptik (ca. 3,5 kg) und einem Elektronik-Controller (im 19"-Gehäuse – ca. 10 kg) bietet ein wesentlich leichteres **Portables Digital Vibrometer** (PDV-System) mit ca. 2,6 kg Masse wesentlich optimalere Voraussetzungen für den portablen (Feld-) Einsatz. Obwohl die portablen Vibrometer nur über einen Geschwindigkeitsdecoder verfügen, ermöglicht das geringe Eigenrauschen sowie die hohe Linearität des Geschwindigkeitsdecoders eine Integration des Signals zur Weg-Zeit-Funktion selbst für relativ niederfrequente Vorgänge mit hinreichender Genauigkeit. So wurden PDV-Systeme u.a. zur berührungsfreien Überwachung des Schwingverhaltens benachbarter Gebäude aus 50 m Entfernung beim Beräumen des World Trade Centers in New York (Ground Zero) eingesetzt.

4. Vermessung und Visualisierung von 3D-Ultraschall-Feldern in Bauwerkstoffen

Während die Vibrometer bei den meisten Anwendungen durch die weitgehend flächennormale Ausrichtung eines He-Ne-Laserstrahls auf die Probandenoberfläche allein die „Out of Plane“-Komponente der Oberflächenschwingung erfassen, können durch den Einsatz von drei gleichzeitig aus unterschiedlichen Richtungen auf einem Punkt messenden Vibrometern die XYZ-Komponenten der Oberflächenschwingung erfasst und bei bekannten Einfallswinkeln separiert werden.

Beim neuen 3D-Scanning Vibrometer werden drei 1D-Scanning Vibrometer aus einer zentralen Bedieneroberfläche angesteuert. Der Messvorgang zur flächenhaften Erfassung der 3D-Schwingungseigenschaften läuft

- nach der Definition und dem Einlernen des Raum-Koordinaten-Systems,
- Festlegen des Messpunktortes auf der Objektoberfläche
- Parametrierung der Messwertaufzeichnung

völlig automatisch ab.

In der Abb. 2 wird eine typische Messanordnung für Ultraschall-Messungen an einem Betonwürfel mit 200 mm Kantenlänge gezeigt. Der zylindrische 100 kHz-Ultraschall-Wandler sendet mit 10 Hz Wiederholfrequenz Ultraschallwellen aus, deren xyz-Komponenten infolge der unterschiedlichen Ausbreitungsgeschwindigkeit verschieden schnell durch den Würfel „laufen“. Die Laserstrahlen der drei einzelnen Vibrometer springen zeitparallel von Punkt zu Punkt des $64 \times 64 = \text{ca. } 4.000$ Messpunkte-Rasters und an jedem Messpunkt erfolgt triggersynchronisiert die berührungslose Erfassung der 3D-Schwingungskomponente.

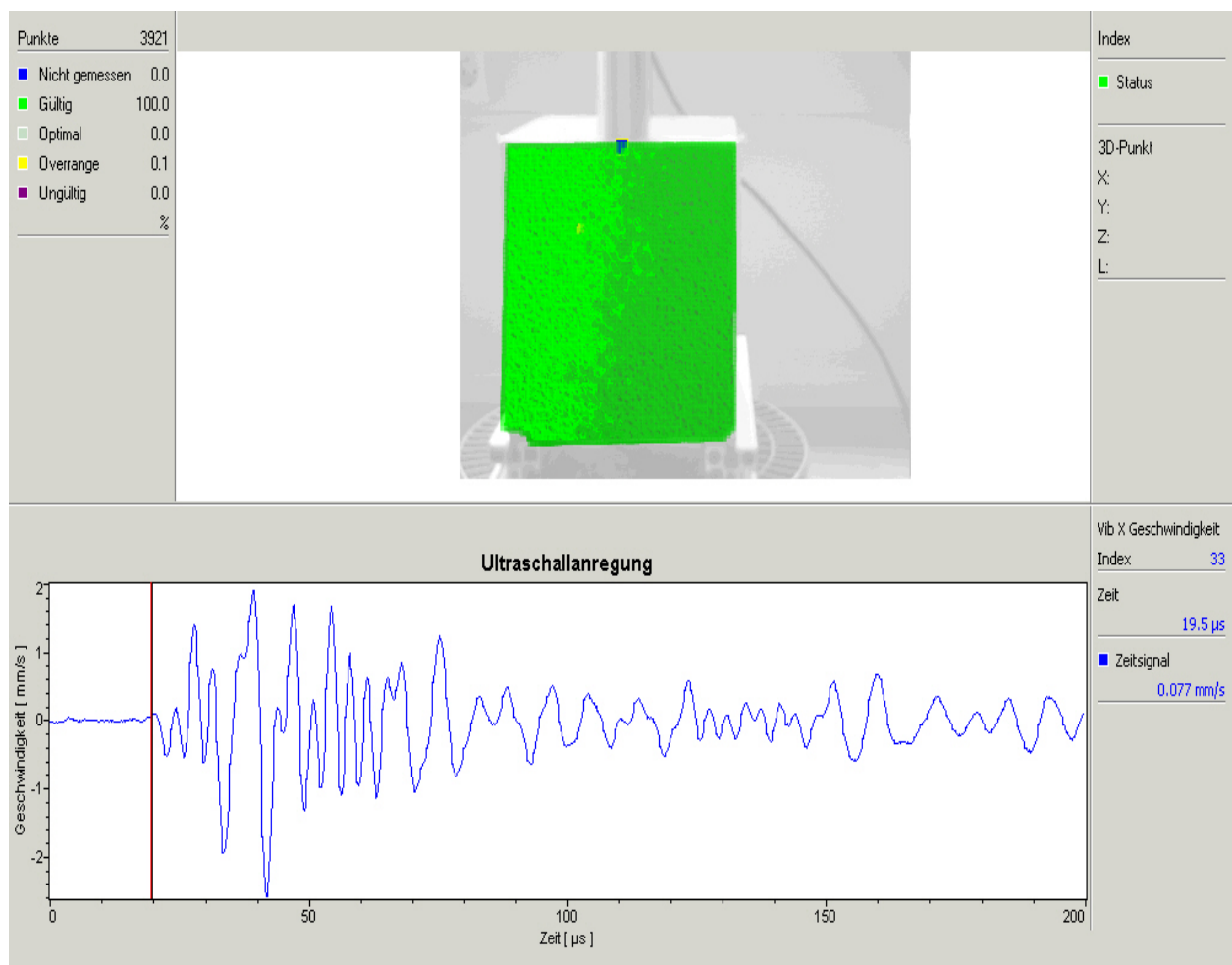


Abb. 2 – Typischer Ultraschallimpuls für V_x

In der Abb. 3 wird das Voranschreiten der einzelnen orthogonalen Komponenten der Ultraschallwelle für den Zeitpunkt 10 μ s dargestellt.

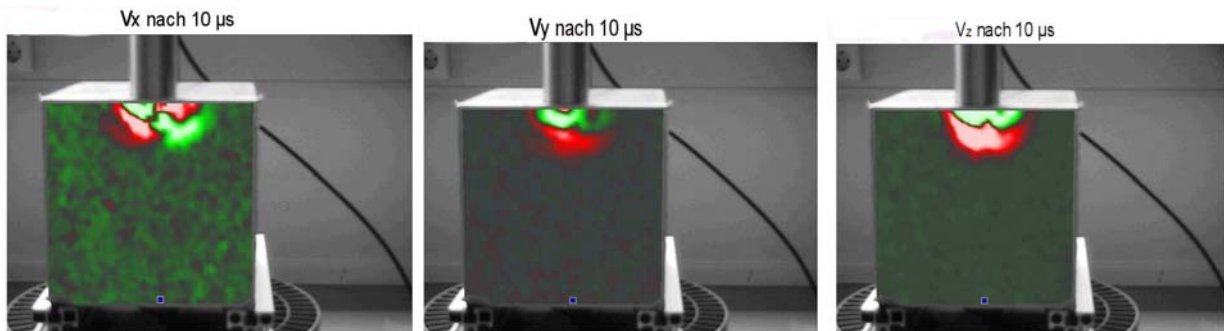


Abb. 3 – Momentaufnahmen der Ultraschall-Amplituden V_x , V_y , V_z nach 10 μ s

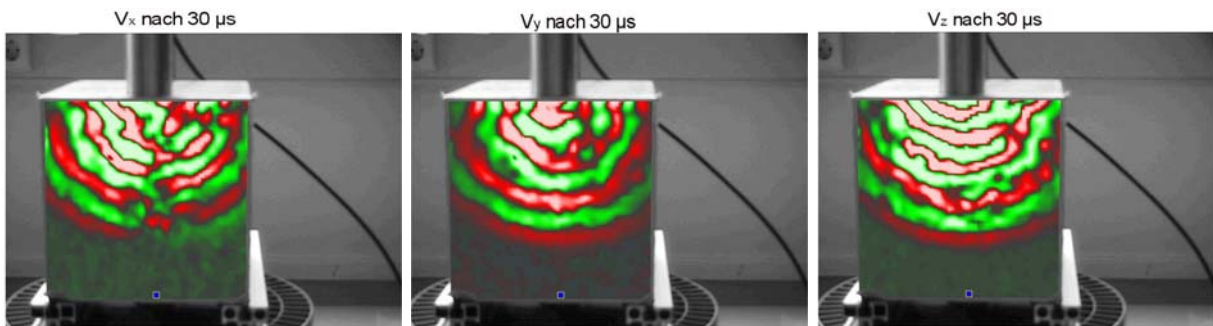


Abb. 4 – Momentaufnahmen der Ultraschall-Amplituden V_x , V_y , V_z nach 30 μ s

Die analoge Abb. 4 für einen Zeitpunkt 30 μ s nach Triggerung zeigt, dass die longitudinale Komponente der Ultraschallwelle (hier y-Komponente vertikal) wesentlich schneller durch den Betonwürfel läuft als die transversalen Anteile (x-quer, z-flächennormal zur Würfeloberfläche).

Dieses ist besonders deutlich zu erkennen an der signifikant größeren Wellenlänge des 100 kHz-Signals.

Mit der 3D-Scanning-Laservibrometrie lassen sich mit extrem hoher Ortsauflösung, berührungs- und somit rückwirkungsfreie sowohl Sender und Empfänger für bauwerksdiagnostische Ultraschallanwendungen als auch die Ausbreitung der einzelnen Komponenten von Ultraschallwellen in Baumaterialien analysieren.