
Einsatz des Impact-Echo-Verfahrens zur Zerstörungsfreien Abschätzung Elastischer Eigenschaften von Betonbauteilen

Daniel Algernon, Sascha Feistkorn und Klaus Dressler

SVTI Schweizerischer Verein für technische Inspektionen

Nuklearinspektorat

ZfP-Labor

- Motivation
- Impact-Echo (IE)
- Wellenausbreitung in Bezug auf IE
- Bestimmung der Wellenausbreitungsgeschwindigkeiten zur Berechnung der elastischen Parameter
- Tücken
- Schlussfolgerung

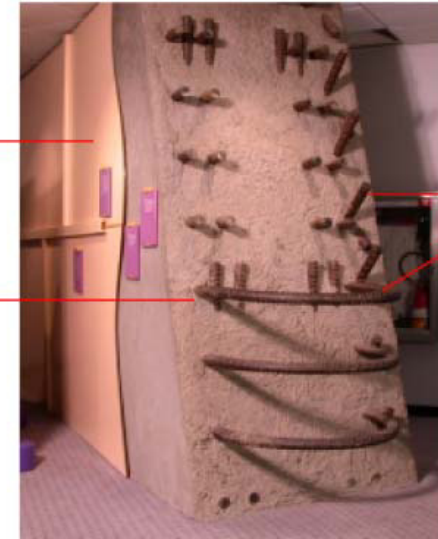
Relevanz von Materialkennwerten

SVTI
ASIT



1/2" thick
Steel Liner

4' thick
Reinforced
Concrete
containment
wall



Steel
Reinforcing
bars

Construction of Containment Wall



Zerstörende Prüfung

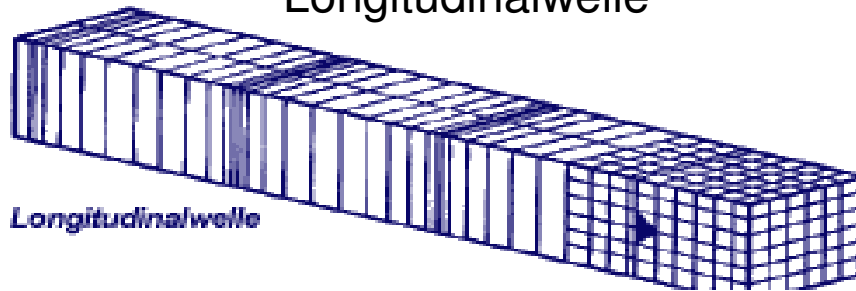
SVTI
ASIT



Quelle: Form+Test

Elastische Wellen

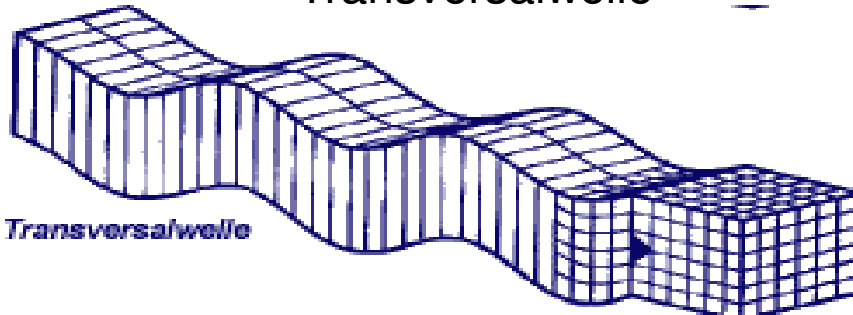
Longitudinalwelle



Longitudinalwelle

$$c_L = \sqrt{\frac{E}{\rho} \frac{1-\nu}{(1+\nu)(1-2\nu)}}$$

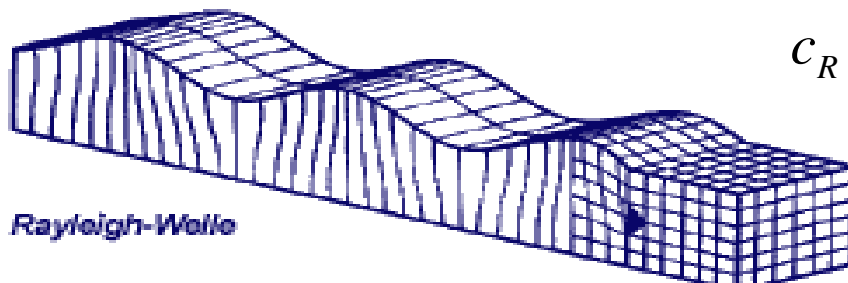
Transversalwelle



Transversalwelle

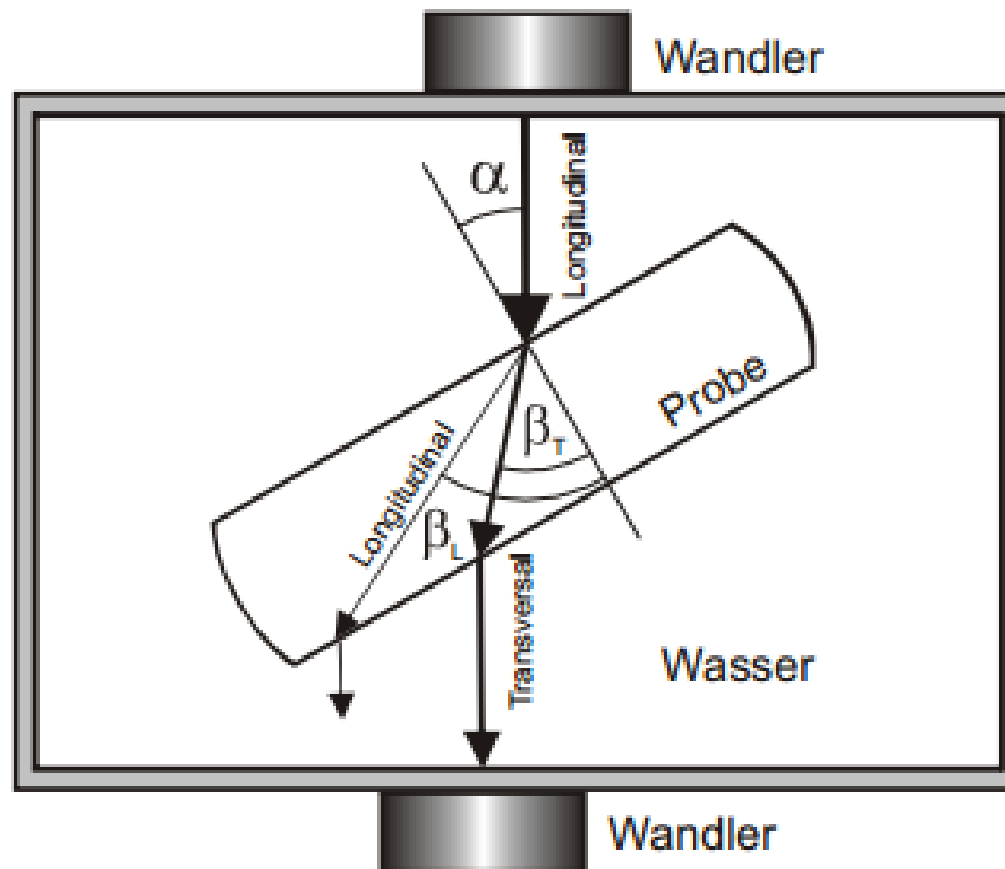
$$c_T = \sqrt{\frac{G}{\rho}} = \sqrt{\frac{E}{\rho} \frac{1}{2(1+\nu)}}$$

Rayleigh-Welle



Rayleigh-Welle

$$c_R = \frac{0.87+1.12\nu}{1+\nu} \sqrt{\frac{E}{\rho} \frac{1}{2(1+\nu)}}$$

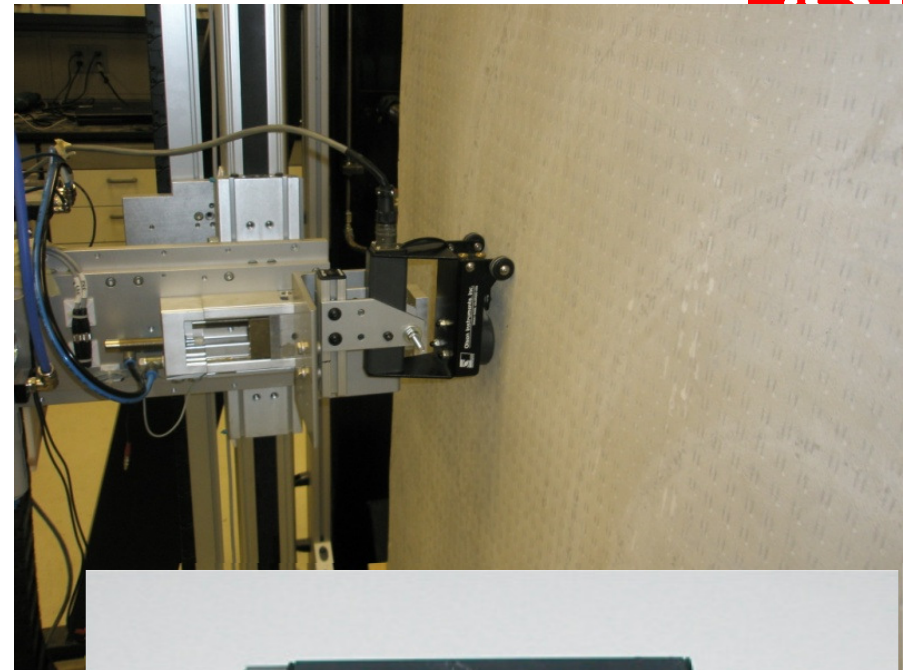


HTWK Leipzig:

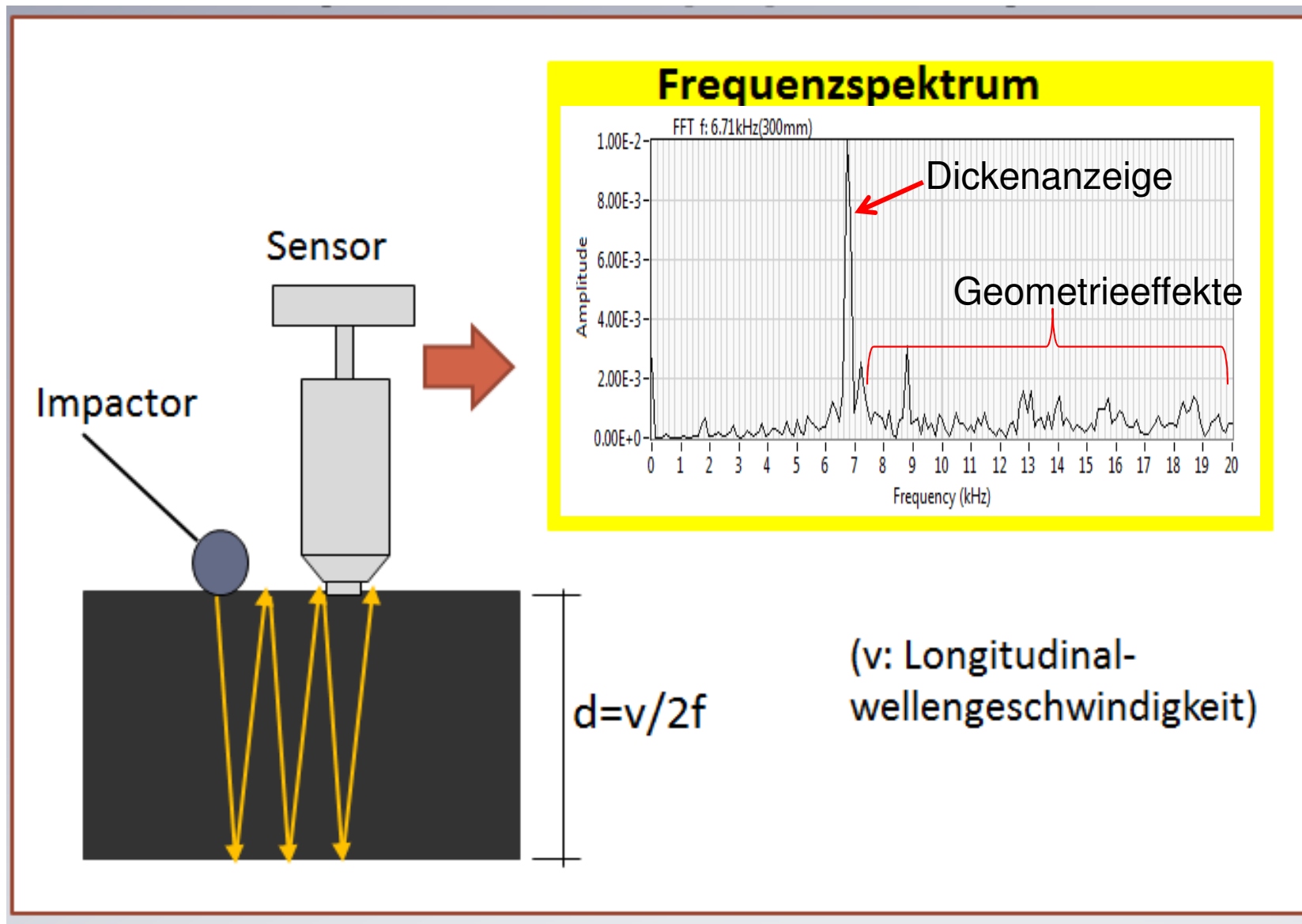
Anordnung zur Bestimmung der Ausbreitungsgeschwindigkeit
longitudinaler und transversaler Ultraschallwellen im Festkörper

Impact-Echo

SVTI
ASIT

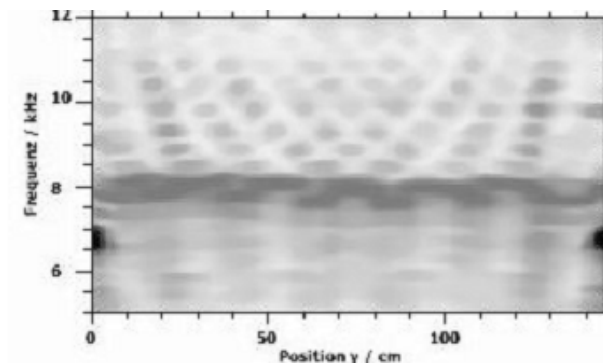
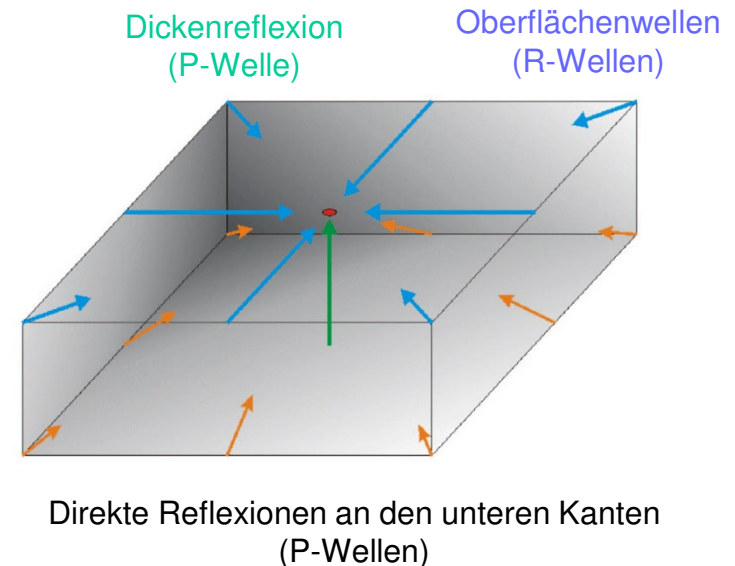


Impact-Echo

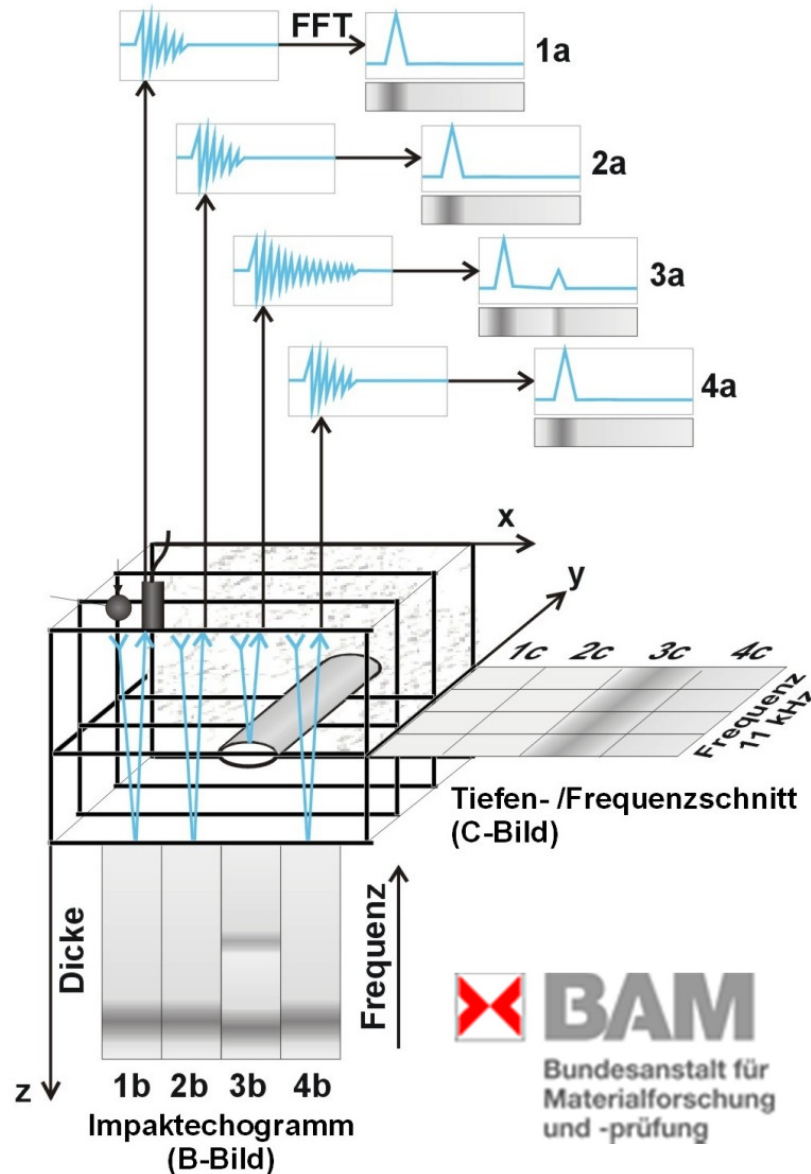


Modell nach R. Lausch:

- Neben Dickenreflexion Reflexionen an den Kanten
- Neben Longitudinalwellen (P-Wellen) auch vor allem Oberflächenwellen (Rayleighwellen, kurz: R-Wellen)
- R-Wellen besitzen die höchste Intensität, liefern jedoch keine Tiefeninformation
- Bauteile mit kompakten Abmessungen stets durch Geometrieeffekte beeinflusst.
- Gefahr der Fehldeutung



Geometrieeffekte im
Querschnitts-Impactechogramm (B-Scan)



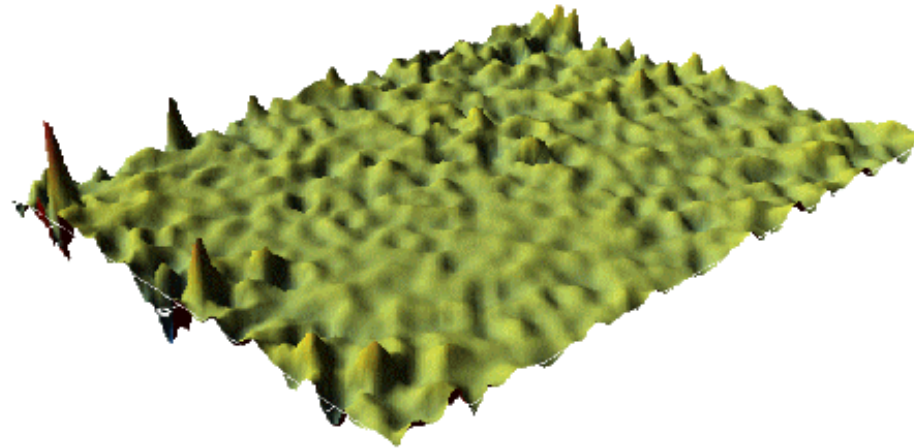
A-Scan: Frequenzspektrum an einem Messpunkt, Amplitude über Frequenz bzw. Tiefe

B-Scan: Graustufenplot nebeneinandergereihter A-Scans entlang einer Messlinie.
„Querschnitt“ entlang der Messlinie

C-Scan: Schnitt durch Reihe von B-Scans bei einer bestimmten Tiefe (Frequenz), Tiefenschnitt parallel zur Oberfläche

Laservibrometer-Messungen

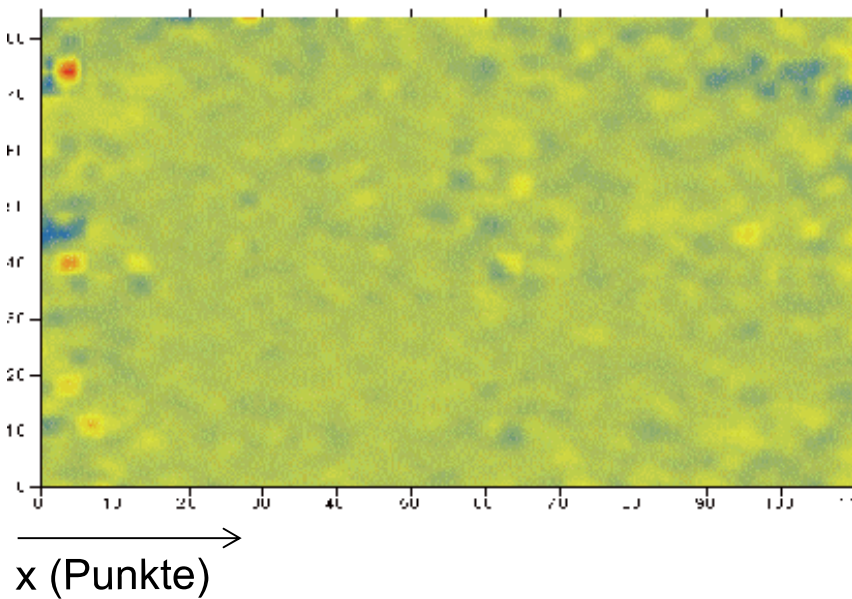
SVTI
ASIT



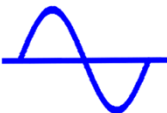
Zeit-Inkrement:
 $dt = 6,67 \cdot 10^{-6} \text{ s}$

Impact

y (Linien)



FOR 384



Daniel

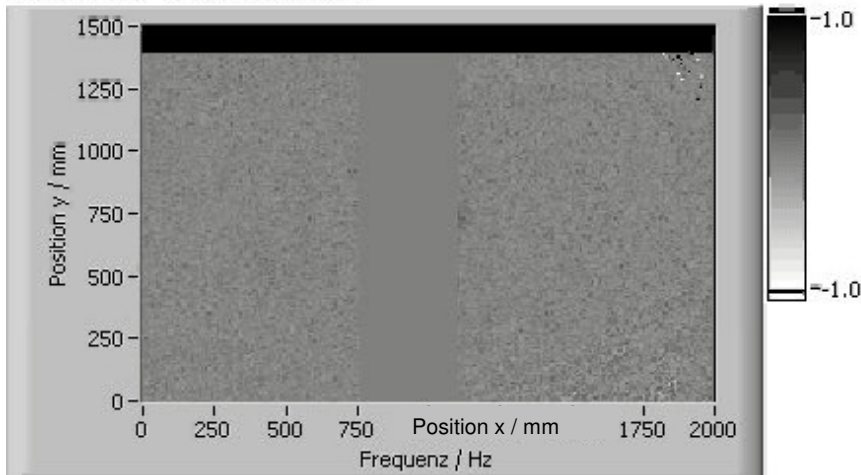
Alaernon



Visualisierung der IE-Wellenausbreitung

SVTI
ASIT

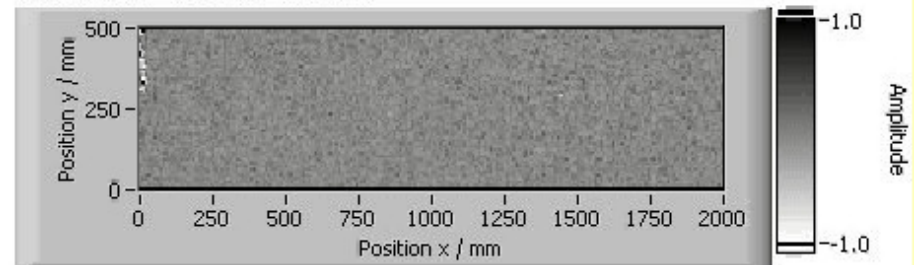
C-Scan CHA 0.000 ms - 0.000 ms



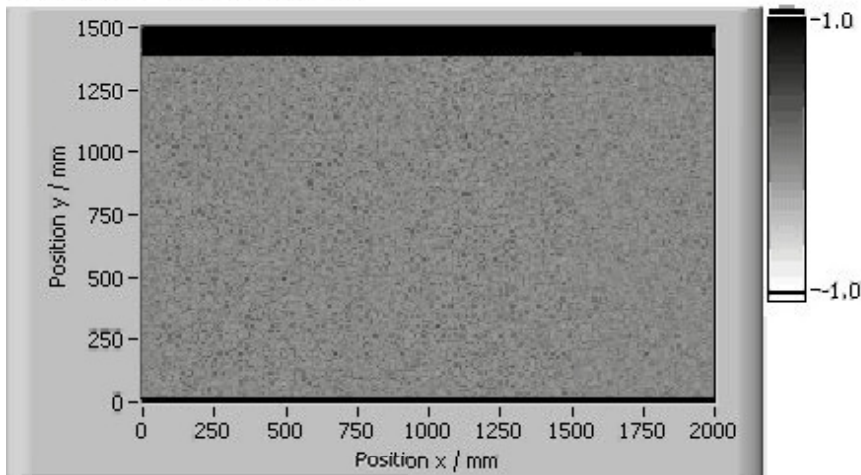
Anregungsseite

Stirnfläche

C-Scan CHC 0.000 ms - 0.000 ms



C-Scan CHB 0.000 ms - 0.000 ms

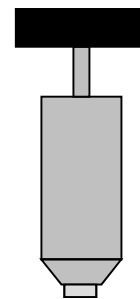
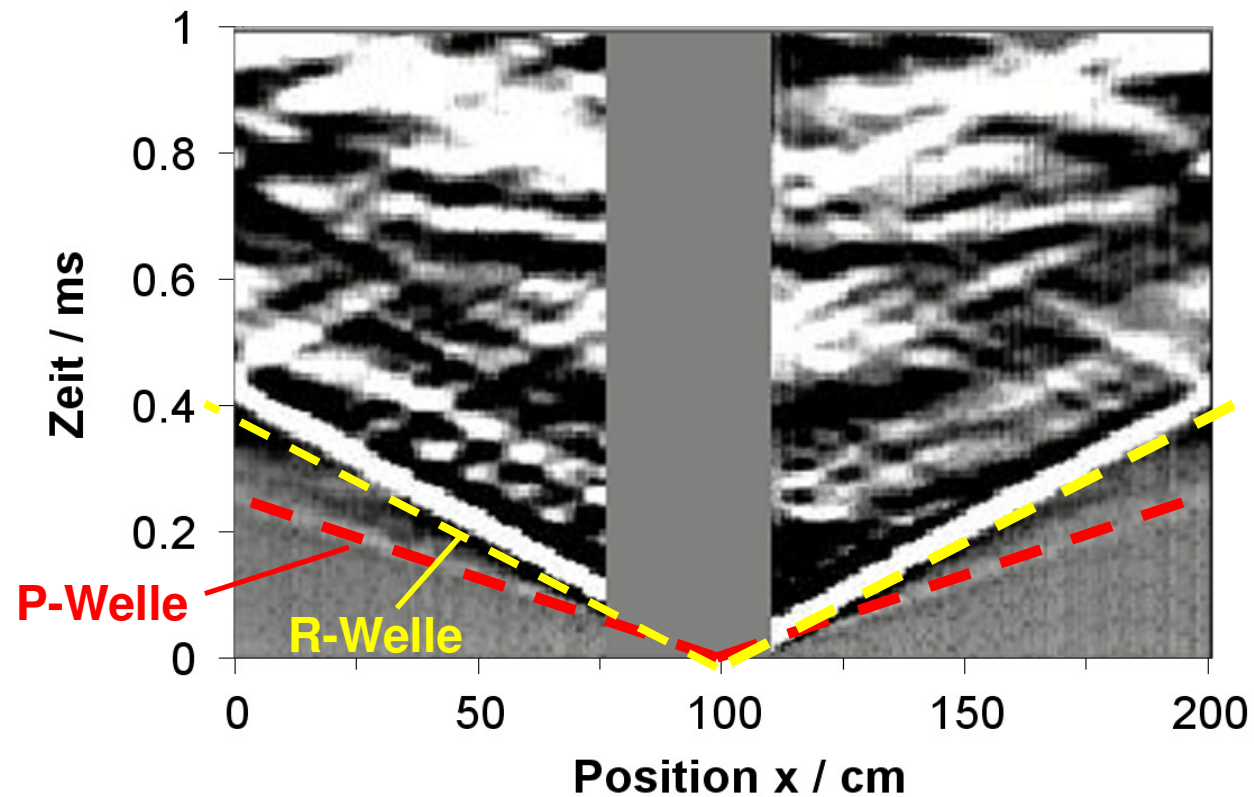


Rückseite

FOR 384

Wellenausbreitungsgeschwindigkeit

SVTI
ASIT



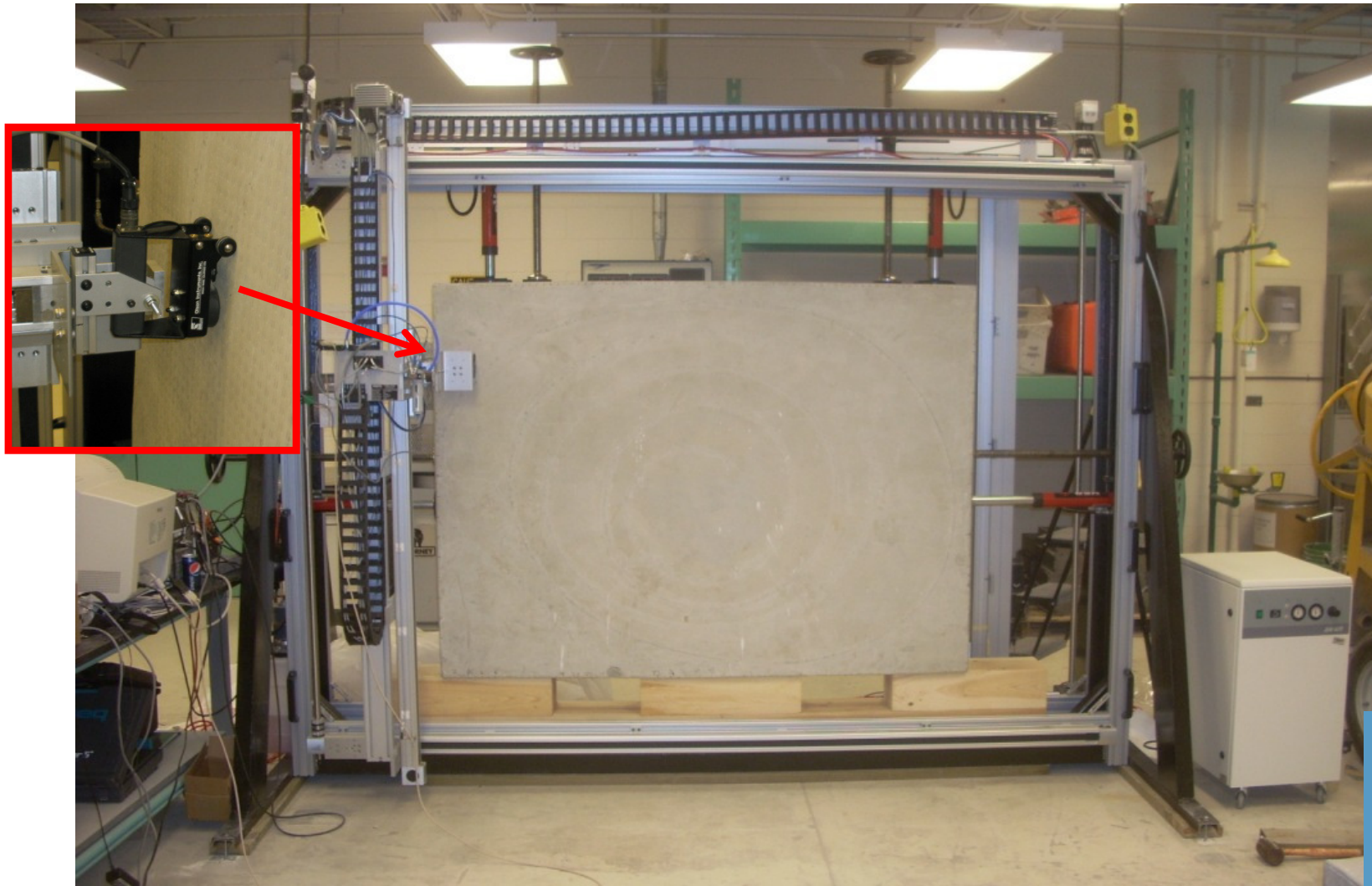
Impact stets an
gleicher Stelle



Schrittweise Verschiebung des Sensors

Anwendung in IE-Messanordnung

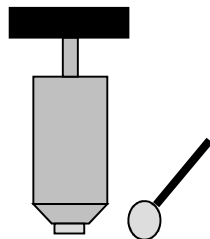
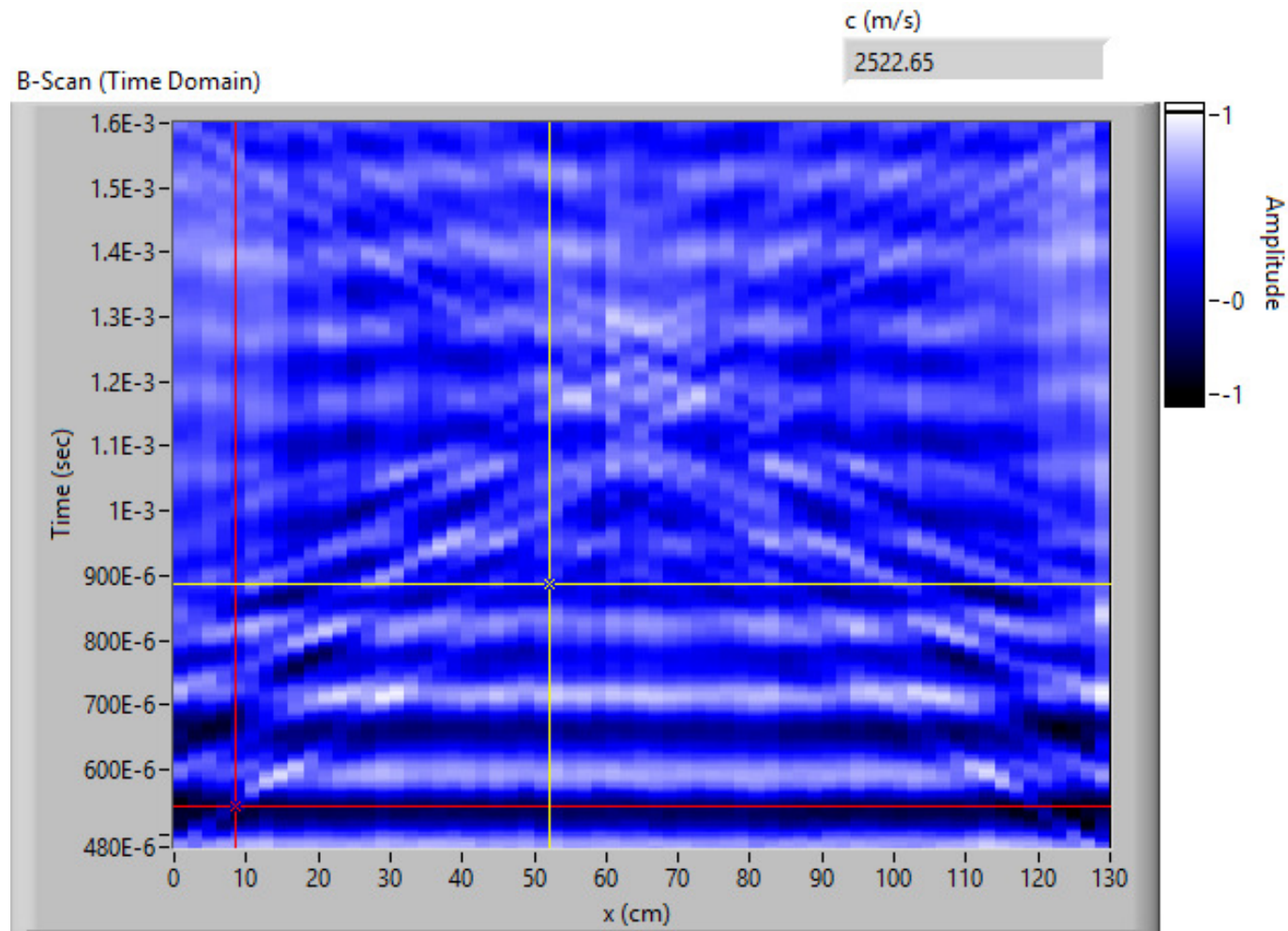
SVTI
ASIT



Automatisierte ZfP-Testeinrichtung des Florida Department of Transportation
(Gainesville, USA)

Bestimmung Rayleighwellengeschwindigkeit

SVTI
ASIT

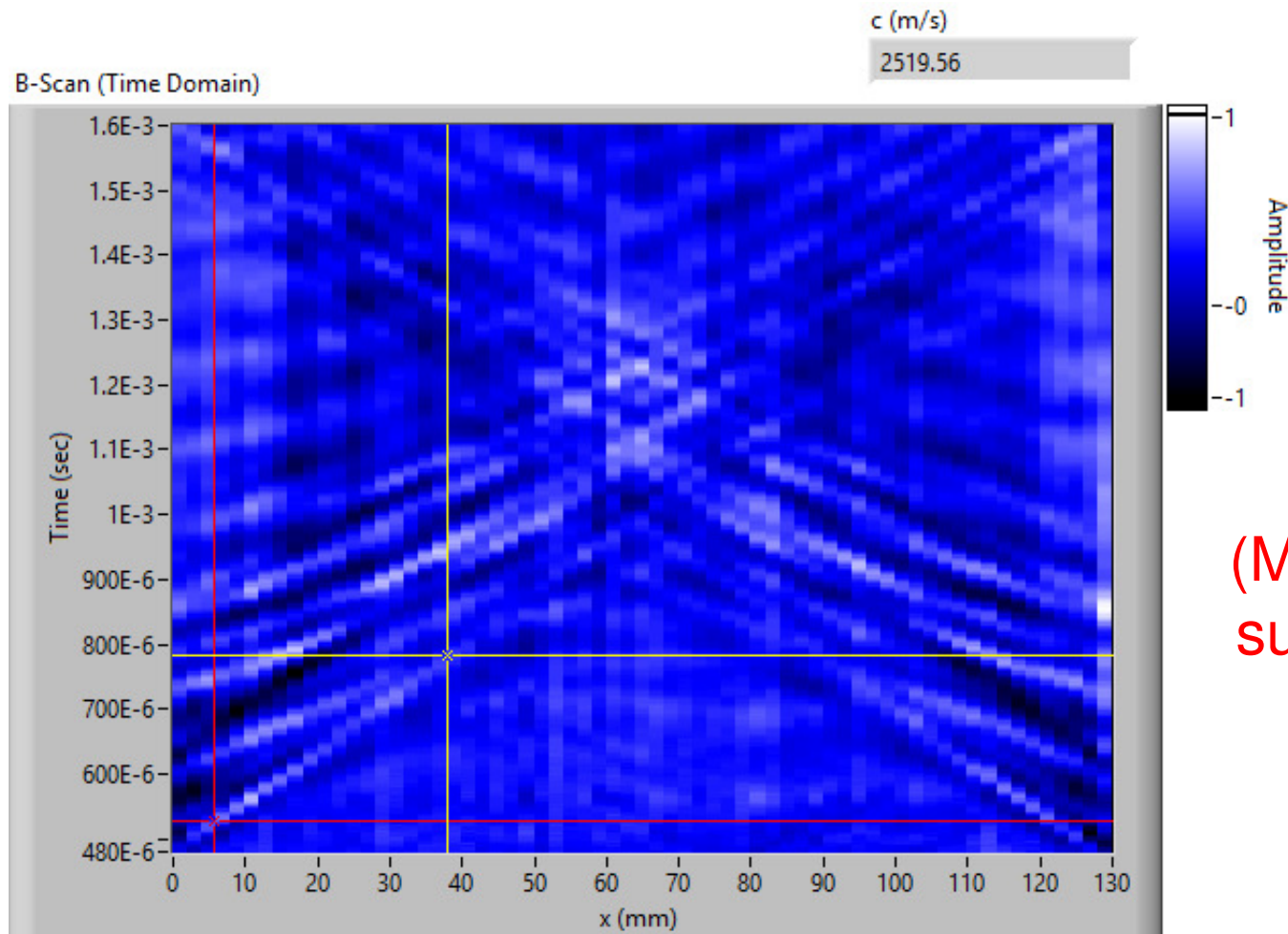


Impact-Echo
Scan

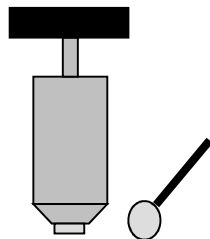


Bestimmung Rayleighwellengeschwindigkeit

SVTI
ASIT



(Mittelwerts-
subtraktion)

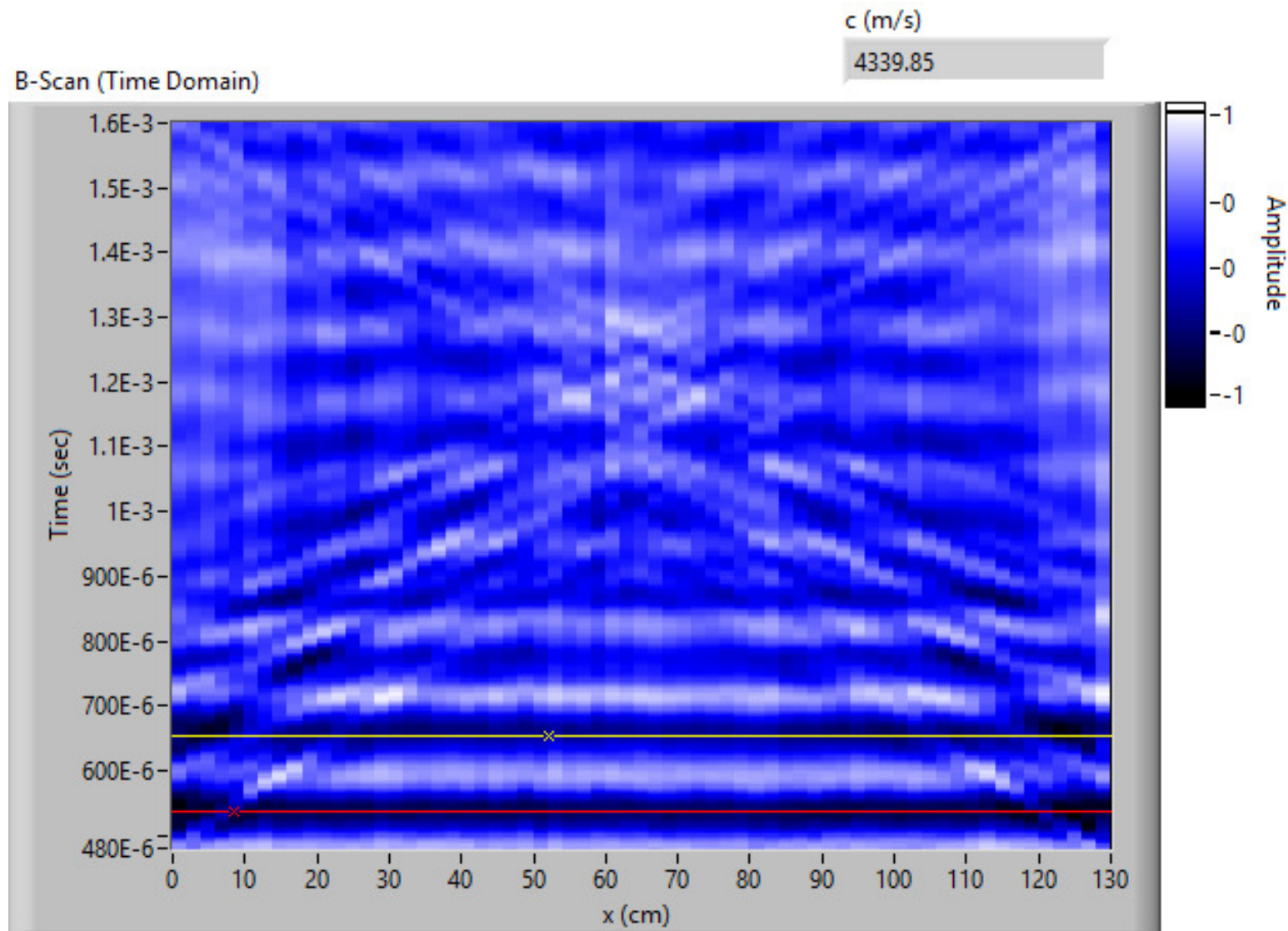


Impact-Echo
Scan



Bestimmung Longitudinalwellengeschwindigkeit(1)

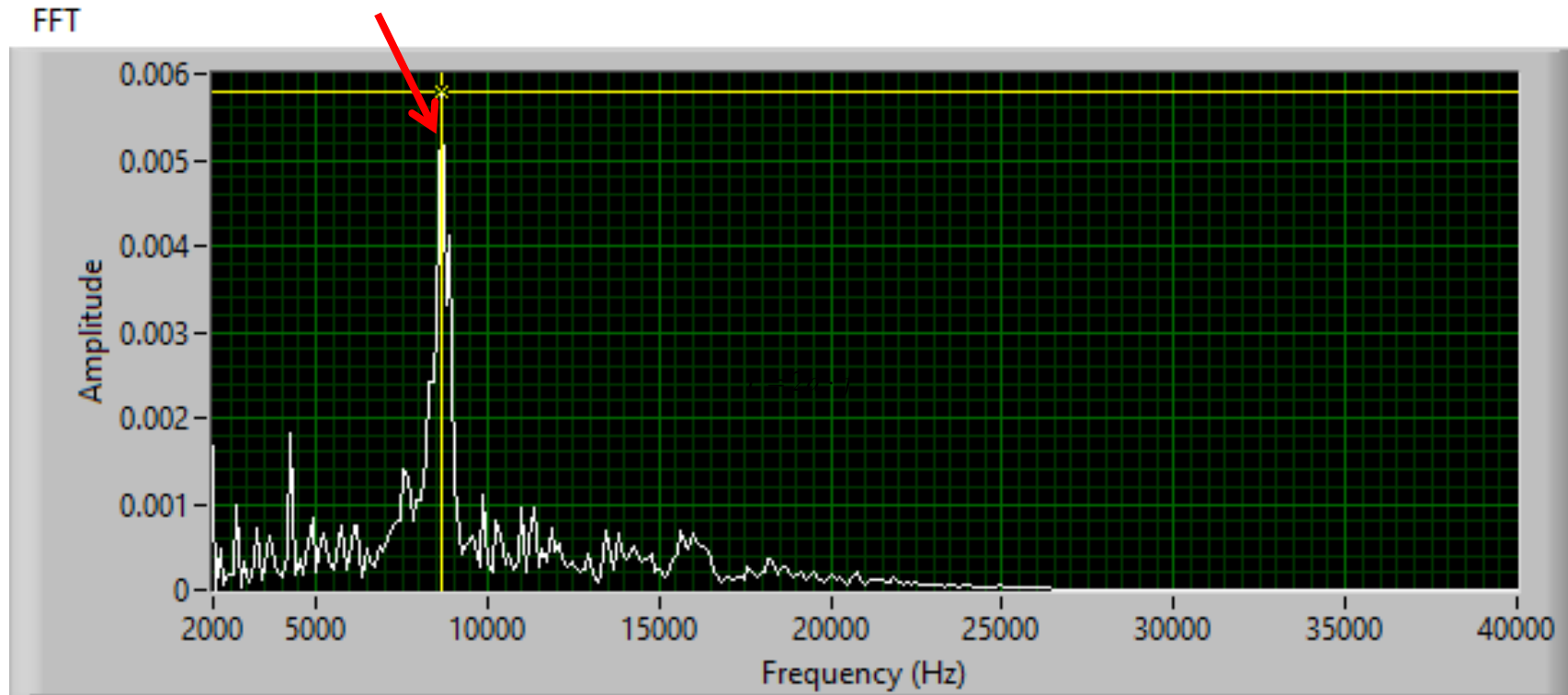
SVTI
ASIT



Bestimmung Longitudinalwellengeschwindigkeit(2)

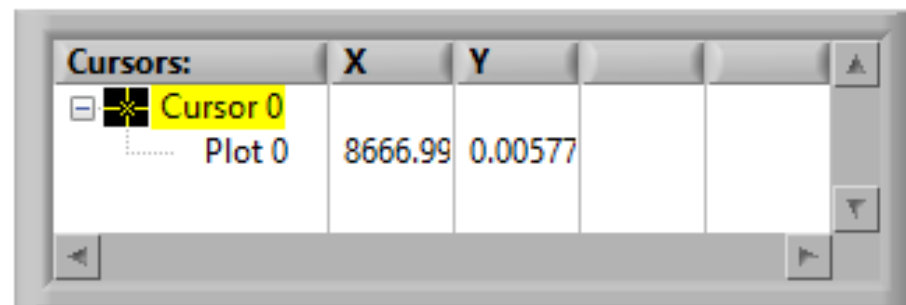
SVTI
ASIT

Dickenanzeige



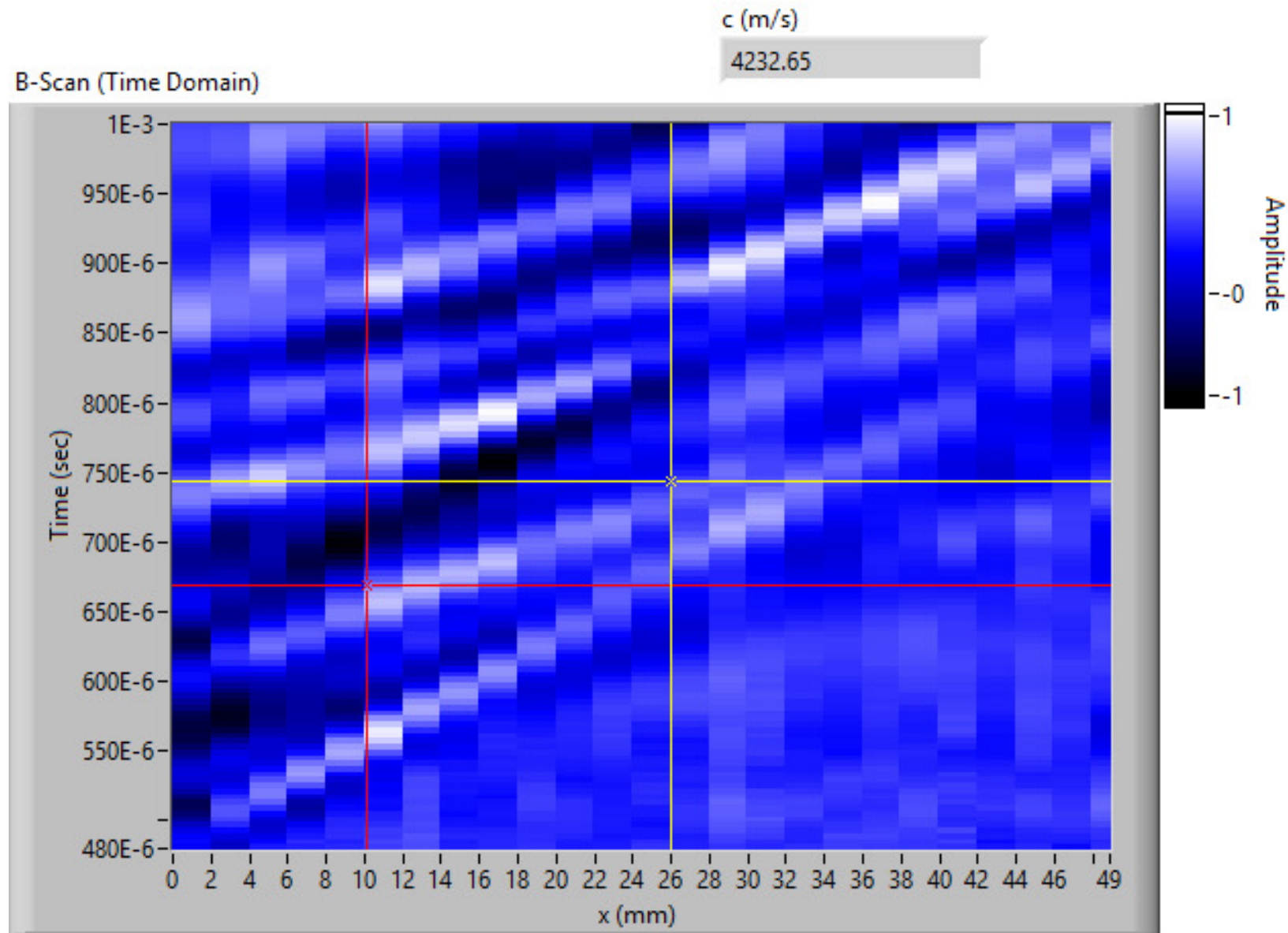
Frequenzspektrum:

$$c = 2d \cdot f$$



Bestimmung Longitudinalwellengeschwindigkeit(3)

SVTI
ASIT



$$c_L = \sqrt{\frac{E}{\rho} \cdot \frac{1-\nu}{(1+\nu)(1-2\nu)}}$$

$$c_R = \frac{0.87 + 1.12\nu}{1 + \nu} \sqrt{\frac{E}{\rho}} \frac{1}{2(1 + \nu)}$$

$$c_R = c_L \left(\frac{\sqrt{\frac{1-2\nu}{2-2\nu}}}{1.13 - 0.16\nu} \right)$$

- Bestimmung der Longitudinalwellengeschwindigkeit
- Hohe Abhängigkeit von Ortsgenauigkeit
- Bestimmung des dynamischen E-Moduls
- Begrenzte Eindringtiefe der Oberflächenwelle

- Zerstörungsfreie Ermittlung elastischer Eigenschaften
- Vorschlag eines auf dem Impact-Echo-Verfahren basierenden Ansatzes
- Nutzung von Longitudinal- und Oberflächenwellen nach Impact-Anregung
- Variante 1: Messung durch entsprechenden Abstand der Anregungsquelle von Sensor
- Variante 2: reguläre Impact-Echo-Anordnung, Auswertung im Zeitbereich

Merci vielmals