

US2

Scanverfahren der Ultraschalltechnik

Felix Symma

felix.symma@tu-dortmund.de

Joel Koch

joel.koch@tu-dortmund.de

Durchführung: 21.06.2022

Abgabe: 28.06.2022

TU Dortmund – Fakultät Physik

Inhaltsverzeichnis

1 Zielsetzung	3
2 Theorie	3
3 Durchführung	5
4 Auswertung	6
4.1 Bestimmung der Schallgeschwindigkeit in Acryl	6
4.2 Größe der der Störstellen	8
4.3 B-Scan eines Acrylblocks	8
4.4 B-Scan eines Brustmodels	10
5 Diskussion	11
Literatur	12
Anhang	13

1 Zielsetzung

In diesem Versuch sollen Scanverfahren der Ultraschalltechnik näher untersucht und angewendet werden.

2 Theorie

In einem Frequenzbereich von 16 kHz bis 20 kHz kann ein Mensch hören. Frequenzen oberhalb dieser Hörschwelle, etwa in einem Bereich von 20 kHz bis 1 GHz, werden *Ultraschall* genannt. Unterhalb dieser Grenze wird von *Infraschall* gesprochen. Die Frequenzen oberhalb des Frequenzbereiches des Ultraschalls werden als *Hyperschall* bezeichnet. Ultraschall wird mithilfe des *piezo-elektrischen Effektes* erzeugt. Ein piezoelektrischer Kristall wird dabei in einem elektrischen Wechselfeld so angeregt, dass er Ultraschall emittiert. Das Konzept kann auch umgekehrt genutzt werden, sodass ein piezoelektrischer Kristall als Empfänger für Ultraschall verwendet wird.

Schall ist eine longitudinale Welle, die sich durch Druckschwankungen ausbreitet und mit der folgenden Gleichung beschrieben werden kann,

$$p(x, t) = p_0 + v_0 Z \cos(\omega t - kx). \quad (1)$$

Dabei steht Z für die *akustische Impedanz* und kann durch die Dichte ρ des durchschriftenen Mediums und der Schallgeschwindigkeit in diesem Material v mit $Z = \rho \cdot v$ beschrieben werden. Wie jede Welle auch, weist eine Schallwelle Reflexions- und Beugungseigenschaften auf. Die Phasengeschwindigkeit einer Schallwelle ist allerdings materialabhängig. In Gasen und Flüssigkeiten breitet sich eine Schallwelle immer als Longitudinalwelle aus und die Schallgeschwindigkeit in einer Flüssigkeit ist von ihrer *Kompressibilität* κ und ihrer Dichte ρ abhängig,

$$v_{\text{Fl}} = \sqrt{\frac{1}{\kappa \cdot \rho}}. \quad (2)$$

In einem Festkörper dagegen breitet sich Schall infolge von Schubspannungen nicht nur als Longitudinalwelle, sondern auch als Transversalwelle aus. Die Schallgeschwindigkeit in einem Festkörper folgt zu,

$$v_{\text{Fe}} = \sqrt{\frac{E}{\rho}}, \quad (3)$$

wobei E das Elastizitätsmodul ist. Da bei der Schallausbreitung ein Teil der Energie in Form von Absorptionsprozessen verloren geht, nimmt die Intensität mit zunehmend zurückgelegter Entfernung x exponentiell ab,

$$I(x) = I_0 \cdot e^{\alpha x}. \quad (4)$$

Dabei ist α der materialabhängige Absorptionskoeffizient der Schallamplitude. Schall wird in Luft sehr stark gedämpft, weshalb zwischen dem Schallgeber und dem zu

untersuchenden Material häufig ein Kontaktmittel verwendet wird. Wenn eine Schallwelle auf eine Grenzfläche, zum Beispiel das Kontaktmittel, trifft, so wird ein Teil der Schallwelle reflektiert. Der Reflexionskoeffizient R wird dabei aus dem Verhältnis von reflektierter und einfallender Schallintensität gewonnen und lautet bei angrenzenden Materialien

$$R = \left(\frac{Z_1 - Z_2}{Z_1 + Z_2} \right)^2. \quad (5)$$

Der Transmittierte Anteil T lässt sich mit $T = 1 - R$ bestimmen.

Bei Ultraschallmessungen werden im Allgemeinen zwei verschiedenen Verfahren unterschieden. Das *Durchschallungs-Verfahren* und das *Impuls-Echo-Verfahren*.

Durchschallungs-Verfahren

Beim Durchschallungs-Verfahren wird mit einem Ultraschallsender ein kurzzeitiger Impuls ausgesendet und mit einem Ultraschallempfänger am anderen Ende der Messprobe detektiert. Befindet sich in der Probe eine dichtere Stelle, also eine Fehlstelle, dann wird eine abgeschwächte Intensität am Empfänger gemessen. Bei einem Loch in der Probe ist zwar die Fehlstelle nicht dichter, die Dämpfung in Luft ist aber höher, sodass auch hier eine Abgeschwächte Intensität gemessen wird. Eine Aussage über die Position der Fehlstelle kann nicht getroffen werden. In Abbildung 1 ist eine schematische Darstellung des Verfahrens und des *Laufzeitdiagrammes* einer Messung mit der Durchschallungs-Methode abgebildet.

Durchschallungs-Verfahren

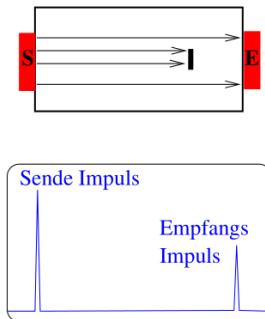


Abbildung 1: Schematische Darstellung des Durchschallungsverfahren [1].

Impuls-Echo-Verfahren

Beim Impuls-Echo-Verfahren wird der Ultraschallsender auch als Empfänger verwendet. Der ausgesendete Ultraschallimpuls wird an einer Grenzfläche reflektiert und wieder am Empfänger detektiert. Durch die Laufzeit des Ultraschalls kann bei der Impuls-Echo-Methode eine Aussage über die Position der Fehlstelle getroffen werden. Bei bekannter

Schallgeschwindigkeit wird die Lage der Fehlstelle durch die Gleichung

$$s = \frac{1}{2}vt \quad (6)$$

bestimmt. In Abbildung 1 ist eine schematische Darstellung des Verfahrens und des Laufzeitdiagrammes einer Messung mit der Impuls-Echo-Methode abgebildet.

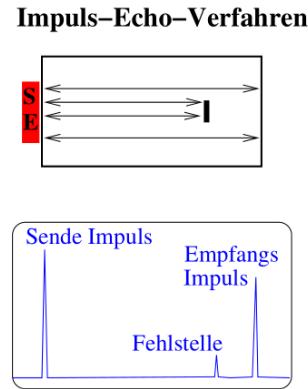


Abbildung 2: Schematische Darstellung des Impuls-Echo-Verfahrens [1].

Laufzeitdiagramme werden in verschiedenen Darstellungsarten für verschiedene Anwendungszwecke erstellt.

1. Der *Amplituden-Scan* (A-Scan) ist ein eindimensionales Verfahren zur Abtastung von Strukturen. Es wird die Amplitude gegen die Laufzeit dargestellt.
2. Der *Brightness-Scan* (B-Scan) ist ein zweidimensionales Verfahren, bei dem durch Bewegen der Sonde ein Bild aus Helligkeitsabstufungen erstellt wird.
3. Der *Time-Motion-Scan* (TM-Scan) erstellt durch schnelle Abtastung eine zeitliche Bildfolge, um zum Beispiel die Bewegungen eines Organes sichtbar zu machen.

3 Durchführung

Als erstes sollen mit einem A-Scan die Störstellen in einem Acrylblock bestimmt werden. Dazu wird der Acrylblock zunächst mit einer Schieblehre vermessen. Danach wird destilliertes Wasser als Kontaktmittel zwischen Ultraschallsonde und Acryl aufgetragen und der Acrylblock kann vermessen werden. Es wird eine Ultraschallsonde mit einer Senderfrequenz von 2 MHz verwendet. Nachdem der Block von einer Seite vermessen wurde, soll er auch von der gegenüberliegenden Seite noch einmal gemessen werden. Somit können die Durchmesser und die Positionen der Störstellen bestimmt werden. Als nächstes soll der Block noch einmal mit einem B-Scan abgemessen werden.

Als nächstes soll an einem Modell einer Brust die Lage und Größe verschiedener Tumore bestimmt werden. Dazu wird als erstes die Lage der zwei Tumore ertastet und die Gebiete

mit einem A-Scan näher untersucht, um die Geräteparameter genauer einzustellen. Hier wird als Kontaktmittel nun Ultraschallgel verwendet. Als letztes werden mit einem B-Scan entlang einer gedachten Linie die Tumore aufgenommen.

4 Auswertung

Die Schallgeschwindigkeiten in Wasser und Acryl sind durch

$$c_{\text{Acryl}} = 2730 \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

$$c_{\text{Wasser}} = 1480 \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

gegeben.

4.1 Bestimmung der Schallgeschwindigkeit in Acryl

Zunächst muss der Acrylblock mit Hilfe einer Schieblehre vermessen werden. Dabei ergeben sich für seine Höhe h , Länge l und Breite b

$$h = 80,5 \text{ mm},$$

$$l = 150,2 \text{ mm},$$

$$b = 40,2 \text{ mm}.$$

Die gemessenen Werte für die Tiefe s und den Durchmesser d der Störstellen im Acrylblock sind in Tabelle 1 zu finden.

Störstelle	s/mm	d/mm
1	6,7	2,9
2	14,5	2,9
3	22,6	2,9
4	30,5	2,9
5	38,6	2,9
6	45,8	3,9
7	53,7	4,9
8	61,2	6,0

Tabelle 1: Abstand und Durchmesser der Löcher von der unteren Kante aus gemessen.

Die durch den A-Scan bestimmten Laufzeiten t für die jeweiligen Störstellen sind in Tabelle 2 abgebildet.

Störstelle	t/μs
2	12,0
3	17,8
4	23,6
5	29,5
6	34,9
7	40,4
8	45,8

Tabelle 2: Laufzeiten der Störstellen.

Die Laufzeiten können nun gegen die jeweiligen Tiefen der Störstellen aufgetragen und anschließend eine lineare Regression durchgeführt werden. Dies ist in Abbildung 3 zu sehen.

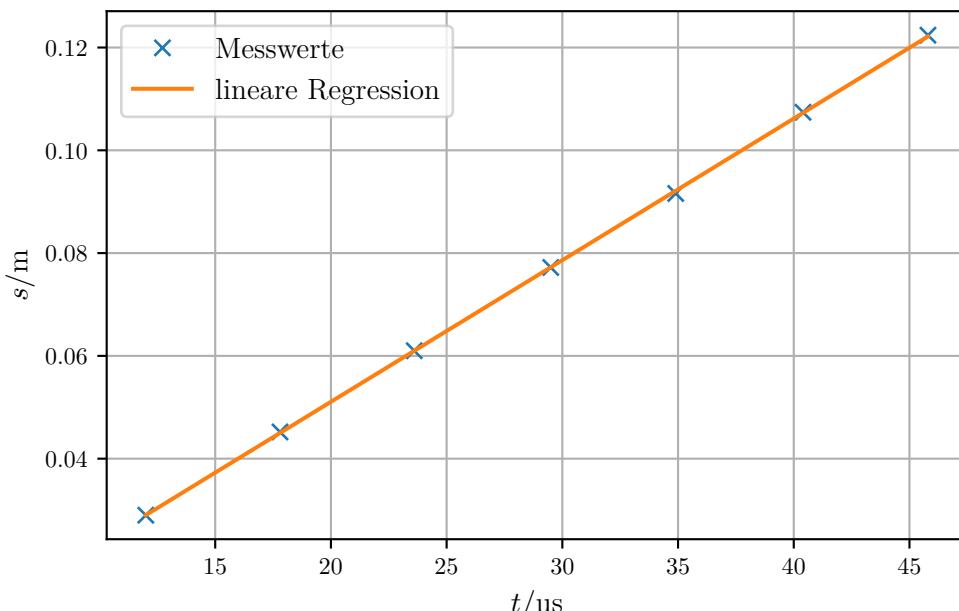


Abbildung 3: Laufzeiten in Abhängigkeit der Höhe des Acrylblocks abzüglich der Abstände zu den Störstellen und lineare Regression.

Gleichung (6) lässt sich zu einer linearen Regressionsformel der Form

$$2h = c \cdot t + b$$

umformen. Mit der gegebenen linearen Regression aus Abbildung 3 ergeben sich die

Werte

$$c = (2756,01 \pm 9,33) \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

$$b = (-4,06 \pm 0,29) \cdot 10^{-3} \text{ m}.$$

4.2 Größe der der Störstellen

Zusätzlich zu Tabelle 2 werden die Laufzeiten zur Bestimmung der Tiefe und Dicke der Störstellen erneut von der anderen Seite des Acrylblocks aufgenommen. Dies ist in Tabelle 3 dargestellt.

Störstelle	d/mm
2	46,9
3	41,2
4	35,4
5	29,6
6	23,3
7	17,1
8	10,9

Tabelle 3: Laufzeiten der Störstellen.

Aus Gleichung (6) kann die Strecke bis zur Störstelle berechnet werden. Aus den bestimmten Werte lassen sich die Dicken der Störstellen bestimmen. Die Dicken der Störstellen sind in Tabelle 4 zu finden.

Störstellen	d/mm
2	2,65
3	1,97
4	4,86
5	4,73
6	5,18
7	5,83
8	6,37

Tabelle 4: Dicke der Störstellen.

4.3 B-Scan eines Acrylblocks

Die Ergebnisse des B-Scans des Acrylblocks mit einer 2 MHz-Sonde sind in Abbildung 4 und Abbildung 5 dargestellt.

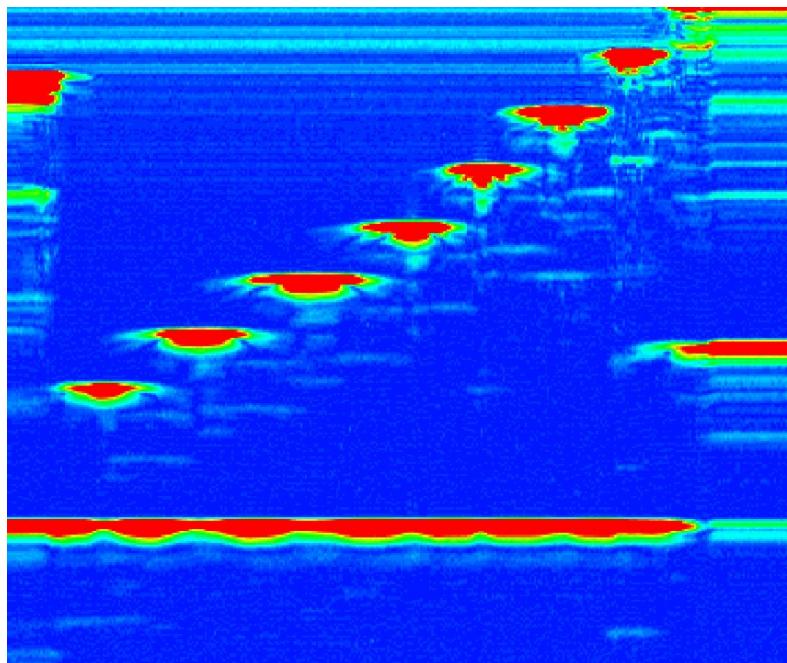


Abbildung 4: B-Scan des Acrylblocks von oben.

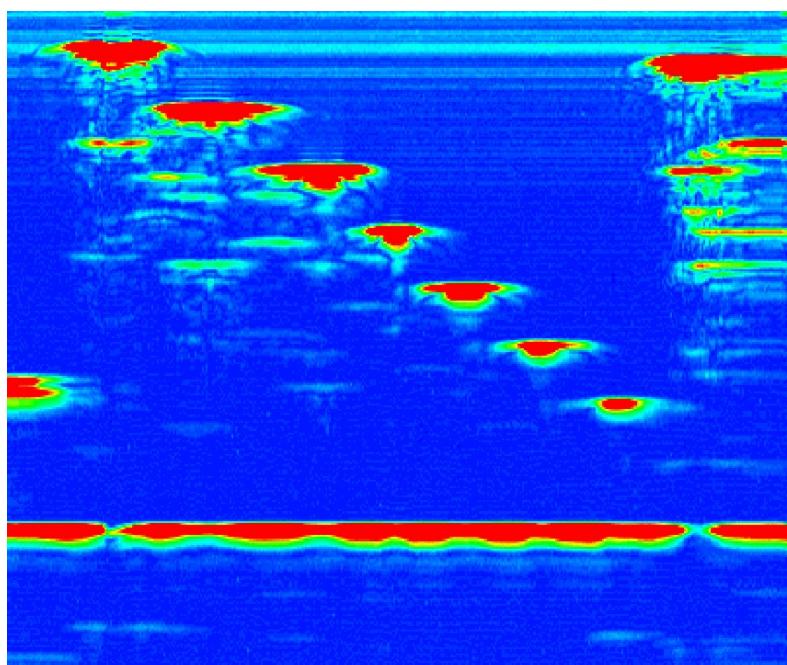


Abbildung 5: B-Scan des Acrylblocks von unten.

Aus den Ergebnissen des B-Scans lassen sich nun die Lagen der Bohrungen bestimmen.

Hierzu wird die Gleichung (6) verwendet. Die ermittelten Werte sind in Tabelle 5 dargestellt.

Störstellen	$t_{\text{unten}}/\mu\text{s}$	$t_{\text{oben}}/\mu\text{s}$	$s_{\text{unten}}/\text{cm}$	$s_{\text{oben}}/\text{cm}$	d/cm
1	12	42	1,4	5,5	0,109
2	14	43	1,7	5,7	0,068
3	45	8	5,9	0,9	0,123
4	40	16	5,2	2,0	0,082
5	32	20	4,1	2,5	0,136
6	25	27	3,2	3,5	0,136
7	20	38	2,5	5,0	0,054
8	16	40	2,0	5,2	0,082
9	12	42	1,4	5,5	0,109

Tabelle 5: Laufzeiten, Abstände und Dicken der Störstellen mit dem B-Scan ermittelt.

4.4 B-Scan eines Brustmodells

Beim Ertasten der Brust konnten zwei verschiedene Tumore erkannt werden. Diese konnten auch beide während des B-Scans gemessen werden. Eine der Messungen ist in Abbildung 6 dargestellt.

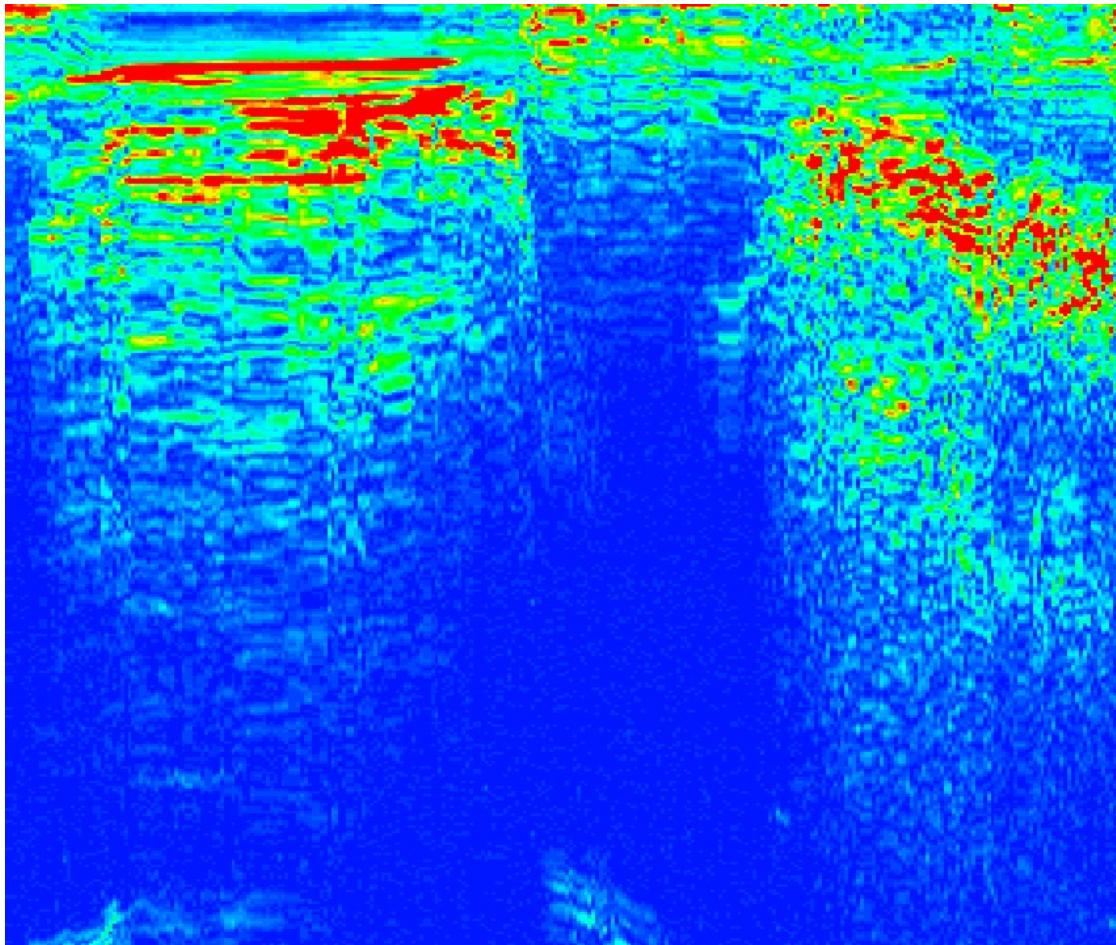


Abbildung 6: B-Scan der Brust.

Auf dem Scan ist deutlich zu erkennen, dass es sich um zwei separate Tumore handelt. Es ist jedoch auch nach mehreren Versuchen nicht zu bestimmen, um welche Art des Tumors es sich bei ihnen handelt. reli

5 Diskussion

Zusammenfassen kann man sagen, dass die Ergebnisse zufriedenstellend sind und sich mit den Erwartungen deken.

Für die Schallgeschwindigkeit in Acryl wurde ein Wert von 2756 m/s ermittelt. Dieser weicht um 0,95% vom Literaturwert von 2730 m/s ab.

Ansonsten ist zu Bemerken, dass die bestimmten Positionen und Größen der Störstellen für die Großen einen kleineren Fehler aufweisen, als für die Kleinen.

Bei der Untersuchung des Brustumodels konnte auch nach mehreren Versuchen keine Aufnahme erstellt werden, von der abzusehen war, um welche Art von Tumor es sich handelt. Obwohl ein gewisser Größenunterschied der Tumore zu spüren war, gelang es

nicht, diesen auch durch einen Scan sichtbar zu machen.

Literatur

- [1] Scanverfahren in der Ultraschalltechnik. TU Dortmund, Fakultät Physik. 2022.

Anhang

(152)		
Acrylblock:	80,5 mm Höhe 150,2 mm Breite 40,2 mm Tiefe	
1. Loch (links nach rechts; oben nach unten)		
6,7 mm tief	3,0 mm Durchmesser	
6,8 mm		
2. Loch 19,5 mm	2,8 mm	
3. 22,6 mm	2,8 mm	
4. 30,5 mm	"	
5. 38,86 mm	"	
6. 45,8 mm	3,9 mm	
7. 53,7 mm	4,9 mm	
8. 61,2 mm	6,0 mm	
Loch links unten:		
55,4 mm tief; 9,4 mm		
Körnergrößen ablesen:		
Schritt 1) $C = 2 \cdot 30 \frac{m}{s} \Rightarrow$ Impuls-Echo ($\frac{1}{2}$)		
Loch 2: Zeit 200 ns	von oben gemessen	
Zeit 200 ns		
Loch Zeit / μ s	Ampplitude / V	Verstärkung / dB
2 12,0	0,067	9,281
3 17,8	0,048	9,5
4 23,6	0,036	9,769
5 29,5	0,032	9,4
6 36,5		
7 40,9		
8 46,8		
von unten gemessen:		
Loch Zeit / μ s		
2 46,5		
3 41,2		
4 35,4		
5 29,6		
6 23,3		
7 17,1		
8 10,9		

Abbildung 7: Originale Messdaten.

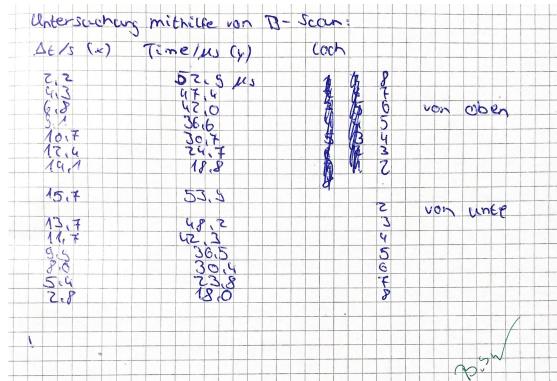


Abbildung 8: Originale Messdaten.