

Nr. US2

Scanverfahren in der Ultraschalltechnik

Sara Krieg
sara.krieg@udo.edu

Marek Karzel
marek.karzel@udo.edu

Durchführung: 23.04.2019

Abgabe: 30.04.2019

TU Dortmund – Fakultät Physik

Inhaltsverzeichnis

1	Theorie	3
2	Durchführung	4
3	Auswertung	5
3.1	Ausmessung des Acryl Blocks mittels A-Scan	5
3.2	Ausmessung des Acryl-Blocks mittels B-Scan	6
3.3	Bestimmung der Herzfrequenz und des Herzvolumens	9
4	Diskussion	11
5	Literaturverzeichnis	12

1 Theorie

Ziel des Versuches ist das kennenlernen und anwenden der Scanverfahren in der Ultraschallechographie. Im Zuge dessen werden Störstellen in einem Acrylblock vermessen und ein Modell eines menschlichen Herzens beobachtet.

Die Frequenzen des Ultraschalls von 20 kHz bis 1 GHz liegen über dem Hörbereich des Menschen von 16 kHz bis 20 kHz.

Schall beschreibt eine longitudinale Druckwelle

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

mit der akustischen Impedanz $Z = c\rho$, die von der Dichte des durchstrahlten Materials und dessen Schallgeschwindigkeit c abhängt. Auch die Schallgeschwindigkeit ist materialabhängig. In Gasen und Flüssigkeiten breiten sich Longitudinalwellen mit der von der Kompressibilität κ und Dichte ρ abhängiger Geschwindigkeit

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

aus. In Festkörpern breiten sich Longitudinalwellen mit der vom Elastizitätsmodul E abhängigen Schallgeschwindigkeit

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

aus. Auch Transversalwellen mit anderer Schallgeschwindigkeit sind hier möglich. Allgemein hängen Schallgeschwindigkeiten von der Wellenrichtung ab.

Ein Teil des Schalles wird bei seiner Ausbreitung absorbiert, somit gilt für die Intensität:

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

α beschreibt den Absorptionskoeffizienten der Schallamplitude

Zudem werden Schallwellen an Grenzflächen reflektiert. Der Reflektionskoeffizient

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

gibt das Verhältnis von einfallender und reflektierter Wellen,

der Transmissionskoeffizient $T = R - 1$ jenes einfallender und transmittierter Wellen an.

Eine Methode zur Ultraschallerzeugung stellt der piezo-elektrische Effekt dar. Dabei wird ein (Quarz-)Kristall durch ein wechselndes elektrisches Feld zur Schwingung angeregt und emittiert Ultraschallwellen. Besonders groß ist deren Amplitude, wenn die Anregung die Resonanzfrequenz trifft. Umgekehrt wird der Kristall auch verwendet, um Ultraschall zu detektieren, dadurch dass dieser zu einer messbaren Schwingung angeregt wird.

Verwendung finden bspw. in der Medizin Laufzeitmessungen des Ultraschalls, aus denen sich auf das zu durchquerende Material schließen lässt. Beim Durchschallungsverfahren wird Ultraschall ausgesendet nach Durchquerung einer Materialprobe wieder empfangen. Liegen im Material Störstellen vor, so wird an diesen eine geringere Intensität gemessen. Beim Impuls-Echo-Verfahren liegen Sender und Empfänger zusammen. Der Schall wird dazu am Ende der Probe an einer Grenzfläche reflektiert. Mit dieser Methode lassen sich die Größen möglicher Störstellen und bei bekannter Schallgeschwindigkeit auch deren Höhen

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

bestimmen. Zur Darstellung der Laufzeitdiagramme dienen die Darstellungsarten:

- A-Scan (Amplituden Scan): Ein eindimensionales Verfahren, bei dem die Echoamplituden eine Funktion der Laufzeit sind.
- B-Scan (Brightness Scan): Ein zweidimensionales Verfahren, bei dem durch Bewegung der Sonde ein Bild entsteht, in dem die Echoamplituden durch Helligkeitsabstufungen dargestellt sind.
- TM-Scan (Time-Motion Scan): Ein schnelles Verfahren zur Aufnahme von Bildfolgen.

2 Durchführung

Der Versuchsaufbau beinhaltet aus einem Ultraschallechoskop, Ultraschallsonden verschiedener Frequenzen, einem Computer zur Datenaufnahme und einem Kippschalter, der zwischen Durchschallung- und Impuls-Echo-Verfahren wechselt.

Zuerst wird ein Acrylblock (s. Abbildung 1) mit dem A-Scan untersucht. Die Abmessungen des Blockes werden mithilfe einer Schieblehre, darauf die Lage der Bohrungen mit dem Impuls-Echo-Verfahren, und deren Tiefe mit dem A-Scan aus verschiedenen Winkeln bestimmt. Angewendet wird das Impuls-Echo-Verfahren mit jeweils verschieden 1 MHz-, 2 MHz- und 4 MHz-Sonden, deren Signale am Computer ausgewertet werden. Dazu wird die Laufzeit mittels Cursorsen als Differenz zwischen den aufgenommenen Peaks gemessen. Als Koppelmittel wird destilliertes Wasser verwendet.

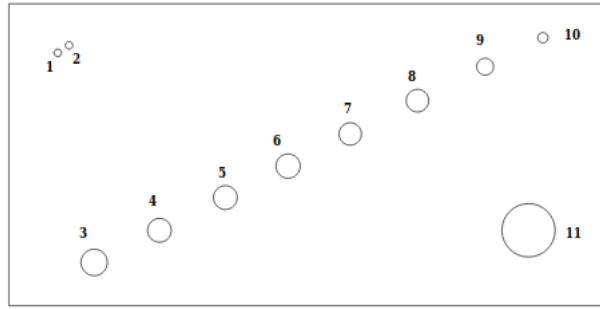


Abbildung 1: Querschnitt des zu vermessenden Acrylblocks mit nummerierten Störstellen [1]

Das Auflösungsvermögen wird durch die Messung zweier nebeneinanderliegender Bohrungen untersucht.

Zudem wird der Acrylblock mit dem B-Scan auf zwei gegenüberliegenden Seiten, diesmal aber nur mit der 2 MHz-Sonde untersucht. Dabei ist auf eine konstante Geschwindigkeit der Sondenbewegung zu achten. Auch hier wird als Koppelmittel destilliertes Wasser verwendet.

Zuletzt wird an einem Herzmodell der TM-Scan mit der 2 MHz-Sonde durchgeführt. Dieses wird zu einem Drittel mit Wasser gefüllt und ein A-Scan der Echolaufzeit durchgeführt. Dabei soll das Herzvolumen durch Luftdruckänderung an einer Membran vergrößert und verkleinert werden und der menschliche Herzschlag simuliert werden.

3 Auswertung

3.1 Ausmessung des Acryl Blocks mittels A-Scan

Die Ausmessung mittels einer Schieblehre führt zu den Daten, die in Tabelle 1 dargestellt sind.

Tabelle 1: Messdaten des Acrylblocks

	s / cm
Länge	15,000
Höhe	8,035
Breite	3,995

Der A-Scan liefert Laufzeiten, die den Ort der Fehlstellen angeben. Bei diesen ist zu beachten, dass zunächst die Laufzeit des Koppelmaterial und der Schutzschicht von den Ergebnissen subtrahiert werden müssen. Die Schutzschicht hat eine Dicke von 0,2 cm.

Aus diesen Laufzeiten werden die Abstände D_{oben} der oberen Enden der Fehlstellen zu dem oberen Ende des Blocks, sowie die Abstände D_{unten} der unteren Enden der Fehlstellen zu dem unteren Ende des Blocks bestimmt. Für diese Berechnung wird eine Phasengeschwindigkeit in Acryl von 2730 m/s im Weg-Zeit-Gesetz verwendet [2]. Zusammen mit der ermittelten Höhe des Blockes ergeben sich die Durchmesser der Fehlstellen D_{Loch} . Diese Werte finden sich in Tabelle 2.

Tabelle 2: Messdaten der Tiefenmessungen des Acrylblocks

Stelle	$t_1 / \mu\text{s}$	$t_2 / \mu\text{s}$	$D_{\text{oben}} / \text{cm}$	$D_{\text{unten}} / \text{cm}$	$D_{\text{Loch}} / \text{mm}$
9	48,5	14,1	6,25	1,56	2,25
8	42,6	19,6	5,44	2,31	2,80
7	36,6	25,1	4,63	3,06	3,48
6	30,2	30,5	3,75	3,80	4,85
5	24,3	36,3	2,95	4,59	4,98
4	18,6	42,0	2,17	5,37	4,98
3	12,7	47,9	1,37	6,17	4,98

Eine Aufnahme eines solchen A-Scans ist in Abbildung zu sehen.

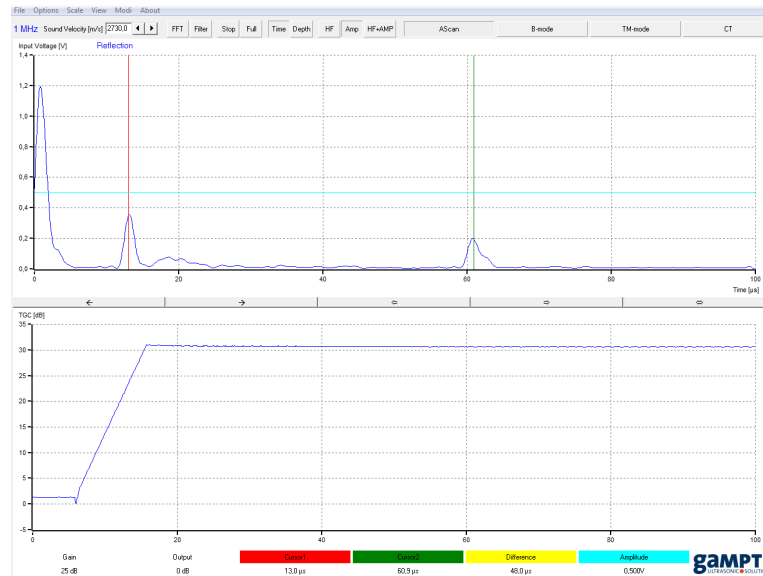


Abbildung 2: Beispielaufnahme eines A-Scans.

Außerdem sollten die Fehlstellen 1 und 2 genauer untersucht werden. Hierzu wurden sie mit verschiedenen Sonden unterschiedlicher Frequenz abgetastet. Die Ergebnisse sind in Abbildung 3, 4 und 5 zu sehen.

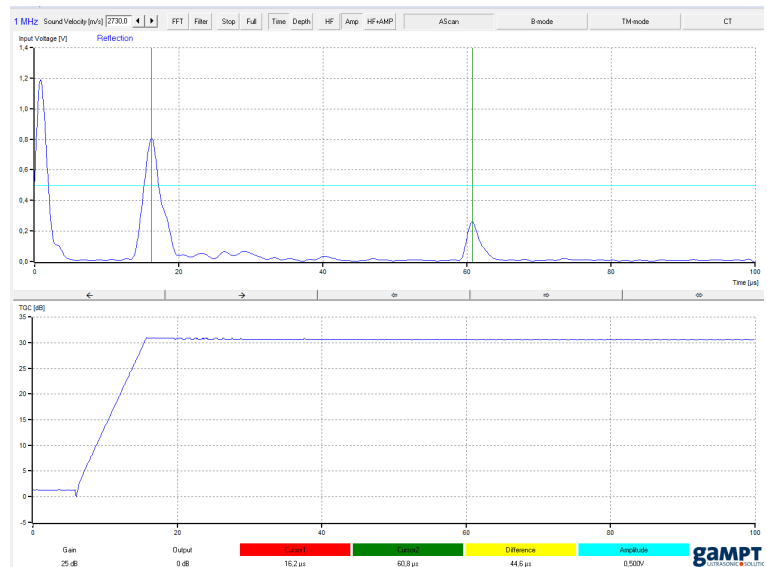


Abbildung 3: Aufnahme eines A-Scans mit einer Ultraschallsonde mit 1 MHz.

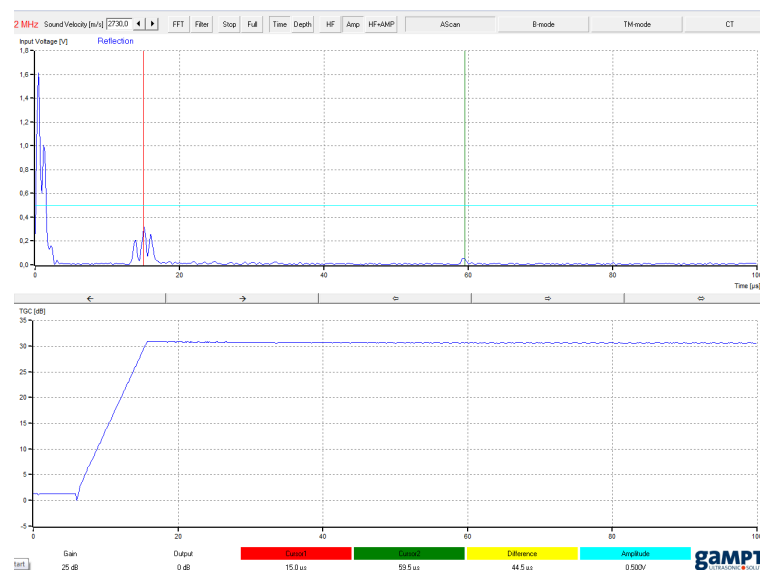


Abbildung 4: Aufnahme eines A-Scans mit einer Ultraschallsonde mit 2 MHz.

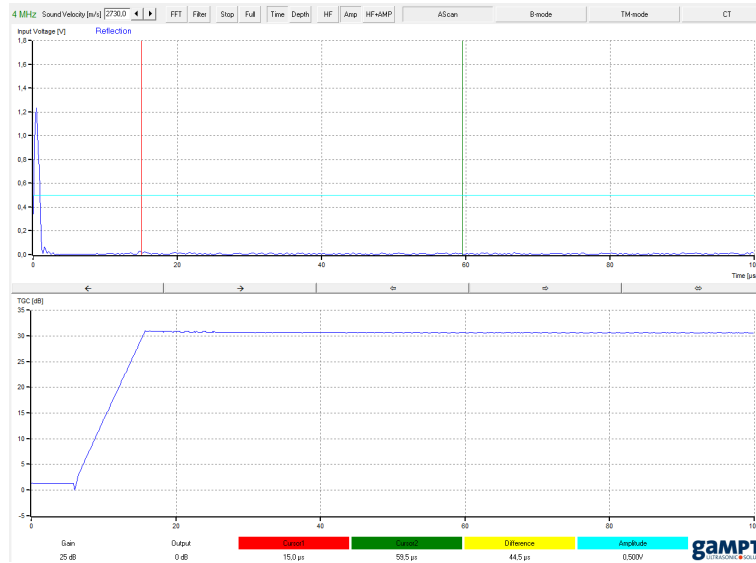


Abbildung 5: Aufnahme eines A-Scans mit einer Ultraschallsonde mit 4 MHz.

3.2 Ausmessung des Acryl-Blocks mittels B-Scan

Das Ergebnis des B-Scans von der Oberseite des Blocks ist in Abbildung 6 wiedergegeben; das des unteren in Abbildung 7.

Zunächst betrachten wir den Scan von oben. Aus diesem ergeben sich die Messwerte in Tabelle 3. Dabei werden wieder die Laufzeiten angegeben, deren Differenz und die daraus resultierenden Fehlstellendurchmesser.

Tabelle 3: Messdaten des ersten B-Scans.

Stelle	$t_o / \mu s$	$t_u / \mu s$	$\Delta t / \mu s$	D_{Loch} / mm
3	47,2	49,2	2,0	2,73
4	41,3	42,7	1,4	1,91
5	35,4	37,0	1,6	2,18
6	29,7	31,4	1,7	2,32
7	23,1	25,0	1,9	2,59
8	17,2	19,0	1,8	2,46
9	11,1	12,9	1,8	2,46

Analog ergeben sich die Messwerte in Tabelle 4 für die zweite Messung mittels B-Scans. Aus der Durchmessern werden die Mittelwerte bestimmt, welche in Tabelle 5 zu finden sind.

In der Diskussion werden die Ergebnisse aus A- und B-Scan verglichen.

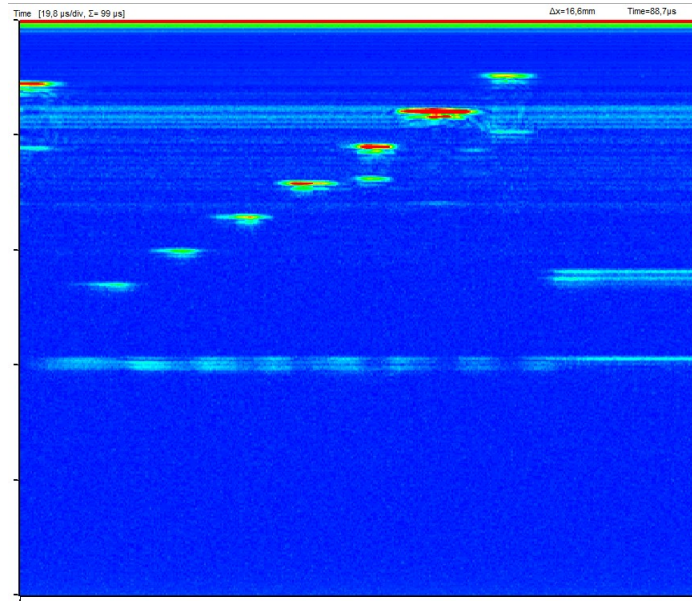


Abbildung 6: Ergebnis des B-Scans von oben.

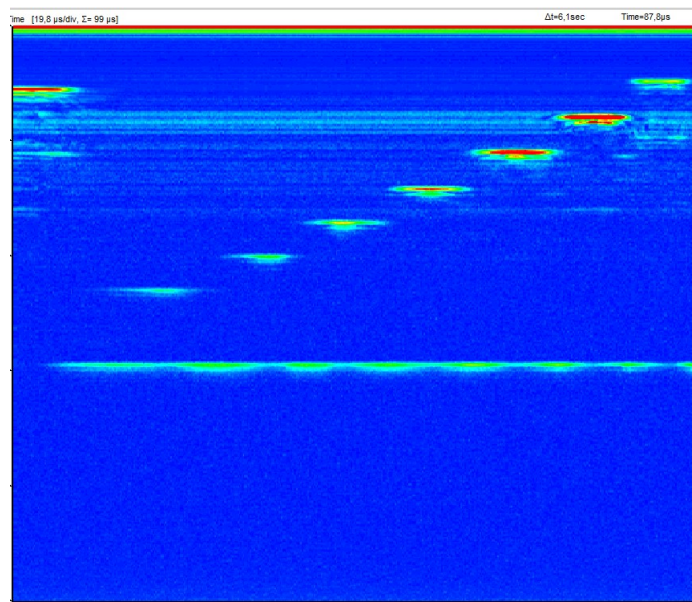


Abbildung 7: Ergebnis des B-Scans von unten.

Tabelle 4: Messdaten des zweiten B-Scans.

Stelle	$t_o / \mu\text{s}$	$t_u / \mu\text{s}$	$\Delta t / \mu\text{s}$	$D_{\text{Loch}} / \text{mm}$
3	11,1	13,0	1,9	2,59
4	17,2	19,4	2,2	3,00
5	23,8	25,6	1,8	2,46
6	29,4	31,5	2,1	2,87
7	35,4	37,2	1,8	2,46
8	41,2	42,8	1,6	2,18
9	47,2	48,2	1,0	1,37

Tabelle 5: Gemittelte Durchmesser der Fehlstellen.

Stelle	$D_{\text{Loch}} / \text{mm}$
3	$2,663 \pm 0,067$
4	$2,458 \pm 0,548$
5	$2,320 \pm 0,135$
6	$2,593 \pm 0,273$
7	$2,525 \pm 0,070$
8	$2,318 \pm 0,137$
9	$1,910 \pm 0,545$

3.3 Bestimmung der Herzfrequenz und des Herzvolumens

Ausgangspunkt der Messung der Herzfrequenz und des Herzvolumens ist der TM-Scan aus Abbildung 8.

Dabei ergibt sich die Amplitude zu

$$A = 54,8 \mu\text{s}.$$

Der zeitliche Abstand der Herzschläge beträgt

$$\Delta t = 1,4 \text{ s}.$$

Daraus ergibt sich eine Herzfrequenz von

$$f_{\text{Herz}} = 0,71 \text{ Hz}.$$

Der endsystolischer Durchmesser (ESD) wird mit der Formel

$$ESD = \frac{1}{2} \cdot c_{\text{Wasser}} \cdot A \quad (7)$$

zu

$$ESD = 4,07 \text{ cm}$$

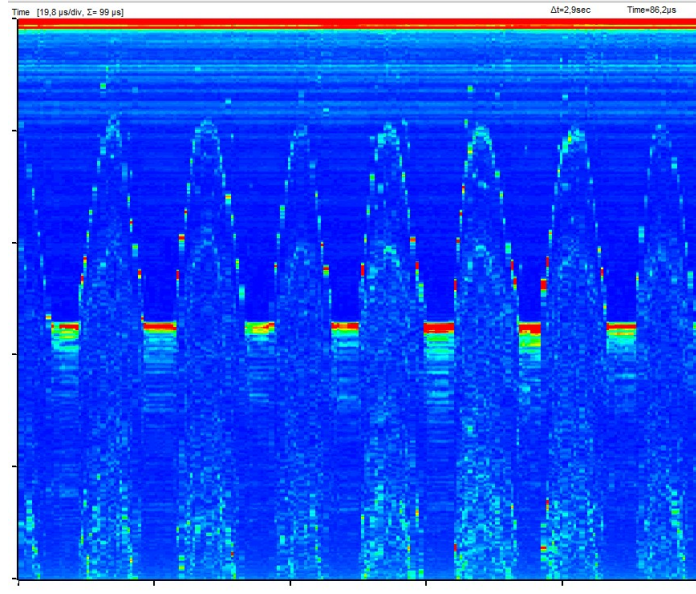


Abbildung 8: TM-Scan des schlagenden Herzmodells.

bestimmt. Damit lässt sich nun das Herzvolumen, welches auf eine Kugel mittels

$$V_{\text{Herz}} = \frac{4\pi}{3} \left(\frac{ESD}{2} \right)^3$$

genähert wird, zu

$$V_{\text{Herz}} = 35,3 \text{ mL}$$

berechnen.

4 Diskussion

Bei der Untersuchung der beiden kleinsten Fehlstellen ist auffällig, dass das Auflösungsvermögen der beiden Fehlstellen mit wachsender Frequenz geringer wird. Bei dem Vergleich der bestimmten Durchmesser der Fehlstellen fällt auf, dass die mit dem B-Scan bestimmten Werte im Vergleich zu den mit den A-Scan bestimmten Werte meist größer sind. Im Mittel ergibt sich eine Differenz von 0,87 mm, was bei diesen Größenordnung einer recht großen Abweichung entspricht. In Tabelle 6 sind die Abweichungen der Ergebnisse des B-Scans von den Ergebnissen des A-Scans für jedes Loch aufgeführt.

Insgesamt wirkt der A-Scan allerdings zuverlässiger, da schon mit bloßem Auge ersichtlich ist, dass die Löcher von drei bis neun zunehmend kleiner werden. Beim B-Scan ist diese Tendenz, im Gegensatz zu den Ergebnissen des A-Scans, nicht zu erkennen. Desweiteren ist nicht klar, wieviel Laufzeit tatsächlich durch das Acryl erfolgte und wieviel durch das Sondenmaterial bzw. das Koppelmittel erfolgte. Außerdem kann auch die Dicke des

Tabelle 6: Abweichungen der Durchmesser des B-Scans von denen des A-Scans.

Stelle	
9	46,58 %
8	50,70 %
7	53,46 %
6	46,52 %
5	27,51 %
4	17,25 %
3	15,28 %

Koppelmittels variieren. Im Vergleich mit den Literaturwerten scheint das bestimmte Herzvolumen ein realistischer Wert zu sein.

5 Literaturverzeichnis

[1]: TU Dortmund. *Versuchsanleitung zu Versuch US2: Scanverfahren in der Ultraschall-technik.*

[2]: Schallgeschwindigkeit im Material. <https://www.olympus-ims.com/de/ndt-tutorials/thickness-gage/appendices-velocities/>. 22.04.2019