



ARTA - APPLICATION NOTE

No 9: Automatic directivity measurements with ARTA

Einleitung

Die gezielte Beeinflussung und die Beurteilung der Abstrahlcharakteristik eines Lautsprechers ist ein nicht unwesentliches Ziel bei der Entwicklung von Lautsprechern. Eine umfassende Darstellung und Bewertung der Zusammenhänge findet der interessierte Leser in dem sehr lesenswerten Buch von Floyd E. Toole: Sound Reproduction, Kapitel 18 - Objective Evaluations [01].

In der ARTA Application Note No. 6 sind die messtechnische Erfassung der Abstrahlcharakteristik sowie verschiedene Möglichkeiten der Auswertung der Messungen dargestellt. Ferner ist die Konstruktion eines einfachen Drehtellers ohne eigenen Antrieb enthalten.

Diejenigen, die häufiger Abstrahlcharakteristiken mit hoher Auflösung messen, wissen, dass es eine aufwändige, stupide Tätigkeit ist, die dennoch vom Ausführenden Konzentration erfordert, denn sonst sind schnell Winkel übersprungen oder gemessene Winkel und Filebezeichnung stimmen nicht überein.

Speziell für Vielmesser und Selbstbaugruppen wurde daher ein einfacher, nachbaubarer, kostengünstiger automatischer Drehteller entwickelt, der direkt mit ARTA kommunizieren kann.

An dieser Stelle geht unser Dank an Wim Huyghe (Software) und Ralf Grafe (Hardware), die wesentlich zum Gelingen des Projektes beigetragen haben.

Messungen mit dem automatischen Drehteller

Software für den Drehteller

Eine Installation der Drehteller-Software ist nicht erforderlich. Es müssen lediglich die Files aus der Datei RemoteControlRotaryTable.zip in das Verzeichnis kopiert werden, in dem sich ARTA.exe befindet. Nachfolgend eine Übersicht aller erforderlichen Dateien.

Name	Änderungsdatum	Typ	Größe
Log4Net	05.01.2016 22:45	Dateiordner	
log4net.dll	06.10.2011 20:44	DLL-Datei	281 KB
RotaryTableRemoteControl.exe	05.01.2016 22:45	Anwendung	104 KB
usbGenericHidCommunications.dll	05.01.2016 22:45	DLL-Datei	15 KB
WHAudio.RotaryTable.exe	05.01.2016 22:45	Anwendung	2.444 KB
WHAudio.USB_Framework.dll	05.01.2016 22:45	DLL-Datei	25 KB
WHAudio.Utils.dll	05.01.2016 22:45	DLL-Datei	13 KB
Arta.exe	20.12.2015 22:21	Anwendung	4.757 KB
RotaryTable.log	24.01.2016 11:46	Textdokument	2 KB

Vorbereitung der Messung

Zur Vorbereitung der Messung ist der Drehteller mit Strom zu versorgen und die Verbindung mit dem Computer per USB Kabel herzustellen.

Als Stromversorgung eignet sich ein 12V/3A Netzteil oder ein 12V Bleigel-Akku. Ein voll geladener 12V/2,2Ah Akku hält bequem eine längere Messsession durch und macht uns darüberhinaus unabhängig vom Stromnetz. Sowohl bei Outdoormessungen als auch bei Messungen im RAR befreit uns das von der Verlegung langer Kabel.

Bis ca. 3m bis 4m funktioniert der Drehteller einwandfrei mit passiven USB-Verlängerungskabeln. Das sollte für die Messung in üblichen Wohnräumen reichen. Bei längeren Strecken zwischen



ARTA - APPLICATION NOTE

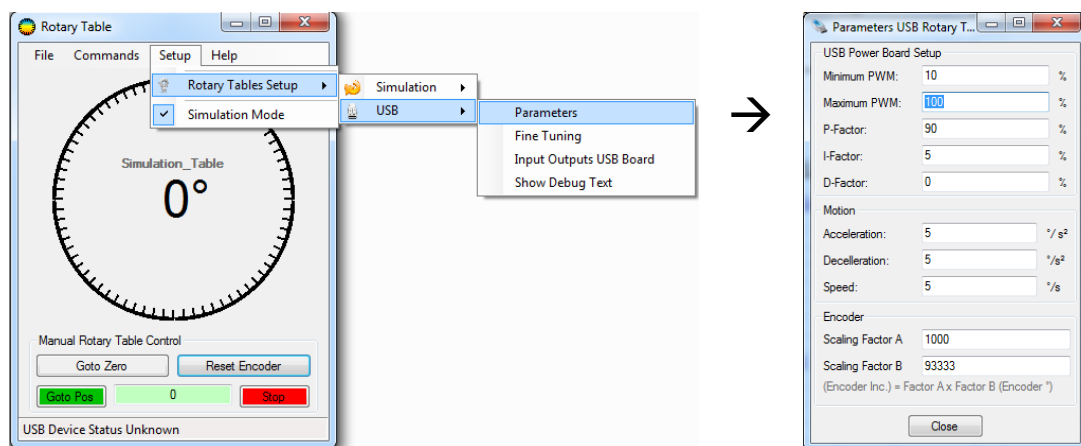
No 9: Automatic directivity measurements with ARTA

Computer und Drehteller ist ein USB-Booster erforderlich. Die USB-Booster sind im Fachhandel in Längen bis zu 25 m für 10,00 € bis 25,00 € erhältlich (z.B. USB-Repeater DIGITUS, Aktiv Verlängerung DELOCK).

Achten Sie beim Aufstellen des Drehtellers darauf, dass er sich ungestört drehen kann. Das schließt ein, dass alle Kabel zu den Lautsprechern die Drehbewegung mitmachen können. Falls mit einem Aufsatz mit Stützrolle (siehe Bild 1) gearbeitet wird, ist darauf zu achten, dass auch der Drehradius der Stützrolle frei von Hindernissen ist.

Optimierung der Betriebsparameter und Kalibrierung des Drehtellers

Wie bereits ausgeführt, ist die hier vorgestellte Konstruktion in weiten Grenzen variabel. Je nach Wahl des Encoders, der Getriebeübersetzung oder evtl. auch des Ritzels sind entsprechende Anpassungen erforderlich. Die Anpassung bzw. Optimierung der Betriebsparameter und die Kalibrierung werden im Programm WHAudio.RotaryTable.exe vorgenommen.



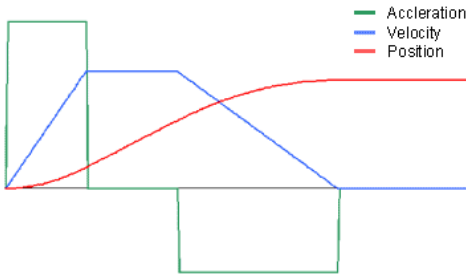
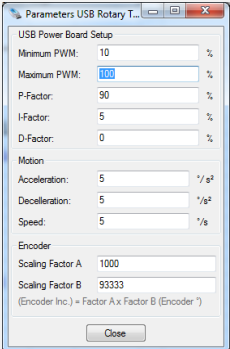
Über Setup → Rotary Tables Setup → USB gelangt man zum Menüpunkt „Parameters“. Die dort vorzufindenden Betriebsparameter werden im folgenden erläutert.

Minimum PWM 0 – 100%	Die erforderliche Leistung, um den Drehteller zu bewegen. Der Wertebereich ist 0% bis 100%. Dieser Wert ist nicht besonders kritisch, selbst wenn er bei Null belassen wird, sollte der Drehteller einwandfrei laufen. Ermittlung des korrekten Wertes: Die Parameter Minimum und Maximum PWM werden von Null ausgehend solange erhöht, bis sich der Drehteller beginnt zu bewegen.
Maximum PWM 0-100%	Zur Begrenzung der Ausgangsleistung der Steuerungsplatine zum Motor kann es sinnvoll sein, Maximum PWM zu begrenzen. Die Erfordernis kann man aus dem “Fine Tuning Menü” ableiten (siehe weiter unten).
P-Factor 0-100%	Proportionaler Term des internen PID Controllers (Proportional – Integral – Derivative Controller) siehe hierzu auch http://en.wikipedia.org/wiki/PID_controller . Anmerkung: Die oben gezeigten Parameter sind geeignete Startwerte zu weiteren Optimierung.
I-Factor 0-100%	Integraler Term des internen PID Controllers.
D-Factor	Derivative Term des internen PID Controllers.

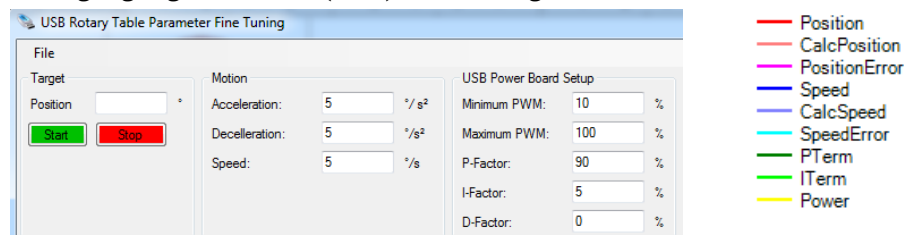


ARTA - APPLICATION NOTE

No 9: Automatic directivity measurements with ARTA

0-100% Acceleration (°/s²) Deceleration (°/s²) Speed (°/s)	Beschleunigungs-, Entschleunigungsfaktor und Geschwindigkeit Zur Verhinderung von abrupter Be-/Entschleunigung bzw. der Gefahr des Herunterfallens des Testobjektes vom Drehteller folgt der Drehteller nachfolgend gezeigtem Bewegungsprofil. 
Encoder Scaling Factor A Encoder Scaling Factor B	Die beiden Skalierungsfaktoren für den Encoder bestimmen die Winkelposition des Drehtellers. Für die Kalkulation müssen folgende Angaben bekannt sein: - n = Anzahl der Zähne des Ritzels - N = Anzahl der Zähne des Drehkranzes - U = Untersetzung des Getriebemotors - I = Anzahl der Impulse des Encoders pro Umdrehung Der Faktor A ist ein reiner Skalierungsfaktor und kann frei gewählt werden. Die Berechnung des Skalierungsfaktors B ist wie folgt: $\text{Scaling Factor B} = N/n \cdot U \cdot I/360 = \text{Impulse/}^\circ$ Beispiel: n = 11, N = 176, U = 131,25, I = 16 $\text{Scaling Factor B} = 176/11 \cdot 131,25 \cdot 16/360 = 93,333 \text{ p/}^\circ$ Da beide Faktoren nur ganzzahlig sein dürfen, sollte A = 1000 wegen der besseren Auflösung (Berücksichtigung von 3 Nachkommastellen) gewählt werden. Scaling Factor A = 1 und B = 93 oder für eine bessere Auflösung Scaling Factor A = 1000 und B = 93333. 

Die Optimierung der Parameter für die jeweilige konkrete Ausführung des Drehtellers wird durch das **Parameter Fine Tuning** Menü unterstützt. In diesem Menü können alle wesentlichen Bewegungssignale in Soll (Calc) und Ist verglichen werden.

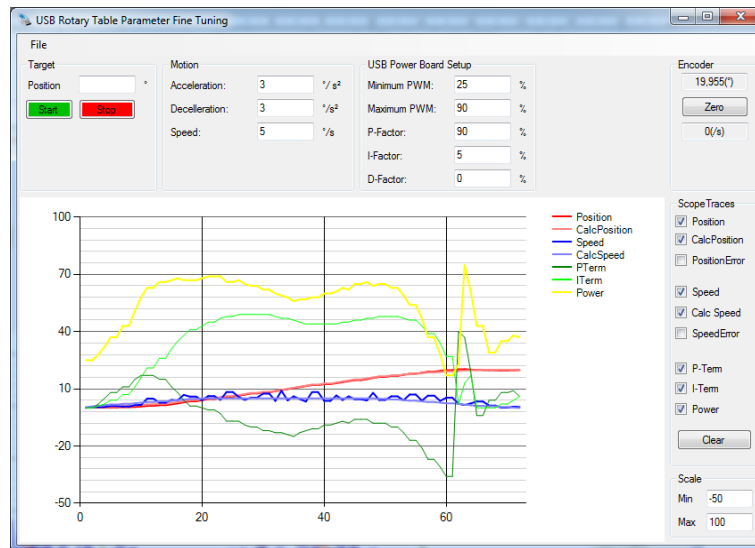


Dabei ist die Auswirkung der Veränderung einzelner Parameter wie P- und I-Factor direkt zu beobachten.

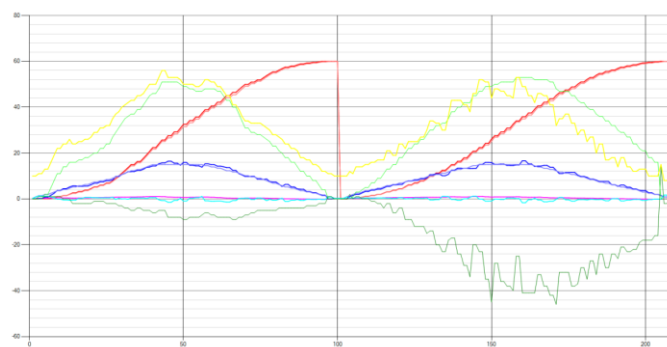


ARTA - APPLICATION NOTE

No 9: Automatic directivity measurements with ARTA

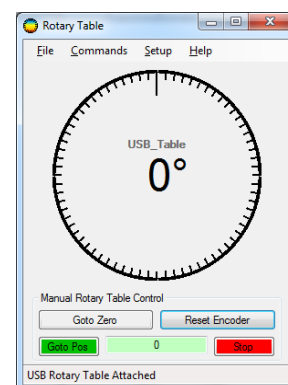
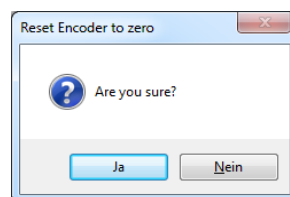
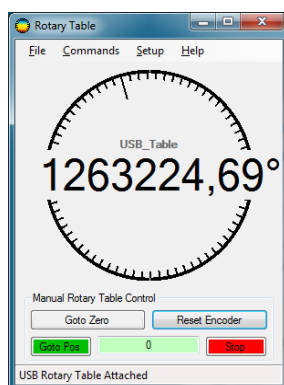


Wenn der Encoder zwischen zwei gleichen Drehtellerbewegungen auf Null gesetzt wird, sind die Auswirkungen der Parameterveränderung in einer Grafik direkt zu vergleichen.



Kalibrierung

Nach Eingabe der Grundparameter besteht die Kalibrierung des Drehtellers aus einem einfachen „Reset Encoder“. Nach Einschalten der Stromversorgung und Start von WHAudio.RotaryTable.exe erscheint das nachstehend linke Bild. Die etwas ungewöhnliche Winkelangabe signalisiert, dass der



Encoder ein Reset erwartet. Dies kann prinzipiell in jeder Position erfolgen, sollte sich jedoch an Markierungen auf dem Drehteller orientieren (Nullmarke). Nach dem Reset erscheint das

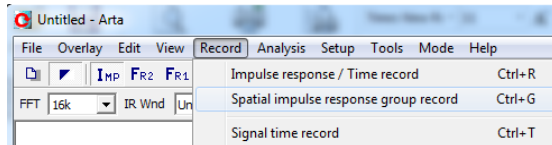


ARTA - APPLICATION NOTE

No 9: Automatic directivity measurements with ARTA

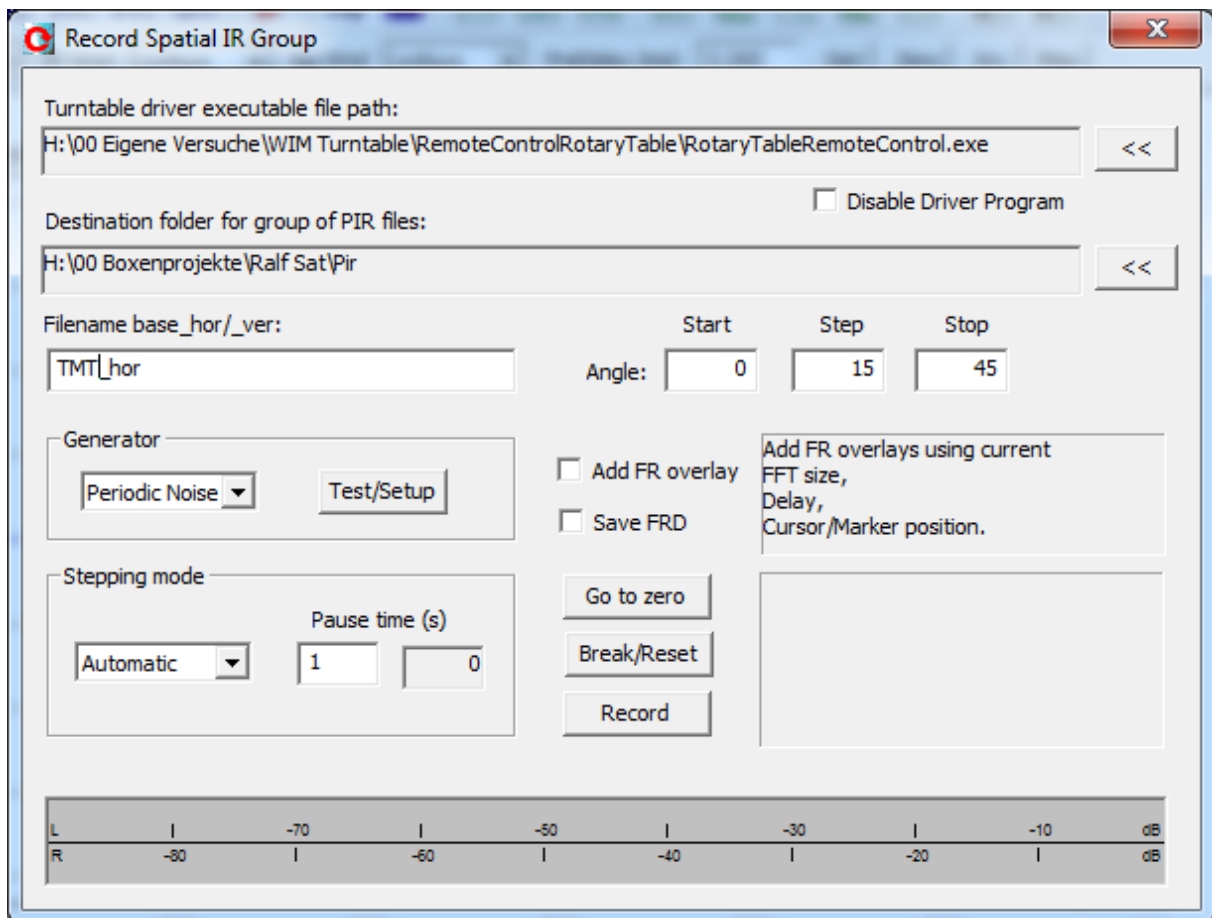
obenstehende rechte Teilbild. Diese Stellung des Drehtellers wird bis zum nächsten Reset oder Abschalten der Stromversorgung als Nullstellung gespeichert.

Durchführung der Messung



Die automatische Messung mittels Drehteller ist bei ARTA ab Version 1.8.5 im Menu „Record“ als „**Spatial Impulse Response Group Record**“ zu finden.

Nach der Aktivierung erscheint folgendes Menü:



Turntable driver exe file path	Angabe des Pfades, in dem das Programm RotaryTableRemoteControl.exe zu finden ist. In diesem Verzeichnis muss auch ARTA.exe liegen.
Destination folder for group pir files	In diesem Verzeichnis werden die Messfiles und die frd-Files abgelegt.
Filename base _hor/_ver	Basis des Dateinamens. Wird automatisch um die Winkelangabe ergänzt. Aus WaveguideA_hor wird also WaveguideA_hor_deg0, WaveguideA_hor_deg5, etc. hor/ver steht für horizontal/vertikal als Zusatzinformation. Vermeiden Sie im Basisnamen Ziffern, denn dies führt bei vielen Simulationsprogrammen zu Fehlern.
Start/Step/Stop	Startwert/ Schrittweite in Grad /Stopwert

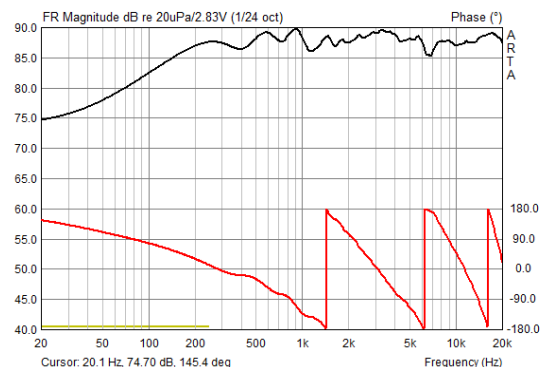
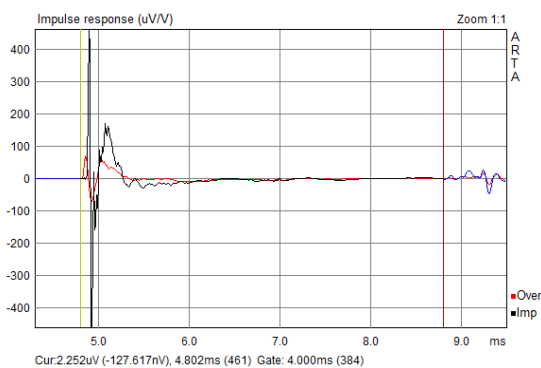


ARTA - APPLICATION NOTE

No 9: Automatic directivity measurements with ARTA

Add FR overlay	Wenn die Checkbox aktiviert ist, wird von jeder Messung ein Overlay gespeichert.
Save FRD	Wenn die Checkbox aktiviert ist, wird von jeder Messung das frd-File gespeichert (siehe Erläuterung weiter unten).
Generator	Wahl der Messsignals (PN, Swept Sine, MLS)
Test/Setup	Öffnet das Menü „Impulse Measurement/Signal Recording“
Stepping Mode	Automatisch oder Manuell
Pause Time	Pause zwischen zwei Messungen in Sekunden. Die Funktion wird für die manuelle Messung benötigt, da zwischen den Messungen der Drehteller von Hand bewegt werden muss.
Go to Zero	Positioniert den Drehteller auf Null Grad
Break/Reset	Unterbricht eine laufende Messung
Record	Startet eine Messreihe
Show Driver	Wenn die Checkbox aktiviert ist, bleibt WHAudio.TurnTable.exe geöffnet
Disable Driver Program	Deaktiviert WHAudio.TurnTable.exe für eine manuelle Messung

Sofern während der Messung die FRD-Files für die Weiterverarbeitung/Simulation mit Drittprogrammen gespeichert werden sollen, ist vor Start der Messreihe das Messfenster zu bestimmen. Dafür werden die zwei Extrempositionen des gewünschten Messbereichs mit dem Drehteller manuell angefahren und in der Impulsantwort Cursor und Marker so gesetzt, dass weder der erste Impuls beschnitten noch Teile der ersten Reflexion zum Bestandteil des Fensters werden. Im nachfolgenden Bild sind beispielhaft die Impulsantworten für 0° (schwarz) und 90° (rot) dargestellt. Es ist gut zu sehen, dass der 90°-Impuls vor dem 0°-Impuls beginnt. Eine Positionierung aufgrund nur einer Messung kann zu Fehlern beim Export führen.



Abschließend sind zwei weitere wichtige Punkte vor der automatischen Messung mit FRD-Export zu beachten:

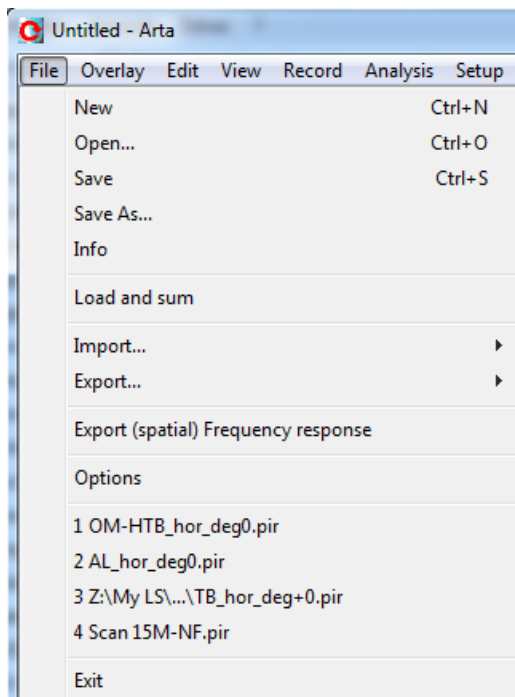
- In der Smoothed Frequency Response Darstellung muss die Option M+P (Magnitude + Phase) aktiviert sein
- Im Menü „File load and import/export setup“ muss die Checkbox bei „Retain cursor and marker position“ aktiviert sein. Das Menü ist zu finden unter File → Options.



ARTA - APPLICATION NOTE

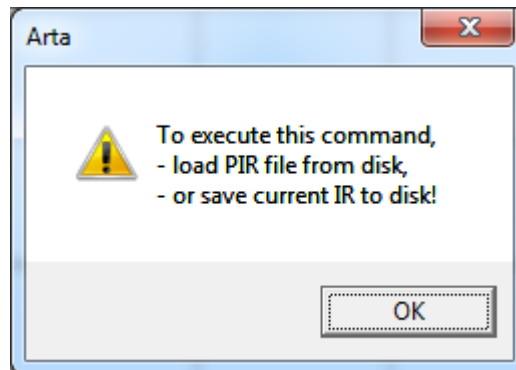
No 9: Automatic directivity measurements with ARTA

Auswertung und Export von bereits durchgeführten Messungen

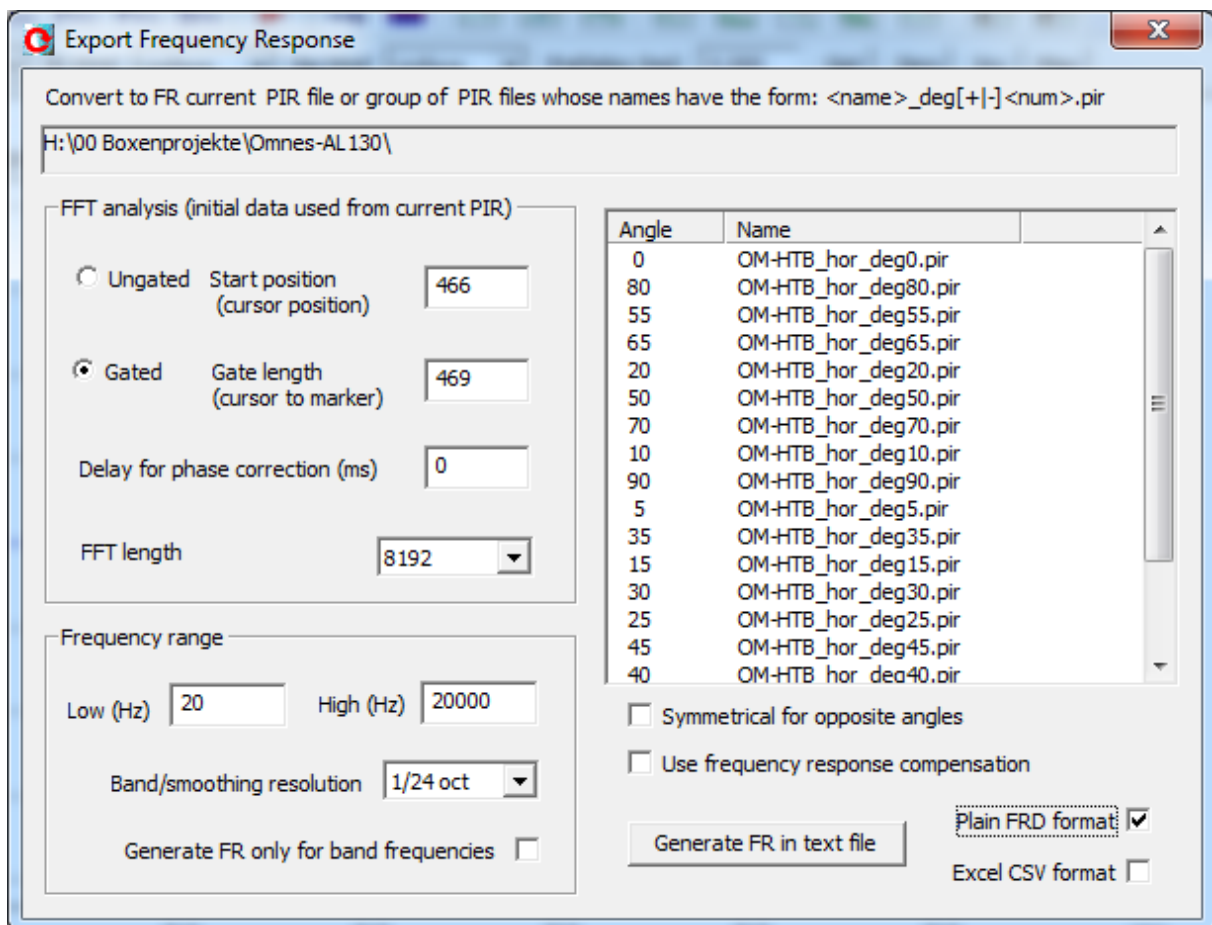


Der automatische Gruppenexport von Polarmessungen ist ab ARTA-Version 1.8.5 im Menu „File“ als „**Export spatial Frequency Response**“ zu finden.

Nach der Aktivierung des Menüpunktes erscheint folgende Meldung:



Bitte öffnen Sie eines der auszuwertenden Files oder speichern Sie das aktuelle File bevor der File-Export beginnen kann.





ARTA - APPLICATION NOTE

No 9: Automatic directivity measurements with ARTA

Sofern Sie bereits eines der Files aus der auszuwertenden Gruppe geöffnet haben, erscheint oben stehendes Menü. In der oberen Bereich des Menüs finden Sie die Angabe des Pfades, in dem die Messdaten liegen (Achtung, Konventionen für File-Bezeichnung beachten). In diesem Verzeichnis werden auch die Export-Files abgelegt (frd, txt, csv).

Wenn Sie ein Gate für den Datenexport nutzen wollen, setzen Sie bitte vor der Aktivierung des Export-Menüs Cursor und Marker!

FFT Analysis (initial data used from current PIR)	
ungated	Das aktuell geöffnete PIR-File wird ohne Gate ausgewertet
Gated, gate length (cursor to marker)	Das aktuell geöffnete PIR-File wird mit dem durch Cursor und Marker gekennzeichnete Gate ausgewertet.
Delay for phase correction	Delay zur Phasenkorrektur (siehe auch „Delay for Phase Estimation“ im Menü „Smoothed FR“)
FFT Length	Zeigt die FFT-Länge an

Frequency Range	
Low	Legt die untere Frequenzgrenze für den Datenexport fest
High	Legt die obere Frequenzgrenze für den Datenexport fest
Smoothing Resolution	Festlegung der Glättung
Generate FR only for band frequencies	Bei Aktivierung werden nur die Bandfrequenzen für die jeweilige Glättung exportiert (1/3 Oktave → 3 Stützpunkte/Oktave). Auch geeignet zur Reduzierung der Datenmenge.

Symmetrical for opposite angles	Bei Aktivierung werden die Daten gespiegelt. Achtung, nicht verwenden, wenn bereits Messdaten mit positiven und negativen Winkeln vorliegen.
Use frequency response compensation	Bei Aktivierung wird die Mikrofonkorrektur für den Datenexport verwendet.
Generate FR in text file	Daten werden als txt-File exportiert
+ Plain frd format	Generate FR txt + Plain frd → Daten werden als frd-File exportiert
+ Excel csv format	Generate FR txt + Excel csv → Daten werden als csv-File exportiert



ARTA - APPLICATION NOTE

No 9: Automatic directivity measurements with ARTA

Konstruktion und Bau des Drehtellers

Zunächst eine wichtige Vorbemerkung: Die hier dargestellte Konstruktion ist auf möglichst geringe Abmessungen fokussiert. Dennoch ist sie mit wenigen Zusätzen auch für große und schwere Lautsprecher - sowohl für Horizontal- als auch für Vertikalmessungen - geeignet.

Für Outdoor-Messungen mit unebenem Boden oder für Messungen im RAR mit Gitterboden sollte man besser eine größere Variante bauen, auf der das Messobjekt ohne Zusatz mit Stützrolle sicher positioniert werden kann. Die große Variante hat den Vorteil, dass sich keine Bewegung außerhalb des Fußabdruckes des Drehtellers abspielt und somit weder Anschluss- noch Lautsprecherkabel durch das Stützrad gefährdet sind. Allerdings sollte das Drehlager z.B. durch zusätzliche Rollen am äußeren Rand der Auflage gestützt werden.

Das Konzept ist also mit Ausnahme der Lagerung und des Antriebskonzeptes frei gestaltbar, d.h. Außendurchmesser bzw. Größe der Auflagefläche kann nach Bedarf angepasst werden.

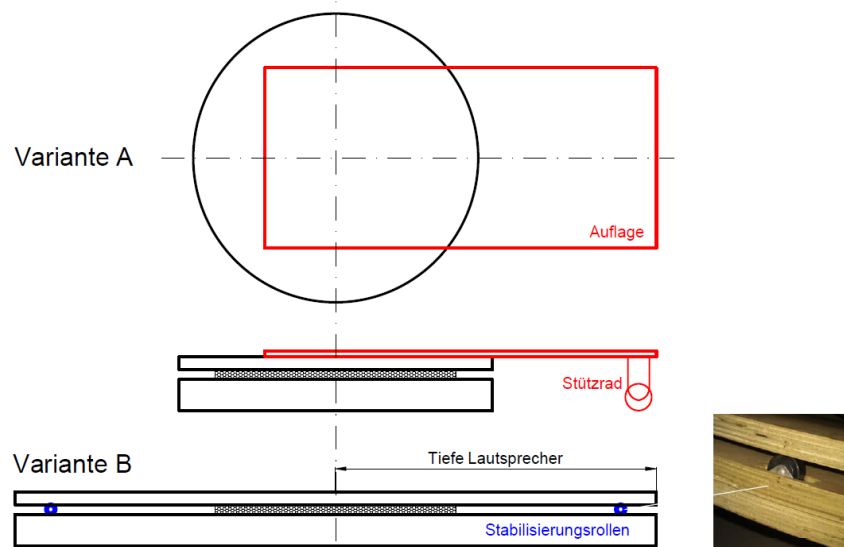


Bild 1: Konstruktive Varianten

Nachfolgend ist die Stückliste mit denjenigen Teilen abgebildet, die maßgeblich für die Konstruktion sind (Position 1 bis 5) mit Angabe möglicher Bezugsquellen. Die Kosten für Position 1 bis 5 betragen ca. 150,00 €.

Pos	Bezeichnung		Lieferant	Anzahl
1	Lager mit Zahnkranz 176 Z	Drehkranz 330.01	Hefter	1
2	Motor, Variante A	Getriebemotor 12VDC mit 64 CPR Encoder 80rpm (6mm Achse), Pololu	noDNA	0
3	Motor, Variante B	Getriebemotor-12VDC-84Kg-cm-28rpm-139-1-mit-Encoder, Phidgets	noDNA	1
4	Platine	Platine bestückt (http://www.m1n1.de/html/messung.html)		1
5	Ritzel 11 Z	Stirnzahnrad aus 11SMnPb30 mit Nabe Modul 1,5 11 Zähne Zahnbreite 15mm	Mädler	1
6	Aluwinkel	Halterung für Getriebemotor		1
7	USB Kabel	InLine® USB 2.0 Kabel, A an B, schwarz, Kontakte gold, 0,3m		1
8	USB Buchse	Neutrik NAUSB-W		1
9	Laborbuchse	4 mm, rot		1
10	Laborbuchse	4 mm, schwarz		1
11	Linsenkopfschraube	M3 x 6, Motorbefestigung		6
12	Sechskantschraube	M6 x 16, Befestigung Deckel - Drehkranz, Zahnradseite		6
13	Sechskantschraube	M6 x 35, Befestigung Boden/Zwischenringe - Drehkranz		6
14	Senkkopfschraube	M6 x 25, Befestigung Motorkonsole - Bodenplatte		2
15	Blindnietmutter	M6, Gewindebuchsen zur Befestigung von Aufbauteilen auf Deckel		4
16	Holz	MPX 18mm		1



ARTA - APPLICATION NOTE

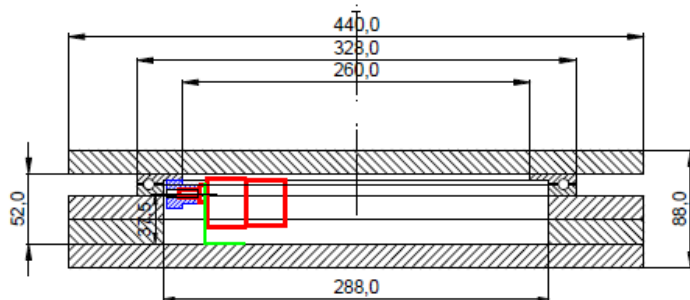
No 9: Automatic directivity measurements with ARTA

Bild 2: Stückliste

Für den Bau des Drehtellers werden neben gängigem Werkzeug wie Schraubendreher, Schraubenschlüssel und Seitenschneider folgende Werkzeuge benötigt:

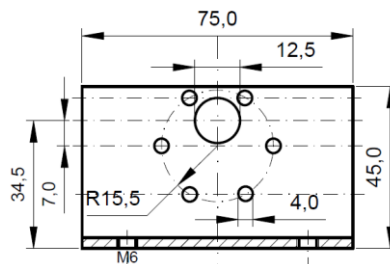
- Stichsäge oder besser Oberfräse
- Bohrmaschine
- Gewindebohrer M6
- LötKolben

Die mechanische Grundkonstruktion besteht aus einer Grundplatte, zwei Zwischenringen, dem Drucklager mit Zahnkranz und der Deckplatte.



Die Antriebseinheit besteht aus dem Getriebemotor mit Encoder und Befestigungskonsole, einem Ritzel sowie der Steuerungseinheit mit USB-Anschluss.

Mechanische Grundkonstruktion und Antriebseinheit sind so konstruiert, dass die in der Stückliste genannten Getriebemotoren ohne konstruktive Änderungen eingebaut werden können.



Wichtig ist dabei die Befestigung und Ausrichtung des Getriebemotors. Die Konsole für die Motorbefestigung muss solange ausgerichtet und ggf. unterfüttert werden, bis die Ritzel - Zahnkranzpaarung spielfrei läuft. Aufgrund der Fertigungstoleranzen beim Zahnkranz, der aus Aluminium-Druckguss besteht, ist

individuelle Anpassung erforderlich. Das Achsmaß von 34,5 mm ist also vor dem Bohren der Konsole zu prüfen.

Die Steuerungsplatine mit USB-Anschluss kann fertig aufgebaut inklusive dem programmiertem PIC bezogen werden (<http://www.m1n1.de/html/messung.html>). Die Verkabelung des Motors bzw. des Encoders mit der Steuerungsplatine erfolgt gemäß nachfolgender Tabelle bzw. nachfolgenden Bildern.

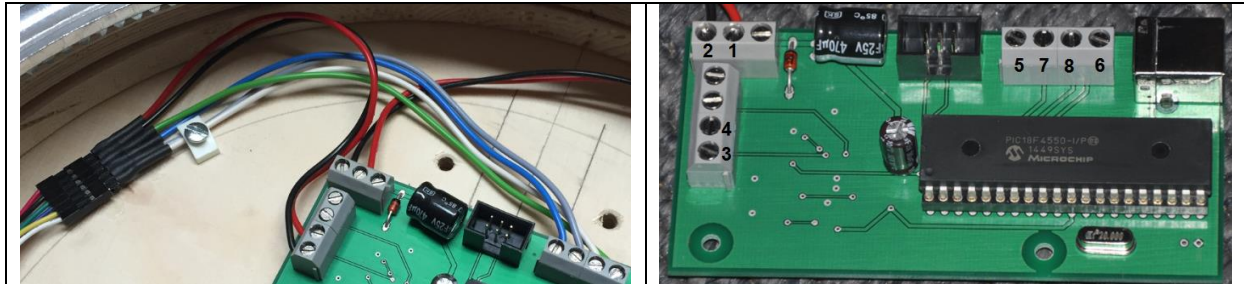
Funktion	Pololu	Phidgets	Platinenanschluss
	Getriebemotor 12VDC mit 64 CPR Encoder 80rpm (6mm Achse)	3264E_0 - 12V/8.4Kg-cm/28RPM 139:1 DC Gear Motor w/Encoder	
Motor power -	Schwarz	eigene Wahl	3
Motor power +	Rot	eigene Wahl	4
Hall Sensor +5V DC	Blau	Rot	5
Hall Sensor GND	Grün	Schwarz	6
Hall Sensor Output A	Gelb	Weiß	7
Hall Sensor Output B	Weiß	Braun	8



ARTA - APPLICATION NOTE

No 9: Automatic directivity measurements with ARTA

Versorgung USB-Platine +12 V DC	Rot	1
Versorgung USB Platine GND	Schwarz	2



Literatur

- [01] Floyd Toole, Sound Reproduction – Loudspeakers and Rooms, Focal Press 2008
- [02] ARTA Application Note No. 6: Directivity Measurements
- [03] ARTA Application Note No. 8: Repetitive Measurements with Script Language AutoIT

HWe, 24.01.2016, Rev. 1.1

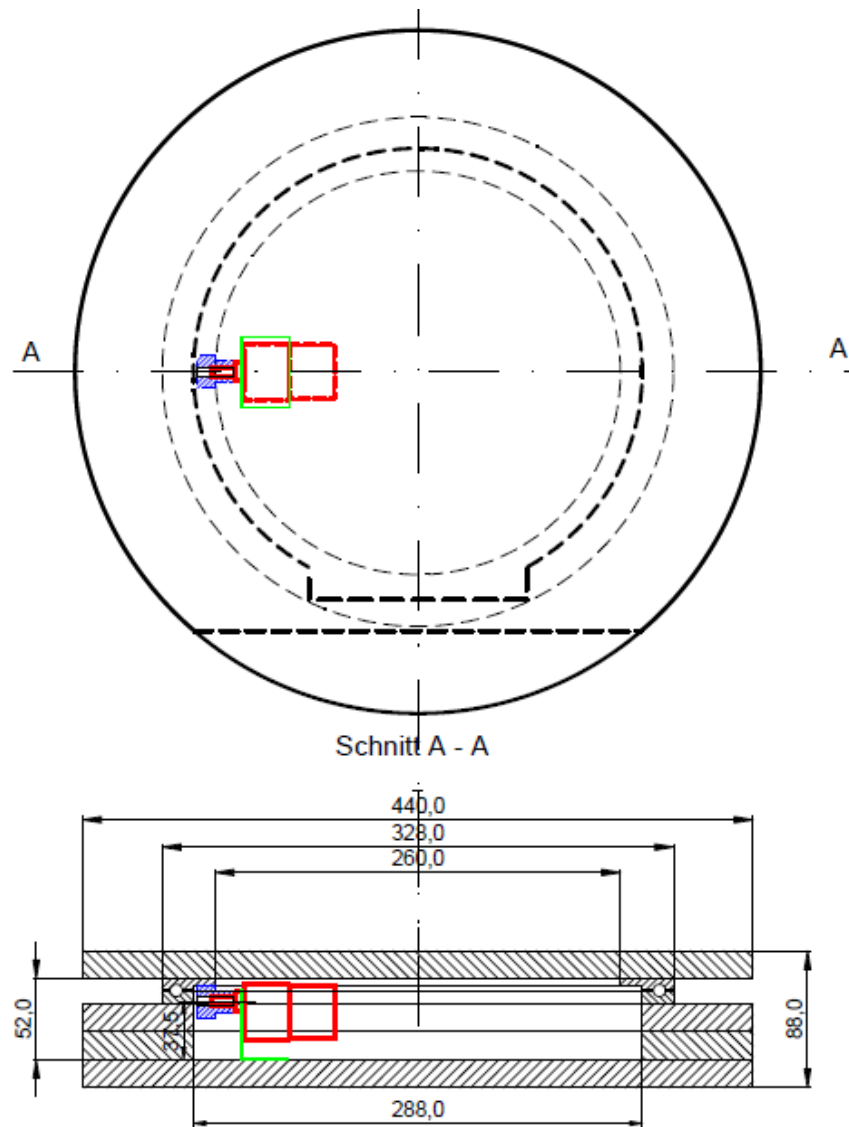


ARTA - APPLICATION NOTE

No 9: Automatic directivity measurements with ARTA

ANNEX

Teil 1: Konstruktionsdetails

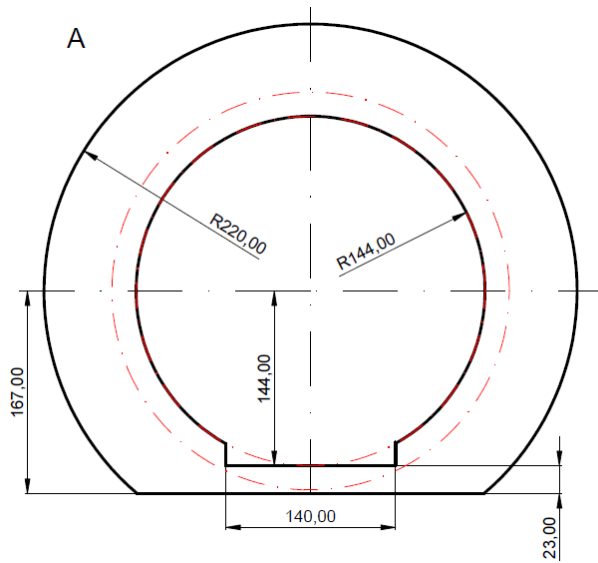


Übersichtszeichnung: Draufsicht und Schnitt A-A

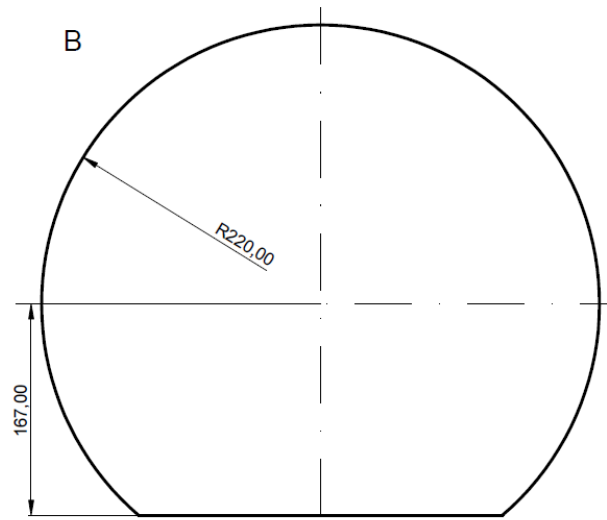


ARTA - APPLICATION NOTE

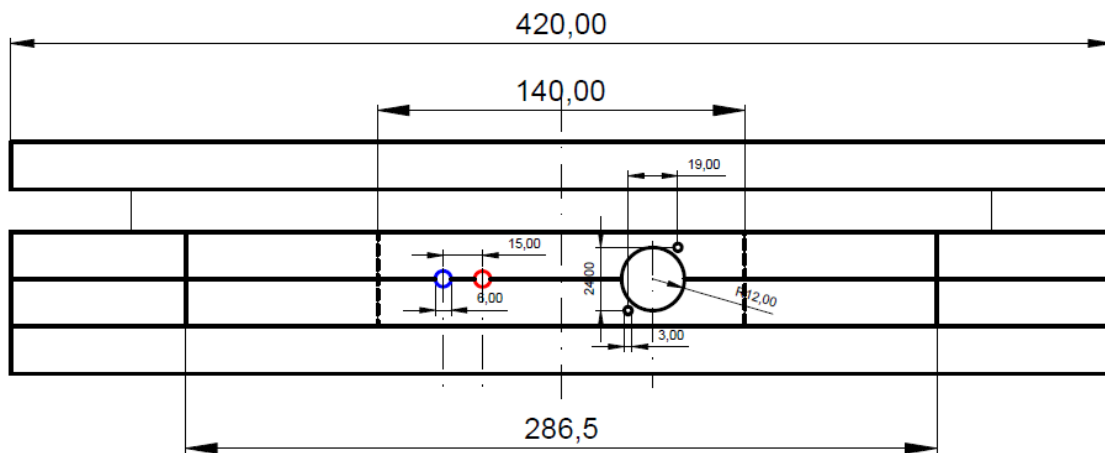
No 9: Automatic directivity measurements with ARTA



Zwischenring 18mm MPX (2x)



Bodenplatte 15mm MPX (1x)

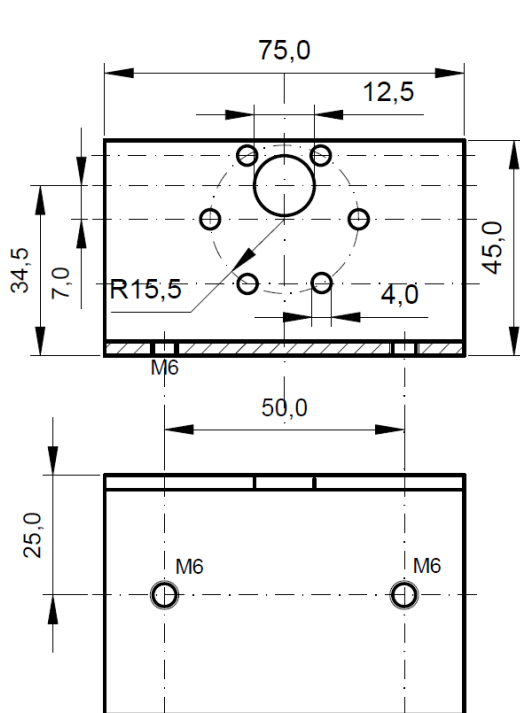


Anschlussfeld für USB-Buchse und Stromanschluss

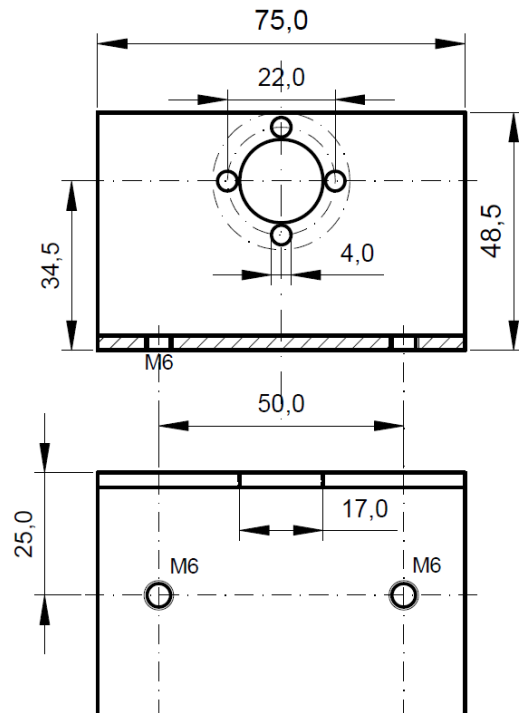


ARTA - APPLICATION NOTE

No 9: Automatic directivity measurements with ARTA



Motorbefestigungskonsole für Pololu
Getriebemotor



Motorbefestigungskonsole für Phidgets
Getriebemotor



ARTA - APPLICATION NOTE

No 9: Automatic directivity measurements with ARTA

Teil 2: Sinnvolle Zusätze zur Messung

