

Betriebsanleitung zum vektoriiellen Antennenanalysator FA-VA3

NORBERT GRAUBNER – DL1SNG

1. Aufgabe des Geräts

Mit dem Antennenanalysator FA-VA3 lassen sich Antennen-Fußpunktimpedanzen über einem einstellbaren Frequenzbereich von 50 kHz bis 165 MHz messen und grafisch darstellen. Er ist auch für Impedanzmessungen an anderen Messobjekten anwendbar. Optional sind auch vektorielle Durchgangsmessungen an Vierpolen möglich. Der Betrieb erfolgt autark mit eingebautem LiIon-Akku und eigenem Display, wahlweise auch über einen PC-Anschluss.

2. Warnhinweise

- Antennen, die nicht galvanisch mit Erde verbunden sind (z.B. Windom-Antennen) müssen unmittelbar vor dem Anschluss an das Gerät geerdet worden sein. Noch sicherer ist ein permanent von der Antenne gegen Erde geschalteter hochohmiger Hochspannungs-Festwiderstand. Grund ist die ansonsten mögliche Ansammlung statischer Elektrizität auf dem Draht. Diese kann u. U. mehrere Kilovolt erreichen und den Eingang des Messgeräts zerstören.
- Bei angeschlossener Antenne darf in der Nähe kein Sendebetrieb stattfinden (Fieldday!). Das gilt auch bei ausgeschaltetem Messgerät.

3. Bedienung und Menü

Die Funktionen des Geräts werden über eine rote und vier weiße Tasten, die sich rechts vom Display befinden, gesteuert. Die erste und die vierte Taste – im Folgenden als *Menülauf-Tasten* bezeichnet – sind mit einem Doppelpfeil gekennzeichnet. Hiermit manövriert man den schwarzen Cursorbalken auf die gewünschten Funktionen.

Die beiden inneren Tasten – im Folgenden *Plus-/Minus-Tasten* genannt – sind vorzugsweise für das Einstellen von Werten zuständig. Jede Tastenbetätigung wird von einem Knack-Ton quittiert; beim Versuch, das Menü-Ende oder einen nicht einstellbaren Endwert zu überschreiten, ertönt ein Protest-Ton.

Nachstehend werden alle Funktionen des Geräts beschrieben. Die Reihenfolge der Absätze ergibt sich aus der Menüabfolge. Der von den Menülauf-Tasten gesteuerte schwarze Cursorbalken markiert den je-

weils aktiven Menüpunkt im Display, dessen Bezeichnung sich auch in den Überschriften der Absätze wiederfindet.

3.1 Ein-/Ausschalten

Zum Einschalten ist die rote Taste etwa 0,5 s lang zu drücken. Es ertönt eine kurze, in der Tonhöhe aufsteigende Fanfare, kurzzeitig wird der Eröffnungsbildschirm mit der Versions-Nummer der Firmware angezeigt, bei installiertem Bluetooth-Modul folgt dessen Bootvorgang mit Angabe der Daten und nach einem Knack-Ton ist das Gerät einsatzbereit.

Zum Ausschalten ist die rote Taste länger als 0,5 s zu drücken. Nach einer Abschiedsfanfare mit fallender Tonfolge schaltet das Gerät ab. Zuvor speichert es automatisch alle Einstellungen, somit sind diese beim nächsten Einschalten wieder vorhanden.

3.2 Darstellungsarten und sonstige Funktionen

In der Mitte der obersten Textzeile des Displays werden die aktuelle Darstellungsart oder einige Sonderfunktionen angezeigt. Sofern der schwarze Cursorbalken auf diesem Text steht (Einstellung mit den Menülauf-Tasten) kann mithilfe der Plus-/Minus-Tasten zwischen den im Folgenden aufgeführten Möglichkeiten gewählt werden.

3.2.1 Impedanz

Das Display zeigt den Verlauf der Impedanz als Funktion der Frequenz. Es liegt das Reihenschaltungsmodell von Wirkwiderstand (R) und Blindwiderstand (X) zugrunde. Um eine bessere Ablesbarkeit zu gewährleisten, werden beide Komponenten im logarithmischen Maßstab angezeigt, eventuelle negative Blindwiderstände werden positiv – also als Betrag – dargestellt. Der Anzeigebereich erstreckt sich von 5Ω bis $2 \text{ k}\Omega$. Den Verlauf des Wirkwiderstandes zeigt eine durchgezogene, den des Blindwiderstandes eine punktierte Linie. Die y-Achsen sind beidseitig in Ohm skaliert. Anfangs- und Endfrequenz (im Folgenden *Start-* und *Stopp-Frequenz* genannt) werden links und rechts in der zweituntersten Textzeile angezeigt. Die Kurven werden von einer punktierten vertikalen Linie geschnitten, diese Linie ist

über die Marker-Funktion seitlich verschiebbar (siehe Pkt. 3.3.2). Im Schnittpunkt dieser Hilfslinie mit den Kurven führt je eine horizontale gepunktete Hilfslinie zur jeweiligen y-Achse. Dies erleichtert das Zuordnen und Ablesen der Werte. Die genauen Messwerte auf der Markerposition werden auf dem Display in der Mitte der untersten Textzeile angezeigt. Dies gilt auch für die Darstellungsarten unter Punkt 3.2.2 und 3.2.3.

3.2.2 Betrag und Phase

Hier erfolgt die Anzeige von Scheinwiderstand (5Ω bis $2 \text{ k}\Omega$) und Phasenwinkel ($\pm 90^\circ$) über dem Wobbelbereich mittels zweier Kurven.

3.2.3 Stehwellenverhältnis

Diese Darstellung zeigt den Frequenzgang des Stehwellenverhältnisses, das sich auf einer Leitung mit einem Wellenwiderstand von $Z_0 = 50 \Omega$ ergeben würde. Bei längeren, verlustbehafteten Leitungen ist das Stehwellenverhältnis am (fernen) Ende dieser Leitung gemeint.

3.2.4 Smith-Chart

Die Anzeige der Impedanz erfolgt in Form eines Smith-Diagramms, das auf 50Ω normiert ist. Punktiert sind die Hilfslinien konstanten Wirkwiderstandes und konstanten Blindwiderstandes, die Messkurve ist eine durchgezogene Linie. Als Marker läuft auf dieser Linie ein kleiner, mithilfe der Markerfunktion verschiebbarer Kreis. Die genauen Messdaten auf diesem Kreis (Frequenz, Wirkwiderstand, Blindwiderstand, Phasenwinkel, Stehwellenverhältnis) werden rechts oberhalb des Diagramms aufgelistet.

3.2.5 Daten auf der Markerfrequenz

Dieser Seite ist in drei Textfelder unterteilt. Das oberste gibt die Eigenschaften des Messobjekts bei zwei verschiedenen Ersatzschaltbildern an:

- Wirkwiderstand und Blindwiderstand des Messobjekts, Ersatzschaltbild ist die Reihenschaltung, zusätzlich wird die scheinbare Induktivität oder Kapazität der Blindkomponente angegeben.
- Wirkwiderstand und Blindwiderstand des Messobjekts, Ersatzschaltbild ist die Parallelschaltung; auch hier wird jeweils die dafür notwendige Induktivität oder Kapazität angegeben.

Das Textfeld in der Mitte enthält Daten über Stehwellenverhältnis, Reflexion und Leitungsverluste:

- Stehwellenverhältnis am Ende des Verbindungskabels,
- zugehöriger Betrag des Reflexionsfaktors,

- Rückflussdämpfung am fernen Ende des Verbindungskabels in Dezibel,
- Grundverluste auf dem Verbindungskabel bei bestmöglicher Anpassung,
- Zusatzverluste, die aufgrund von Stehwellen auf dem Kabel entstehen,
- Gesamtverluste auf dem Verbindungskabel.

Das untere Textfeld zeigt zugrunde liegende Daten des Verbindungskabels. Diese Daten sind in Form einer Tabelle fest einprogrammiert. Die Sorte des jeweils verwendeten Kabels kann über einen eigenen Menüpunkt gewählt werden (siehe Pkt. 3.3.5):

- Wellenwiderstand,
- Verkürzungsfaktor,
- Konstante desjenigen Dämpfungsanteils, der proportional zur Quadratwurzel aus der Frequenz ansteigt (k_1),
- Konstante desjenigen Dämpfungsanteils, der proportional zur Frequenz ansteigt (k_2),
- Grunddämpfung des verwendeten Kabels bei 1 MHz pro 100 m,
- Grunddämpfung des verwendeten Kabels bei 10 MHz pro 100 m,
- Grunddämpfung des verwendeten Kabels bei 100 MHz pro 100 m,
- Grunddämpfung des verwendeten Kabels auf der aktuellen Markerfrequenz pro 100 m.

3.2.6 Optionen

Über diese Sonderseite können bis zu sieben verschiedene Messergebnisse gespeichert oder wieder abgerufen werden. Weiterhin können die Helligkeit der Displaybeleuchtung verändert, das optional eingebaute Bluetooth-Funkmodul angemeldet und das Gerät kalibriert werden. Zur Beschreibung dieser Funktionen siehe Pkt. 3.4.

3.3 Eingabe der Parameter

In den Darstellungsarten bis einschließlich 3.2.5 kann man Messparameter eingeben. Dazu ist der Cursorbalken mithilfe der Menülauf-Tasten (Doppelpfeil) auf den einzustellenden Parameter zu verschieben. Anschließend lässt sich dessen Wert mithilfe der Plus-/Minus-Tasten verändern:

3.3.1 Startfrequenz

Cursorbalken: zweitunterste Textzeile, links.

Es handelt sich um die untere Frequenzgrenze des zu überstreichenden Frequenzbereichs. Werte zwischen 50 kHz und 165 MHz sind möglich, sie können jedoch nie höher als die aktuelle Stopp-Frequenz liegen önnen (siehe Pkt. 3.3.3). Unterhalb von 1 MHz beträgt die Auflösung 1 Hz, oberhalb sind es 1 kHz. Bei einem einzel-

nen Tastendruck ändert sich der Anzeigewert um genau 1 Inkrement, bei längerem Tastendruck auf die Plus- oder Minus-Taste verschiebt sich die einstellbare Ziffer bei jedem Nulldurchgang um eine Dezimalstelle nach links bis schließlich die erste Dezimalstelle verstellt wird. Dadurch lassen sich auch größere Frequenzänderungen relativ schnell eingeben. Nur bei Frequenzen über 100 MHz bleibt eine Sprungweite von 10 MHz bestehen.

3.3.2 Markerfrequenz

Cursorbalken: in der Mitte der zweituntersten Textzeile, bzw. im Smith-Diagramm rechts oben.

Das Einstellen der Markerfrequenz erfolgt ebenso wie bei der Startfrequenz. Die Markerfrequenz kann nur innerhalb der von Start- und Stopp-Frequenz vorgegebenen Grenzen liegen. Die Schrittweite der Markerfrequenz ist systembedingt vorgegeben. Da ein kompletter Durchlauf genau 267 Frequenzpunkte enthält, sind auch ebenso viele Markerfrequenzen möglich. Dabei sind die jeweiligen Frequenzschritte logarithmisch unterteilt. Dies ermöglicht auch über sehr großen Frequenzspannen hinweg bestmögliche Auflösung, führt aber auch bei glatten Frequenzgrenzen zu „krummen“ Markerfrequenzen. Unter der Marker-Frequenzangabe sind die zugehörigen genauen Impedanzwerte aufgeführt.

3.3.3 Stopp-Frequenz

Cursorbalken: zweitunterste Textzeile, rechts.

Hier handelt es sich um die obere Frequenzgrenze des zu überstreichenden Frequenzbereichs. Es sind Werte von 50 kHz bis 165 MHz möglich, die jedoch nie tiefer als die aktuell eingestellte Startfrequenz liegen können. Zur Bedienung siehe Pkt. 3.3.1.

3.3.4 Leitungslänge

Cursorbalken: unterste Textzeile, links.

Es ist die mechanische Länge der verwendeten Verbindungsleitung zwischen Messgerät und Messobjekt in Metern anzugeben, die Auflösung beträgt 1 cm. Die Einstellung erfolgt über die Plus-/Minus-Tasten. Maximal sind 99,99 m oder 25 Freiraum-Wellenlängen (Bezug: Stopp-Frequenz) einstellbar. Die von der Leitung verursachte Transformation wird bestmöglich aus den gemessenen Impedanzwerten heraus berechnet. Da man für die Transformationsrechnung teilweise sehr exakte Impedanzwerte benötigt, reale Messungen jedoch immer fehlerbehaftet sind, wird das angezeigte Messergebnis mit größerer Leitungslänge, insbesondere

bei hohem Reflexionsfaktor (schlechtes Stehwellenverhältnis), zunehmend ungenau. Zudem unterliegen die tatsächlichen Wellenwiderstände handelsüblicher Leitungssorten nicht unerheblichen Toleranzen. Dadurch wird man auch bei exakt eingegebener Leitungslänge mit deutlichen Restfehlern rechnen müssen, u.U. sogar dann, wenn man einen 50- Ω -Abschlusswiderstand am fernen Ende anschließt.

Die genaue Länge einer Leitung kann man sehr einfach ermitteln. Dazu muss das ferne Ende der Leitung offen sein. In Stellung *Smith*-Chart wählt man eine Startfrequenz von 50 kHz und eine Stopp-Frequenz von 165 MHz (bei sehr langen Leitungen auch weniger), stellt die richtige Kabelsorte ein (siehe Pkt. 3.3.5) und gibt als Leitungslänge zunächst Null ein. Daraufhin wird im Diagramm eine mehr oder weniger stark gewundene Schneckenkurve oder gar ein ganz wirres „Gekritzel“ erscheinen. Nun verändert man die Längenangabe dahingehend, dass sich die Anzahl der Schneckenwindungen immer mehr vermindert – bis sich das Gekritzel nicht mehr ringsum verteilt sondern im Idealfall in der Nähe des Unendlichpunkts zusammenballt. Dann hat man die exakte Länge gefunden und man kann das Messobjekt anschließen.

3.3.5 Kabelsorte

Cursorbalken: unterste Textzeile, rechts. An dieser Stelle ist der Handelsname der verwendeten Verbindungsleitung aus einer internen Liste über die Plus-/Minus-Tasten auszuwählen. Die Einträge sind alphabetisch sortiert. Zu jedem Eintrag sind Wellenwiderstand, Verkürzungsfaktor und Dämpfungskonstante im Programm hinterlegt. Dies ermöglicht eine bequeme und fehlerfreie Verwendung dieser Parameter.

Mit Ausnahme von RG59 sind nur Sorten mit 50 Ω Wellenwiderstand gelistet.

3.4 Optionen

Auf dieser Seite können die Ergebnisse aktueller Messungen gespeichert und früher gespeicherte wieder angezeigt werden. Darüber hinaus lassen sich die Helligkeit des Displays einstellen, das optionale Bluetooth-Funkmodul anmelden und das Gerät kalibrieren. Die Auswahl dieser fünf Funktionen erfolgt über die Menülauf-Tasten (Doppelpfeil).

3.4.1 Kurve speichern

Nach dem Anwählen der Funktion über die Menülauf-Tasten ist mithilfe der Plus-/Minus-Tasten die Nummer der gewünschten Speicherbank zu wählen. Die Impedanzmessung läuft währenddessen

im Hintergrund ständig weiter. Nach Wahl der Speicherbank wird durch Drücken der roten Taste (diese schaltet in diesem Betriebszustand das Gerät NICHT aus) das Speichern des in diesem Moment gemessenen Impedanzverlaufs ausgelöst. Dabei kommt es nicht auf die zuletzt eingestellte Darstellungsart an. Der Speichervorgang wird von einer Serie von Knacktönen quittiert.

3.4.2 Kurve abspielen

Nach dem Anwählen der Funktion über die Menüauftasten ist mithilfe der Plus-/Minus-Tasten die Nummer der abzuspielenden Speicherbank zu wählen. Nach dem Betätigen der roten Taste schaltet das Gerät auf die Impedanzdarstellungsart um und zeigt die gespeicherte Kurve. Anschließend kann man in beliebige andere Darstellungsarten umschalten. Um zu kennzeichnen, dass es sich nicht um eine aktuelle Messung handelt, wird in den Überschriften jeweils die Nummer der eingelesenen Speicherbank angezeigt.

3.4.3 Zurückschalten in den Messbetrieb

Um das Gerät aus der Betriebsart *Kurve abspielen* in den normalen Messbetrieb zurückzuschalten, ist wieder die Seite *Optionen* anzuwählen und dort mithilfe der Menülauf-Tasten der Cursorbalken erneut auf den Eintrag *Kurve abspielen* zu schieben. Dort angekommen, ist der Untermenü-Balken, der auf einer der sieben Speicherbänke steht, mittels Plus-Taste nach oben zu schieben, bis er verschwindet und unterhalb von *Kurve abspielen* der Eintrag *aus* erscheint. Dann ist die Seite mit der Menülauf-Taste über *Optionen* wieder zu verlassen.

3.4.4 Display-Beleuchtung

Zur Änderung der Helligkeit der Displaybeleuchtung ist mit den Menülauf-Tasten (Doppelpfeil) der entsprechende Eintrag anzuwählen. Rechts daneben wird eine Prozentzahl zwischen 5 und 100 angezeigt. Der Wert kann mithilfe der Plus-/Minus-Tasten eingestellt werden, die Helligkeit des Displays folgt unmittelbar. Im Hinblick auf die Laufzeit einer Akkulation und die Lebensdauer der CCFL-Röhre im Display sollte man mit der Helligkeit nicht zu großzügig umgehen. Im Allgemeinen genügt eine Einstellung von 50 Prozent vollauf.

3.4.5 Bluetooth-Modul

Um das Bluetooth-Modul zu aktivieren, ist mit den Menülauf-Tasten (Doppelpfeil) der Cursorbalken auf den betreffenden Eintrag zu manövrieren. Sofern dort *nicht*

vorhanden eingetragen ist, das Bluetooth-Modul jedoch ordnungsgemäß in das Gerät eingebaut wurde, ist das Modul einmalig durch Betätigen der Plus-Taste anzumelden. Dabei zeigt das Display vorübergehend die Parameter an, die der Mikrocontroller permanent in das fabriktneue Modul schreibt, u. a. sind das Baudrate, Name (*FA-VA Mk3*) und Codewort (*1234*). Name und Codewort werden später bei der Installation der Bluetooth-Verbindung auf dem PC benötigt.

Nach dem Schließen dieser Maske kann das Modul sogleich wieder abgemeldet werden (dazu die Maske erneut öffnen). Dies erspart beim späteren Wiedereinschalten die erneute, zeitraubende Anzeige der Bluetooth-Installationsmaske. Die Bluetooth-Verbindung funktioniert trotzdem.

3.4.6 Ausgangsfrequenz kalibrieren

Die Frequenz des internen Taktgenerators lässt sich mit einer Auflösung von 0,5 ppm von -64,0 ppm bis +63,5 ppm genau justieren. Diese Korrektur betrifft alle Frequenzeinstellungen. Sobald der Cursorbalken auf dem Eintrag Frequenz justieren verschoben wird, schaltet das Gerät intern auf die Ausgabe eines Signals mit der Nennfrequenz von 10.000 MHz um. Die alten Einstellungen für Start- und Stoppfrequenz werden gesichert. Nun kann zur Frequenzkontrolle an die BNC-Buchse des Gerätes (bei gestecktem Vierpolmodul die Ausgangsbuchse) ein Frequenzzähler oder über ein 60-dB-Dämpfungsglied der Stationsempfänger angeschlossen werden. Die Kalibrierung der Ausgangsfrequenz erfolgt über die Plus-/Minus-Tasten.

Die permanente Speicherung der Korrekturdaten erfolgt beim Abschalten des Antennenanalysators zusammen mit allen anderen Parametern.

Beim Verlassen des Menüpunkts werden die vorher vorhandene Start- und Stoppfrequenz wieder eingestellt.

3.4.7 Kalibrieren des Impedanzmoduls

Da das Kalibrieren nur einmalig durchgeführt werden muss, gehört es eigentlich zur Inbetriebnahme. Für den Fall, dass wegen unerklärlicher Messungenauigkeiten eine Neukalibrierung erforderlich scheint, sei dieser Vorgang hier nochmals beschrieben. Wegen der eventuellen notwendigen Verstellung des Potenziometers R53 muss die Gehäuse-Oberschale entfernt werden.

Bei einem Neugerät ist das Potenziometer R53 (am Rand der Hauptplatine) auf Rechtsanschlag zu stellen, bei einer Zweitkalibrierung ist es zunächst nicht zu ver-

ändern. Dann ist das Gerät einzuschalten, über die Bedientasten ist zunächst das Impedanz-Menü zu wählen. Die Startfrequenz wird auf 50 kHz und die Stoppfrequenz auf 165 MHz gestellt. Die Markerfrequenz kann bei etwa 1 MHz stehen. Dann sind Leitungslänge $l = 0,00$ m und Leitungssorte RG58C/U einzustellen.

Nach mindestens 2 min Wartezeit (bis die Endtemperatur des Mischer-ICs N7 erreicht ist) ist ins Menü *Optionen* → *Kalibrieren* zu wechseln, dieses wird gestartet (Plus-Taste) und man folgt im Weiteren der Bedienerführung.

Nach der Startpunkt-Suche im Abschnitt 2 der Routine (Amplituden- und Phasenkalibrierung) kommt es bei noch nicht justiertem Potenziometer R53 sehr wahrscheinlich zur Übersteuerung (Amplitudenlinie begrenzt bei 7168 counts; dieser Zahlenwert steht an der linken senkrechten Achse des Kalibrierfensters). Dabei piepst das Gerät. In diesem Fall muss das Potenziometer R53 ein wenig nach links gedreht werden. Die Reaktion auf Änderungen am Potenziometer ist etwas träge, deshalb gilt es, immer erst einmal abzuwarten. Nach einem etwas verzögerten Einschwingvorgang sollte die durchgezogene Kurve etwas weiter unten verlaufen. Da das Potenziometer auch beim optional erhältlichen Vierpolmodul wirksam ist (wobei dessen Kalibrierkurve erfahrungsgemäß etwas weiter unten liegt), muss beim Impedanzmodul versucht werden, den Anfang der Amplitudenkurve im oberen Drittel (z. B. bei 6656 counts) zu platzieren. Die genaue Lage ist jedoch nicht kritisch, es kommt nur darauf an, dass die Amplitudenkurve weder oben noch unten übersteuert bzw. den Anzeigebereich verlässt.

Die Lage der Phasenkurve (gepunktet) kann nicht beeinflusst werden, sie ist nicht kritisch, auch leichte Übersteuerung wäre zulässig.

Sobald die Amplitudenkurve nirgendwo übersteuert ist und mindestens einmal ohne weitere Korrektur am Potenziometer durchlaufen wurde, können die Daten gespeichert werden (Plus-Taste). Danach ist das Gerät mit der roten Taste auszuschalten.

4. Vierpol-Modul (optional)

Alternativ zu den bisher beschriebenen Impedanzmessungen – das Messobjekt war bisher ein Zweipol – kann das Gerät auch zu einem Vektor-Analysator für die Messung an Vierpolen umgerüstet werden. Solche Vierpole sind z. B. Filter oder Verstärker. Dabei lassen sich Durchgangsverstärkung und Phasendrehung als Funktion der Frequenz messen. Sofern ein Verstärker durchgemessen werden soll, muss

durch passende Dämpfungsglieder dafür gesorgt werden, dass der ins Messgerät zurückgespeiste Pegel nicht größer als der vom Gerät abgegebene Pegel ist.

4.1 Austausch der Eingangsmodule

Obwohl auch in der Baumappte zum Antennenanalysator schon behandelt, wird der Vollständigkeit halber auch an dieser Stelle noch einmal beschrieben, wie beim Austausch der Eingangsmodule vorzugehen ist.

Das Gerät ist dazu abzuschalten, ggf. sind alle Steckverbindungen zu entfernen. Nach dem Öffnen des Gehäuses werden die vier Schrauben zur Befestigung der Grafik- und Bedienbaugruppe herausgeschraubt. Dabei ist peinlichst darauf zu achten, dass die Schrauben nicht ins Geräteinnere fallen. Die Grafikbaugruppe ist anschließend abzuziehen (22-poliger Steckverbinder). Dann werden die vier Befestigungsschrauben an der Unterseite des Gehäuses gelöst und entfernt sowie die Muttern und Zahnscheiben der BNC-Buchse(n) und der SMA-Buchse abgeschraubt.

Die Hauptplatine ist nun ganz nach rechts schieben, dann wird das Eingangsmodul aus der 12-poligen Steckfassung X8 vorsichtig herausgehoben bzw. -gehebelt. Das Modul ist dann rückwärts nach innen aus der Bohrung für die HF-Buchse(n) herauszuziehen. Dabei muss darauf geachtet werden, dass das Modul keinen Kontakt zum positiven Batterieclip X13 der linken Akkuzelle bekommt.

Dann kann das andere Eingangsmodul in die Fassung gesteckt werden. Sofern mit das Gerät mit diesem Modul zuvor bereits kalibriert wurde, wird unmittelbar danach alles in umgekehrter Reihenfolge wieder zusammengebaut. Anderenfalls ist so vorzugehen, wie im Abschnitt *Inbetriebnahme der Baugruppen* in der Baumappte beschrieben.

Achtung! Das Verstellen des Potenziometers R53 macht das Neukalibrieren des jeweils anderen Eingangsmoduls zwingend erforderlich!

Beim Zusammenbau sind die Schrauben zunächst nur locker einzudrehen, dann sind die Muttern der HF-Buchsen von außen festziehen. Indem mit dem Finger leichter Gegendruck auf die Platinen erzeugt wird, lässt sich vermeiden, dass die Muttern schräg aufgedreht werden. Erst dann sind die Schrauben an der Unterseite des Gehäuses festzuziehen.

Achtung! Die Grafik- und Bedienbaugruppe darf auf keinen Fall auch nur kurzzeitig falsch in den 22-poligen Steckverbinder gesteckt werden!

4.2 Bedienung bei Vierpol-Messungen

Über den beiden BNC-Buchsen des Vierpolmoduls sind auf der Gehäuse-Oberseite Symbole für Ein- und Ausgang aufgedruckt. Dementsprechend ist das Messobjekt anzuschließen. Über eine spezielle Fühlleitung erkennt die Controllersoftware, welche Art von Eingangsmodul (Zweipol oder Vierpol) eingesteckt ist und startet beim Einschalten automatisch die richtigen Programmabschnitte.

Das Manövrieren auf der Bedienoberfläche erfolgt auf die gleiche Weise wie beim Impedanzmodul.

4.2.1 Linear + Phase

In dieser Darstellungsart wird die Amplitude des Signals linear von 0,00 bis 1,0 dargestellt. Der Wert von 1,0 bedeutet, dass der volle Ausgangspegel zurückkommt, dies ist z.B. bei einer direkten Verbindung über eine Leitung der Fall. **Achtung!** Höhere Pegel, z.B. aus einem Verstärker, sind nicht zulässig!

Wegen der unvermeidlichen Signallaufzeit auf der Leitung beeinflusst deren Länge den gemessenen Phasenwinkel ganz erheblich. Dieser Effekt ist insbesondere bei hohen Frequenzen und langen Leitungen sehr ausgeprägt. Er kann kompensiert werden, indem die Länge der Leitung genau eingegeben wird (unterste Textzeile, links). Sofern die Länge nicht genau bekannt ist, sind dazu zunächst die beiden Buchsen ohne Messobjekt über die beiden zu verwendenden Kabel direkt zu verbinden. Anstelle des Messobjekts wird ein Stecker-Adapter benutzt. Mit den Menülauf-Tasten (Doppelpfeil) werden die *Startfrequenz* auf 50 kHz und die *Stoppfrequenz* auf 165 MHz eingestellt sowie die Kabelsorte gewählt. Letzteres erfolgt mittels der Plus-/Minus-Tasten.

Dann ist die Leitungslänge (Textzeile unten, links) so einzustellen, dass die gepunktete Phasenkurve komplett horizontal verläuft. Bei richtig gewählter Kabelsorte müsste dann auch die durchgezogene Amplitudenkurve horizontal verlaufen, da die Kabeldämpfung kompensiert wurde. Danach kann das Messobjekt angeschlossen und der gewünschte Frequenzbereich eingestellt werden.

Da bei manchen Messobjekten, z.B. Filtern höherer Ordnung, ganz erhebliche Phasendrehungen auftreten können, war es sinnvoll, eine automatische Kalibrierung der Phasenachse (rechts) vorzusehen. Die Firmware erfasst dazu zunächst den gesamten über dem eingestellten Frequenzbereich auftretenden Phasenbereich und kalibriert ab dem nächsten Mess-

durchgang die Phasenachse so, dass die gemessene Phasenkurve das Diagramm vertikal möglichst vollständig ausfüllt. Dabei wird eine Schrittweite von 180° verwendet.

Aus Platzgründen ist die y-Achse nicht in Grad, sondern im Bogenmaß beschriftet. Wegen der Höhe der Textzeichen ist der Anzeigebereich auf 20π (3600°) begrenzt, Kurven für noch größere Phasendrehungen werden nicht vollständig dargestellt.

4.2.2 Logarithmisch + Phase

Im Unterschied zu Pkt. 4.2.1 wird in dieser Darstellungsart der empfangene Pegel nicht linear sondern logarithmisch abgebildet. Der Anzeigebereich erstreckt sich von -64 dB bis 0 dB. Bedingt durch die Auflösung des A/D-Umsetzers im Mikrocontroller beträgt die theoretisch darstellbare Messdynamik etwa 72 dB. Allerdings rauschen die einzelnen Messergebnisse um einige Inkremente. Zudem wird mit Annäherung an den Nullpunkt des D/A-Umsetzers die Schrittweite der Messkurve in Dezibel allein aufgrund mathematischer Gegebenheiten immer größer, so dass in der Praxis ein unterer Grenzwert von 60 dB realistisch ist. Zur Arbeitsweise der Phasenkurve siehe Pkt. 4.2.1.

4.2.3 Kalibrieren

Zum Kalibrieren müssen ein 50-Ω-BNC-Abschlusswiderstand und ein möglichst kurzes BNC-Verbindungskabel bereitliegen, die exakte Länge des Kabels ist mit einem Lineal zu messen. Maßgeblich sind die Vorderkanten der Steckverbinder. Auch die Kabelsorte muss korrekt eingegeben werden. Nach Manövrieren des Cursorbalkens mit den Menülauf-Tasten auf den Eintrag *Optionen* → *Kalibrieren* wird dieser durch Betätigen der Plus-Taste gestartet. Durch die weiteren Arbeitsschritte führt das Bedienmenü. Zum Schluss wechselt das Programm in die Betriebsart linear + Phase (Pkt. 4.2.1), dort müssen Amplituden- und Phasenkurve nun schnurgerade und horizontal verlaufen.

5. Akkumulator

Günstiges Leistungsgewicht, geringe Selbstentladung, hohe Lebensdauer und relativ kurze Ladezeit waren wichtige Gründe für die Wahl moderner LiIon-Akkumulatoren als Spannungsquelle für den Antennenanalysator.

Normalerweise werden diese Akkumulatoren nur mit fest integrierter Schutz-, Lade- und Balancerschaltung vertrieben. **Deshalb sind die im Bausatz des FA-VA3 enthaltenen Zellen trotz des Einbaus in Clips anstelle fester, punktverschweiß-**

ter Verbindungen als untrennbarer Bestandteil des Geräts zu betrachten. Sie sind daher mit äußerstem Respekt zu behandeln. Bei Falschbehandlung können diese Akkus Feuer fangen oder gar explodieren. Eine freie Verwendung außerhalb dieses Geräts ist deshalb nicht zulässig.

Das Laden mit Strömen von mehr als 1,5 A, das Überladen auf mehr als 4,2 V, das Tiefentladen auf weniger als 2,5 V und Kurzschluss sind unbedingt zu vermeiden. Bei der Reihenschaltung mehrerer Zellen sind diese Vorgaben für jede Zelle einzeln zu überwachen. Die Hardware im FA-VA3 stellt dies sicher. Allein schon wegen der Gefahr von Falschpolung beim Wiedereinsetzen – dies führt zwangsläufig zur Zerstörung des Geräts – sollten die einmal installierten Zellen IMMER im Gerät verbleiben. Sofern Ersatz benötigt wird, ist dieser beim FA-Leserservice [1] zu bestellen. Sehr wichtig ist, dass alle drei Akkumulatoren aus einem Fertigungslos stammen. Vor der Verwendung von Billigware aus Fernost kann nur gewarnt werden.

Das Gerät enthält eine so genannte Balancer-Schaltung für die möglichst gleichmäßige Verteilung der Gesamtspannung auf die drei Einzelzellen sowie eine Überwachungsschaltung gegen Unterspannung. Beim Absinken der Akkumulator-Gesamtspannung auf etwa 9,5 V ertönt zunächst in gleichmäßigen Abständen ein kurzer Warnton und sobald eine Spannung von 9,0 V unterschritten wird, schaltet das Gerät zum Schutz des Akkumulatoren unter Abgabe einer sehr bekannten Tonfolge in c-Moll ab, die zuletzt benutzten Einstellungen werden dabei gesichert.

5.1 Akkumulator laden

Zum Laden muss eine Gleichspannungsquelle zwischen 10 V und 16 V verwendet werden, die einen Strom von mindestens 2 A abgeben kann. Die Spannung wird über die Hohlsteckerbuchse an der rechten Seitenwand zugeführt, der Innenstift ist der Pluspol. Während des Ladevorgangs leuchtet die LED neben der Buchse zunächst rot, die Farbe wechselt nach etwa einer Stunde auf gelb und wird bei vollem Akkumulator nach maximal anderthalb Stunden grün. Das Laden kann jederzeit unterbrochen und zu einem späteren Zeitpunkt fortgesetzt werden. Man kann das Messgerät auch während des Ladens ganz normal weiter benutzen, lediglich die Erdfreiheit ist dann nicht gegeben. Eine Ladeerhaltung, also der dauerhafte Anschluss eines Ladegeräts, ist keinesfalls zu empfehlen. Die Alterung der Akkumu-

latoren schreitet mit Annäherung an die Ladeschlussspannung von 4,2 V pro Zelle deutlich schneller voran als bei teilentladenen Zellen. Wegen der geringen Selbstentladung genügt es vollkommen, bei Nichtgebrauch des Geräts etwa alle drei bis vier Monate eine Ladeerhaltung durchzuführen.

Ein regelmäßiger Zyklusbetrieb mit komplettem Laden und Entladen (so wie er früher bei den NiCd-Akkumulatoren zwecks Vermeidung des so genannten Memory-Effekts empfohlen wurde), ist ebenfalls schädlich für die Lebensdauer. Im Idealfall sollte man bereits bei einer Restkapazität von 50 % oder früher nachladen, also lange bevor das Gerät wegen Unterspannung abschaltet. Gelegentliche Einzelentladungen bis herab zum selbsttätigen Abschalten wegen Unterspannung schaden jedoch nicht. Bei 50 % Restkapazität beträgt die Akkumulatorspannung etwa 3,7 V pro Zelle, das ergibt insgesamt 11,1 V. Mithilfe des zum Gerät gehörigen PC-Programms lässt sich die aktuelle Akkumulatorspannung jederzeit anzeigen. Einen Memory-Effekt gibt es bei LiIon-Akkumulatoren nicht.

6. Betrieb am PC

Obwohl der FA-Antennenanalysator in erster Linie für einen Stand-alone-Betrieb konzipiert wurde, also für erdfreies Messen fernab von Stromversorgungen und anderen Hilfsmitteln, kann er auch mit einem PC verbunden werden. Dabei steht eine farbige Grafik mit höherer Auflösung und erweitertem Messbereich zur Verfügung. Auf der Festplatte des PCs lassen sich fast beliebig viele Messkurven speichern, wieder einlesen, anzeigen und ggf. anderweitig weiterverwenden. Die Verbindung zum PC kann entweder über ein USB-Kabel oder (optional) drahtlos über eine Class-1-Bluetooth-Verbindung erfolgen.

Ein eigens erstelltes PC-Programm bildet die Bedienoberfläche. Außer diesem Programm muss auf dem PC die aktuelle .NET-Plattform installiert sein. Diese kann man sich bei Bedarf bei [2] herunterladen. Der Treiber für den im Gerät enthaltenen USB/RS232-Konverterschaltkreis befindet sich auf der zum Bausatz mitgelieferten CD und ist in seiner jeweils aktuellen Version auch bei [3] zu finden. Die Treiber installieren sich normalerweise automatisch, sobald das USB-Kabel angeschlossen und das Messgerät eingeschaltet wird, bzw. sobald der Bluetooth/USB-Stick eingesteckt wird. Im späteren Verlauf der Bluetooth-Installation (*Bluetooth-Manager* → *neue Verbindung* ...) wird das Programm einmalig den Code des Bluetooth-

Moduls abfragen (siehe Pkt. 3.4.5). Das PC-Programm für das Messgerät darf erst nach erfolgreicher Installation dieser Treiber gestartet werden.

6.1 Mit Gerät verbinden

Nach der Installation der Treibersoftware, *Microsoft .NET Framework 3.5* (oder höher) und dem Kopieren der Anwendungssoftware *FA-VA_Mk3.exe* auf die Festplatte des PC wird der Antennenanalysator über ein USB-Kabel mit dem PC verbunden und eingeschaltet. Erst dann darf die Anwendungssoftware gestartet werden. Nach einer Wartezeit von einigen Sekunden, während denen das Betriebssystem die neue serielle Schnittstelle implementiert, darf man erstmals auf den Menüeintrag *Datei* → *Mit Gerät verbinden* klicken. Daraufhin sucht sich die Software vollautomatisch den virtuellen COM-Port, der zum Messgerät führt, der Vorgang wird am Bildschirm angezeigt. Nach einigen Sekunden ist dieser Vorgang abgeschlossen und das Gerät ist einsatzbereit. Das Programm legt den Namen des gefundenen COM-Ports in der Windows-Registry ab. Sofern hier bei künftigen Starts ein gültiger Name gefunden wurde, überspringt das Programm eine neuerliche Suchprozedur, das spart Zeit.

Ganz genauso läuft der Vorgang ab, wenn anstelle des USB-Kabels eine Bluetooth-Verbindung vorhanden ist. Dabei erkennt das PC-Programm die unterschiedlichen Verbindungskanäle und ordnet die neu gefundene Schnittstelle der Bluetooth-Verbindung zu, d.h. wenn später wieder die USB-Verbindung zur Verfügung steht, wird sogleich die dazu gehörige serielle Schnittstelle benutzt – und nicht die (nicht mehr vorhandene) Schnittstelle für die Bluetooth-Verbindung.

Sollte die automatische Suche nach dem COM-Port fehlschlagen, kann die gültige Schnittstelle gemäß Punkt 6.3 auch manuell gewählt werden.

Sobald eine Verbindung zwischen PC und Gerät besteht, erlischt die Display-Beleuchtung des Messgeräts und die Berechnung der Display-Grafik wird gestoppt. Dies spart Strom und erhöht die Wiederholrate der Wobbel-Durchläufe.

Beim Start beträgt die Größe des Arbeitsfensters auf dem PC etwas weniger als 800 × 600 Bildpunkte. Damit kann das Programm auch auf kleineren Systemen verwendet werden. Bei Bedarf kann das Fenster durch Ziehen an der rechten unteren Ecke vergrößert werden, die Platzierung der im Fenster enthaltenen Elemente passt sich der jeweiligen Fenstergröße automatisch an.

6.2 Verbindung trennen

Bei aktiver Verbindung ändert sich der bisherige Text des Datei-Menüeintrags *Mit Gerät verbinden ... in Verbindung trennen*. Hiermit kann dann eine bestehende Verbindung zum Messgerät unterbrochen werden. Die gleiche Wirkung hat das Schließen des Programms. Etwa 2 s nach der Trennung schalten sich die Display-Beleuchtung am Messgerät und die Berechnung der Grafikkoordinaten wieder ein und das Messgerät arbeitet wieder autark.

6.3 Schnittstelle wählen

Dieser Menüeintrag ist für den Fall gedacht, dass mehrere mögliche Übertragungskanäle zur Verfügung stehen, z. B. sowohl eine USB- als auch eine Bluetooth-Verbindung. Da das Programm bei der Suche nach der Schnittstelle die interne Liste im PC immer in der Reihenfolge abfragt, in der diese Schnittstellen im PC einst installiert wurden, kann es passieren, dass das Programm beim Scannen regelmäßig auf die falsche Schnittstelle stößt. Um dies zu vermeiden, kann man über diesen Menüeintrag die gewünschte Schnittstelle auch manuell vorgeben.

6.4 Datei einlesen

Das PC-Programm verfügt über die Möglichkeit, aktuelle Kurven im *csv*-Format auf der Festplatte zu speichern. Über den Menüpunkt *Datei einlesen ...* kann man sich diese Dateien ins Programm zurückholen.

6.5 Kurve speichern

Eine gespeicherte Messkurve kann jederzeit neu unter demselben Namen gespeichert werden, z. B. nach Korrekturen an den Parametern. Das gilt sowohl für wieder eingelesene Dateien als auch für eine aktuelle Messkurve. Bei wieder eingelesenen Dateien beschränkt sich die Änderungsmöglichkeit auf die Position der vier Marker.

6.6 Kurve speichern unter ...

Für diesen Punkt gilt ebenfalls das unter Pkt. 6.4 Gesagte, mit dem Unterschied, dass hier die Daten unter einem neuen Namen gespeichert werden können. Der Suffix für den Dateinamen *.csv* wird automatisch vergeben und darf nicht geändert werden. Bei diesen Dateien handelt es sich um eine Textdatei in einem festgelegten Format. Dateien dieses Typs können z. B. mit *Microsoft Excel*, *OpenOffice/Calc* usw. weiterverarbeitet werden. Der Dezi-

mal-Separator bei den Zahlenwerten entspricht der Ländereinstellung im Betriebssystem.

6.7 Drucken

Die angezeigten Kurven können unmittelbar aus dem Programm heraus in Farbe gedruckt werden. Dabei wird das Bild formatfüllend an eine DIN-A4-Seite angepasst. Es handelt sich nicht um eine Hardcopy des Bildschirms, sondern um eigene, hochauflösende Druck-Grafikfunktionen.

7. Einstellung von Parametern über das PC-Programm

Der Datenfluss über die USB- oder Bluetooth-Verbindung zum Messgerät ist bidirektional. Daher können die meisten Parameter auch vom PC aus eingestellt, bzw. ferngesteuert werden:

7.1 Betriebsparameter

Die Einstellungen für Start- und Stopp-Frequenz sowie die Leitungslänge werden mithilfe der PC-Tastatur im Klartext in jeweils eins der Textfenster eingegeben und mit der Enter-Taste bestätigt. Anstelle des Dezimalkommata können dabei auch die Buchstaben *m*, *M*, *k* oder *K* verwendet werden, unplausible Zeichenfolgen werden weitgehend abgefangen. Die Auswahl der Kabelsorte erfolgt über ein Drop-Down-Menü. Für die Wahl der Speicherbank im Messgerät (nur bei Zweipolbetrieb) stehen gesonderte Buttons zur Verfügung, bei anderen Betriebsarten sind diese ausgeblendet.

Zusätzlich zur manuellen Eingabe der Frequenzgrenzen gibt es insgesamt 16 weitere Buttons, an denen unmittelbar die Frequenzgrenzen aller im Frequenzbereich des Messgeräts verfügbaren Amateurfunkbänder abrufbar sind.

Die Darstellungsart am PC ist unabhängig von der zuletzt am Messgerät eingestellten Darstellungsart, d. h. sie ist jederzeit beliebig wählbar. Die Auswahl erfolgt über das Menü *Ansicht*.

7.2 Marker

Im PC-Programm stehen vier Marker zur Verfügung. Diese können mit der Maus frei auf den Kurven entlang gezogen werden. Dabei werden die genauen Messwerte jeweils in einer zugeordneten Box zusammengefasst und angezeigt.

Anstatt sie mit der Maus zu ziehen, können die Marker auch mithilfe der horizontalen Scrollbalken in den jeweiligen Boxen verschoben werden. Das Antippen der Pfeil-Buttons in den einzelnen Scrollbalken ist dabei von besonderer Bedeutung;

hiermit lässt sich der Marker um genau 1 Inkrement verschieben. Ebenso reagiert der jeweils aktive Marker auf eine Betätigung der Rechts-/Links-Cursorstasten an der PC-Tastatur. Damit der Marker aktiv (fokussiert) ist, müssen er oder sein Scrollbalken zuvor einmalig mit der Maus angeklickt worden sein. Die optische Aktualisierung eines auf diese Weise verschobenen Markers erfolgt allerdings immer erst nach einem vollständigen Wobbeldurchgang.

In den kartesischen (rechtwinkligen) Darstellungsarten entspricht 1 Inkrement der Markerposition jeweils einem Bildpixel in der Grafik. Da es pro Wobbeldurchgang genau 267 Messpunkte gibt, während die PC-Grafik in der Regel viel höher aufgelöst ist, werden die Markerdaten linear zwischen zwei Messpunkten interpoliert. Dabei müssen die Markerpositionen nicht zwangsläufig mit den Pixelpositionen übereinstimmen. Dies erklärt, weshalb bei besonders spitzen Kurvenpunkten die Marker nicht immer auf diese Spitzen gesetzt werden können. Dafür ist die allgemeine Auflösung der Kurvendaten wesentlich höher. Hingegen entspricht im Smith-Diagramm ein Inkrement der Markerposition jeweils einem Messpunkt, d. h. hier wird nicht interpoliert, sondern die Marker springen von genau einem Messpunkt zum nächsten.

7.3 Überwachung der Akkumulatorspannung

Solange eine Verbindung zwischen PC-Programm und Messgerät besteht, wird die aktuelle Akkumulatorspannung des Messgeräts über den PC angezeigt und vom Programm überwacht. Bei Annäherung an den Unterspannungsgrenzwert verändert sich (nur bei der Grafik-Einstellung *Windows klassisch*, bzw. bei *Windows XP*) die Farbe des Balkens in der Anzeige von grün in rot. Zusätzlich ertönt über das Lautsprechersystem des PC eine akustische Warnung in Form einer Sprachausgabe. Dabei entscheidet die Einstellung des Dezimalseparators, ob die Warnung in englischer oder deutscher Sprache erfolgt.

fa-va@funkamateu.de

Bezugsquellen

- [1] FUNKAMATEUR-Leserservice: Majakowskiring 38, 13156 Berlin, Tel. (0 30) 44 66 94-72, Fax -69, www.funkamateu.de → Online-Shop, E-Mail: shop@funkamateu.de
- [2] Microsoft.NET Framework 4: www.microsoft.com/downloads/de-de/default.aspx → Suchbegriff: *Framework*
- [3] Treibersoftware für die virtuelle COM-Schnittstelle: www.ftdichip.com/FTDrivers.htm