

*Hans Nussbaum – DJ1UGA, Rainer Müller – DM2CMB
Dr. Werner Hegewald – DL2RD (Herausgeber)*

HF-Messungen mit dem Netzwerktester
Das neue Buch zum FA-NWT

2., vollständig überarbeitete und erweiterte Auflage, Juni 2011

© Box 73 Amateurfunkservice GmbH
Majakowskiring 38 · 13156 Berlin

Alle Rechte vorbehalten

ISBN-13: 978-3-910159-56-3
ISBN-10: 3-910159-56-7

Satz: Box 73 Amateurfunkservice GmbH
Druck und Bindung: Druckhaus „Thomas Müntzer“ GmbH, Bad Langensalza
Fotos und Screenshots: Hans Nussbaum und Rainer Müller, sofern nicht anders angegeben

Kein Teil dieser Publikation darf ohne ausdrückliche schriftliche Genehmigung des Verlages in irgendeiner Form reproduziert oder unter Verwendung elektronischer Systeme verarbeitet, vervielfältigt, verbreitet oder im Internet veröffentlicht werden.

Inhaltsverzeichnis

1	Der Netzwerktester FA-NWT	11
1.1	Was ist ein Netzwerkanalysator bzw. -tester?	11
1.2	Bausatz FA-Netzwerktester (FA-NWT)	11
1.2.1	Vorbemerkungen	11
1.2.2	Aufbau des Bausatzes	13
1.3	Erweiterungsbaugruppen	14
1.3.1	Reflexionsmesskopf	14
1.3.2	Softwaregesteuerte Dämpfungsglieder	15
1.3.3	Zweiter logarithmischer Tastkopf	17
1.3.4	Spektrumanalysator-Vorsatz (FA-SAV)	17
1.3.5	FA-NWT <i>plus</i>	18
1.3.6	Frequenzerweiterung bis 2,7 GHz	20
1.4	Messhilfsmittel	21
1.4.1	Messkabel	21
1.4.2	HF-Adapter	21
1.4.3	Abschlusswiderstände	22
1.4.4	Dämpfungsglieder	23
1.4.5	Messverstärker	24
1.4.6	Weitere Hilfsmittel	25
2	Grundlegende Messungen und Messgrößen	26
2.1	Durchgangsmessungen	26
2.1.1	Das Dezibel	26
2.1.2	Die Leistungsangabe dBm	27
2.1.3	Die Spannungsangabe dB μ V	27
2.1.4	Dezibelrechnung bei Gleichstrom	28
2.2	Reflexionsmessungen	29
2.2.1	Reflexionsdämpfung	29
2.2.2	Reflexionsfaktor	30
2.2.3	Stehwellenverhältnis	31
2.3	S-Parameter-Messungen	32
2.4	Anpassungsmessungen am NWT selbst	34
3	Die Software WinNWT und LinNWT	37
3.1	Installation	37
3.1.1	USB-Treiber	37
3.1.2	Installation WinNWT auf der Festplatte des PC	37
3.1.3	Installation WinNWT auf einem USB-Stick	38
3.1.4	Installation LinNWT unter Linux	38
3.2	Benutzeroberfläche LinNWT und WinNWT	39
3.2.1	Grundsätzliches	39
3.2.2	Einstellungen	41
3.2.3	Frequenzmarken	43
3.2.4	Profile	44

3.3	Grafikfenster	44
3.4	Kalibrierfunktionen	44
3.4.1	Logarithmische Messsonde	45
3.4.2	Lineare Messsonde	46
3.4.3	Einpegelung zusätzlicher Messhilfsmittel	47
3.4.4	Kalibrierung der Taktfrequenz	48
3.5	Arbeitsblatt Wobbeln	48
3.5.1	Grundfunktionen	48
3.5.2	Betriebsart Wobbeln	50
3.5.3	Betriebsart SWV	51
3.5.4	Betriebsart SWV_ant	51
3.5.5	Betriebsart Z-Impedanz	52
3.6	Arbeitsblatt Wobbelkurvenmanager	52
3.7	Arbeitsblatt VFO	55
3.8	Arbeitsblatt Wattmeter	56
3.8.1	Einsatzmöglichkeiten und -grenzen	56
3.8.2	Kalibrierung mit einem HF-Generator	57
3.8.3	Kalibrierung mit einem „Kalibrator“	57
3.8.4	Einpegelung mit internem VFO	58
3.8.5	Einpegelung mit dem Stationstransceiver	58
3.8.6	Anwendungshinweise	59
3.9	Arbeitsblatt Berechnungen	60
3.10	Arbeitsblatt Impedanzanpassung	60
3.11	Zusatzfunktionen	62
3.11.1	Frequenzzoom	62
3.11.2	Direkte Gütemessung	62
3.11.3	Wobbeln im NF-Bereich	62
3.11.4	Wobbeln im HF-Bereich bis 200 MHz	62
3.11.5	Messkurvenauswertung	64
4	Durchführung einfacher Messungen	65
4.1	Erste Schritte	65
4.2	Filtermessungen	65
4.2.1	Durchgangsverhalten	65
4.2.2	Anpassung	67
4.2.3	Messbeispiel Bandpass	69
4.2.4	Messungen an ZF-Filtern	70
4.3	Messungen an Quarzfiltern	71
4.3.1	Messung an einzelnen Quarzen	71
4.3.2	Mittenfrequenz und Durchgangsdämpfung	72
4.3.3	Messung der Weitabdämpfung	74
4.3.4	Messung der Reflexionsdämpfung	77
4.4	Impedanzmessung	77
4.4.1	Widerstand	77
4.4.2	Kapazität	77
4.4.3	Induktivität	78
4.5	Resonanzmessungen	80
4.5.1	Bau eines Messadapters	80

4.5.2	Induktivitätsmessung mit Sonden	81
4.5.3	Messungen an Spulen auf Eisenpulver-Ringkernen	82
4.5.4	Messungen an Spulen auf Ferritkernen	83
4.5.5	Messung einer hohen Induktivität	84
4.5.6	Nochmals: Kapazitätsmessung	85
4.5.7	Eigenresonanzen bei Kondensatoren und Spulen	86
5	Messung der Spulengüte	89
5.1	Vorbemerkungen	89
5.2	Gütebestimmung über die Reflexionsdämpfung	90
5.2.1	Messprinzip	90
5.2.2	Bau eines Gütemessers	92
5.2.3	Gütemessung mit einer Koppelspule	93
5.3	Gütebestimmung mittels Durchgangsmessung	94
5.3.1	Messprinzip	94
5.3.2	Messung sehr hoher Güten	95
5.3.3	Vergleichende Untersuchungen	95
5.4	Schwingkreisverluste	97
5.4.1	Spulenverluste	97
5.4.2	Messung des Parallelverlustwiderstandes	98
5.5	Gütemessung mittels Serienresonanzkreis	98
5.6	Magnetantennen	101
6	HF-Übertrager	102
6.1	Übertrager zur Antennenanpassung	102
6.1.1	Vorbemerkungen	102
6.1.2	1:9-Unun	102
6.1.3	Anpassung einer 5 m langen Drahtantenne	103
6.1.4	Anpassschaltung für kurze Antennen	105
6.1.5	Endgespeiste Außenantenne	106
6.2	HF-Übertrager zur Antennensymmetrierung	107
6.2.1	Leitungsimpedanz	107
6.2.2	Messung des Transformationsverhaltens	109
6.2.3	Wirkungsgrad und Verluste	111
6.3	Übertrager als Messhilfsmittel	113
6.3.1	Kommerzieller 1:4-Übertrager	113
6.3.2	Eigenbau-Messübertrager 1:9	115
6.4	Mantelwellensperren	116
6.4.1	Koaxialkabeldrosseln	116
6.4.2	Ferritstabdrosseln	117
6.4.3	Klappferrite	118
6.4.4	Ringkerndrosseln	119
7	Koaxialkabel	121
7.1	Grundsätzliche Daten	121
7.1.1	Wellenwiderstand	121
7.1.2	Verkürzungsfaktor	121
7.1.3	Kabeldämpfung	121

7.1.4	Resonanzwirkung	122
7.2	Koaxialkabel am NWT	122
7.2.1	Resonanzverhalten	122
7.2.2	Längenbestimmung durch SWV-Messung	124
7.2.3	Längenbestimmung ohne Rechnung	126
7.2.4	Weitere Kabeldaten	127
7.2.5	Kabelimpedanz	127
7.2.6	Überprüfung von unbekanntem Kabeln	128
7.2.7	Zweidraht-Leitungen	130
8	Antennensysteme	133
8.1	Messung einer Kurzwellen-Antennenanlage	133
8.1.1	Reflexionsdämpfung	133
8.1.2	Länge des Speisekabels	135
8.1.3	Länge des Antennendrahtes	136
8.1.4	SWV am Fußpunkt	136
8.2	Messung einer 2-m-Antennenanlage	137
8.2.1	Reflexionsdämpfung, SWV und Impedanz	137
8.2.2	Länge des Speisekabels	138
8.3	Messung einer Wendelantenne	139
8.3.1	Messung ohne Richtkoppler	139
8.3.2	Messung mit Richtkoppler	140
8.4	Antennenkoppler	141
8.4.1	Antennenanpassung	141
8.4.2	Anpassung einer Glühlampe	143
8.4.3	Einfügungsdämpfung	144
9	Anspruchsvolle Messungen	146
9.1	Eigenbau-Breitbandverstärker	146
9.1.1	Aufbau des Verstärkers	146
9.1.2	Frequenzgang	146
9.1.3	Aussteuerungsbereich und Dynamik	147
9.1.4	Reflexionsdämpfung	148
9.2	Rauschmaß	149
9.2.1	Rauschgenerator	149
9.2.2	Rauschmaßmessung	149
9.2.3	Y-Faktor-Methode	150
9.3	Sendeleistung	151
9.3.1	Sendeleistung eines 2-m-Handfunkgerätes	151
9.3.2	Leistungsdämpfungsglieder	152
9.4	Empfängermessungen	154
9.4.1	Bandbreite	154
9.4.2	S-Meter-Anzeige	155
9.4.3	Eingangsanpassung	155
9.5	Messung der Anpassung von Baugruppen und Filtern	156
9.5.1	Messung der Filteranpassung	156
9.5.2	Ableich eines Filters	158
9.5.3	S-Parameter bestimmen	161

9.5.4	Probleme bei Impedanzmessungen an Filtereingängen	161
9.5.5	Messung von Filterdurchlasskurven bei $Z \neq 50 \Omega$	164
9.5.6	Messung von Durchlasskurven an Baugruppen mit $Z = 75 \Omega$	165
9.6	Bestimmung von Quarzparametern	166
9.7	Richtdiagramme von Antennen aufnehmen	172
10	Weitere Anwendungen des NWT	175
10.1	Frequenzverdoppler	175
10.1.1	Wirkung der Frequenzverdopplung	175
10.1.2	Einpegelung des Frequenzverdopplers	175
10.2	Einfacher Versuchs-Spektrumanalysator	177
10.2.1	Zusatzschaltung	177
10.2.2	Frequenzzähler	179
10.3	Miniatur-Spektrumanalysator für den UHF-Bereich	179
10.4	Radiohören mit dem NWT	181
11	Messungen mit dem FA-SAV	183
11.1	Handhabung der Software LinNWT/WinNWT	183
11.1.1	Vorbemerkungen	183
11.1.2	Betriebsart Spektrumanalyser	184
11.1.3	Pegelkorrektur des SAV	184
11.1.4	Frequenzkorrektur des SAV	185
11.1.5	Weitere SAV Einstellungen	185
11.1.6	Betriebsart Spek.FRQ-Shift	185
11.2	Signalauswertung	186
11.3	Messung mit einem Zweitongenerator	188
12	Messungen mit der Frequenzerweiterung	190
12.1	Durchgangsmessungen	190
12.2	Reflexionsmessungen	191
12.2.1	Geeignete Reflexionsmessköpfe	191
12.2.2	Durchführung von Reflexionsmessungen	193
12.3	Ansteuerung der Frequenzerweiterung mit anderen Generatoren	193
13	Literatur	196
Anhang 1	Kurzanleitung zur Software WinNWT für den FA-Netzwerktester	199
Anhang 2	Netzwerktester FA-NWT: USB-Adapter unter Windows nutzen	213
Anhang 3	Stehwellenverhältnis, Reflexionsfaktor und Rückflussdämpfung	215
Anhang 4	Leistung, Spannung, dBm und dBμV	218
Anhang 5	Grafische und numerische Ermittlung von Schwingkreisparametern	221
Anhang 6	Technische Daten des FA-NWT	224

Das NWT-Projekt

Es war der lange gehegte Wunsch von Bernd Kernbaum, DK3WX, einen kleinen, PC-gestützt arbeitenden Netzwerkanalysator zu schaffen, den sich jeder Funkfreund leisten und aufbauen kann. Wohl wissend, niemals in Qualitätsregionen eines kommerziellen Analysators der 20 000-€-Klasse vorstoßen zu können, prägte er dafür die Bezeichnung *Netzwerktester* (NWT).

Die ersten Varianten wurden 1999 und 2002 im FUNKAMATEUR vorgestellt. Als der bis 200 MHz arbeitende DDS-Schaltkreis AD9951 auf den Markt kam, zeichnete sich die Möglichkeit ab, mit dem NWT auch den 2-m-Bereich erschließen zu können. Um den dadurch verschärften Anforderungen hinsichtlich HF-gerechter Leitungsführung zu entsprechen, entwarfen die beiden HF-Entwickler Günther Borchert, DF5FC, und Norbert Graubner, DL1SNG, nach dem Konzept von Bernd Kernbaum 2005 Schaltung und Platine des FA-NWT in SMD-Technologie.

Seit 2006 steht der Bausatz FA-NWT mit SMD-vorbestückter Platine über den Leserservice des FUNKAMATEURS zur Verfügung. Dieser erfreut sich bis heute großen Zuspruchs, zumal man sich anhand von Baumappen und Bedienungsanleitungen auf www.funkamateurer.de vorher umfassend informieren kann. Die Schaltung erfuhr über die Jahre einige Veränderungen und wartet aktuell mit USB-Schnittstelle, 400-MHz-Taktgenerator mit SAW-Filter sowie wesentlich verbesserter Oberwellenunterdrückung auf.

Bald wurden Wünsche nach mehr Funktionalität laut. Mit Unterstützung des FA-Leserservice entstanden daraufhin u. a. ein softwaregesteuertes Dämpfungsglied, ein Spektrumanalysator-Vorsatz sowie eine Frequenzweiterung bis 2,7 GHz.

Andreas Lindenau, DL4JAL, hatte die Entwicklung des NWT von Anfang an verfolgt

und dazu ein Linux-Programm geschrieben. Er unterstützte das Projekt FA-NWT, indem er 2006 seine Software LinNWT für Windows-PCs portierte. Seitdem sind unzählige Anregungen der Nutzer eingeflossen, und LinNWT/WinNWT liegt in einer als wirklich ausgereift zu bezeichnenden Version 4.09 vor – ohne dass ein Ende der Entwicklung absehbar wäre.

Die umfassende Nutzung des FA-NWT erfordert neben HF-technischem Grundverständnis ein gewisses Know-how, das sich Zeitschriftenbeiträgen allein kaum entnehmen lässt oder sehr umständlich aus einer Vielzahl von Quellen zusammengesucht werden muss. Redaktion und Verlag schätzen sich daher sehr glücklich, in Hans Nussbaum, DJ1UGA, einen Autor gefunden zu haben, der es versteht, sein Fachwissen allgemein verständlich darzustellen und dafür nur so viel Mathematik zu bemühen, wie unbedingt erforderlich ist.

Für die anstehende Überarbeitung und Erweiterung des Werkes gelang es nunmehr, in Rainer Müller einen Kompetensträger zu gewinnen, der persönlich an der Entwicklung vorgenannter Erweiterungsbaugruppen mitwirkte. Im Folgenden machen beide Autoren den Leser mit der Handhabung des FA-NWT vertraut und stellen dessen vielfältige Möglichkeiten anhand zahlreicher Messbeispiele dar. Wo notwendig, erfährt der Leser auch etwas über die zugrundeliegende Theorie.

Möge das vorliegende Werk dazu beitragen, eine große Anzahl an Funkamateuren und Hobbyelektronikern an der eingangs geäußerten großartigen Idee von Bernd Kernbaum teilhaben zu lassen.

*Dr.-Ing. Werner Hegewald, DL2RD
Chefredakteur des FUNKAMATEURS
Berlin, im Mai 2011*

Vorwort zur zweiten Auflage

Seit Veröffentlichung der ersten Auflage im Jahr 2007 hat sich viel getan – der FA-NWT ist erwachsen geworden! Zusammen mit einigen Ergänzungsbaugruppen sind jetzt auch Messungen an aktiven Signalquellen (Spektrumanalyse) möglich. Mit der Frequenzerweiterung lassen sich Durchgangs- und Reflexionsmessungen ggf. bis 2,7 GHz durchführen. Die Software WinNWT/LinNWT von DL4JAL hat sich zur Standardsoftware für den NWT etabliert und ist bereits in der vierten Version in Umlauf. Es wurde höchste Zeit für eine zweite Auflage, die zusätzlich all diese Veränderungen erfasst und erläutert.

Als mich der Verlag fragte, ob ich die Überarbeitung des Buches übernehmen könnte, fiel mir die Entscheidung leicht. Seit 2003 mit dem auf einem Konzept von Bernd Kernbaum, DK3WX, beruhenden Netzwerktester befasst, habe ich viele Erfahrungen bei der Arbeit damit sammeln können. Zudem entwickelte ich selbst einige Zusatzbaugruppen bzw. wirkte an deren Entwicklung mit. An dieser Stelle gilt Andreas Lindenau, DL4JAL, Dank und Anerkennung. Ohne seine Änderungen und Anpassungen der Software wären die Baugruppen wertlos gewesen. Das Konzept von Hans Nussbaum, DJ1UGA, der für eine Überarbeitung des Buches aus zeitlichen Gründen leider nicht zur Verfügung stand, wurde in der neuen Ausgabe beibehalten: Nach der Vorstellung der Technik und Ausführungen zu Messungen und Messgrößen folgt eine – hier jedoch völlig neu geschriebene – Vorstellung der Software WinNWT/LinNWT V 4.09.

In den weiteren Kapiteln steht die Praxis der Durchführung von Messungen im Vordergrund. Dabei erfuhren die Kapitel 4 bis 10 eine Aktualisierung und teilweise erhebliche Ergänzung. Neu kamen die Ka-



Der Autor und Referent Rainer Müller beantwortet gern Fragen im QRP-Forum.

pitel „Messungen mit dem FA-SAV“ und „Messungen mit der Frequenzerweiterung“ hinzu. Der Anhang enthält nun weitere nützliche Arbeitsmaterialien.

Ich wünsche viel Freude und Erfolg bei der Arbeit mit dem Netzwerktester und freue mich, mit diesem Buch die nötige Unterstützung geben zu können.

*Dipl.-Ing. Rainer Müller, DM2CMB
Rostocker Heide, im Frühjahr 2011
E-Mail: nwt@funkamateure.de*

Zur Person

Rainer Müller, Dipl.-Ing., Rufzeichen DM2CMB, Jahrgang 1944, ist seit 1968 lizenzierter Funkamateur.

Als gelernter Fernmeldebaumonteur bei der Post qualifizierte er sich im Fernstudium zum Ingenieur für Fernsprech- und Fernschreibtechnik sowie später zum Dipl.-Ing. für Informationstechnik. Nach langjähriger Tätigkeit als Technischer Leiter einer Richtfunkbetriebsstelle arbeitete er bis zu seiner Verrentung bei der Telekom AG in der Netzplanung.

Viele Leser kennen Rainer Müller als Autor von Beiträgen in funk, FUNKAMATEUR und TV-Amateur, als kompetenten Gesprächspartner im QRP-Forum sowie als Referent auf Amateurfunktreffen.

Vorwort zur ersten Auflage

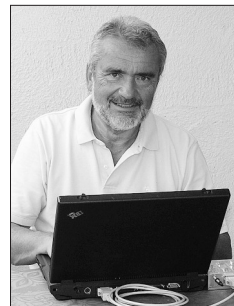
Nach der Ankündigung, dass ein sogenannter Netzwerktester als Bausatz beim FUNKAMATEUR-Leserservice zu erste-
hen war, wuchs mein Interesse an einem
solchen Gerät. Die technischen Daten und
das Konzept waren beeindruckend, wes-
halb ich mir einen Bausatz bestellte. Nach
gut zwei Stunden Bestückungszeit war es
dann soweit, die Software konnte aufge-
spielt und der FA-Netzwerktester in Be-
trieb genommen werden.

Die Vielzahl an Messungen, welche mit
dem Gerät ermöglicht werden, war so
überwältigend, dass ich mich entschloss,
diese einem breiteren Interessentenkreis
zugänglich zu machen. Soweit möglich,
werden nachstehend die Messungen und
deren Ergebnisse ohne mathematische
Formeln interpretiert.

Das Hauptaugenmerk liegt auf den leicht
verständlichen Messaufbauten und den
Messungen selbst, welche schrittweise er-
klärt werden. Anhand zahlreicher Screen-
shots erfolgt eine Erklärung der tatsächlich
sichtbaren Schirmbilder.

Das für die Messungen nötige Messzube-
hör ist minimal und beschränkt sich auf
wenige leicht erhältliche Adapter und
Bauteile. Ein Großteil der Messhilfsmittel
und Adapter ist inzwischen beim FA-Leser-
service erhältlich, weitere sollen folgen.

So geht es in diesem Band vornehmlich
um Versuche und Messungen, die das brei-
te Interessengebiet von Funkamateuren,
aber auch das von Elektronikbastlern be-
treffen. Die Tatsache, dass man elektro-
nisch speicherbare Bildschirmdarstellun-
gen zu Dokumentationszwecken erhält,
erweitert den Kreis möglicher Interessent-
ten beträchtlich, denn es entfällt das sonst
für solche Messungen unentbehrliche Os-
zilloskop. Letzteres Gerät sowie insbeson-
dere seine für den Laien mitunter schwer
nachvollziehbare Bedienung hatten bis-



**Hans Nussbaum
ist vielen Funk-
amateuren als
kompetenter Autor
bekannt**

lang so manchen technisch Interessierten
von diversen Experimenten abgehalten.
In diesem Sinne wünsche ich viel Freude
bei der Lektüre sowie gutes Gelingen bei
der Umsetzung in die Praxis.

*Ing. Hans Nussbaum, DJ1UGA
Tengling, im Frühjahr 2007
E-Mail: nwt@funkamateure.de*

Zur Person

Hans Nussbaum, Ing. (HTL), Rufzeichen
DJ1UGA, Jahrgang 1942, lizenziertes
Funkamateure seit 1991.

Nach dem Studium begann Hans Nus-
sbaum bei der Siemens AG als funktech-
nischer Entwicklungsingenieur. Ihm oblagen
Entwicklung und technische Betreuung
von Funk- und Radargeräten bis zur Se-
rienreife. 15 Jahre später wechselte er in
den Vertrieb von Funk- und Radargeräten.
Inzwischen ist er nach insgesamt 35 Jah-
ren Firmenzugehörigkeit im Ruhestand.
Hans Nussbaum ist seit Langem einem
breiten Leserkreis als Verfasser zahlreicher
Fachbeiträge und renommierter Fachbuch-
autor bekannt.