

Ein digitales Wattmeter für Dioden- und logarithmische Detektoren

Günter Köllner, DL4MEA

Am Anger 34

85256 Vierkirchen

Germany

Email: dl4mea@amsat.org

Packet: dl4mea@db0zka.#bay.deu.eu

Homepage: <http://www.qsl.net/dl4mea>
(Stand 29.01.2002)



Einleitung

Dieser Artikel beschreibt ein Meßgerät, welches sowohl Leistung als auch SWR messen kann. Als Meßwandler können entweder Diodenmeßköpfe (herkömmliche Dioden oder auch die Detektordioden z.B. von HP) als auch die neuerdings von Analog Devices vertriebenen logarithmischen Detektoren verwendet werden. Mit einigen Diodenmeßköpfen, z.B. HP423A oder HP8470B wird problemlos ein Frequenzbereich bis 18GHz, ggf. noch wesentlich höher, erreicht, wohingegen Analog Devices logarithmische Detektoren hinsichtlich des Dynamikbereichs, d.h. minimale bis maximale Leistung, eine neue Dimension darstellen.



Abbildung 1: DJ9BV-Wattmeter des Verfassers

Der Bedarf für dieses Meßgerät war beim Verfasser trotz vorhandener zweier hochwertiger Meßgeräte - einem HP436 Leistungsmesser (Abbildung 2) und einem DJ9BV-SWR-Meter (Abbildung 1) [1] – gegeben, um die Vorteile beider Meßgeräte in einem zusammenzufassen. Beide sollen hier im Vergleich zu dem von mir entwickelten Wattmeter vorgestellt werden, um die Funktion des meinen besser verstehen zu können.



Abbildung 2: HP436 Power Meter mit Zubehör

Im praktischen Betrieb zeigte sich, daß das HP436 am häufigsten angewendet wurde, allerdings dort ganz dringend zwei Eigenschaften vermißt wurden:

- **Spitzenleistungsmessung:** Gerade im Amateurfunkbereich bei SSB und CW kann man nur damit die Ausgangsleistung im laufenden Betrieb messen ohne einen Dauerträger senden zu müssen. Beim Abgleich einer Endstufe kann diese nur mit Morse-Punkten moduliert werden und wird damit thermisch geschont.
- **SWR-Messung:** Das Stehwellenverhältnis der Antenne ist immer von genereller Bedeutung. Ein automatischer Abgleich bzw. eine Berechnung des SWR aus dem Verhältnis vor- und rücklaufender Leistung ist ein entscheidender Bedienkomfort. Dies erfordert entweder ein Kreuzzeigerinstrument oder einen analogen (siehe DJ9BV-Wattmeter) bzw. digitalen Rechner (siehe dieses beschriebene Gerät).

	HP436 Leistungsmesser	DJ9BV-SWR-Meter	DL4MEA Power Meter
Anzeige	digital (mit analoger Trendanzeige)	analog	digital (optional mit analoger Trendanzeige)
Meßkanäle	1	2 (forward und reverse)	2 (forward und reverse)
Meßwerte	Leistung: linear (Watt) logarithm. (dB) relativ (dBr)	Leistung linear (Watt) Leistung linear peak SWR linear, autom. Vorw.Abgleich Return Loss	Leistung: linear (Watt), beide Kanäle, mit Spitzenleistung und Mittelwert-Funktion logarithm. (dB), beide Kanäle mit Mittelwert-Funktion relativ (dBr), beide Kanäle Stehwellenverhältnis (SWR) Return Loss (dB) Detektorspannung
Meßwandler	Thermische Brücke	Diodenmeßkopf	Diodendetektor oder Logarithmischer Detektor (z. B. Analog Devices)
Genauigkeit	hervorragend	gut	gut
Frequenz- bereich	bis 18GHz höher mit spez. Meßköpfen	bis 2,3GHz 4 schaltbare Meßbereiche	je nach Detektor bis über 20GHz
Dynamik- bereich	ca. 90dB von nW bis 30W	ca. 40dB von 0,1W bis 1kW	Diodendetektor über spezielle Annäherungsformel bis zu 50dB Log. Detektor je nach dessen Spezifikation bis zu 100dB
Meßkopf- austausch	sehr einfach	erfordert Neuabgleich	erfordert neue Eingabe der Parameter
Betriebs- spannung	220V	220V Akkubetrieb (Ladeschaltung mangelhaft)	12V / 500mA Steckernetzteil, interner Akku mit Ladeschaltung
Stoßempfind- lichkeit	gut	mäßig	gut
Kosten	Basisgerät: EUR 150,- Meßkopf: EUR 150,- bis 1000,-	Basisgerät: EUR 200,- Meßkopf: EUR 100,- bis 300,-	Basisgerät: € 150,- Meßkopf: € 1,- bis € 100,-
Bauteile	-	Drehschalter sehr teuer, schwer beschaffbar	Bürklin, Reichelt, Flohmarkt, eBay

Tabelle 1: Vergleich des HP436 Wattmeters, DJ9BV Wattmeters und DL4MEA digitalen Wattmeters

Diese beiden Zusätze und sonst die Eigenschaften des HP436 Wattmeters waren die technischen Ausgangspunkte zur Entwicklung des vorliegenden Wattmeters. Allerdings ist kein Meßgerät besser als sein Sensor. Da ich mich hier relativ wenig auskenne und ein entsprechender Einarbeitungsaufwand entstanden wäre, kam es mir sehr gelegen, daß einige Funkamateure in meinem Umkreis dieses Wissen bereits hatten und an mich weitergaben:

- Die Prinzipien des Diodenmeßkopfes, vor allem dessen im Artikel später beschriebene Kalibrierung auf einen breiten Frequenz- und Dynamikbereich, erläuterte mir Luis, CT1DMK. Von ihm stammen die Algorithmen zur Linearisierung der Diodenkennlinie. Diese sind ohne viel Aufwand nur mit einem Rechner realisierbar, außer man zeichnet für jeden Frequenzbereich eine eigene Skala (siehe Wattmeter der Fa. EME)
- Parallel dazu entwickelte Helmut, DL2MAJ, einen kleinen Meßkopf mit einem logarithmischen Detektor von Analog Devices. Um dessen Ausgangswert halbwegs komfortabel anzuzeigen benötigt es entweder einigen Schaltungsaufwand oder einen Rechner.

Das DL4MEA Power-/SWR-Meter

Durch die beschriebenen Voraussetzungen war klar, daß meine Hauptaufgabe lediglich darin bestand einen Analog-Digitalwandler, einen Rechner und eine LCD-Anzeige zu kombinieren. Mein Vorteil war, daß ich bei einem vorangegangenen Projekt (Antennen-Nachführung mit Hilfe eines Rhode&Schwarz Drehstands) bereits ein „Betriebssystem“ für das gesuchte Gerät entwickelt hatte, d.h. Tastenabfrage, LCD-Ansteuerung, Interruptsystem etc. Die Implementierung sollte wiederum in C für einen Atmel AT89S8252-Prozessor stattfinden, weil dieser Rechner neben 8kByte Programmspeicher auch 2kByte EEPROM zur Speicherung der Kalibrierungsdaten besitzt. Lediglich ist das interne RAM etwas klein, so daß nur 2 Sekunden Historie-Daten aufgezeichnet werden können, was aber annehmbar erschien.

1 Bedienung

Das Bedienkonzept stand eigentlich von vornherein fest: Es sollte sich soweit möglich an das des HP436 Wattmeters anlehnen, um nicht ein neues erfinden zu müssen. Lediglich mußte eine Möglichkeit geschaffen werden, den Abgleich des Sensors abzuspeichern sowie die SWR-Messung einzubauen.

1.1 Tastenfunktionen

Das Meßgerät besitzt acht Tasten. Jede Taste ist zweimal belegt: einmal im Normalbetrieb und einmal für den Abgleich. Dadurch ergibt sich eine einfach Bedienung.

1.1.1 Tastenfunktionen im normalen Betrieb / Operating:

Setup	Mode	linear: Peak dB: relative	Range Hold Reference		Band up	Band down	Analog select
-------	------	------------------------------	-------------------------	--	---------	-----------	------------------

Setup

Mit dieser Taste gelangt man in den Abgleichmodus

Mode

Mit dieser Taste wählt zwischen den Betriebsarten

1. Leistung linear (Watt)
2. Leistung logarithmisch (dBm)
3. Detektorspannung (mV)

Nach einem Wechsel der Betriebsart befindet sich das Meßgerät in dem für diese Meßart definierten Grundzustand

Peak / Average
dB relative

Die Funktion dieser Taste ist unterschiedlich je nachdem in welcher Betriebsart es sich befindet:

Leistung linear: schaltet zwischen Spontananzeige, Mittelwertbildung und Spitzenleistungsmessung um

Leistung logarithmisch: schaltet zwischen absoluter Leistungsmessung (bezogen auf dBm) und relativer Leistungsmessung um. Anders als beim HP436 wird allerdings der Referenzwert nicht sofort beim Einsprung aus der momentan anliegenden Leistung ermittelt sondern erst nach Drücken der Taste **dBr:Reference**. Dies hat den Vorteil, daß man jederzeit zwischen relativer und absoluter Leistungsmessung wechseln kann und dabei den Bezugswert der relativen Messung behält.

Range Hold
dBr Reference

Die Funktion dieser Taste ist unterschiedlich je nachdem in welcher Betriebsart es sich befindet:

Leistung linear: Range Hold verhindert eine automatische Umschaltung des Meßbereichs.

Leistung logarithmisch: Übernimmt in der Betriebsart „Relative Leistungsmessung (dBr)“ den momentanen Meßwert als neuen Referenzwert.

Band Up

Für 20 konfigurierbare Frequenzen kann ein Kalibrierungsparametersatz gespeichert werden. Die beiden Tasten wählen den jeweiligen Parametersatz. Die angezeigte Kennung (z.B. Frequenzband) eines Parametersatzes ist ebenfalls konfigurierbar und wird im Display angezeigt.

Band Down

Analog Select

Auswahl des Wertes, der vom Analogmeßinstrument angezeigt wird.

1.1.2 Tastenfunktionen im Einrichtebetrieb / Setup:

Durch einen Druck auf die Taste „Setup“ gelangt man in den Einrichtebetrieb. In diesem besitzen alle Tasten jeweils eine einzige, neue, Bedeutung:

Next Value	Escape		-100	+100	-1	+1	Enter
------------	--------	--	------	------	----	----	-------

Next Value

Diese Taste wählt den nächsten Setup-Parameter aus.

ESC

Diese Taste dient zum Verlassen des Setup-Menues und springt wieder in den bisherigen Betriebsmodus zurück. Der aktuell angezeigte Wert wird nicht verändert, die bis dahin mit **Enter** bestätigten Änderungen bleiben aber erhalten.

-100

+100

-1

+1

Der einzugebende Wert wird um jeweils 100 bzw. 1 erhöht bzw. erniedrigt. Die Tasten besitzen einen Wiederholmodus, hält man eine Taste gedrückt so zählt der Eingabewert in der angegebenen Schrittweite weiter.

Enter

Erst nachdem man diese Taste drückt wird ein Eingabewert auch in den Speicher und damit für alle weiteren Berechnungen übernommen.

Falls man einen Wert geändert hat, diesen aber nicht abspeichern möchte, hat man entweder die Möglichkeit mit „Next Value“ auf den nächsten Eingabewert zu springen oder mit „Escape“ den Einrichtebetrieb vollständig zu verlassen.

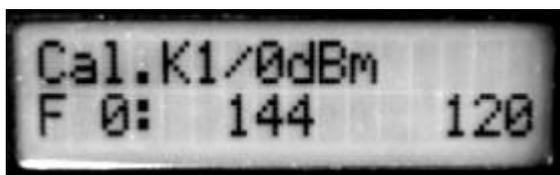
1.1.3 Einrichteparameter / Setup parameters:

Mittelwert-Haltezeit	<p>Das Meßgerät führt 10 Messungen pro Sekunde aus. Mit diesem Parameter wird die Anzahl Messungen ausgewählt über die gemittelt wird bevor der Meßwert in der Anzeige ausgegeben wird. Es kann maximal über 2 Sekunden gemittelt werden.</p> <p>Der Wert wird in 1/10 Sekunden eingegeben.</p>
Peak-Haltezeit	<p>Bei der Spitzenwertmessung wird über die angegebene Zeit der Maximalwert in der Anzeige gebracht. Längstens kann über 2 Sekunden ein Spitzenwert gesucht werden.</p> <p>Der Wert wird in 1/10 Sekunden eingegeben.</p>
Sensor Type	<p>Mit diesen Parametern wird dem Meßgerät der angeschlossene Sensortyp mitgeteilt. Diodendetektoren und logarithmische Detektoren benötigen eine unterschiedliche Art der Berechnung. Zusätzlich kann bei Diodendetektoren ausgewählt werden ob diese dem Meßgerät eine positive oder negative Ausgangsspannung liefern.</p> <p>Der gewählte Sensortyp wird im Display angezeigt und kann mit den Tasten +1 und -1 geändert werden. Beim Drücken der Taste Enter wird der neue Sensortyp gespeichert, mit Esc kann man das Menu verlassen, ohne daß ein neuer Typ abgespeichert wird.</p> <p>Dieser Parameter steuert auch den vor dem Analog-Digital-Wandler angeschlossenen Multiplexer (Wahlschalter):</p> <ul style="list-style-type: none">• Bei logarithmischen Detektoren wird die Eingangsspannung direkt an den AD-Wandler durchgeschleift.• Bei Dioden mit positiver Ausgangsspannung ist der mit

	<p>Operationsverstärkern realisierte nicht invertierende Verstärker ausgewählt.</p> <ul style="list-style-type: none"> • Bei Dioden mit negativer Ausgangsspannung ist der invertierende Verstärker ausgewählt. <p>Der Verstärkungsfaktor der beiden Verstärkerzweige kann über Widerstände eingestellt werden. Der voreingestellte Wert ist $V=1$.</p>
--	---

1.1.4 Sensor-Parametersatz:

Jeder Sensor ist durch einen Satz Parameterdaten gekennzeichnet. Für den Forward- und Reverse-Sensor können jeweils 20 Parametersätze abgespeichert werden.



Name of the value			
Forward/Reverse	Parameter Set Nr.	Band-ID	Value

Abbildung 3: Anzeige bei der Eingabe eines Kalibrierungsparameters

Ein Parametersatz umfaßt folgende Daten:

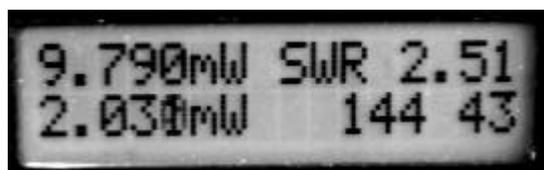
Band-Identifizier	<p>Dies ist einfach eine Zahl zwischen 0 und 65535, die im Display angezeigt wird, um einen Parametersatz zu identifizieren. Am einfachsten ist es wenn man dort z.B. 50, 144, 432, 1296 etc. eingibt. Um das Meßgerät universell zu halten sind diese nicht Festwerte sondern konfigurierbar.</p> <p>Der Identifizier des Forward-Sensors wird im LCD-Display angezeigt.</p>
Forward and Reverse: Pre-Attenuation	<p>Mit diesem Eingabeparameter kann ein Dämpfungsglied bzw. ein Richtkoppler berücksichtigt werden, um die Anzeige auf den Realwert hochzurechnen. Der Wert wird in 1/100dB interpretiert, d.h. der Wert wird durch 100 geteilt bevor er zur Berechnung herangezogen wird.</p> <p>Dieser Wert ist für Forward und Reverse einzeln konfigurierbar.</p>
Forward and Reverse: Diode: K1	<p><i>Dieser Wert wird unterschiedlich interpretiert je nachdem ob es sich um einen Diodendetektor oder einen logarithmischen Detektor handelt:</i></p> <p>Bei einem Diodendetektor ist das der Berechnungsparameter K1, dessen Funktion später erläutert wird. Die Eingabe erfolgt in 1/100, d.h. der eingegebene Wert wird durch 100 geteilt bevor er vom Wattmeter in die Formel eingesetzt wird.</p>
Log. Detektor: Spannung bei Referenz Leistung	<p>Bei einem logarithmischen Detektor entspricht dieser Wert der Spannung in mV, die der Detektor bei der Referenzleistung -10dBm ausgibt.</p>

Forward and Reverse:	<i>Dieser Wert wird unterschiedlich interpretiert je nachdem ob es sich um einen Diodendetektor oder einen logarithmischen Detektor handelt:</i>
Diode: K2	Bei einem Diodendetektor ist das der Berechnungsparameter K2, dessen Funktion später erläutert wird. Die Eingabe erfolgt in 1/100, d.h. der Wert wird durch 100 geteilt bevor er in die Formel eingesetzt wird.
Log. Detektor: Steilheit in mV/10dB	Bei einem logarithmischen Detektor entspricht dieser Wert der Steilheit der Ausgangsspannung in mV pro 10dB.

2 Leistungsmessung

2.1 Betriebsart „Leistung linear (Watt)“

Nach dem Einschalten befindet sich das Meßgerät in der Betriebsart „Leistung linear (Watt)“, das Display sieht wie folgt aus:



Forward Power	SWR	
Reflected Power	Band	CPU-Load

Abbildung 4: Anzeige in der Betriebsart „Leistung linear (Watt)“

In der ersten Zeile wird die Forward-Leistung und das Stehwellenverhältnis angezeigt.

In der zweiten Zeile die Reverse-Leistung, der Band-Identifizierer und die Prozessorauslastung in Prozent.

Der Meßbereich wird automatisch aus dem Meßwert des Forward-Kanals ausgewählt. Unterschreitet die der um den Meßbereich korrigierte Wert 0,900, schaltet der Meßbereich in den darunterliegenden. Überschreitet der Wert 1000, so wird in den nächsten darüberliegenden umgeschaltet. Der Meßbereich des Reverse-Kanals ist zwecks einfacherer Ablesbarkeit identisch zum Forward-Kanal.

2.1.1 Tastenfunktionen in der Betriebsart „Leistung linear“

Über die Tasten „Band up“ bzw. „Band down“ kann man zwischen den zuvor aufgenommenen Kalibrierungssätzen der einzelnen Frequenzbänder wechseln. Der im Setup-Menü dem Parametersatz zugeordnete Identifizierer des jeweiligen Bands wird im Display angezeigt.

Mit der Taste „Peak / Average“ kann man zur Spitzenleistungsmessung bzw. Mittelwertbildung wechseln. Bei Spitzenleistungsmessung wird ein Zusatz „p“ wie „peak“ im Display angezeigt, bei Mittelwertbildung ein „a“ wie „average“.

Mit der Taste „Mode“ gelangt man in die nächste Betriebsart

2.2 Betriebsart „Leistung logarithmisch (dBm)“

In dieser Betriebsart wird die Leistung in dBm, d.h. logarithmisch bezogen auf 1mW Eingangsleistung angezeigt. Das Display sieht wie folgt aus:



Forward Power	Return Loss	
Reflected Power	Band	CPU-Load

Abbildung 5: Anzeige in der Betriebsart „Leistung logarithmisch (dBm)“

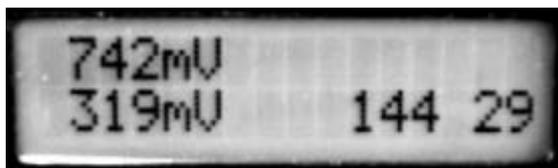
2.2.1 Tastenfunktionen in der Betriebsart „Leistung logarithmisch“

Über die Tasten „Band up“ bzw. „Band down“ kann man zwischen den zuvor aufgenommenen Kalibrierungssätzen der einzelnen Frequenzbänder wechseln. Der dem Parametersatz beim Setup zugeordnete Identifier des jeweiligen Bands wird im Display angezeigt.

Mit der Taste „dB relativ“ schaltet man in eine Relativdarstellung um. Der momentane Meßwert getrennt für Forward- und Reverse-Kanal wird als Referenzwert gespeichert und von allen weiteren Meßwerten abgezogen. Im Display wird dies durch den Zusatz „r“ wie „relativ“ angezeigt. Mit der Taste „dB Reference“ kann der Referenzwert jederzeit neu gesetzt werden.

2.3 Betriebsart „Detektorspannung“

Diese Betriebsart ist gedacht um die Eingangsspannung der Detektoren direkt anzuzeigen.



Voltage Forward		
Voltage Reverse	Band	CPU-Load

Abbildung 6: Anzeige in der Betriebsart „Detektorspannung“

3 Aufbau

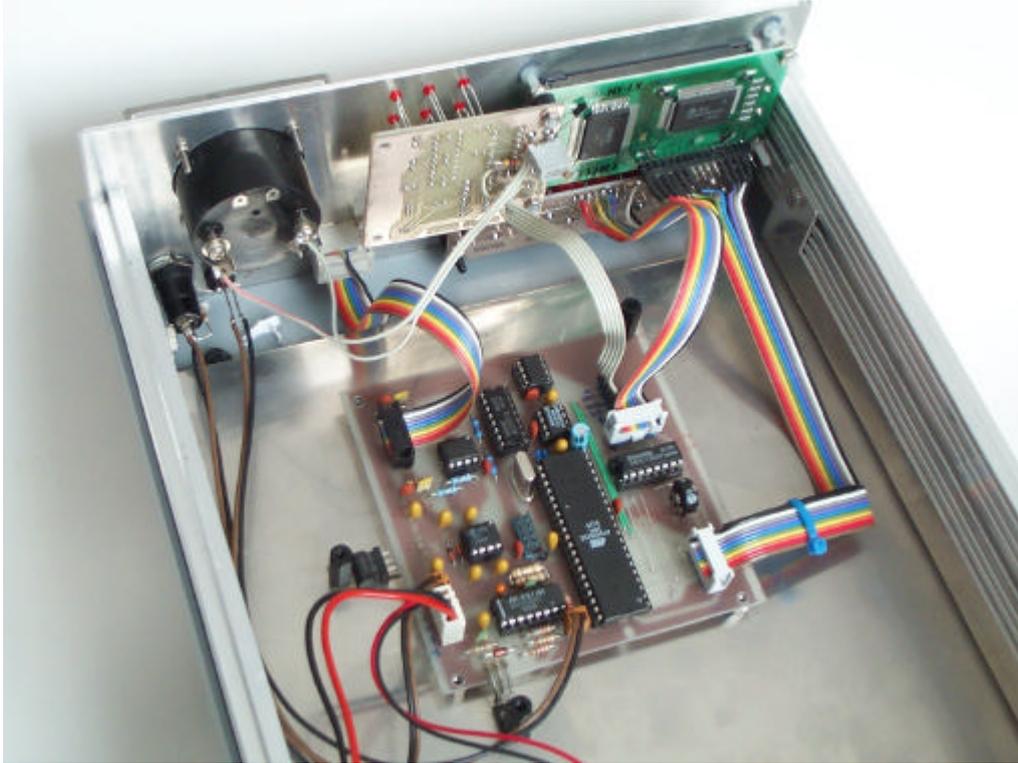


Abbildung 7: Innenansicht des Meßgeräts

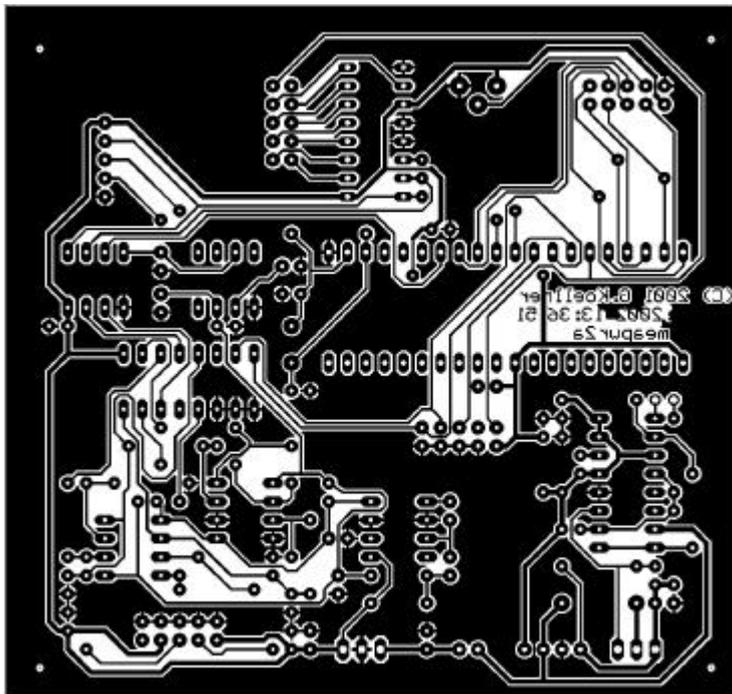
3.1 Hardware-Komponenten

Durch heute vorhandene Embedded-Controller mit einer sehr hohen Rechnerleistung war es möglich alle Funktionen in wenigen ICs und damit mit geringem Aufwand zu realisieren. Die Hardware besteht aus folgenden Komponenten:

1. CPU Atmel AT89S8252,
 - 8k Flash Programmspeicher
 - 2k EEPROM Datenspeicher
 - Nenn-CPU-Clock 24MHz, betrieben mit 33MHz
 - 32 IO-Pins
2. LCD-Anzeige
 - handelsübliche 2 zeilige, 16 stellige LCD-Anzeige
 - wenn gewünscht mit Backlight-Beleuchtung
3. Maxim MAX144 AD-Wandler
 - 2 Kanal Analog-Digital-Wandler mit serieller Schnittstelle
 - Meßbereich von 0V bis 4,096V in 4096 Schritten, d.h. 1mV Auflösung
 - ansprechbar mit max. CPU-Leistung, erfordert keine zusätzlichen Wartezyklen
4. Maxim MAX6341 Spannungsreferenz
 - 4,096V Spannungsreferenz hoher Genauigkeit
5. TS912 Operationsverstärker
 - Rail-to-Rail Verstärker zur Anhebung des Ausgangs von Diodendetektoren in den Dynamikbereich des AD-Wandlers bzw. Spannungsinvertierung bei Detektordioden mit negativem Spannungsausgang

6. CMOS 4052 Analog-Multiplexer
7. 74HC138 Keyboard-Multiplexer
8. Netzteilschaltung:
 MAX712 NiMH Ladecontroller
 6 NiMH Mignon-Zellen beliebiger Kapazität, Ladestrom 250mA
 LMxxxx 5V Low Drop Spannungsregler
 ICL7660 zur Erzeugung der negativen Versorgungsspannung der Operationsverstärker
 sowie einer hohen positiven Versorgungsspannung für die Spannungsreferenz

3.2 Hardware-Beschreibung



Die Leiterplatte (98mm x 93mm) ist einseitig, wobei auf eine möglichst große Massefläche geachtet wurde um das entstehende Störspektrum so gut wie möglich abzuschirmen. Sollte einmal eine größere Stückzahl Leiterplatten kommerziell gefertigt werden müssen, so wird eine Lage als Massefläche ausgeführt werden.

Abbildung 8: Leiterplattenlayout der Rechnerplatine

3.2.1 Stückliste

IC1.....Atmel AT89S8252 24MHz	IC10.....CD4052	R13.....68k
IC2.....MAX144	T1.....BD136	R14.....22k
IC3.....MAX6341	D1, D2, D3.....1N5819	R12.....1k
IC4.....74HC138	D4.....LED 5mm Low Current gelb	R15, R17.....1Ω
IC5.....ICL7660	R1, R2.....470	R16.....1k5
IC6.....L4941BV, 5 V Low Drop	R3, R4, R5, R6, R7, R8, R9, R10.....100k Metallfilm	R22.....4k7
IC7.....MAX712CPE	R11.....150	P1.....Trimmer 10k stehend
IC8, IC9.....TS912		C1, C2, C10, C11, C16, C1810n

C5, C6, C13, C14, C15, C26
..... 100n

C7, C8..... 2,2 μ

C9, C12, C17..... 1 μ

C3, C4, C19, C20, C21,
C22, C23..... 10 μ

C24, C25..... 10p

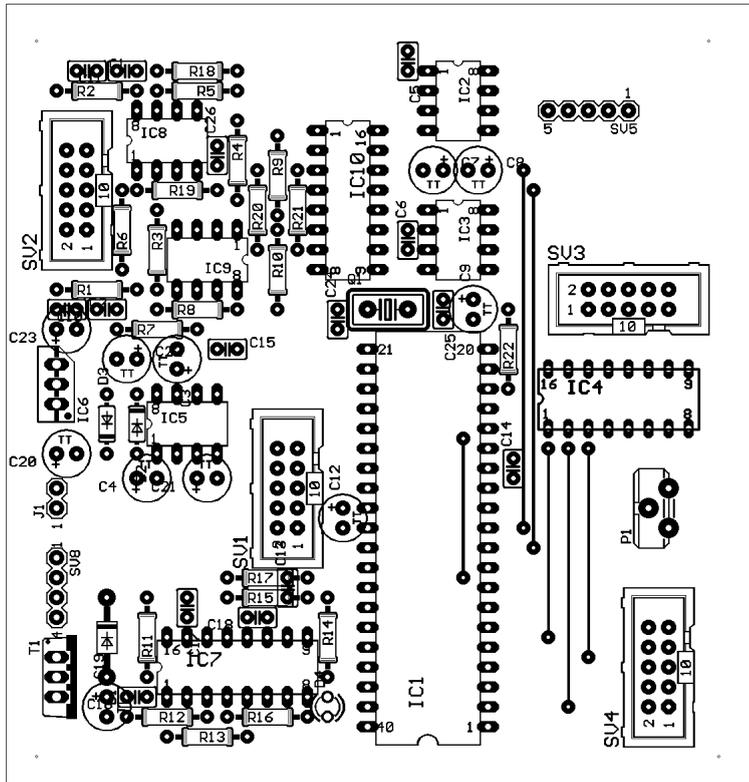
Q1..... Quarz 33MHz

J1..... 2pol. Stiftleiste

SV1, SV3, SV4.....
.. 10pol. 2reih. Stiftleiste

SV8..... 4pol. 1reihige
Stiftleiste

SV5..... 5pol. 1reih.
Stiftleiste



Vorsicht! T1 ist verkehrt
eingezeichnet, er wird so
bestückt daß der Kühlkörper
nach außen zeigt. Das Leiter-
bahn-Layout ist richtig.

T1 und IC6 müssen gekühlt
werden.

Abbildung 9: Bestückung der Rechnerplatine

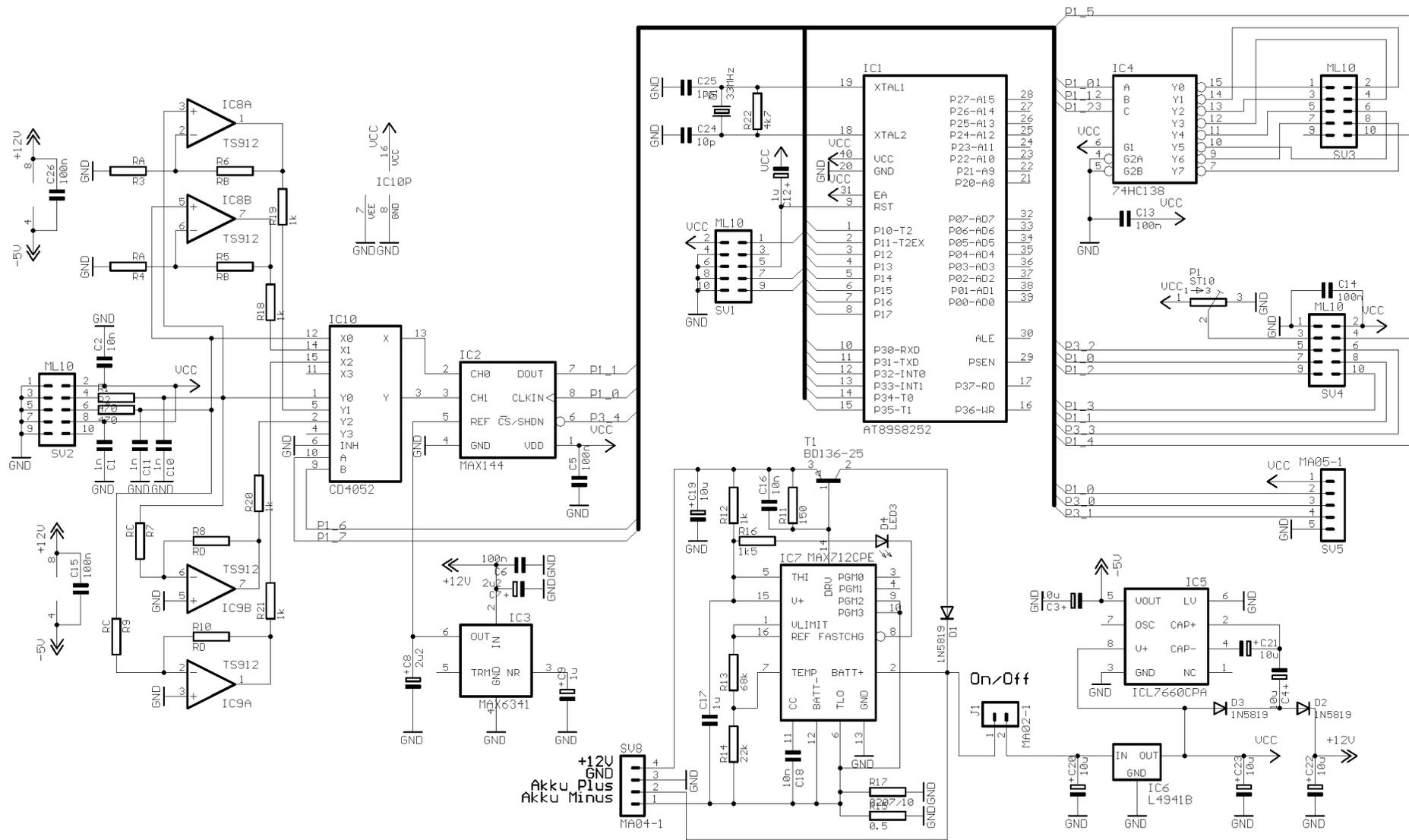


Abbildung 10: Schaltung des Wattmeters

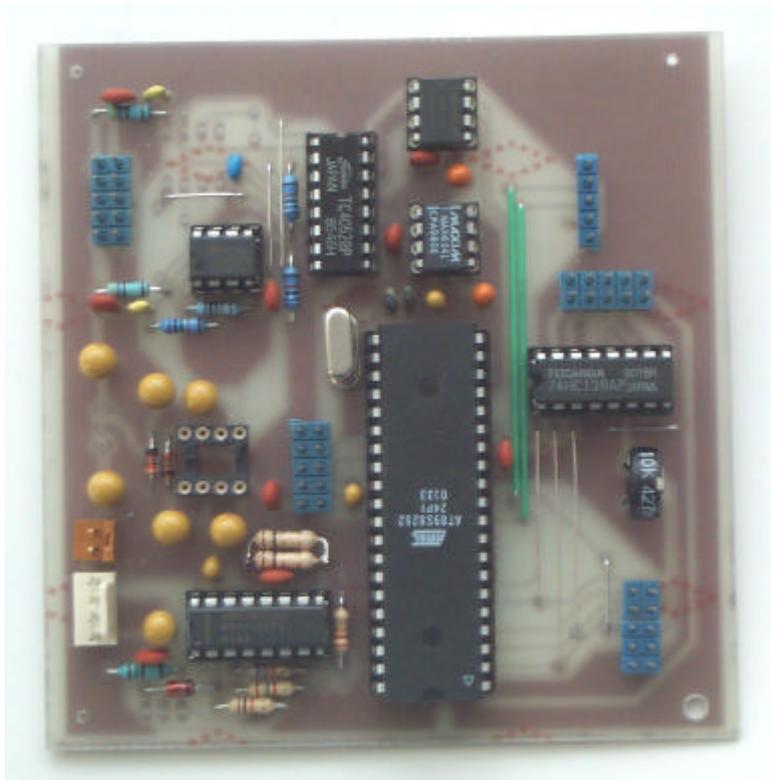


Abbildung 11: Rechnerleiterplatte

3.2.2 Stecker und Steckerbelegungen

J1: Ein-/Ausschalter

SV1: Programmieradapter

SV2: Sensor

Pin 1, 3, 5, 7, 9:	Masse
Pin 2 und 8:	+5V für log. Detektor
Pin 4:	Detektorspannung „forward“
Pin 6:	Detektorspannung „reverse“

Am einfachsten verwendet man eine 10poliges Flachbandkabel. An eine Seite wird eine 10poliger Quetschverbinder montiert und an der anderen ein 9poliger Sub-D Quetschverbinder.

Dieser 9polige SUB-D-Stecker hat dann folgende Pinbelegung:

Pin 1, 2, 3, 4, 5:	Masse
Pin 6 und 9:	+5V
Pin 7:	Detektorspannung „forward“
Pin 8:	Detektorspannung „reverse“

SV3: Tastatur

Pin 1-8:	Tasten
Pin 10:	gemeinsamer Kontakt

SV4: LCD-Anzeige	Pin 1:	GND
	Pin 2:	+5V
	Pin 3:	LCD Kontrast
	Pin 4:	RS
	Pin 5:	R/W
	Pin 6:	E
	Pin 7, 8, 9, 10	DB4 - DB7

Dieser Stecker ist so ausgelegt daß man am einfachsten ein Flachbandkabel an einen 10poligen Quetschverbinder montieren kann und die andere Seite der Reihe nach an den Stecker des LCD auflegen kann. **Vorsicht:** Normalerweise sind beim LCD die Datenleitungen D0 - D3 unbenutzt und werden nicht verdrahtet.

SV5: Analogdisplay-Erweiterung	Pin 1:	+5V
	Pin 2:	Strobe
	Pin 3:	Data
	Pin 4:	Clock
	Pin 5:	GND

SV8: Analogdisplay-	Pin 1:	12V/500mA vom Steckernetzgerät
	Pin 2:	Minuspol vom Steckernetzgerät
	Pin 3:	Akku-Pluspol, 6 Zellen zu je 1,2V
	Pin 4:	Akku-Minuspol

3.2.3 Hardwarebeschreibung

Bei näherer Betrachtung fällt sicher auf, daß die CPU mit 33MHz deutlich übertaktet wird. Die Erfahrung zeigt aber damit keine Probleme, sogar im gefädelten Versuchsaufbau gab es damit noch nie Probleme. Zudem ist dieser Prozessor bei 24MHz auf einen Spannungsbereich von 3,3V bis 5V spezifiziert, es sollten sich also bei der hier verwendeten Versorgungsspannung von 5V erst recht keine Probleme ergeben.

Dies ist nötig weil die Berechnungsformeln Floating-Point-Arithmetik erfordern, womit so ein kleiner 8 Bit-Prozessor schon ziemlich zu schaffen hat. Um das gesteckte Ziel von 10 Messungen pro Sekunde zu erreichen ist diese Taktfrequenz zwingend nötig. Die Prozessorauslastung steigt teilweise bis zu 90%. Der Verfasser betreibt seit langer Zeit in dieser Weise mehrere dieser Prozessoren absolut problemlos. Erwähnenswert ist der dem Quarz parallelgeschaltete Widerstand R22, der bei Quarzen, die für die 3. Oberwelle geschnitten sind, dafür sorgt, daß diese nicht auf der Grundwelle schwingen.

Der zweite auffällige Punkt ist daß nicht alle IO-Pins benutzt werden, sondern eher sogar noch Pins mehrfach verwendet werden. Der Grund dafür ist daß bewußt die Ports für einen externen Programm- und Datenspeicher freigehalten wurden um später die Möglichkeit zu haben, einen größeren Code und mehr Daten abzuspeichern. Während der Auflösung der Leiterplatte fiel zudem positiv auf daß das Routing damit wesentlich einfacher wurde.

Auf der Platine befindet sich ein Stecker für den Anschluß eines Programmiergeräts. Ein enormer Vorteil des verwendeten Prozessors AT89S8242 ist der, daß man ihn in der Schaltung programmieren kann. Dazu muß lediglich über einen Treiberbaustein eine Verbindung zum Druckerport hergestellt werden. Die dazu benötigte Software steht im Internet kostenlos zur Verfügung. Damit wird natürlich die Softwareentwicklung denkbar einfach: der Prozessor muß zum Neuladen der Software nicht aus der Schaltung entnommen werden, und einmal Programmierzyklus dauert ca. 1 Minute.

Weiterhin erwähnenswert ist die Ladeschaltung. Das Wattmeter ist für den Betrieb an 12V von extern ausgelegt. Eine Designschwäche des DJ9BV-Wattmeters ist sicherlich die dort eingebaute Netzteilschaltung:

- Auf der Hauptplatine befinden sich 220V
- Die Akkuladeschaltung ist mangelhaft

Deshalb habe ich mich bei der Konstruktion für eine richtige Ladeschaltung entschieden und festgelegt, daß das Wattmeter im netzgebundenen Betrieb von außen mit 12V/500mA versorgt werden soll, am besten aus einem einfachen Steckernetzteil. Da der Kern des Wattmeters über Akkus gepuffert ist gibt es keine besonderen Anforderungen an diese Stromversorgung. Für den Akku sind 6 Zellen zu je 1,2V vorgesehen. Solche Akkus sind nihct zuletzt im Surplus-Bereich als fertiges Packet billig auffindbar.

Für die Diodendetektoren besitzt das Meßgerät zwei Vorverstärker, einen nicht invertierenden Verstärker für Detektoren mit positiver Ausgangsspannung und einen in invertierender Schaltung für Diodendetektoren mit negativer Ausgangsspannung. Der Verstärkungsfaktor kann, wie später beschrieben, der Diode angepasst werden, um den Wandlerbereich des AD-Wandlers möglichst vollständig auszunützen. Hat man diesbezüglich keine besonderen Anforderungen kann der nicht invertierende Zweig einfach überbrückt werden.

Die LCD-Anzeige ist eine handelsübliche zweizeilige LCD-Anzeige zu je 16 Zeichen mit einem Hitach HD47200 Displayprozessor. Nahezu alle Characterdisplays verwenden diesen Controller. Nahezu alle haben einen 14poligen Stecker, bei dem die Datenleitungen der Reihe nach an SV4 angeschlossen werden. D0 bis D3 werden nicht verdrahtet. Es bleibt dem Anwender überlassen welche Zeichengröße er wählt oder ob ein Display mit Backlight verwendet wird.

4 Tastaturplatine

Diese Platine enthält lediglich 8 Tasten, die vom Prozessor über einen Demultiplexer regelmäßig abgefragt werden.

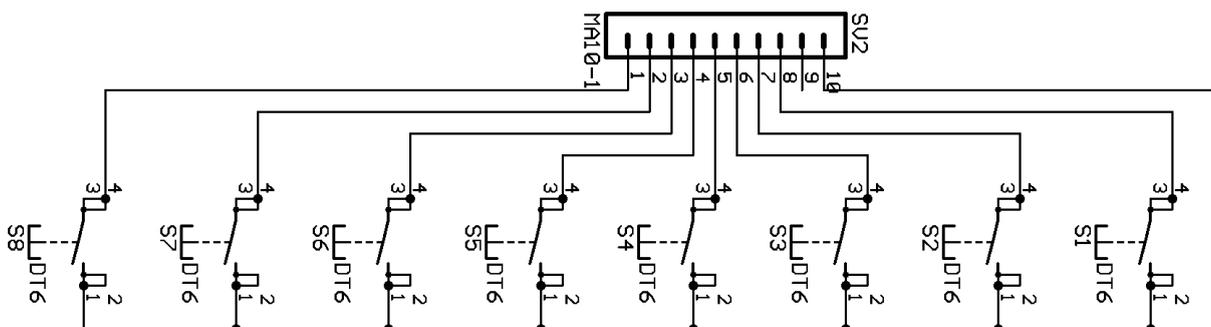


Abbildung 12: Schaltung der Tastaturplatine

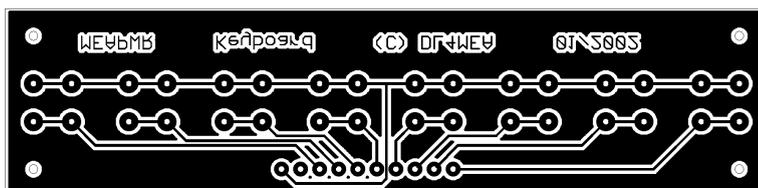


Abbildung 13: Layout der Tastaturplatine

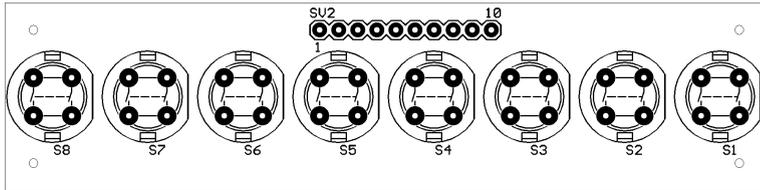


Abbildung 14: Bestückung der Tastaturplatine

5 Analoge Trendanzeige

Wie vom HP436 bekannt gibt es auch bei meinem Wattmeter eine Analoganzeige. Allerdings habe ich diese Anzeige versucht zu normieren, d.h. das Meßergebnis kann auch auf diesem abgelesen werden. Der dargestellte Wert kann über eine Taste ausgewählt werden und wird über Leuchtdioden angezeigt.

Da der Prozessor 10 Messungen pro Sekunde schafft kann der Analogwert auch zum Sweepen eingesetzt werden. Bei 10 Werten pro Skalenteil und 10 Skalenteilen Bildschirmbreite üblicher Oszilloskope ergibt das eine Sweepzeit von 10s, was meiner Meinung nach ein akzeptabler Wert ist.

Zum Zeitpunkt der Erstellung dieser Beschreibung war die Analoganzeige noch nicht implementiert, daher gibt es noch keine genauere Beschreibung.

6 Meßwandler

In diesem Kapitel sollen die beiden unterstützten Arten an Detektoren beschrieben werden, deren prinzipielle Funktion erklärt werden und gezeigt werden wie man das Meßgerät auf den jeweiligen Sensor abgleicht. Im Setup-Menü kann der entsprechende Detektor eingestellt werden.

6.1 Diodendetektoren



Abbildung 15: Beispiele kommerzieller Diodendetektoren

Diodendetektoren sind im Prinzip nichts anderes als ein Abschlußwiderstand mit einer Diode. Deren Ausgangsspannung ist die durch die HF-Leistung erzeugte Spannung am Abschlußwiderstand, prinzipiell nach der Formel

$$U = \sqrt{P \times R}$$

Leider aber trifft diese Formel nicht auf einen grenzenlosen Eingangsleistungsbereich zu. Besonders bei sehr kleinen Eingangsleistungen wird bedingt durch die Schwellspannung der Diode keine oder eine viel zu kleine Ausgangsspannung abgegeben. Grob gesagt ist das Verhältnis zwischen minimaler und maximaler Eingangsleistung einer Diode 1:1000. Man spricht hier von einem Dynamikbereich von 30dB. Vielleicht ist es hier erwähnenswert daß dies nichts mit der Meßbereichumschaltung z.B. 10W, 100W und 1000W zu tun hat, wie man sie von gängigen einfachen Leistungsmessern her kennt. Dort findet diese findet immer nur am Meßinstrument und nicht am eigentlich messenden Element, der Detektordiode, statt.

DJ9BV betreibt in seinem Wattmeter die Diode mit einem Vorstrom und erhält damit einen etwa um 10dB nach unten verbesserten Dynamikbereich. Dies ist aber schaltungstechnisch aufwendig, und man muß eine Nullpunktkorrektur vorsehen. Der Vorteil seiner Lösung aber ist daß sie sich mit analogen Elementen realisieren läßt.

Von Luis, CT1DMK, stammt ein weiterer, sehr guter Vorschlag zur Linearisierung dieser Kurve. Setzt man die gemessenen Spannungswerte in eine Formel

$$P = K1 \times U + K2 \times U^2$$

ein, und wählt K1 und K2 entsprechend, so linearisiert sich der Verlauf über einen weiten Bereich. Natürlich kann diese Berechnung in einem rein analog aufgebauten Wattmeter nur schwer realisiert werden, aber mit dem hier sowieso vorhandenen Prozessor bereitet es keine Probleme.

Folgende Tabelle und Grafiken verdeutlichen die gemachten Aussagen:

K1 = 1,200
K2 = 16,116

Eingangsleistung	theoretische Ausgangsspannung	gemessene Ausgangsspannung	Leistung berechnet			Leistung berechnet		
			nach $P=U^2/50$	Fehler absolut	Fehler prozentual	nach CT1DMK	Fehler absolut	Fehler prozentual
1,0 µW	0,007 V	0,0008 V	0,0 µW	-1,0 µW	-99%	1,0 µW	0,0 µW	-3%
2,0 µW	0,010 V	0,0016 V	0,1 µW	-1,9 µW	-97%	2,0 µW	0,0 µW	-2%
5,0 µW	0,016 V	0,0039 V	0,3 µW	-4,7 µW	-94%	4,9 µW	-0,1 µW	-1%
10 µW	0,022 V	0,0075 V	1 µW	-9 µW	-89%	10 µW	0 µW	-1%
20 µW	0,032 V	0,0141 V	4 µW	-16 µW	-80%	20 µW	0 µW	1%
50 µW	0,050 V	0,0310 V	19 µW	-31 µW	-62%	53 µW	3 µW	5%
100 µW	0,071 V	0,0514 V	53 µW	-47 µW	-47%	104 µW	4 µW	4%
200 µW	0,100 V	0,0830 V	138 µW	-62 µW	-31%	211 µW	11 µW	5%
500 µW	0,158 V	0,1380 V	381 µW	-119 µW	-24%	473 µW	-27 µW	-5%
1,0 mW	0,224 V	0,2167 V	0,9 mW	-0,1 mW	-6%	1,0 mW	0,0 mW	2%
2,0 mW	0,316 V	0,3298 V	2,2 mW	0,2 mW	9%	2,1 mW	0,1 mW	7%
5,0 mW	0,500 V	0,5320 V	5,7 mW	0,7 mW	13%	5,2 mW	0,2 mW	4%
10 mW	0,707 V	0,7720 V	12 mW	2 mW	19%	11 mW	1 mW	5%
20 mW	1,000 V	1,1300 V	26 mW	6 mW	28%	22 mW	2 mW	10%
50 mW	1,581 V	1,7200 V	59 mW	9 mW	18%	50 mW	0 mW	-1%
100 mW	2,236 V	2,3660 V	112 mW	12 mW	12%	93 mW	-7 mW	-7%
200 mW	3,162 V	3,6060 V	260 mW	60 mW	30%	214 mW	14 mW	7%
500 mW	5,000 V	3,1560 V	199 mW	-301 mW	-60%	164 mW	-336 mW	-67%
1,00 W	7,071 V	2,8700 V	0,16 W	-0,84 W	-84%	0,14 W	-0,86 W	-86%

Tabelle 2: Leistung und Spannung an einem Diodendetektor HP423A auf 435MHz

Diese Tabelle umfaßt den Leistungsbereich von 1µW bis 1W, d.h. eine Dynamik von 60dB.

In der zweite Spalte ist die theoretische Ausgangsspannung berechnet nach der Formel

$$U = \sqrt{P \times 50 \text{ Ohm}} .$$

In der dritten Spalte findet man die gemessene Ausgangsspannung für eine schon etwas bessere und teurere HP423A Detektordiode auf 435MHz. Besonders bei kleinen Leistungen sieht man die enorme Abweichung.

Der nächste Block stellt die Berechnung der Leistung nach der Formel $P = U^2 / 50 \text{ Ohm}$ dar. Hier sieht man noch deutlicher wie fehlerhaft die Leistung berechnet werden würde, der Fehler geht dann nämlich sogar quadratisch ins Ergebnis ein. Wie enorm, sieht man bei der Betrachtung der prozentualen Abweichung in Abbildung 17.

Berechnet man dagegen die Leistung mit der von CT1DMK vorgeschlagenen Formel wie im dritten Block gezeigt, so erhält man durchschnittlich eine Abweichung von ca. 5% über nahezu den gesamten Dynamikbereich. Über 200mW knickt die Kurve ein, dies ist der Grenzbereich der Detektordiode und darf sowieso nicht mehr betrachtet werden. Somit ist der Fehler der angezeigten Leistung im gesamten Bereich von 1µW bis 200mW in einem brauchbaren Rahmen, d.h. die Dynamik beträgt 53dB. Übrigens glaube ich daß der wirkliche Fehler wesentlich geringer ist, da ich als Generator nur einen FT847 mit einer nicht gerade hervorragenden Ausgangsleistungseinstellung verwendet habe. Leider habe ich nur sehr schlecht Zugriff auf einen brauchbaren Generator bis 1W Ausgangsleistung.

Folgende Bilder zeigen die Linearität der berechneten Leistungen nach beiden Methoden und die prozentuale Abweichung vom Sollwert.

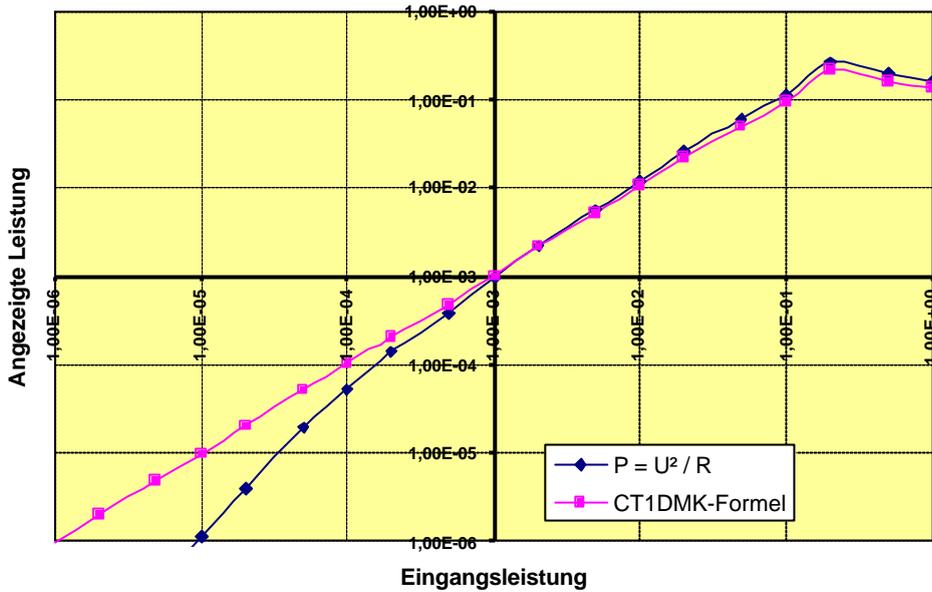


Abbildung 16: Linearität im Vergleich zwischen Standardformel und Berechnung nach CT1DMK

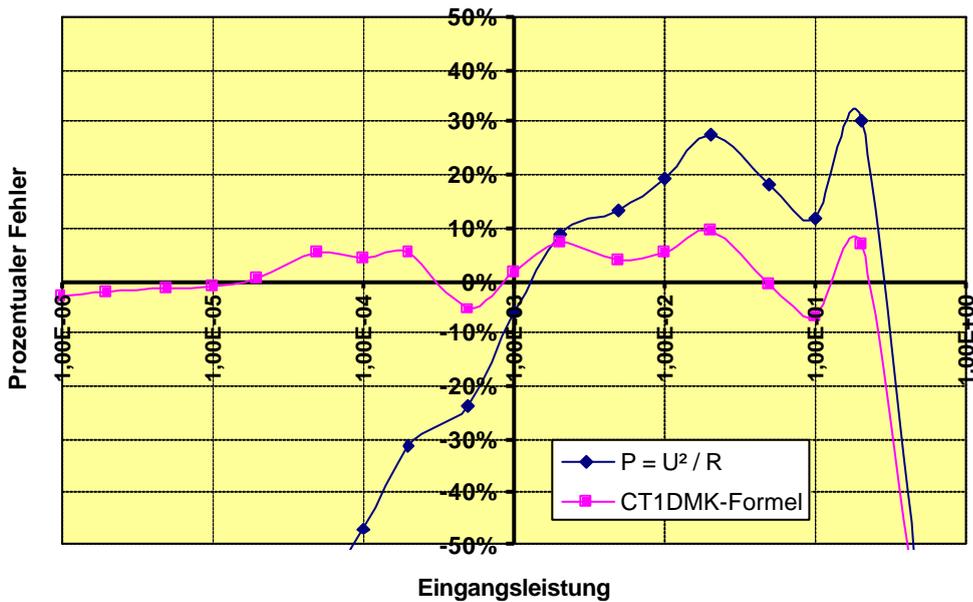


Abbildung 17: Berechnungsfehler der Standardformel und der Formel nach CT1DMK

Die beiden für die Formel nach CT1DMK benötigten Konstanten K1 und K2 werden mit Hilfe der erstellten Excel-Tabelle, die die Basis für die hier gezeigten Bilder ist, auf geringste Abweichung im gesamten Dynamikbereich durch Probieren ermittelt und dann im Setup-Menu für die beiden Kanäle eingegeben. Spezialisten können auch den Excel-Solver anwenden und K1 für den unteren Leistungsbereich sowie K2 für den oberen Leistungsbereich optimieren lassen. Die Excel-Tabelle kann von meiner Homepage auf der Seite <http://www.qsl.net/dl4mea/meawpr> heruntergeladen werden.

6.2 Kalibrierung einer Detektordiode

1. Für jeden gewünschten Frequenzbereich wird die Detektorkurve aufgenommen, d.h. im Bereich von ca. $1\mu\text{W}$ bis 1W die Detektorausgangsspannung gemessen. Man verwendet dazu entweder einen Signalgenerator oder wie z.B. ich es für Tabelle 2 gemacht habe einen FT847, ein 20dB/50W Dämpfungsglied (siehe Abbildung 24) und ein in 1dB-Schritten schaltbares Dämpfungsglied.
2. Die Meßwerte für Leistung und Detektorspannung werden in die Excel-Tabelle eingetragen. Dazu ist im Wattmeter die Betriebsart „Detektorspannung“ vorgesehen.
3. Durch Variieren der Konstanten K_1 und K_2 wird eine Kombination gesucht, die den mittleren Fehler minimiert.
4. K_1 und K_2 werden mit dem Faktor 100 multipliziert und im Setup-Menü ins Meßgerät eingetragen

Keine Angst, dieses ist nicht so aufwendig wie es hier auf den ersten Blick erscheint. Zur Not können auch einfach oben angegebene Werte genommen werden. Ich werde auch versuchen für bekannte Diodendetektoren die Linearisierungsparameter zu ermitteln und über meine Homepage zu veröffentlichen.

6.3 Logarithmische Detektoren

Seit einiger Zeit bietet die Firma Analog Devices sogenannte logarithmische Detektoren an. Deren Ausgangsspannung folgt im definierten Dynamikbereich der Gleichung

$$U = K_1 \times \log(P[mW]) + K_2$$

Dabei entspricht

K_1 : konstanter Offset der Ausgangsspannung in mV

K_2 : Steilheit der Ausgangsspannung in mV/10dB

Folgende Tabelle zeigt die zur Zeit zur Verfügung stehenden Produkte [2]

Bezeichnung	Min. Frequenz	Max. Frequenz	Max. Leistung	Dynamik
AD606	10 Hz	50MHz	5dBm	80 dB
AD640	10 Hz	120MHz	19dBm	50 dB
AD641	10 Hz	250MHz	0dBm	44 dB
AD8306	5 Hz	400MHz	22dBm	100 dB
AD8307	10 Hz	500MHz	17dBm	90 dB
AD8309	5 Hz	500MHz	22dBm	100 dB
AD8310	10 Hz	500MHz	17dBm	90 dB
AD8313	100 MHz	2,5GHz	0dBm	70 dB
AD8314	10 MHz	2,5GHz	0dBm	45 dB

Tabelle 3: Produktspektrum logarithmische Verstärker von Analog Devices

6.3.2 Kalibrierung eines logarithmischen Detektors

Der Detektor weist wie aus Abbildung 18 erkenntlich in seinem Betriebsbereich eine lineare Kennlinie. Kennzeichen dieser Kennlinie sind

- die absolute Spannung bei einer Referenzleistung und
- die Steilheit der Kurve, ausgedrückt in mV pro 10dB Leistungsunterschied.

Diese Werte werden im Setup-Menü als Wert direkt in mV eingegeben.

7 Messung höherer Leistungen

Sollen höhere Leistungen gemessen werden als der Detektor direkt verträgt, also mehr als ca. 1mW bei den logarithmischen Detektoren und mehr als ca. 100mW bei den Detektordioden, so kann man entweder ein Dämpfungsglied oder einen Richtkoppler vorschalten.

Die dabei zusätzlich auftretende Dämpfung, sogar getrennt für den Forward- und Reverse-Kanal, können über den Parameter „Pre-Attenuation“ im Setup-Menue eingestellt werden, so daß das Wattmeter die reale Leistung anzeigt und nicht noch zusätzlich umgerechnet werden muß.

7.1.1 Richtkoppler

Für die normalerweise im Amateurfunk vorkommenden Leistungen sind die Eingangsleistungen der beschriebenen Detektoren viel zu klein. Aber wir wollen den Großteil der Leistung im Normalfall auch nicht in einem Detektor vernichten sondern zur Antenne schicken. Nur im Ausnahmefall wird die Leistung wirklich terminiert, d.h. vernichtet.



Abbildung 22: Surplus-Richtkoppler aus einer Basisstation

Zu diesem Zweck werden in der Regel Richtkoppler eingesetzt. Der erste hier gezeigte stammt vom Flohmarkt aus einer GSM-Basisstation und hat folgende Koppelwerte:

2m: 50,9dB

70cm: 38,25dB

23cm: 26,0dB

Das heißt z.B. auf 2m werden aus 1kW durchgeschleifter Leistung 10mW. Dies ist ideal für den Diodenkoppler, aber noch immer zuviel für den AD8313. Bei diesem muß man den Eingang extra nochmal um ca. 20dB zu dämpfen um etwa 0,1mW zu erhalten und damit sicher in den linearen Bereich zu kommen.

Geht man nun bei einem Diodenkoppler rückwärts von einer minimal noch einigermaßen genau meßbaren Leistung von 1µW aus, so entspricht dies nach 50dB Koppeldämpfung 100mW. Man kann also mit dem eingesetzten Koppler in einem Zug Leistungen von 100mW bis 1kW (oder auch noch etwas höher) problemlos mit einem sehr geringen Linearitätsfehler messen. Setzt man den AT8313-Detektor ein wird dieser Bereich noch nach unten größer.

Solche Koppler gibt es z.B. von PA0JAB3. Bei letzterem gibt es drei Versionen mit unterschiedlichen Koppeldämpfungen:

Version	144MHz	432MHz	1296MHz	2320MHz
"144MHz"	30,0dB	20,6dB	12,3dB	9,7dB
"432MHz"	39,0dB	30,0dB	20,8dB	16,7dB
"1296MHz"	48,0dB	39,0dB	30,0dB	26,0dB

Vielleicht sollte ich an dieser Stelle kurz drauf hinweisen, daß die Bezeichnung des Richtkopplers nicht bedeutet, daß der Koppler auf anderen Frequenzbereichen nicht brauchbar ist. Die Bezeichnung weist lediglich darauf hin in welchem Frequenzbereich der Koppler 30dB Koppeldämpfung hat. Ob ein Richtkoppler für eine Frequenz brauchbar ist entscheiden andere Kriterien wie z. B. Richtschärfe und Einfügedämpfung. Darüber zu referieren wäre aber ein eigener Artikel.



Ein anderes Beispiel ist der bislang bei meinem DJ9BV-Wattmeter eingesetzte Richtkoppler der Firma EME:

2m: 46dB

70cm: 35dB

23cm: 26dB

13cm: 22,75dB

Allerdings kostet ein dieser Koppler wesentlich mehr als der Rest des Wattmeters.

Man kann übrigens unschwer erkennen daß man so einen Richtkoppler besser in ein passendes Gehäuse einbauen sollte.

Abbildung 23: Koppler der Firma EME

Der Anwender sollte also eine Kombination aus Koppler und Detektor so zusammenstellen daß die maximal gemessene Leistung den Detektor möglichst weit im linearen Bereich aussteuert.

7.1.2 Dämpfungsglieder

In zwei Fällen ist es nötig daß man die Leistung nicht über einen Koppler erfasst sondern direkt ins Meßgerät einschleift:

- Es steht keine Antenne für die zu messende Frequenz zur Verfügung oder das Signal soll zu keiner Antenne gesandt werden.
- Die Leistung ist zu gering um über die Kopplerdämpfung noch in den linearen Bereich zu kommen.

In solchen Fällen setzt man Dämpfungsglieder ein. Einige Beispiele sind rechts auf dem Bild zu sehen:

1. 20dB Dämpfung, 50W Verlustleistung, N-Norm
2. 6dB Dämpfung, 5W, SMA
3. 30dB Dämpfung, 1W, SMA
4. 3dB Dämpfung, 5W, BNC



Abbildung 24: Beispiele für Dämpfungsglieder

Übrigens ist es kein Fehler ein Dämpfungsglied um einen großen Faktor sowohl bezüglich Dämpfung als auch Leistung überzudimensionieren, denn die Zerstörung der dahinter liegenden Sensoren kann durchaus mehr kosten also die möglicherweise verursachte Meßungenauigkeit.

8 Verdrahtung und praktische Messung

8.1 Direkte Leistungsmessung (Terminierung)

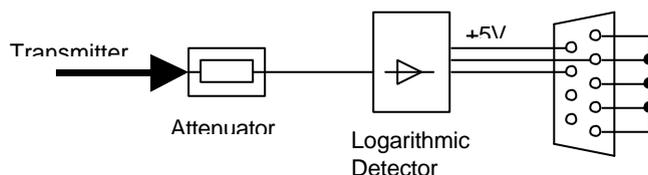


Abbildung 25: Messung lediglich der Leistung mit einem Detektor

Die Leistung des Senders wird über ein Dämpfungsglied soweit abgeschwächt, daß die maximale Leistung die obere Leistungsgrenze des Detektors nicht überschreitet. Bei der in Tabelle 2 gemessenen Diode sind diese ca. 200mW, der in 6.3 beschriebene logarithmische Detektor AD8313 kann ca. 0,5mW maximal verarbeiten.

Das Dämpfungsglied berechnet man mit der Formel

$$A = 10 \times \log\left(\frac{\text{Sendeleistung [W]}}{\text{maximale Detektorleistung [W]}}\right)$$

8.2 Messung über einen Richtkoppler

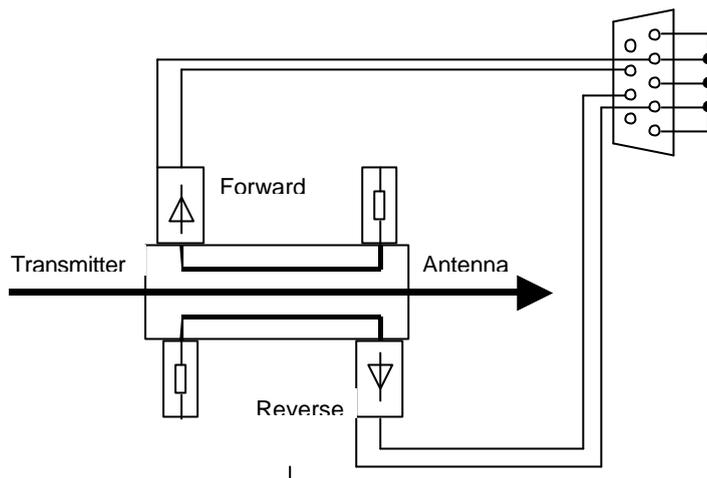


Abbildung 26: Messung von Leistung und SWR mit einem Richtkoppler

Jeder Detektor wird mit einem eigenen Massekabel angeschlossen.

Wenn man als Detektor einen logarithmischen Detektor einsetzt steht an Pin 6 und Pin 9 des Steckers für jeden Detektor 5V Betriebsspannung zur Verfügung.

8.3 Messung des Verstärkungsfaktors

Man kann einen Verstärker messen indem man den Reverse-Kanal mit Hilfe eines Richtkopplers an den Eingang und den Forward-Kanal gleichermaßen an den Ausgang anschließt. Der Reverse-Kanal zeigt dann die Steuerleistung an, der Forward-Kanal die Ausgangsleistung. In der Betriebsart „dBm“ wird anstelle des Return-Loss die Verstärkung in dB ausgegeben.

8.4 Sweep-Messungen

Dieses Meßgerät eignet sich, da es 10 Messungen pro Sekunde schafft, auch zum Sweepen. Dazu schließt man statt eines Senders mit konstanter Frequenz einen Sweeper an und verbindet dessen X-Spannung mit dem externen X-Eingang eines Oszilloskops. An den Y-Eingang des Oszilloskops kann man dann den Analogausgang des Wattmeters anschließen. Frequenzabhängigkeiten über mehrere Initialisierungs-Parametersätze werden dabei zwar nicht ausgeglichen, diese sind aber bei dieser Art Messung vernachlässigbar. Je nachdem welche Meßgröße auf den Analogausgang geschaltet wird kann man z.B. das SWR einer Antenne oder die Verstärkung einer Endstufe darstellen. Durch die hervorragende Empfindlichkeit und Linearität der beschriebenen Detektoren auch bei sehr geringen Leistungen ist dazu nicht einmal eine große Ausgangsleistung am Sweeper nötig.

1 Precision Power Meter for 144-2320MHz with automatic VSWR display by DJ9BV
DUBUS Technik III, Page 80ff
DUBUS 3/87, Page 199ff

2 Analog Devices, Selection Guide for Logarithmic Amps
<http://www.analog.com/technology/amplifiersLinear/designTools/selectionGuides/data.html>

3 PA0JAB, Tel. 0031-547-273879