

## **mino FMeter-G431** **reziproker Frequenzzähler mit 8 – 11 stelliger Auflösung**

Dieser Frequenzzähler eignet sich für die Messung periodischer Signale, wobei das reziproke Messverfahren höchste Auflösung bei kurzen Messzeiten ermöglicht. Die Grundauflösung beträgt 8 Stellen/s. Mit höherer Eingangsfrequenz wird bis 200 kHz jedes einzelne Intervall erfasst und per statistischer Bewertung eine deutlich höhere Auflösung von 10 Stellen/s erreicht. Eine Verlängerung des Messintervalls auf 10 s erhöht die Auflösung weiter.

Neben dem Haupteingang F1, der den Frequenzbereich von ca. 0,1 Hz – 150 MHz abdeckt, gibt es einen Hilfseingang F2 mit reduziertem Frequenzbereich 0,1 Hz - 5 kHz, der als untergeordneter Eingang einen kontinuierlichen Abgleich anhand eines 1 pps GPS-Signals durchführen kann.

### **technische Daten:**

- Eingang F1: 0,1 Hz - 150 MHz mit 8 - 11-stell. Ergebnis; lückenlose Messungen
 

0,1 Hz - 50 Hz @ 1 s:	8-stellig
50 Hz - 5 kHz @ 1 s:	9-stellig
>= 5 kHz @ 1 s:	10-stellig
>= 5 kHz @ 10 s:	11-stellig
- Hilfseingang F2: 0,1 Hz – 5 kHz mit 8-stell. Ergebnis/s; für 1 pps GPS-Signal
- Vorgabe der Messzeit von 0,005 - 25,000 s in 1 ms Schritten
- Vorgabe von Timeout von 0,010 - 25,000 s in 1 ms Schritten
- 5 - 12 stellige Ergebnisanzeige manuell oder automatisch abhängig von eff. Messzeit
- Frequenzanzeige: autom. in 'mHz' – 'GHz' oder festes Format in 'MHz'
- Anzeigeformate: 1.2345 Hz; 1.2345E+0; 1,2345 Hz; 1,2345E+0
- Skalierungsfaktor für separaten Vorteiler: 1 – 99999
- einstellbarer Divisor für Drehzahlskalierung: 1 – 99999
- interne Referenzfrequenz (173 MHz) aus lokalem 10 MHz (VC)TCXO oder ext. Referenzsignal 4 - 20 MHz
- automatische Erkennung des ext.-(VC)TCXO-Taktes im 1 MHz Raster
- manueller oder automatischer Abgleich mit 1 pps GPS-Signal
- Abgleichbereich +/- 5 ppm mit 0,01 ppb Auflösung
- Speicherung aller Parameter/Abgleichwerte im EEPROM/FRAM
- 2 x LED-Ausgänge für "Messung fertig" und "GPS aktiv"
- 3 x Eingänge für Bedientaster (Konfiguration)
- Anzeige mit LCD-Modul 2 x 16 -> 4 x 20 mit Voreinstellung 16 Zeichen/Zeile
- RS232 Verbindung mit 9600 Bd ... 256 kBd zur Datenausgabe
- 5 V Versorgung ca. 100 mA, (ohne LCD inkl. Hintergrundbeleuchtung)

### **Ablauf der Messungen:**

Alle Messungen werden mit reziprokem Messverfahren durchgeführt. Das bedeutet, daß Start und Ende einer jeden Messung synchron zum Eingangssignal erfolgen. Da der Endzeitpunkt gleichzeitig auch der Startzeitpunkt der neuen Messung ist, gibt es zwischen den Messungen keine Lücke. Bei einem 1 Hz Signal wird jede Sekunde ein neuer Messwert mit voller Auflösung/Genauigkeit geliefert.

Bei höheren Eingangsfrequenzen werden bis zu 200 kHz alle Einzelintervalle erfasst und damit die Auflösung des Messergebnisses deutlich erhöht.

**zur Auflösung:**

Die Zählerstände für die Eingangsimpulse sind durch das Messverfahren vorgegeben immer ganzzahlig und damit exakt.

Um die geforderte hohe Auflösung zu erhalten, muß die Zeitmessung eine hohe Auflösung bieten bzw. müssen hohe Zählerstände bei der Zeitmessung erreicht werden. Um dies sicherzustellen, wird eine minimale Messzeit vorgegeben, die eine Auswertung erst dann zuläßt, wenn diese Zeit erreicht oder überschritten wird. Der Messkanal F1 löst die Zeitmessung mit etwa 6 ns. Daher können F1 bzw. F2 die Messwerte in einer Sekunde mit 8 Stellen/s auflösen. Der lokale 10 MHz (VC)TCXO reicht für bestenfalls 7 stellige Auflösung/s. Um eine entsprechend hohe Genauigkeit für F1 zu erhalten, muß eine hochgenaue ext. Referenzfrequenz besser 0,1 ppb verwendet werden.

**Abgleich:**

Eingang F2 läßt sich so einstellen, daß damit ein externes, langzeitstabiles 1 Hz Signal die vorhandene Referenzfrequenz genau ermitteln und korrigieren kann. Dieses Signal wird von vielen GPS-Empfängern als 1 pps Signal geliefert, hat jedoch einen störenden Jitter von einigen 10 ns. Damit es zur Korrektur verwendet werden kann, muß es über einen längeren Zeitraum gemittelt werden. Wählt man eine Zeit von 10 Minuten (600 s), wird dieser Jitter hinreichend unterdrückt. Verwendet man als Referenztaktgeber einen hinreichend kurzzeitstabilen OCXO, lassen sich mit dieser GPS-Stabilisierung Genauigkeiten von 10 Stellen erzielen. Auch der lokal vorhandene (VC)TCXO läßt sich auf 8 Stellen Genauigkeit verbessern.

Ein sinnvoller Abgleich sollte auf 0,01 ppb durchgeführt werden, ein Wert, der 11-stell. Genauigkeit erlauben würde. Für einen Abgleichbereich von +/- 5 ppm sind Korrekturwerte im Bereich +/- 500000 einzustellen. Mit Abgleich per 1 pps GPS-Signal wird ein relativ schneller und sehr genauer Abgleich erreicht.

Beim Abgleich mit GPS werden die ersten fünf Impulse verworfen. Danach wird der gleitende Mittelwert des 1 pps Signals gebildet und erst nach Ablauf der Integrationszeit (typ. 10 Minuten) die Referenzfrequenz korrigiert und der Korrekturwert im EEPROM gespeichert. Anschließend wird sekundlich ein neuer Korrekturwert ermittelt und sofort verwendet. Gespeichert wird dieser Wert aber immer erst wieder nach erneutem Ablauf der eingestellten Integrationszeit.

**Timeout:**

Da die Messungen synchron zum Eingangssignal erfolgen, würde ein fehlendes Eingangssignal dafür sorgen, daß die Messung nie fertig wird. Stattdessen würde der vorherige Messwert weiter angezeigt werden, auch wenn er schon eine Stunde alt ist. Um dies zu vermeiden, wird neben der minimalen Messzeit auch ein Timeout-Wert gewählt, der eine unvollendete Messung abbricht und mit der Meldung "kein Signal" in der Anzeige darstellt.

**Stellenanzahl:**

Je nach Signalquelle sind die Eingangsfrequenzen sehr stabil (Quarzoszillator) oder können auch erheblich schwanken (RC-Oszillator). Daher kann es zweckmäßig sein, nicht immer die maximal erreichbare Stellenanzahl, sondern den Messwert auf wenige, sinnvolle Stellen gerundet anzuzeigen. Alternativ kann auch eine höhere Stellenzahl eingestellt werden, um insbesondere bei Ergebnissen mit führender '1...' die Auflösung der letzten Stelle zu verbessern. µC-intern wird mit > 15 gültigen Stellen gerechnet.



**Eingang F2: (Nebeneingang)**

Dieser Eingang nutzt allein einen internen Zähler zur Zeitmessung; die Eingangsimpulse selber werden per Software gezählt. Daher ist der Messbereich auf  $\leq 5$  kHz begrenzt. Typischerweise wird hier ein 1 pps-Signal eines GPS-Empfängers zum automatischen Abgleich der lokalen Referenzfrequenz angeschlossen. Neben einem Pullup-Widerstand R22 und einem Schutzwiderstand R23 ist keine Signalaufbereitung vorgesehen. Zur Versorgung ext. Signalaufbereitung (insbesondere GPS-Empfänger ggf. mit aktiver Antenne) werden an der Eingangsbuchse +5 V herausgeführt.

**Referenzeingang:**

Neben dem lokalen Taktgenerator (10 MHz VCTCXO), dessen Stabilität für maximal 7 – 8 stellige Genauigkeit ausreicht, kann auch ein externes 10 MHz Signal hoher Genauigkeit für die Messungen verwendet werden. Nur hiermit ist es möglich, eine 10-stellige Genauigkeit bei der Messung zu erreichen.

Der Referenzeingang akzeptiert Sinussignale mit 1 V<sub>ss</sub>, die passend aufbereitet werden. Die Umschaltung zwischen lokalem Taktgeber und ext. Referenz erfolgt automatisch, wobei die ext. Referenz den Vorrang hat.

Die Widerstände R16 || R17 können per Lötbrücke als 50 Ohm Abschlußwiderstand aktiviert werden. Der nachfolgende Inverter wird mit R18 vor leichter Überspannung geschützt und dient als Signalformer.

Um einen einfachen Wechsel zwischen interner und externer Referenzfrequenz zu erlauben, gibt es für beide Taktquellen separate Einstellungen für Abgleich und Integrationszeit für den GPS-Abgleich.

**LC-Anzeige:**

Für die Messwertanzeige kann ein LCD-Modul auf HD44780 Basis mit 2 x 16 bis 4 x 20 Stellen verwendet werden. Voreinstellung: 16 Zeichen/Zeile.

Die Ergebnisse von F1 werden immer in den Zeilen 1 und 2 angezeigt, die von F2 in den Zeilen 3 und 4. Sofern die Ergebnisse von F2 nicht angezeigt werden sollen reicht eine zweizeilige Anzeige aus. Die LCD-Signale sind auf einer einreihigen 16 pol. Stiftleiste herausgeführt, wie es für diese Anzeigen üblich ist (siehe Schaltbild). Die Stromversorgung der Hintergrundbeleuchtung liegt auf den Pins 15 und 16, die dem Steckverbinder "LED" (siehe Schaltbild) entsprechen. Der Vorwiderstand R10 (10 Ohm, Bauform 1206) muß unter Umständen an das verwendete LCD-Modul angepaßt werden.

**ser. Datenausgang RS232:**

Zur automatischen Weiterverarbeitung der Messwerte kann jeweils ein Ergebnis per RS232 ausgegeben werden. Zur Auswahl stehen: Frequenz, Periodendauer und Drehzahl von F1 sowie Frequenz von F2. Voreinstellung: Frequenz F1

Darüber hinaus können per RS232 diverse Parameter eingestellt werden, sofern keine manuelle Bedienung vorgesehen ist oder die Einstellungen fernbedient erfolgen sollen.

**+5 V Spannungsversorgung:**

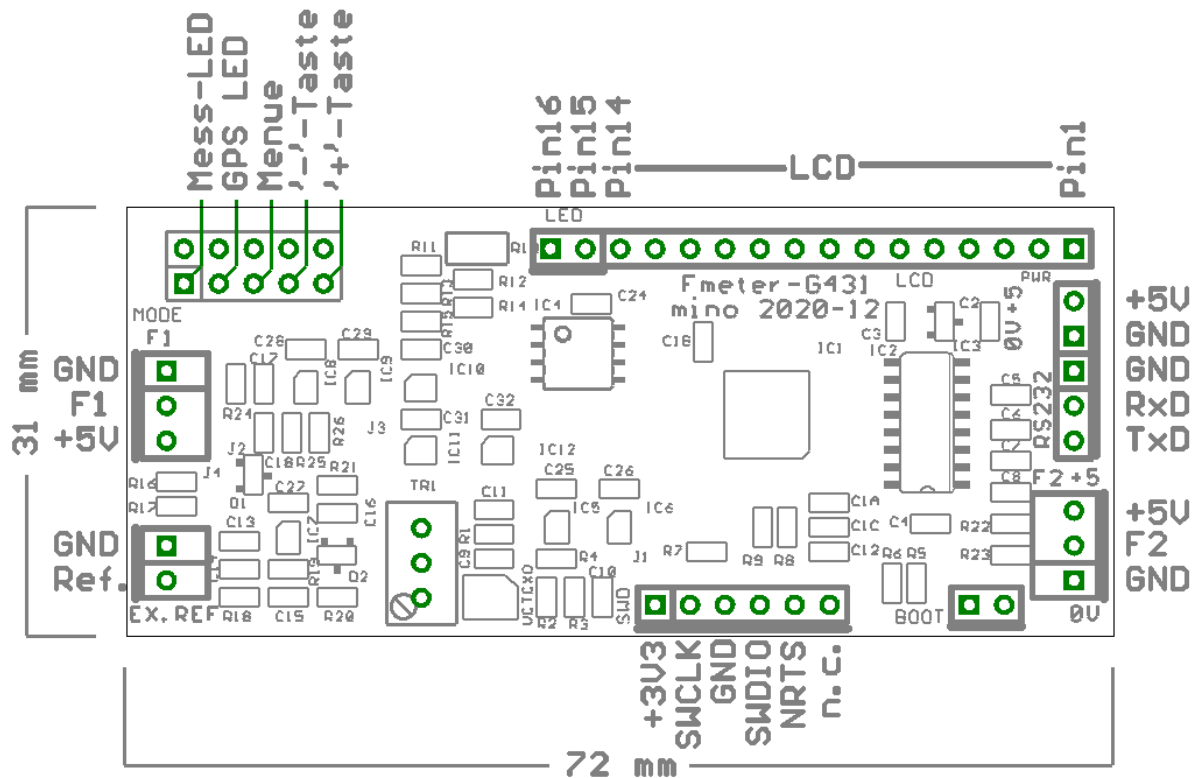
Die +5 V dienen direkt als Versorgung von LC-Anzeige und ext. angeschlossener Elektronik. Die lokale Versorgungsspannung beträgt +3,3 V, die ein linearer Spannungsregler liefert. Von der Stabilität hängt die lokale Referenzfrequenz ab. Zu hohe ext. Stromentnahme ( $> 50$  mA) und impulsförmige Strombelastung sind daher nicht zulässig.

## Speicherung der Messparameter:

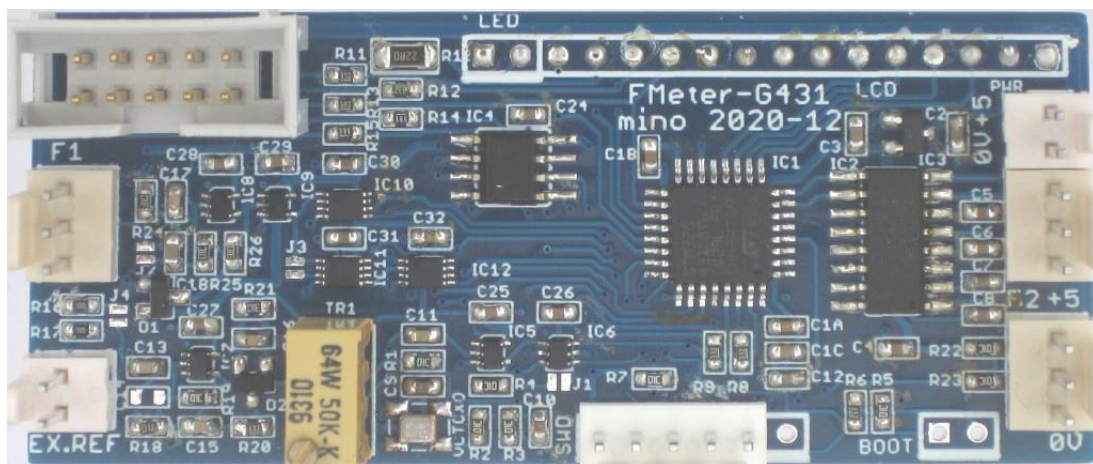
Alle Einstell- und Abgleichwerte werden in einem EEPROM gespeichert und beim Einschalten verwendet. Mit seinen typischen  $1 \times 10^6$  Schreibzyklen ist es für die meisten Anwendungen ausreichend.

Wählt man einen permanenten Abgleich per 1 pps GPS-Signal mit 10 Minuten Integrationszeit, würde die max. Schreibzyklen bei ununterbrochenem Betrieb für rund 19 Jahre reichen. Bei kürzeren Schreibintervallen kann ersatzweise ein FRAM-Baustein eingesetzt werden. Es reichen Speicherbausteine mit einer Kapazität von 256 Bytes.

## Anschlüsse auf der Leiterplatte:



## bestückter Musteraufbau:



## manuelle Bedienung:

Die nachfolgende Anleitung beschreibt kein vorhandenes Gerät, von dem man die Frontplatte als Foto zeigen könnte, was die Bedienung verständlich machen könnte. Es ist daher ein bißchen Konzentration und Vorstellungsvermögen notwendig, damit sich Sinn und Zweck der Bedienung nachvollziehen lassen.

Es sind insgesamt drei Bedientasten erforderlich, von denen man sich die linke mit "-", die rechte mit "+" und die mittlere mit "Menü" oder "Setup" beschriftet vorstellen kann. "+" und "-" haben beide eine repeat-Funktion und dienen im Wesentlichen zur Erhöhung bzw. Verminderung eines Wertes. "Menü" ruft einen Menüpunkt auf, schaltet auf den nächsten weiter oder bricht mit einem langen Tastendruck das Menü ab, wobei aber immer noch die letzte Änderung übernommen wird.

Ein Abbruch ohne Änderung der Einstellungen wird durch gleichzeitiges Drücken von "+" und "-" erreicht.

Für das Einstellmenü werden die beiden oberen Zeilen der LC-Anzeige benötigt, die Messungen an F1 und F2 laufen aber während der Einstellungen im Hintergrund weiter. Man kann somit die Auswirkungen der Änderungen direkt verfolgen, ggf. mit Messwertausgabe per ser. Schnittstelle.

Bei der Bedienung wird sich der zuletzt aufgerufene Menüpunkt gemerkt. Ein zweifacher kurzer Tastendruck "Menü" ruft daher den letzten angewählten Menüpunkt auf, sodaß die Einstellung dort direkt wiederholt werden kann. Ein langer Tastendruck von "Menü" speichert die Änderung ab und kehrt zur Messwertanzeige von F1 zurück.

### Beschaltung LEDs

Der Steckverbinder "Mode" (siehe Schaltbild: "manu. Bedienung") bietet neben seinen Versorgungspins "GND", "+3V" und "+5V" den direkten Anschluß von 2 x LEDs und 3 x Tastern. Taster- und LED-Signale beziehen sich auf GND (0 V).

Eine LED hat die Funktion, eine fertige Messung durch Aufleuchten anzuzeigen; die andere LED zeigt den Status des Abgleichs anhand eines 1 pps GPS-Signals. Während die "fertig LED" (an Pin 1 von Mode) für eine einstellbare Zeit aufleuchtet, blinkt die GPS-LED (an Pin 3 von Mode) entsprechend zum Fortschritt des Abgleichs: zunächst kurz und dann immer länger blinkend, bis im eingeschwungenen Zustand die LED konstant eingeschaltet bleibt.

### Beschaltung Taster

Mit drei Tastern werden die Tasten für das Bedienmenü realisiert:

1. Taste (an Pin 9 von Mode): "+" mit Repeat-Funktion
  2. Taste (an Pin 7 von Mode): "-" mit Repeat-Funktion
  3. Taste (an Pin 5 von Mode): "Menü/weiter" (kurzer) und "Abbruch" (langer Tastendruck)
- Taste 1 und Taste 2 ("+" und "-") gleichzeitig: Abbruch des Bedienmenüs ohne Speicherung der letzten Einstellung. Die Taster schalten die betreffenden Eingänge gegen GND (0 V).

### Grundzustand der Anzeige:

Nach dem Einschalten werden auf dem LCD die Werte angezeigt, wie sie zuletzt eingestellt wurden. Sofern das LCD vier Zeilen anzeigt, werden in Zeile 3 und 4 **immer** die Frequenz vom Eingang F2 angezeigt. Für die Zeilen 1 und 2 kann die Anzeige zu F1 eingestellt werden:

Frequenz+Periode, nur Frequenz, nur Periode, nur Drehzahl und  
ab Version 1.6 zusätzlich die Anzeige statistischer Werte in der Reihenfolge:

Mittelwert+Anzahl (Fmean: n=), Maximum+Minimum und Standardabweichung (S-dev: n=)

Mit der "+"-Taste wird die Auswahl zu „S-dev“ verschoben und mit der "-"-Taste zur Anzeige Frequenz+Periode. Gleichzeitiges Drücken von "+" und "- "Taste löscht die aktuelle, angezeigte statistische Auswertung.

Das Einstellmenü wird mit Taste 3 "Menü" aufgerufen und schaltet folgende Menüpunkte nacheinander durch:

"Einstellungen Eingang F1" und

"Einstellungen allgemein",

wobei wiederum die "+"-Taste in Richtung zum letzten und die "-"-Taste zum 1. Menüpunkt schaltet. Ein erneutes kurzes Tippen von "Menü" ruft dann diesen Menüpunkt auf.

### **Menüpunkt "Einstellungen Eingang F1"**

Folgende Werte können verändert werden:

<i>F1 Messzeit:</i>	5 ms – 25.000 s; Vorgabewert = 1.000 s
<i>F1 Timeout:</i>	10 ms – 25.000s; Vorgabewert = 5.000 s
<i>F1 angezeigte Stellen:</i>	5 – 12 Stellen oder "automatisch", Vorgabewert = 10
<i>F1 Vorteiler:</i>	"aus", "aktiv"; Vorgabewert = "aus"
<i>F1 Vorteiler-Faktor:</i>	1 – 99999, wenn Vorteiler = "aktiv"; Vorgabewert = 1
<i>F1 UPM-Divisor:</i>	1 – 99999; Vorgabewert = 1
<i>F1 Auflösung:</i>	0 = normal, 1 = hoch (mit Regression); Vorgabewert = 1

### **Menüpunkt "Einstellungen allgemein"**

Hier können folgende Einstellungen vorgenommen werden:

<i>ser. Datenausgabe:</i>	F1 Frequenz, F1 Periode, F1 Drehzahl, F2 Frequenz; Vorgabewert = F1 Frequenz
<i>fertig-LED-Einschaltdauer:</i>	1 ms – 10.000 s; Vorgabewert 0.100 s (nachtriggerbar)
<i>ser. Baudrate:</i>	9k6, 19k2, 38k4, 57k6, 115k2 (Vorgabewert), 230k4, 256 k;
<i>GPS-Abgleich:</i>	"aus", "aktiv"; Vorgabewert = "aus"
<i>GPS-Abgleichzeit int. Takt:</i>	10 – 1800 s; Vorgabewert 100 s
<i>GPS-Abgleichzeit ext. Takt:</i>	10 – 1800 s; Vorgabewert 600 s
<i>manu. Abgleich int. Takt:</i>	-500000 -> +500000; autom. Anpassung mit GPS-Abgleich
<i>manu. Abgleich ext. Takt:</i>	-500000 -> +500000; autom. Anpassung mit GPS-Abgleich
<i>LCD-Zeilenlänge:</i>	16 oder 20; Vorgabewert = 16
<i>LCD-Kontrast:</i>	0 – 100; Vorgabewert = 20
<i>Anzeigeformat:</i>	1.2345 Hz; 1.2345E+0; 1,2345 Hz; 1,2345E+0
<i>Frequenzanzeige:</i>	autom. in 'mHz' – 'GHz' oder festes Format in 'MHz'

Ein Beispiel, um aus dem Messmodus von F1 ins Menü "Einstellungen allgemein" zu kommen:

1 x "Menü"-Taste kurz drücken, um die Einstellungen aufzurufen

1 x "+"-Taste Drücken, bis "Einstellungen allgemein" angezeigt wird

1 x "Menü"-Taste kurz drücken, um den 1. Menüpunkt der allgemeinen Einstellungen aufzurufen.

## Steuerung per RS232:

Über die serielle Schnittstelle werden nicht nur Messwerte ausgegeben, sondern auch Parameter für die Messung eingegeben und dauerhaft im EEPROM gespeichert. Das Datenformat ist 8N1 bei einer Baudrate von typ. 115,2 kBd. Jede Befehlssequenz wird mit dem Zeichen '.' eingeleitet; anschließend folgt optional eine Dezimalzahl (nnn) im Bereich 0 – 999999 (bzw. –500000 bis 500000 zur Frequenzkorrektur). Die Befehlssequenz wird mit dem eigentlichen Befehl (Großbuchstabe oder Zeichen) abgeschlossen. Die eingestellten Werte lassen sich abfragen, indem nur ein '.' und der Befehl gesendet werden. Als Antwort werden der Befehl und der eingestellte Zahlenwert ausgegeben. Anstatt des '.' kann auch ein <ESC> Zeichen verwendet werden.

Folgende Befehle werden erkannt, wobei derzeit nicht zwischen Groß- und Kleinbuchstaben unterschieden wird; unbekannte Befehle oder falsche Zahlenwerte werden ignoriert. (eingefügte Leerzeichen dienen nur der Lesbarkeit und werden nicht gesendet):

- .nnn A                   minimale Messzeit F1, nnn Bereich 5 – 25000 in 1 ms Schritten  
Beispiel '.4000A' stellt die Messzeit für Eingang F1 auf 4000 ms (4 s).
- .nnn B                   Wie bei 'A' jedoch Messzeit für Eingang F2
- .nnn C                   Timeout F1, nnn Bereich 10 – 25000 in 1 ms Schritten Beispiel  
'10000C' stellt das Timeout für Eingang F1 auf 10000 ms (10 s).
- .nnn D                   Wie bei 'C' jedoch Timeout für Eingang F2
- .nn E                   Anzahl der angezeigten Stellen Eingang F1 von 5 – 12. Bei Eingabe  
von n = 0 werden die Stellen abhängig von der eff. Messzeit  
automatisch ermittelt:  $\geq 1$  s Messzeit  $\rightarrow$  10 Stellen
- .nn F                   Anzahl der angezeigten Stellen Eingang F2 wie für Eingang F1.  
Bei Eingabe von n = 0 werden die Stellen abhängig von der eff.  
Messzeit automatisch ermittelt:  $\geq 1$  s Messzeit  $\rightarrow$  8 Stellen
- .n G                    Vorteiler aktiv für F1: 1 = mit Vorteiler wie eingestellt, 0 = keine  
Skalierung
- .nnn I                   Vorteilerfaktor für F1; Bereich 1 - 99999
- .nnn K                   Kontrastspannung für das LCD im Bereich 0 - 100 einstellbar; relativer  
Wert abhängig vom verwendeten Display
- .nnn L                   Leuchtdauer der 'Messung fertig'-LED, Bereich 1 – 10000 in 1 ms  
Schritten, nachtriggerbar
- .nnn O                   Offsetwert zur Korrektur der aktuell verwendeten Referenzfrequenz  
(intern bzw. extern) in 0,01 ppb-Schritten, Abgleichbereich –500000  
bis 500000 entspricht +/- 5 ppm der Taktfrequenz. Dieser Wert wird  
zunächst nur temporär im RAM gespeichert. Kontrollabfrage des  
eingestellten Wertes mit: '.O'  
"nnn" ist ein relativer Wert, der zum vorhandenen Offset addiert wird.

Mit '.00' wird der eingestellte Werte absolut auf 0 gesetzt.  
 Sofern ein ext. GPS-Signal zum Abgleich verwendet wird, bleibt der manuelle Offset wirkungslos und wird vom autom. Abgleich überschrieben.

- .nnn P Divisor für Skalierung der Drehzahl bei F1; Bereich 1 - 99999
- .n R Anwahl des Ausgabewertes per RS232 Schnittstelle; Werte für n:  
 0 = keine Ausgabe,  
 1 = Frequenz F1, 2 = Periode F1, 3 = Drehzahl F1, 4 = Frequenz F2
- .n S **speziell für F2:** 1 = GPS-Abgleich per 1 pps-Signal möglich; 0 = abgeschaltet.
- .nnn T Zeit in Sekunden zur Mittelwertbildung des GPS-Signals bei **interner** Referenzfrequenz mit typ. 100 s; Einstellbereich: 10 – 1800 Sekunden
- .nnn U Zeit in Sekunden zur Mittelwertbildung des GPS-Signals bei **externer** Referenzfrequenz mit typ. 600 s; Einstellbereich: 10 – 1800 Sekunden
- .V Anfrage der Version, Ausgabe 'FMETER-G431 V1.3'
- .nn W Zeilenbreite der LC-Anzeige: 16 oder 20
- .n Y Anzeigeformat für Messwerte  
 0: 1.23456789 Hz 1: 1.23456789E+0  
 2: 1,23456789 Hz 3: 1,23456789E+0
- .n Z F1-Auflösung: 0 = normal, 1 = hoch (mit Regression); Vorgabe = 1
- .\* Ausgabe des Zeichens '\*' als Echo zur Synchronisierung (Zeitmarke)
- .<Strg+S> Diese Sequenz schreibt den eingestellten Offset dauerhaft ins interne EEPROM, sodaß er beim nächsten Einschalten automatisch verwendet wird.  
 Der autom. Abgleich per GPS hat höhere Priorität und überschreibt die manuelle Einstellung!
- ab Version 1.6:**
- .# Ausgabe der statistischen Werte in der Reihenfolge:  
 Anzahl, Mittelwert, Maximum, Minimum, Standardabweichung  
 Diesen Werten ist jeweils ein ',' Zeichen zur Kenntlichmachung vorangestellt.
- .0# Werte der Statistik werden gelöscht.
- .1# Ausgabe von Anzahl der erfassten Werte
- .2# Ausgabe vom Mittelwert aller Einzelmessungen
- .3# Ausgabe vom Maximum
- .4# Ausgabe vom Minimum
- .5# Ausgabe der Standardabweichung



ermittelt bzw. eingestellt, mit dem eine genaue Umrechnung des gemessenen Wertes auf den Sollwert erfolgt. Die eigentliche Taktfrequenz wird dabei nicht verändert!

Es gibt folgende Möglichkeiten den Frequenzzähler abzugleichen:

1. durch automatische Vermessung und Korrektur anhand eines 1 pps GPS-Signals
2. durch manuelle Vorgabe eines Offsets relativ zum bestehenden Korrekturwert mit RS232 Befehlen
3. durch manuelle Vorgabe eines absoluten Korrekturwertes per ext. Bedientaster
4. Verwendung eines hochgenauen, hochstabilen Referenztaktes
5. wenn bestückt, kann der VCTCXO per Mehrgang-Trimmpoti auf Sollfrequenz gezogen werden.

Beim Abgleich werden separate Korrekturwerte für internen und externen Takt ermittelt, verwendet und auch gespeichert. Vor einem Abgleich sollte die Aufwärmphase des Referenztaktes abgewartet werden.

**zu 1.) Der automatische Abgleich mit GPS-Signal** ist die empfehlenswerte Methode, weshalb diese zuerst beschrieben wird. Dazu ist es notwendig, an Eingang F2 ein genaues 1 Hz Signal anzulegen und den autom. Abgleich per GPS einzuschalten (manuell per Taster oder per RS232-Befehl). Der Abgleich wird nur dann durchgeführt, wenn das 1 Hz Signal und der aktive Referenztakt weniger als +/- 5 ppm voneinander abweichen. Anderfalls wird die Frequenz an F2 nur gemessen und angezeigt. Ein einmaliges Aussetzen des 1 Hz Signals bricht den autom. Abgleich ab und startet ihn erneut, wenn ein stabiles Signal anliegt.

Das 1 Hz Signal von einem GPS-Empfänger kann zu Beginn noch leicht schwanken. Daher werden die ersten fünf Impulse ignoriert. Anschließend wird aus den an F2 eintreffenden Impulsen der gleitende Mittelwert über den Zeitraum (GPS-Angleichzeit) gebildet, wie er für interne oder externe Taktfrequenz eingestellt ist. Solange der Ringspeicher für den gleitenden Mittelwert noch nicht gefüllt ist, blinkt die GPS-LED (sofern angeschlossen) derart, daß ausgehend von kleinem Tastverhältnis zu Beginn und größer werdendem Tastverhältnis, je weiter die Mittelwertbildung fortschreitet, die LED dauernd eingeschaltet bleibt, sobald der erste gültige Mittelwert vorhanden ist. Zu diesem Zeitpunkt wird zum ersten Mal der Korrekturwert errechnet, verwendet und auch ins EEPROM/FRAM geschrieben. Der automatische Abgleich ist an dieser Stelle vorerst fertig. Beim nächsten Einschalten wird dieser Korrekturwert wiederhergestellt auch wenn kein GPS-Signal verfügbar ist.

Von großem Vorteil ist aber, das GPS-Signal angeschlossen zu lassen. Dadurch wird jede Sekunde ein neuer Mittelwert und daraus ein neuer Korrekturwert ermittelt. Somit werden langsame Änderungen des Referenztaktes (durch Drift, Erwärmung) fortlaufend ausgeglichen. Der Korrekturwert wird immer wieder nach Ablauf der eingestellten Integrationszeit ins EEPROM/FRAM geschrieben.

Die Integrationszeit läßt sich jeweils für internen und externen Takt separat vorgeben. Dabei gilt es abhängig von der Kurzzeitstabilität des Referenztaktes einen guten Kompromiß zu finden, der möglichst hohe Genauigkeit bei möglichst geringer Einstellzeit ermöglicht. Angenommen, das GPS-Signal weist einen typischen Jitter von 30 ns auf. Um diese Taktungengenauigkeit auf  $\leq 100$  ps zu drücken, wie es zur Erzielung einer 10-stell. Genauigkeit notwendig ist, ist eine Mittelwertbildung über  $\geq 300$  s erforderlich. Das wäre die minimal sinnvolle Integrationszeit für max. Genauigkeit. In der Praxis empfiehlt es sich, diese Zeit auf 600 s (entsprechend 10 Minuten = Vorgabewert) zu verdoppeln. Die Kurzzeitstabilität des

Referenztaktes sollte demnach aber auch besser 0,1 ppb / 10 Minuten sein, damit sie ausgeregelt werden kann.

Verwendet man den internen (VC)TCXO, ist diese Kurzzeitstabilität keinesfalls zu erreichen. Eine leichte Erwärmung der Leiterplatte, ein kurzer Luftzug reichen aus, um die Ausgangsfrequenz deutlich zu verändern. Beschränkt man sich auf 8-stellige Genauigkeit, muß die Zeitmessung auf  $\leq 10$  ns bei einer Messung/s genau sein. Bei einem GPS-Signal mit 30 ns Jitter würde eine Integrationszeit von 10 s völlig ausreichend sein. Der Vorteil bei dieser kurzen Zeit ist, daß Frequenzänderungen des (VC)TCXOs recht schnell nachgeregelt werden können. Als Vorgabewert für den internen Takt sind 100 s im Frequenzzähler eingestellt, womit eine 9-stellige Auflösung möglich wird, auch wenn die Genauigkeit nicht voll erreicht werden kann.

Es ist - wie gesagt - ein Kompromiß, der je nach Anwendung im Bereich 10 s – 1800 s angepaßt werden kann.

**zu 2.) Der Abgleich per RS232-Befehl** ist etwas zeitintensiver und liefert immer nur einen festen Wert zur Frequenzkorrektur. Ferner muß an F1 eine exakt bekannte Frequenz angelegt werden, anhand derer der Abgleich erfolgen kann. Vorzugsweise eignen sich Frequenzen von 10 MHz, 1 kHz oder 1 Hz. Die LC-Anzeige ist so einzustellen, daß Frequenz und Periode von F1 gleichzeitig angezeigt werden. Unter Umständen kann man auch die angezeigten Stellen manuell auf 11 erhöhen, um eine bessere Auflösung zu erzielen.

Bei einer F1-Frequenz von 10 MHz ist das Ziel, als gleichzeitig angezeigte Ergebnisse 10.00000000 MHz und 100.0000000 ns zu erhalten. Eine Änderung von 0,1 ppb wird dabei sofort sichtbar, indem einer der Werte an allen Stellen auf '9' springt.

Wie beim automatischen GPS-Abgleich werden interne und externe Referenzfrequenz separat abgeglichen. Der Abgleich bezieht sich auf die jeweils angewählte Quelle (intern/extern). Sinnvollerweise wählt man beim Abgleich eine möglichst lange Messzeit  $\geq 1$  s. Damit bei einer 10-stelligen Messung die letzte Stelle noch fein abgeglichen werden kann, liegt die Abstufung des zugehörigen Offsets bei 0,01 ppb ( $1 \times 10^{-11}$ ). Eine zu niedrige angezeigte Frequenz wird durch einen positiven Offset (.nnnnO) und eine zu hohe Frequenz mit einem negativen Offset (-.nnnnO) korrigiert. Dabei wird der eingegebene Offset zum aktuellen Korrekturwert addiert. Dieser ist ggf. zu Beginn des Abgleiches mit '.00' auf '0' zurückzusetzen oder mit der Abfrage '.O' anzeigen zu lassen.

Beispiel: das Eingangssignal an F1 beträgt exakt 10.00000000 MHz und als externer Referenztaktgeber dient ein OCXO. Der angezeigte Wert beträgt 9.99999989 MHz. Man sieht, daß der angezeigte Wert um \_\_\_11 zu niedrig angezeigt wird. Bei der 10-stelligen Anzeige liefert die letzte Stelle die Auflösung von 0,1 ppb. Da der Korrekturwert (Offset) Faktor 10 höher aufgelöst wird muß dieser mit 110 eingegeben werden. Eingabe: '.1100' Anschließend ist der angezeigte Wert erneut zu prüfen und ggf. zu korrigieren, was mit kleinen Schritten von zum Beispiel 5 geschehen kann: '.50' zum Erhöhen oder '-.50' zum Vermindern des Offsets. Wie gesagt ist der Abgleich dann perfekt, wenn gleichzeitig "10.00000000 MHz" und "100.0000000 ns" angezeigt werden.

Die Einstellungen werden erstmals nur im RAM zwischengespeichert, sodaß die letzte Einstellung zunächst nicht 'zerstört' wird. Man kann daher den Abgleich auch empirisch vornehmen, ohne etwas falsch eingestellt zu haben.

Um beim nächsten Einschalten die neue Einstellung wieder verwenden zu können, muß der neue Korrekturwert nach fertigem Abgleich mit '<Strg-S>' bzw. '<Ctrl-S>' ins EEPROM/FRAM geschrieben werden.

**zu 3.) Die manuelle Einstellung der Korrekturwerte** braucht zwar wie bei 2.) eine genau bekannte ext. Eingangsfrequenz an F1, kommt aber sonst ohne GPS-Signal oder RS232-Terminal aus. Die Bedienung ist dadurch etwas zeitintensiver.

Wiederum sollte die LC-Anzeige in den ersten beiden Zeilen die Frequenz und die Periode von F1 anzeigen. Wie oben beschrieben müssen drei Bedientaster für 'Menü', '+' und '-' angeschlossen sein, mit denen die Einstellungen vorgenommen werden. Da das Einstellmenü die ersten beiden Zeilen der Anzeige benötigt, müssen Einstellung des Korrekturwertes und Kontrolle des gemessenen Wertes abwechselnd erfolgen.

Eine an F1 angelegte Frequenz von 10.00000000 MHz wird gemessen. Sofern die Anzeigen von Frequenz oder Periode nicht hinreichend genau angezeigt werden, wird über die Bedientasten der Menüpunkt 'Einstellungen allgemein' aufgerufen. Weitere Tastendrucke auf 'Menü' führen zu den Punkten 'manu. Abgleich intern: xxxx' oder 'manu. Abgleich extern: xxxx'. 'xxxx' zeigt dabei den aktuell eingestellten, absoluten Korrekturwert an. Es ist nun derjenige Wert anzuwählen, der der verwendeten Referenztaktquelle entspricht.

Mit den Bedientasten '+' oder '-' wird der Korrekturwert erhöht oder vermindert, wobei bei länger gedrückter Taste die Änderungen in immer größer werdenden Schritten stattfinden. Den neuen Korrekturwert kann man sich entweder errechnen oder zunächst nur grob abschätzen und dann einstellen. Die Einstellung wird mit einem langen Tastendruck von 'Menü' abgeschlossen, wodurch zum einen der neue Korrekturwert gespeichert wird aber auch wieder die Messwerte zu F1 in der Anzeige erscheinen. Solange der Abgleich nicht zufriedenstellend ist, landet man mit zweimaligem Drücken von 'Menü' genau wieder bei der letzten Einstellung des Korrekturwertes und kann ihn erneut verändern. Ein langer Tastendruck von 'Menü' kehrt mit neuem Korrekturwert wieder zur Frequenzanzeige zurück.

**zu 4.) Bei Verwendung eines hochgenauen, hochstabilen Referenztaktes** ist keinerlei Abgleich vonnöten. Es muß lediglich kontrolliert werden, daß der Korrekturwert auf '0' steht, was entweder per Bedientaster oder RS232-Befehl gemacht werden kann.

#### **zu 5.) manuelle Einstellung mit Trimpoti**

Sofern ein VCTCXO und ein Trimpoti bestückt sind, ist dies die einfachste Art eines Abgleiches ohne weitere Zusätze. Eine bekannte Frequenz wird an F1 angelegt und das Poti so verdreht, daß der richtige Wert angezeigt wird.

#### **experimentelle Erhöhung der Eingangsfrequenz:**

Die maximale Eingangsfrequenz hängt direkt von der Taktfrequenz der µC-internen Timer ab. Sofern der max. Messbereich mit 150 MHz nicht reichen sollte, läßt er sich optional auf ca. 200 MHz erhöhen. Die interne Taktfrequenz wird dabei von 173 MHz auf 240 MHz erhöht, was zwar außerhalb der Spezifikation liegt, aber sofern es funktioniert hilfreich sein kann.

Zur Aktivierung wird ein Widerstand von 3,3 kOhm zwischen die LCD-Leitungen RS (Pin 4) und R/W (Pin 5) geschaltet. Dieser wird beim Einschalten einmalig auf Vorhandensein überprüft und ggf. die erhöhte Taktfrequenz verwendet. Durch die höhere Taktfrequenz steigt die Stromaufnahme um ca. 10 mA, was nicht zu einer überhöhten Erwärmung des µC führt. Wenn dies nicht benötigt wird, belässt man es bei der Grundeinstellung.