



13. Tagung Technische Diagnostik 18. / 19. Oktober 2018

Vortrag

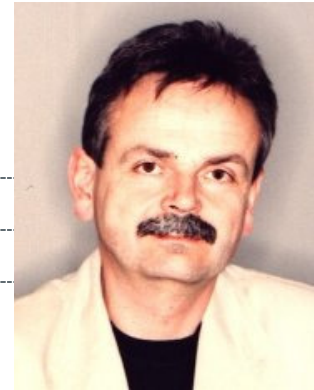
Ortskurven- Trübungssensor MKT19

Dr. Gerd Heinz

**GFal – Gesellschaft zur Förderung
angewandter Informatik e.V.**



Biographische Angaben



Titel, Vorname, Name	Dr.-Ing. Gerd Heinz
Funktion	Wiss. Mitarbeiter
Firma/Einrichtung, Anschrift	GFal e.V. Volmerstr.3 12489 Berlin
Kontaktdaten	Mail: heinz@gfai.de
Werdegang 1972 – 78	Studium Elektronik-Technologie und Feingerätetechnik TU Dresden Sektion 10 und postgraduales Studium Mikroelektronik TU Dresden Sektion 9
1977 - 87	Mitarbeiter am Institut für Nachrichtentechnik Berlin-Schöneweide - Mitarbeit an ersten Mikroprozessoren 1977-79 - Entwicklung des ersten Master- Slice IC der DDR 1980 (PCM-Regenerator KA601) - Projektleiter DVS-Schaltkreise 1981-1987 - Nationalpreis II im Kollektiv 1987
1987-1991	Mitarbeiter am Zentralinstitut für Kybernetik und Informationsprozesse der AdW-ZKI
ab 1993	Buch „Neuronale Interferenzen“ 1993 Mitarbeiter der GFal Berlin - Entwicklung der akustischen Photo- und Kinematographie, - Weltmarkteinführung Akustischer Kameras bis 2005 - Entwicklung neuer Verfahren und Geräte
Forschungsbereiche	Interferenznetzwerke, bildgebende Akustik, Mikroprozessor-Entwicklungen: Schweißtechnik, Wasserqualität etc.

Überblick

In einem Forschungsprojekt [1] war zu untersuchen, ob und wo eine Bestimmung von Ortskurven von Trübflüssigkeiten für den industriellen Alltag Nutzen bringt. Potentielle Anwendungen werden erwartet in den Bereichen: Reinstwasser, Brauchwasser, Trinkwasser, Bier, Wein, Saftproduktion, Erdölindustrie oder chemische Trübsubstanzen.

Es existierte noch kein geeignetes Meßverfahren oder Meßgerät, die Technik war zunächst zu entwickeln. Mechanisch bewegliche Teile sollten vermieden werden, der Aufwand für die Elektronik sollte minimal sein. Ein Vorversuch machte Hoffnung [3]. So entstand ein Sensor (MKT19), der die räumliche Ortskurve im Bereich von 10° bis 180° aufzeichnet.

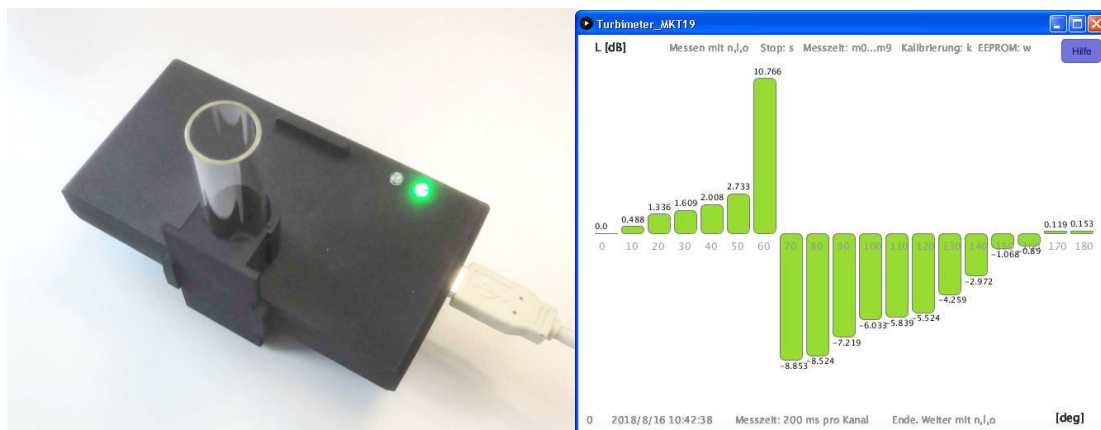


Abb. 1: Links: Trübungssensor MKT19 in eine 20 mm Glasküvette eingehängt. Rechts: Logarithmisch-relative Standardausgabe unter Windows. Der Meßwinkel ist auf der Ordinate angetragen.

Die Gehäusekonstruktion ist so ausgeführt, daß das Gerät an 20 mm dicke Füllstandsgläser angesteckt werden kann. Es kann als USB-OTG Gerät ohne Netzteil oder Akku von einem Smartphone versorgt werden, der USB- Stromverbrauch beträgt dabei 50 bis 80 mA. Aufgrund maximaler Empfindlichkeit verwendeter Sensoren erfolgt die Messung mit Rotlicht auf 635 nm statt mit Infrarot 860 nm (ISO 7027) oder Weißlicht (USEPA 2130B).

Grundlagen

Analog zum Static Light Scattering (SLS) und zum Dynamic Light Scattering (DLS) war über genormte Trübungsmeßverfahren (DIN/ISO 7027) hinausgehend die Ortskurve von Reflektionen und Streuungen im vollen Raumwinkelbereich aufzunehmen mit dem Ziel, den detektierbaren Merkmalsraum der zu messenden Trübsubstanz zu erweitern.

Dabei ging es um die Entwicklung einer Klasse von Trübungsmessern, mit denen Trübstoffe qualitativ besser erfaßt werden können. Der entwickelte Mehrkanal-Trübungssensor ist vom MALS-Typ (Multi-Angle Light Scattering), bei dem eine Trübsubstanz durch 18 Parameter charakterisierbar ist.

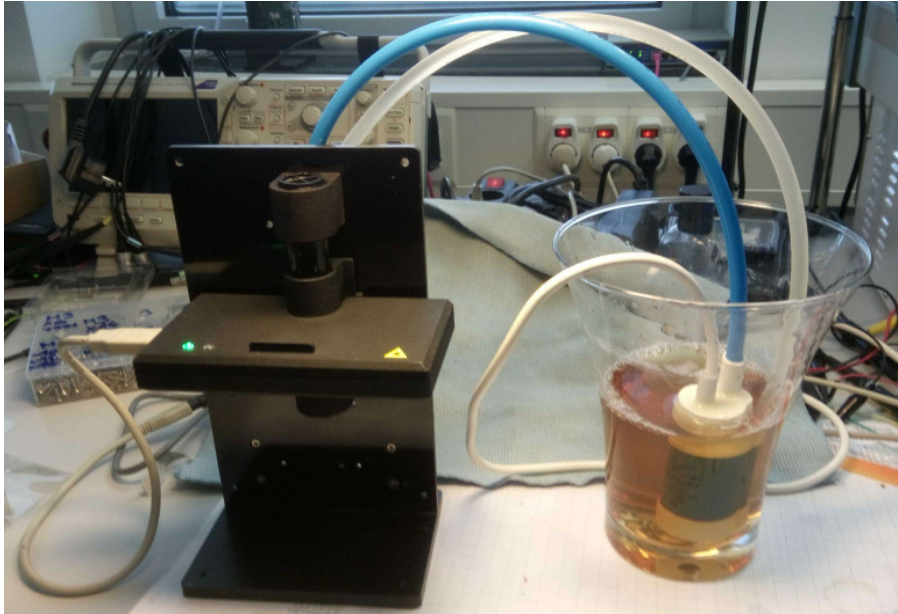


Abb. 2: Versuchsaufbau mit dem Trübungssensor MKT19 und einer Tauchpumpe in der zu prüfenden Substanz (Tee)

Das Gerät vereint Eigenschaften der Turbidimetrie (Messung der Lichtstreuung) mit denen der Nephelometrie (Messung der Absorption). Schwerpunkt einer Messung ist der Vergleich mit einer bekannten Trübsubstanz – der Kalibriersubstanz.

Meßverfahren

Es werden 19 digitale Photodioden benutzt, die eine zur Helligkeit proportionale Feuerfrequenz ausgeben. Zwischen Frequenz und Strahlungsmenge in nW/cm^2 (absolut, nicht normiert) besteht der Zusammenhang

$$(1) \quad \text{PD}[i].\text{nw} = \text{PD}[i].\text{freq} / \text{Ri};$$

$$\text{mit } \text{freq} / \text{Ri} = [\text{nW}/\text{cm}^2] = [(\text{Hz nW}) / (\text{Ri kHz cm}^2)]$$

Irradiance responsivity Ri :

$$(2) \quad \text{Ri} = 2.3 \text{ kHz}/(\mu\text{W}/\text{cm}^2) = 2.3 \text{ Hz}/(\text{nW}/\text{cm}^2)$$

Darstellung der Meßwerte

Um die Daten bestmöglich untersuchen zu können, stellt der Sensor unter Windows drei verschiedene Ausgabearten zur Verfügung:

- ,o' absolute Helligkeit in nW/cm^2 (dient der Geräteprüfung)
- ,n' relative Helligkeit als mess/kal (dient der Kalibrierprüfung)
- ,l' Standard-Ausgabe, relative Helligkeit in $20 \log(\text{mess}/\text{kal})$ in Dezibel (dB)

In der Darstellung der absoluten Helligkeiten (Abb.3) ist zu erkennen, daß der 180° Lichtsensor nicht maximal ausgeleuchtet ist. Der Sinn hinter einer solchen nichtlinearen Ausleuchtung der Photodioden liegt auf der Hand, ist doch das Durchlicht um Größenordnungen stärker als jedwedes Streulicht.

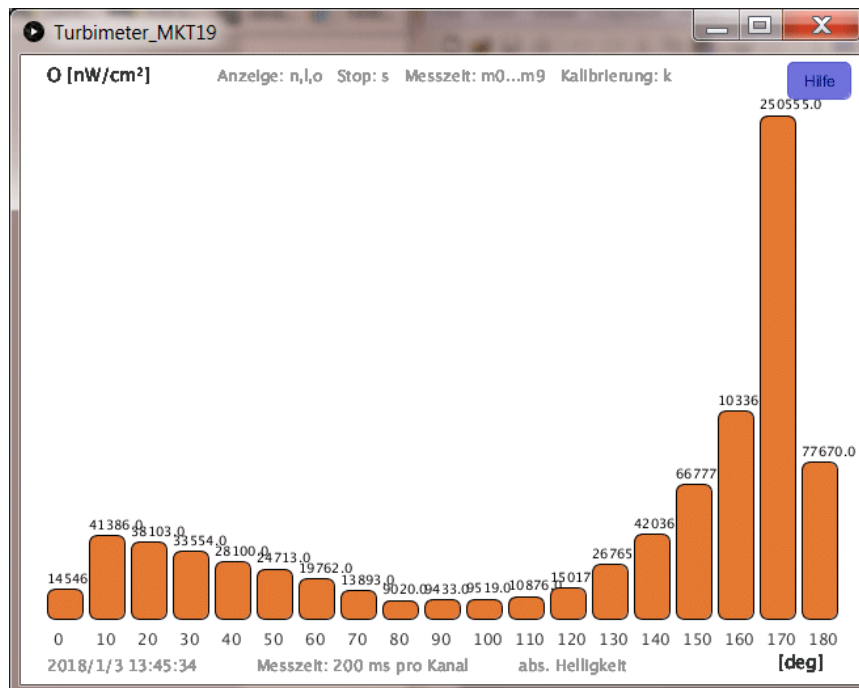


Abb. 3: Ausgabe der absoluten Helligkeit in nW/cm^2 mit Taste ,o' zu Testzwecken

Die Ausgabe ,o' (Abb. 3) dient vornehmlich der Überprüfung der Sensoren.

Ausgabe ,n' hingegen zeigt die Absolutwerte im Verhältnis zum Kalibrierwert an – hier kann man zum Beispiel direkt ablesen, um ein wievielfaches ein bestimmter Sensor vom Kalibrierwert abweicht, dies ist nützlich, wenn z.B. auf Formazin kalibriert wird.

Letztlich existiert noch die logarithmische Standardausgabe (klein L) in Dezibel. Deren Sinn besteht darin, gleiche Verhältniszahlen in gleiche Längen im Diagramm umzuwandeln.

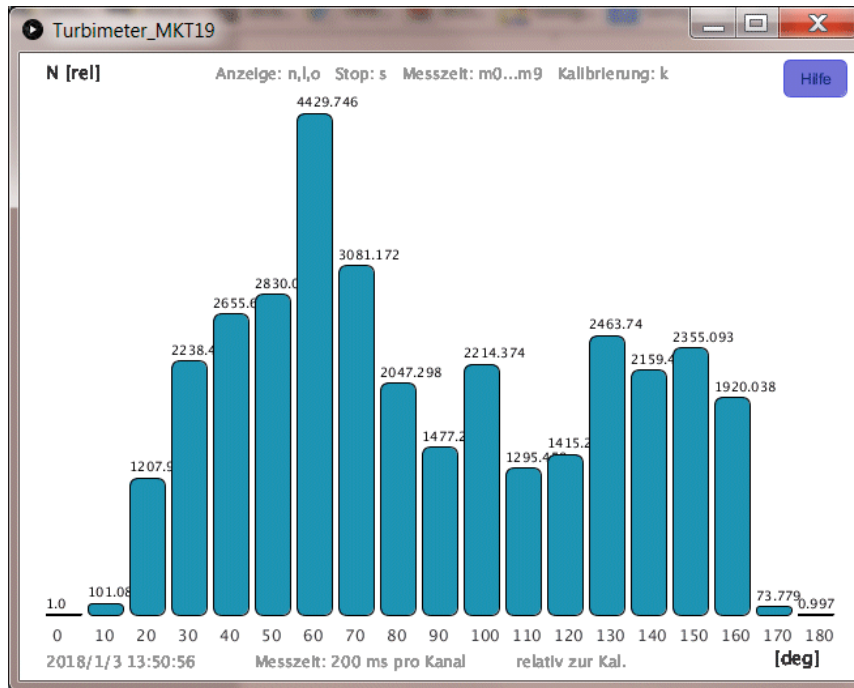


Abb. 4: Auf Kalibrierdaten bezogene, normierte Ausgabe mit ,n'

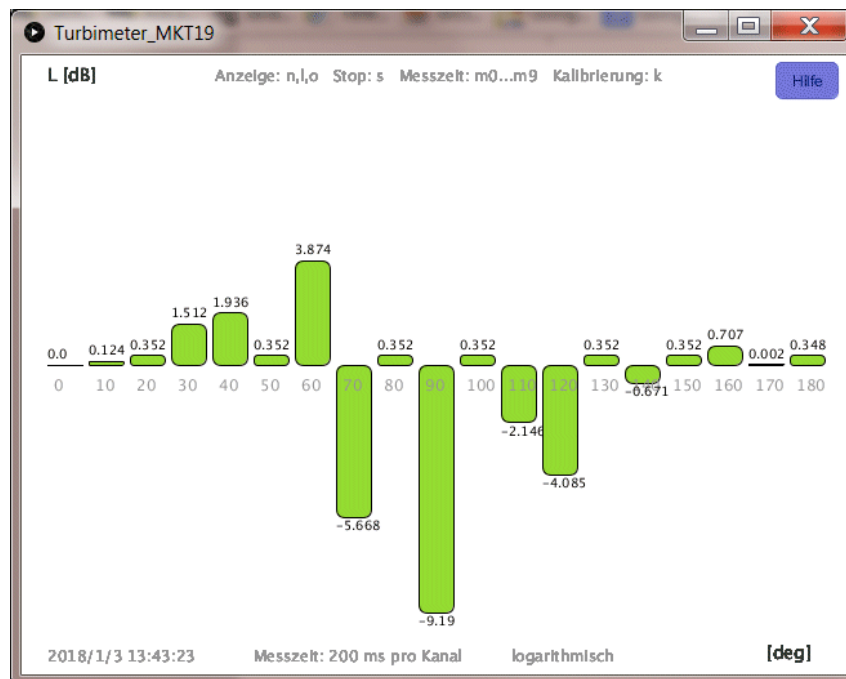


Abb. 5: Auf Kalibrierdaten bezogene, logarithmische Standard-Ausgabe mit ,l'. Die y-Achse wird in Dezibel L[dB] angezeigt; die x-Achse zeigt den Winkel der Rückstreuung (0...180 Grad) an.

Der Vorteil der logarithmischen Ausgabe in dB besteht in der Symmetrie zwischen 1/p und p. Wird die Ausgabe (Balkenlänge) mit y bezeichnet, der aktuelle Meßwert mit mess und der Kalibrierwert des Kanals mit kal,

$$(3) \quad Y = 20 \log (\text{mess}/\text{kal})$$

so folgt für die Balkenlänge z.B.

$$(4) \quad 20 \log 1/10 = -20$$

$$(5) \quad 20 \log 10/1 = +20$$

Die Balkenlänge ist identisch, nur deren Richtung ist entgegengesetzt.

Mathematisch ausgedrückt, gilt für diese Symmetrie

$$(6) \quad \log p = - \log (1/p).$$

Kalibrierung

Eine Besonderheit der Ortskurven- Trübungssensorik besteht darin, daß je nach Prüfsubstanz extrem verschiedene, absolute Helligkeiten die Übersicht erschweren. Zu extrem sind die Unterschiede in den Größenordnungen der Rückstrahlung zwischen Durchlicht und Streulicht. Um dieses Problem zu lösen, werden alle Ausgaben standardmäßig auf einen Satz von Kalibrierdaten normiert. Alle Dioden des Sensors werden dazu mit dem Kalibrierbefehl ‚k‘ auf ein Kalibriermodell geeicht, z.B. auf Formazin 4000. Wird dieser Kalibrierdatensatz mit dem Befehl ‚w‘ im EEPROM des Sensors gespeichert, steht es automatisch für alle weiteren Messungen zur Verfügung.

Zur Kalibrierung können genormte Trübungen (Formazin nach ISO 7027) oder Referenzproben der gleichen Substanz, aber auch Feststoffe herangezogen werden. So bewährte sich im Laboralltag die Kalibrierung mit durchscheinenden Acrylstäben, sofern diese spielfrei an der Küvette anliegen und deren Orientierungswinkel reproduzierbar eingestellt werden kann. Die Kalibrierdaten werden im Gerät gespeichert, eine Messung wird i.a. relativ zu den zuletzt gespeicherten Kalibrierdaten ausgegeben. Kalibriert werden sollte nicht auf durchsichtige Substanzen (Luft, aqua dest). Der Kalibrierfehler stiege gravierend.

Kommunikation

Serieller Port

Über die USB- Schnittstelle werden VID und PID sowie das Protokoll „Serieller Port“ (usbser) mitgeteilt. Unter Windows wird das Gerät beim Anstecken an USB automatisch erkannt. Die Kommunikation zwischen Meßgerät und Rechner erfolgt über eine serielle Schnittstelle als virtueller COM-Port unter USB (USB-VCP) mit 115200 Baud / 8n1n. Jegliche Kommunikation beginnt mit einem Fragezeichen. Jede Ausgabe des MKT endet mit einem @-Zeichen. Hilfe

erhält man mit dem Befehl h, siehe Abb.6. Damit dokumentiert sich das Gerät über die serielle Schnittstelle selbst, es ist unnötig, Kommentierungen oder Bedien-Manuals zu lesen.

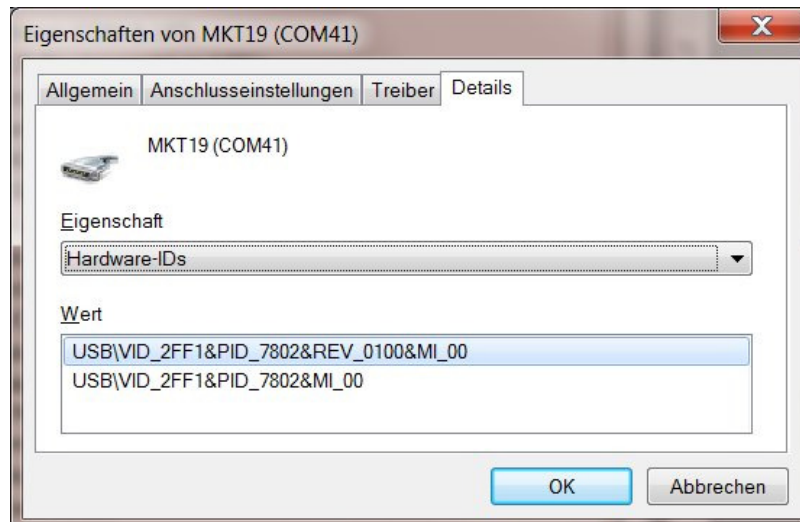


Abb. 6: Unter Windows wird das Gerät beim Anstecken an USB automatisch erkannt.

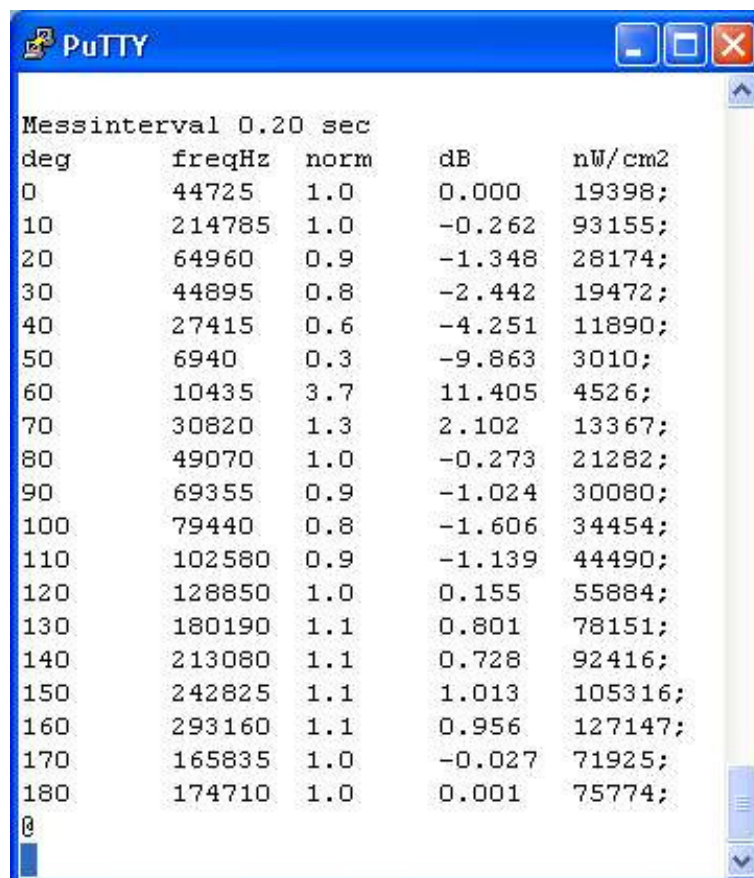


Abb. 7: Funktion „alle Werte ausgeben“ mit ‚a‘. Ausgegeben werden hier: Winkel, Frequenz, norm=mess/kal, Dezibel und Lichtstrom



```
PuTTY

Truebungssensor MKT19
mkt19_v12, Feb 16 2018, 12:00:03, AIDE 1.6.5, 1.8.3
Messung 10 bis 180 Grad in Schritten zu 10 Grad
Laser strahlt auf 180 Grad Sensor ~ PD18
Sensor 0 Grad ~ PD19 dient der Leistungsmessung
Aufloesung 0.1Hz : 500kHz ~ 23 Bit ~ 134dB
Laser 635nm, <1mW, DIN EN 60825-1 Class 1
USB-VCP, 115200 baud, 8n1n
heinz@gfai.de

Befehle:
h: Hilfe
a: messe alles
l: messe log in dB
n: messe normiert
o: messe Nanowatt
e00...e18: messe Kanal einzeln normiert
space: wiederhole letzte Messung
c: kontinuierlich messen (a,l,n,o)
s: laufende Messung stoppen
k: Kalibrierung
t: Kalibrier-Tabelle zeigen
r: lese Kalibrierdaten aus EEPROM
w: schreibe Kalibrierdaten ins EEPROM
p: zeige die Pinzuordnung
m0...m9: Messintervall einstellen
i: Messintervall abfragen
d: Debug-Ausgaben ein (aus mit h)
?: Antwort: #...
Jede Ausgabe wird mit Affenkopf beendet

Parameter:
Debug = 0
Messintervall: 0.20 sec = 3125 * 64 us
```

Abb. 8: Hilfsangebot auf ein ‚h‘ über die serielle Schnittstelle

Windows-Oberfläche

Eine in JAVA geschriebene Windows-GUI (Graphical User Interface) gestattet die verschiedenen, graphischen Darstellungen der Ergebnisse. Beim Anstecken an USB wird der serielle Port automatisch erkannt. Beim Kunden zu installieren ist lediglich die Java- Exe.

Da das Gerät über die serielle Schnittstelle kommuniziert, sind Bedienoberflächen (GUI) auf beliebigen Betriebssystemen leicht zu modifizieren. Upgrades können über USB eingespielt werden.

Ein kleiner Hilfe-Button erläutert knapp die Interaktionsmöglichkeiten unter Windows.

Ausführbare GUI stehen derzeit für Windows32, Windows64, für Linux32 und Linux64 sowie für Linux-Arm zur Verfügung.

Die Bedienung des Geräts kann zu Debugging-Zwecken mit einem Terminalprogramm (PuTTY, Hyperterm o.ä.) über eine virtuelle, serielle Schnittstelle auf USB erfolgen (USB-VCP, 115200 Baud, 8n1n).

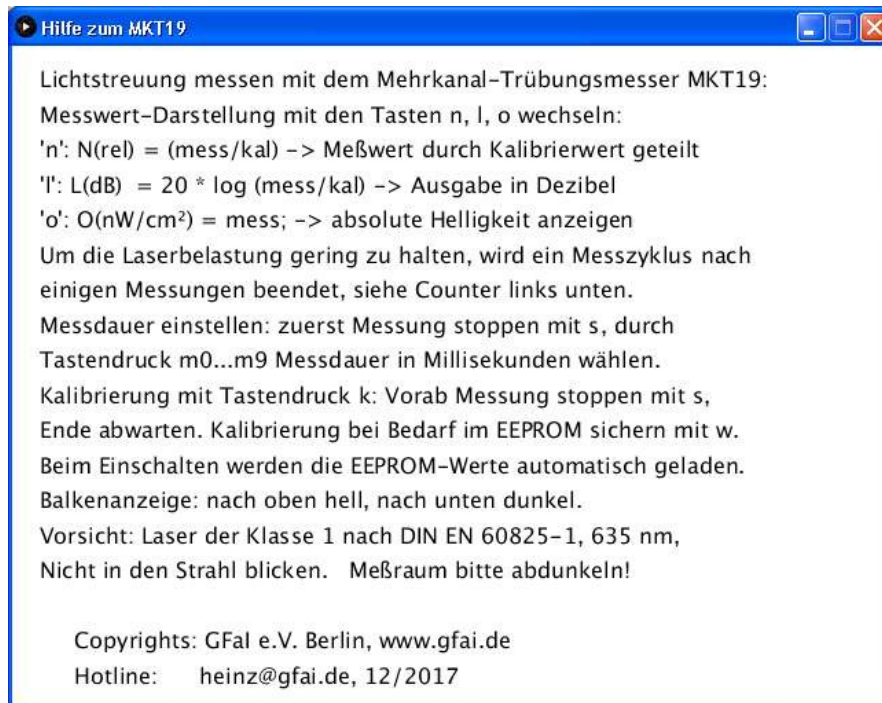


Abb. 9: Hilfe-Menue des Sensors MKT19

Das Gerät besitzt eine USB-A Buchse. Damit kann das Gerät an WindowsCE oder Windows10 Smartphones direkt mit einem USB-OTG-Kabel (A auf Micro-A) angeschlossen werden. Es sollte ein Terminalprogramm zur alphanumerischen Ausgabe oder die Java- GUI installiert sein. Allerdings setzt diese eine installierte Java- JRE voraus, diese ist bei Microsoft i.a. nicht vorinstalliert.

Für den PC-Anschluß ist ein Adapterkabel (Stecker USB-A auf Stecker USB-A) erforderlich. In einer zweiten Variante kann das Gerät auch mit USB-B Buchse ausgerüstet werden. Diese empfiehlt sich bei Anwendungen mit Windows10 Notebooks.

Software

Weil die Wahl aus Gründen einfacher Handhabung von USB auf einen Prozessor mit 16 MHz fiel, war bei der Firmwareentwicklung ein Problem zu lösen: Wie tastet man ein 500 kHz Signal des Sensors mit 16 MHz Taktfrequenz auf 19 Kanälen möglichst schnell ab? Nun könnte man eine FPGA dazu nutzen. Leider aber war die Leiterplatte bereits fertig als klar wurde, daß es knapp wird. Es hätte viel Zeit gekostet, ein Redesign zu machen. Ansätze

über Interrupt scheiden aus Rechenzeitgründen aus. Ursprünglich war vorgesehen, jeweils einen Port zu pollen. Ein Blick auf Abb.11 verrät uns die Unmöglichkeit dieses Vorhabens, da zuviel in Registern herumsortiert werden muß.

Eine Lösung kann nur sein, eine spezielle Mikroroutine zu schreiben, deren Befehle mit Blick auf Assembler optimiert sind. Wir starten einen im Hintergrund laufenden Timer für die Meßzeit, verhindern andere Interrupts und pollen nur je ein Bit (einen Kanal).

Tab. 1: *Tab.5: Bit- Polling Kern*

```
while (runnin) { // Kanal i messen bis Timer-Interrupt kommt
bitneu = (*portInputRegister(avrport) & avrbit); // Bit holen
if (bitneu != bitalt) // wenn Pinwert verändert wurde
counter++; // Änderung hochzählen
bitalt = bitneu; // update
}
```

Gleich, mit wie vielen Takten dieses Programm auskommt – es soll sehr schnell sein. Letztlich schaffen wir es, eine Maximalfrequenz von etwa 300 kHz des Sensors abzutasten. Damit verliert unser Photosensor ein Bit an Auflösung, und dieses auch nur auf der 180° direkt angestrahlten Seite. Dieser Kompromiß ist akzeptabel. Würden wir diesen Kern nun noch in Assembler schreiben, wären wir vielleicht noch ein bisschen schneller. Reserven sind auch hier noch vorhanden.

Mit dem Befehl ‚a‘ Abb.7 kann man sich zu Testzwecken die auf eine Sekunde normierten Feuerfrequenzen der Photosensoren ansehen.

Hardware

Das Gerät besteht aus zwei schwarzen Plast- Halbschalen, zwischen denen sich die Leiterplatte befindet. In die obere Halbschale sind Blendenfächer für die Licht- Abschirmung der Photosensoren eingearbeitet, Abb.10.

Wie in Abb.11 zu erkennen, wurden die Pins für eine optimale Entflechtung der Leiterplatte sortiert. Für Debug- Zwecke steht der Befehl ‚p‘ zur Verfügung, der die Pinzuordnung ausgibt.



Abb. 10: Leiterplattenkonstruktion von oben links und von unten rechts.

PuTTY

Pinzuordnung:

Kanal	Grad	Diode	digPin	AVRport	AVRpin	AVRname	
0	0	PD19	D23	bp6	bm1	PF0	(Laserleistung)
1	10	PD1	D22	bp6	bm2	PF1	
2	20	PD2	D21	bp6	bm10	PF4	
3	30	PD3	D20	bp6	bm20	PF5	
4	40	PD4	D19	bp6	bm40	PF6	
5	50	PD5	D18	bp6	bm80	PF7	
6	60	PD6	D13	bp3	bm80	PC7	
7	70	PD7	D5	bp3	bm40	PC6	
8	80	PD8	D10	bp2	bm40	PB6	
9	90	PD9	D9	bp2	bm20	PB5	
10	100	PD10	D8	bp2	bm10	PB4	
11	110	PD11	D6	bp4	bm80	PD7	
12	120	PD12	D12	bp4	bm40	PD6	
13	130	PD13	D4	bp4	bm10	PD4	
14	140	PD14	D2	bp4	bm2	PD1	
15	150	PD15	D3	bp4	bm1	PDO	
16	160	PD16	D11	bp2	bm80	PB7	
17	170	PD17	D14	bp2	bm8	PB3	
18	180	PD18	D16	bp2	bm4	PB2	

Abb. 11: Die Pinzuordnung zwischen Kanalnummer, Winkel, Pin- und Portbezeichner wird mit ,p' ausgegeben

Messbeispiel

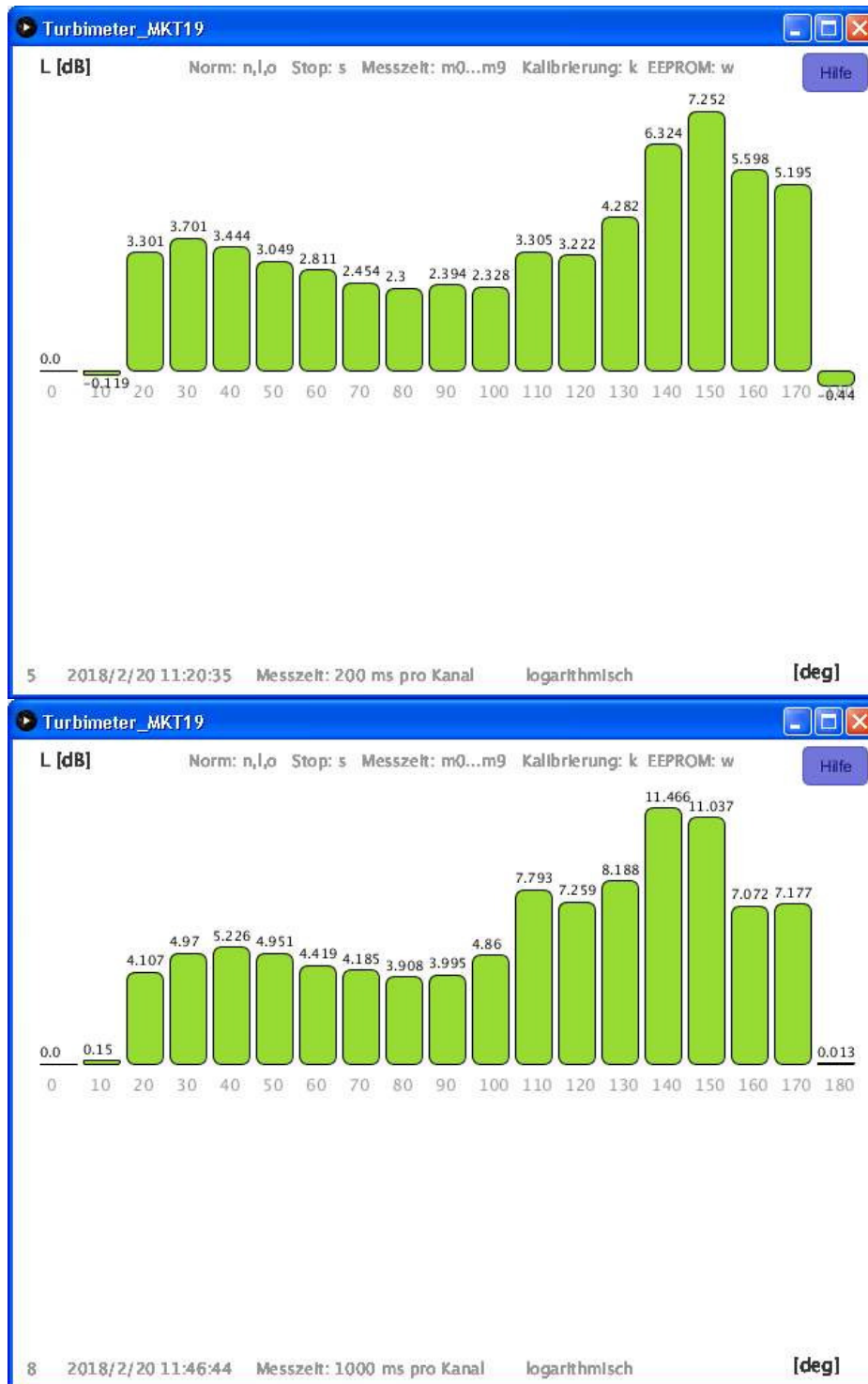


Abb. 12: 5-Minuten Biermessung rel. Wasser: Oben: Staropramen, unten Lübzer Pils

Das System wurde an verschiedensten Substanzen erprobt, wie Fruchtsäfte, Biere und Tees.

Durch den Forschungsverein GNF e.V. wurde eine Formazin- Verdünnungsreihe (NTU 4000, 2000, 1000, 400, 40, 4) gemessen. Es entstand ein Erprobungsbericht [2].

Über NTU- oder FTU- Standards (ISO 7027) hinausgehend zeigt sich, daß die Verdünnungsstufe einer Formazin- Probe bereits an der charakteristischen Meßkurve vom MKT19 zu erkennen ist.

In Abb.13 wurden zwei Biersorten relativ zu einer Kalibrierung mit Wasser gemessen. Neben verschiedenen Amplituden erkennt man bei 110° und 120° sowie 140° und 150° eine relative Abweichung der Kurven. Bei Biermessungen zu beachten ist das Timing der CO₂ Blasen. Erst nach etwa 30 Minuten werden Biermessungen langsam stabil.

Zusammenfassung

Für Trübungsmessungen wurde ein kleines MALS- Meßgerät entwickelt, daß die Ortskurve der Rückstreuung in 10-Grad Schritten mißt. Die Gehäusekonstruktion ist so ausgeführt, daß das Gerät an 20 mm dicke Füllstandsgläser angesteckt werden kann.

Das Gerät wird über USB versorgt und betrieben. Es kommuniziert über eine serielle Schnittstelle. Es kann als USB-OTG Gerät ohne Netzteil oder Akku von einem Smartphone versorgt werden, der USB- Stromverbrauch beträgt dabei 50 bis 80 mA.

Aufgrund maximaler Empfindlichkeit verwendeter Sensoren erfolgt die Messung mit Rotlicht auf 635 nm statt mit Infrarot 860 nm (ISO 7027) oder Weißlicht (USEPA 2130B).

Eine Java-GUI gestattet eine graphische Darstellung in verschiedenen Moden. Erste Erprobungen lassen schließen, daß Substanzen genauer charakterisierbar sind, als mit ISO 7027. Über NTU- oder FTU- Standards hinausgehend zeigt sich, daß die Verdünnungsstufe einer Formazin- Probe bereits an der charakteristischen Meßkurve vom MKT19 zu erkennen ist.

Literatur

- [1] Sachbericht zum Förderprojekt „Optische Wasseranalyse – OPTANA“,
Zuwendungsgeber: BMWi, Projektträger Euronorm MF150050 (10/2015 – 3/2018)
- [2] Welsch, Robert: Erprobung eines neuartigen Trübungssensors MKT19. Meßbericht. GNF Berlin-Adlershof e.V., Bericht vom Dezember 2017
- [3] Sadat, Mansoor: Erprobungsbericht Trübungssensor TS4, TS6. GFal- Bericht vom 28.8.2014

Erstellt

Heinz, G.: Ortskurven- Trübungssensor MKT19. Tagungsband 13. Tagung Technische Diagnostik, HS Merseburg, 18. / 19. Oktober 2018