

# **Praktikum Messtechnik**

## **Protokollheft**

Sandra Plate – STK105  
René Kelling – STK105  
Markus Gaudig – STK105

Gruppe 3

24. Mai 2007



## Inhaltsverzeichnis

|  |           |
|--|-----------|
| <b>S8 – Computergestützte Messwerterfassung (19.04.2007)</b> | <b>5</b>  |
| <b>1 Grundlagen des Versuchs</b>                             | <b>5</b>  |
| 1.1 Vorbereitungsfragen . . . . .                            | 5         |
| 1.2 Aufgabenstellung . . . . .                               | 9         |
| 1.3 Formelsammlung . . . . .                                 | 9         |
| 1.4 Versuchsaufbau . . . . .                                 | 9         |
| <b>2 Versuchsdurchführung</b>                                | <b>9</b>  |
| 2.1 Messdaten . . . . .                                      | 9         |
| 2.2 Auswertung . . . . .                                     | 10        |
| 2.3 Fehlerbetrachtungen . . . . .                            | 10        |
| <b>3 Literatur</b>   | <b>11</b> |
| <br>   |           |
| <b>S3 – Wegsensoren (03.05.2007)</b>                         | <b>13</b> |
| <b>1 Grundlagen des Versuchs</b>                             | <b>13</b> |
| 1.1 Vorbereitungsfragen . . . . .                            | 13        |
| 1.2 Aufgabenstellung . . . . .                               | 16        |
| 1.3 Versuchsaufbau . . . . .                                 | 16        |
| <b>2 Versuchsdurchführung</b>                                | <b>17</b> |
| 2.1 Messdaten . . . . .                                      | 17        |
| 2.2 Auswertung . . . . .                                     | 19        |
| <b>3 Literatur</b>   | <b>24</b> |
| <br>   |           |
| <b>PM4 – Durchflussmessung (24.05.2007)</b>                  | <b>25</b> |
| <b>1 Grundlagen des Versuchs</b>                             | <b>25</b> |
| 1.1 Vorbereitungsfragen . . . . .                            | 25        |
| 1.2 Aufgabenstellung . . . . .                               | 31        |
| 1.3 Versuchsaufbau . . . . .                                 | 33        |
| <b>2 Versuchsdurchführung</b>                                | <b>34</b> |
| 2.1 Messdaten . . . . .                                      | 34        |
| 2.2 Auswertung . . . . .                                     | 34        |
| <b>3 Literatur</b>   | <b>37</b> |



19.04.2007

# S8 – Computergestützte Messwerterfassung

Betreuer: Dipl.Ing. Adler

## 1 Grundlagen des Versuchs

### 1.1 Vorbereitungsfragen

#### 1.1.1 Welche Vorteile bietet die computergestützte Meßwerterfassung?

Die computergestützte Messwerterfassung bietet gegenüber konventioneller Messwertaufnahme mehrere Vorteile. Der hervorragende Gewinn sind die Automatisierung komplexer Messabläufe und die damit verbundene Einsparung jetzt überflüssiger Hardware<sup>1</sup>.

Durch anwendungsflexible Software-Module werden dedizierte und an spezielle Aufgaben gebundene Hardware-Komponenten ersetzt. Dadurch ist auch eine einfache Bedienung und hohe Zuverlässigkeit gewährleistet.

Die PC-Software ermöglicht weiterhin gute Visualisierungs- und Archivierungsmöglichkeiten und eine sichere und effiziente Speicherung von Messdaten.

Die leichte Einbindung der Messdatenerfassung in Regelsysteme oder Anlagen der Automatisierungstechnik ist eine weitere Stärke computergestützter Messwerterfassung. Dadurch entsteht auch die Möglichkeit zur Lösung von regelungstechnischen Problemen und zur Erfassung chemischer, biologischer und physikalischer Prozesse, die in sehr kurzen oder sehr langen Zeitperioden ablaufen.

#### 1.1.2 Welche Vor- und Nachteile sind beim Einsatz von Steckkarten oder Instrumentations-Boxen zu berücksichtigen?

Standardmäßig werden Computereinsteckkarten verwendet, die einen Analog-Digital-Umsetzer mit vorschaltetem Multiplexer enthalten. Eine zweite Möglichkeit besteht in dem Anschließen von „intelligenten Messgeräten“ über digitale Computer-Schnittstellen.

Nachteilig bei der Verwendung von internen Einsteckkarten sind in der Regel auftretende Störungen bei der Übertragung, besonders wenn die Zuleitungen sehr lang sind, in Form von Störeinstrahlungen und möglichen Kopplungen. Der Platz auf den Motherboards ist begrenzt und zum Umbau muss das Gehäuse geöffnet werden. Außerdem fehlt hier die Verstärkung, was dann zum Datenverlust führen kann.

Vorteilhaft ist die Nähe zum digitalen System, was hohe Übertragungsgeschwindigkeiten impliziert. Die Steckkarte ist direkt mit dem internen BUS verbunden. Die Daten können zeitnah im Arbeitsspeicher abgelegt werden und das Gesamtsystem ist kostengünstiger, weniger kompliziert und benötigt weniger Platz.

Externe Instrumentationsboxen können in manchen Fällen nicht in der Nähe des Sensors platziert werden, was ihren größten Vorteil, nahezu störungsfreie Datenerfassung durch kurze Verbindungskabel, hemmt. Weiterhin ist die höhere Anfälligkeit gegen mechanische Einwirkung und die Gefahr von zerstörerisch einwirkenden Prozessvorgängen (z.B. Stöße, Spritzer) zu bemerken.

Instrumentationsboxen sind bei vielen Messstellen von Vorteil, da sie optional eigene Zwischenspeicher besitzen und die Daten somit nur bei Bedarf digital, störungsfrei und schnell an den Rechner übertragen werden. Dadurch fallen auch Trennverstärker und Schirmungsmaßnahmen weg.

---

<sup>1</sup>durch zeitlichen Multiplexbetrieb

### 1.1.3 Welche digitalen Schnittstellen sind für die rechnergestützte Meßwerterfassung gebräuchlich?

Gebräuchlich sind bei der rechnergestützten Messwerterfassung:

- Multifunktionseinsteckkarten im PC <sup>2</sup>
- RS232C Schnittstelle für serielle Übertragung zu externem Messgerät (*Nachteil: langsam*)
- IEC-Bus (oder VXI-Bus) für digitale Übertragung zu „intelligentem“ Messgerät (*Vorteil: schnell*)
- Datenlogger bei Einsatz autonomer Geräte, die eigene Datenspeicherung implementiert haben. <sup>3</sup>

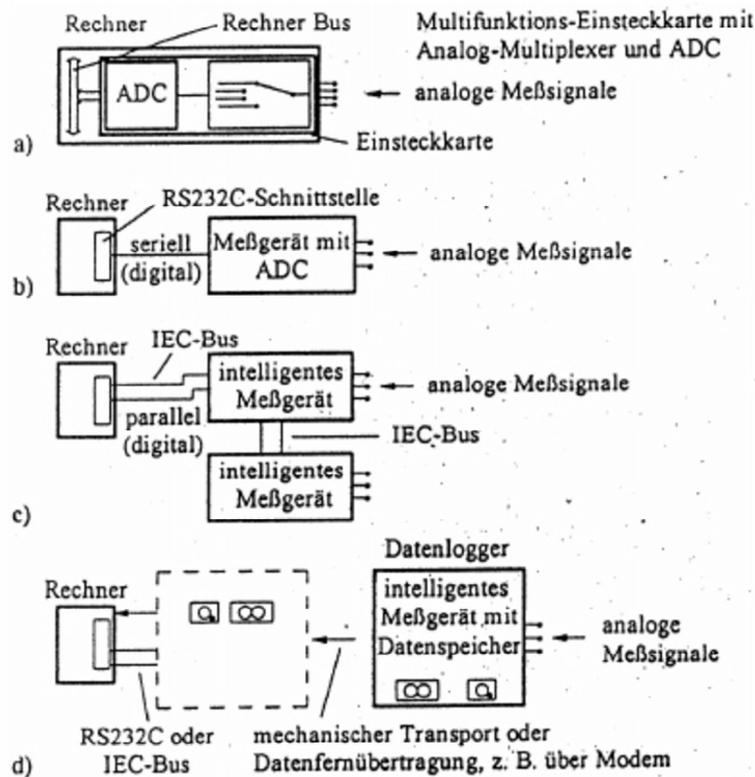


Abbildung 1: Übersicht der digitalen Schnittstellen

### 1.1.4 Welche technischen Merkmale besitzt der IEC-Bus?

Die technischen Merkmale eines IEC-Bus sind:

- paralleler 8-bit Bus, an den max. 15 Geräte angeschlossen werden können (bei Einsatz von Bus-Expander bis zu 29)
- der Bus enthält 16 Signalleitungen, davon acht Datenleitungen, drei zur Steuerung der Datenübertragung (handshake), und fünf Signale zum Bus-Management.
- Übertragungsdistanzen zum Gerät max. 2m und total max. 20m
- maximal kann nur ein angeschlossenes Gerät senden (vordefiniert als talker), jedoch alle anderen Geräte können empfangen (listener)
- Übertragungsrates typischerweise 500kByte pro Sekunde, max. ein MByte pro Sekunde

<sup>2</sup>mit Analogmultiplexer und ADU

<sup>3</sup>besitzt dann ebenfalls digitale oder serielle Ein- und Ausgänge



Abbildung 2: Einsteckkarte mit IEC-Bus

### 1.1.5 Was ist eine FFT?

Die Fast-Fourier-Transformation ist ein Algorithmus zur schnellen Berechnung der Werte einer diskreten Fourier-Transformation (DFT). Die FFT wird ausgeführt mit Hilfe verschiedener Verfahren, zum Beispiel dem Cooley-Tukey Algorithmus. Bei diesem Algorithmus handelt es sich um ein klassisches Teile-Herrsche-Verfahren. Die Beschleunigung gegenüber der direkten Berechnung beruht darauf, schon berechnete Zwischenergebnisse schnell zusammensetzen. Die Anzahl der verwendeten Stützstellen muss dabei eine Zweierpotenz sein. Ein Messwertvektor der Größe  $n$  wird in die Teilvektoren der Einträge zu geraden bzw. ungeraden Indizes aufgeteilt und von beiden die DFT bestimmt. Die beiden Teilergebnisse werden dann wieder zu einem Gesamtergebnis zusammengefügt.

Die Diskrete Fourier-Transformation oder DFT ist die Fourier-Transformation eines zeitdiskreten periodischen Signals. Dabei wird das periodische Signal als Superposition eines Grundpegels<sup>4</sup>, einer Grundschwingung und ihrer Oberschwingungen in eindeutiger, d.h. umkehrbarer Weise beschrieben.

Da nun die Amplituden und Phasen der einzelnen Schwingungen gezielt analysiert oder manipuliert werden können, ist die DFT ein wichtiges Werkzeug in der Theorie und Praxis der digitalen Signalverarbeitung.

Ihre Formel lautet:

$$\hat{x}_k = \sum_{n=1}^{N/2} x_n \cdot e^{-i2\pi \frac{kn}{N}} \quad (1)$$

$N/2$ ... Größe der beiden sortierten Messvektoren

$k$ ...  $k$ -te Stützstelle

### 1.1.6 Was besagt das Abtasttheorem und wozu dienen Anti-Aliasing-Filter?

Das Abtasttheorem besagt, dass ein kontinuierliches, bandbegrenzttes Signal, mit einer Minimalfrequenz von 0 Hz und einer Maximalfrequenz  $f_{\max}$ , mit einer Frequenz  $f_{ab}$  größer als  $2 \cdot f_{\max}$  abgetastet werden muss, damit man aus dem so erhaltenen zeitdiskreten Signal das Ursprungssignal ohne Informationsverlust - aber mit unendlich großem Aufwand - rekonstruieren bzw. - mit endlichem Aufwand - beliebig genau approximieren kann. Das Abtasttheorem nach Shannon lautet:

$$T_{ab} = \frac{1}{f_{ab}} \leq \frac{1}{2f_{\max}} = \frac{\pi}{\omega_{\max}} \quad (2)$$

$T_{ab}$ ... Periodendauer des Abtastimpulses

$f_{ab}$ ... Frequenz des Abtastimpulses

In der Praxis bedeutet das Abtasttheorem, dass man vor der Abtastung die maximale Frequenz kennen oder herausfinden muss<sup>5</sup> und dass dann das Signal<sup>6</sup> mit mehr als der doppelten Frequenz abgetastet werden muss, wenn man das Signal in guter Näherung rekonstruieren will.

<sup>4</sup>Gleich-Anteil

<sup>5</sup>zum Beispiel mit Hilfe der Fourier-Analyse eines hochfrequent abgetasteten Signals

<sup>6</sup>zum Beispiel zum Zwecke der Digitalisierung

Wird die Abtastfrequenz unbedacht zu klein gewählt, treten Artefakte auf. Diese nicht linearen Verzerrungen sind auch unter dem Begriff Alias-Effekt bekannt.

Zur Verhinderung dieser Effekte werden Anti-Aliasing-Filter verwendet. Es wird die Nyquist-Frequenz festgelegt<sup>7</sup>. Höhere Frequenzen sollen nicht verarbeitet werden. Ein Anti-Aliasing-Filter ist also grundsätzlich ein elektronisches Bauteil, welches eingesetzt wird, um diese höheren Frequenzen abzuschneiden. Das wird mit einem Tiefpass realisiert. Ein Tiefpass ist per Definition ein Filter der Signale mit Frequenzen, die eine Grenzfrequenz unterschreiten, ungehindert passieren lässt und Frequenzen oberhalb der Grenzfrequenz abschwächt und nicht passieren lässt.

---

<sup>7</sup>höchste Frequenz, die digitalisiert werden soll

## 1.2 Aufgabenstellung

1. Bestimmen Sie die Auflösung des in die NI-DAQ Messkarte implementierte ADU!

2. Bestimmen Sie den Ansprechpegel des Digitaleingangs!

3. Ermitteln Sie die Abtastrate der Messkarte, und zeigen Sie das Abtasttheorem auf!

## 1.3 Formelsammlung

Zur Bestimmung der ADU-Auflösung werden der Messbereich  $U$  und die vermutete Abtastrate  $B$  ins Verhältnis gesetzt. Es ergibt sich der kleinst mögliche diskrete Wertsprung  $\Delta U$ :

$$\Delta U = \frac{U}{B} \quad (3)$$

$$B = 2^x \quad (4)$$

x ... Auflösung in bit

## 1.4 Versuchsaufbau

Der Versuch wird auf einem Windows XP Rechner durchgeführt. Als Messkarte wird eine NI-Daq PCI6036E genutzt. Sie besitzt 6 analoge Eingänge, 2 digitale Ein- und Ausgänge und 2 analoge Ausgänge. Sie hat 4 wählbare Spannungsbereiche: (-10 V...+10)V;(-5 V...+5)V;(-0,5 V...+0,5)V;(-0,05 V...+0,05)V. Weiterhin stehen im Messaufbau zur Verfügung:

- ein Funktionsgenerator
- ein digitaler Frequenzzähler
- eine Anschlussbox für die Kanäle

Die Anschlussbox ist über ein Hosengurtkabel mit der Messkarte verbunden. Dieses ist weder geschirmt noch verstärkt. Unter Nutzung von DASyLab werden die Messdaten aufbereitet.

## 2 Versuchsdurchführung

### 2.1 Messdaten

| Nr. | $f_s$ [Hz] | $f_{FFT}$ [Hz] | Nr. | $f_s$ [Hz] | $f_{FFT}$ [Hz] |
|-----|------------|----------------|-----|------------|----------------|
| 1   | 100        | 100            | 11  | 1100       | 100            |
| 2   | 200        | 200            | 12  | 1200       | 200            |
| 3   | 300        | 300            | 13  | 1300       | 300            |
| 4   | 400        | 400            | 14  | 1400       | 400            |
| 5   | 500        | 500            | 15  | 1500       | 500            |
| 6   | 600        | 400            | 16  | 1600       | 400            |
| 7   | 700        | 300            | 17  | 1700       | 300            |
| 8   | 800        | 200            | 18  | 1800       | 200            |
| 9   | 900        | 100            | 19  | 1900       | 100            |
| 10  | 1000       | 0              | 20  | 2000       | 0              |

Tabelle 1: Frequenzmessung zur Ermittlung der Abtastrate

|          | High [V] | Low [V] |
|----------|----------|---------|
| High-Low | 1,3126   | 1,3106  |
| Low-High | 1,3131   | 1,3116  |

Tabelle 2: High-Low, Low-High Umschaltung des Digitaleingangs

## 2.2 Auswertung

### Aufgabe 1

Bei einem Messbereich von 20 V ergibt sich  $\Delta U = 3,052 \cdot 10^{-4} \text{V}$  unter einer Annahme von 16 bit. Diese Auflösung deckt sich mit den von DASyLab gemessenen kleinsten Differenzen zwischen den aufeinanderfolgenden Messwerten. Folglich hat die Messkarte eine 16 bit Auflösung. Bei einer Messbereichsverkleinerung bis auf 50mV lassen sich Auflösungen von bis zu  $7,63 \cdot 10^{-7} \text{V}$  erreichen.

### Aufgabe 2

Aus den ermittelten Pegeldata aus Tabelle 2 ergibt sich ein Low-Bereich von 0...1,311V und ein High-Bereich von 1,313...5V. Das ist keine TTL - Logik, da der verbotene Bereich und die Standards für High und Low nicht eingehalten werden.

### Aufgabe 3

Aus den von DASyLab über FFT ermittelten Frequenzen  $f_{FFT}$  für das eigentliche Signal mit den Frequenzen  $f_s$  ergibt sich die Abtastrate. Beide Werte stimmen überein bis 500Hz. Danach treten Artefakte auf. Damit ist das Abtasttheorem verletzt, und es ergibt sich eine Abtastfrequenz  $f_{ab}$  nach 2:

$$f_{ab} = 2 \cdot f_{max} = 2 \cdot 500 \text{Hz} = 1 \text{kHz}$$

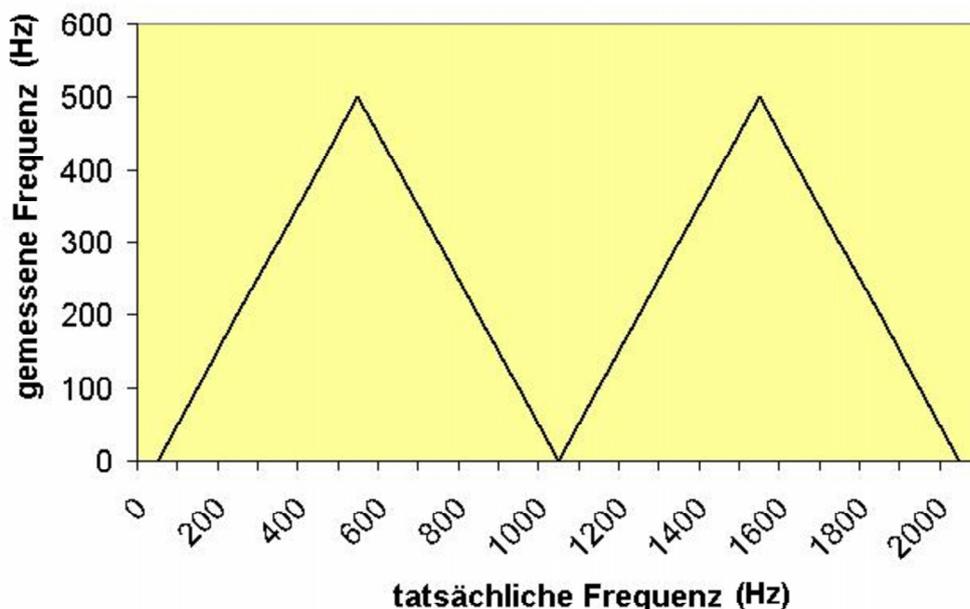


Abbildung 3: Fehlmessungen bei Verletzung des Abtasttheorems

## 2.3 Fehlerbetrachtungen

Bei einer Messgenauigkeit von 16bit in den kleinsten Messbereichen können keine Messungen erfolgen, da das Hosengurtkabel weder geschirmt noch geschützt ist und die Daten nicht verstärkt werden. Es würden kleinste Erschütterungen oder andere Beeinflussungen, wie Potentiale von außen, die Messwerte verfälschen. Außerdem können die Multiplexerzeiten nicht ermittelt werden, da das Betriebssystem Windows XP eine softwaregesteuerte Auslesung der Werte besitzt. Je nach Belastung des Arbeitsspeichers variieren die ermittelbaren Abtastzeiten.

Weitere Fehlerquellen liegen in der Diskretisierung des Messsignals.

### 3 Literatur

- Schumny, H. (Hrsg.): Meßtechnik mit dem Personal Computer. Springer-Verlag 1993
- P.Hauptmann: Script zur Vorlesung „Messtechnik“
- [http://www.uni-magdeburg.de/imos/mea\\_sen/docs\\_de/lehre.html](http://www.uni-magdeburg.de/imos/mea_sen/docs_de/lehre.html)
- <http://www.wikipedia.org>

