

Bachelor Studiengänge PP und PEU

## Praktikum Strömungstechnik I und Messdatenerfassung

WS 2010/2011

### Organisatorische Vorgaben:

Das Praktikum Strömungstechnik I besteht aus 4 Versuchen jeweils über einen vollständigen Nachmittag mit offenem Ende. Es besteht Anwesenheitspflicht zu diesen Terminen. Zu Beginn des Praktikums findet ein Kolloquium mit einfachen Fragen zum Versuchsablauf statt. Für mangelhafte Vorbereitung können bis zu 30 % der Punkte (maximal 4) abgezogen werden.

Es sind 4 Ausarbeitungen vorzulegen, die als Gruppenarbeit (Versuche 1+2: max. 2 Personen, Versuch 3+4: maximal 4 Personen) anzufertigen sind. Pro Gruppe und Versuch darf nur eine Ausarbeitung abgeliefert werden! Die Ausarbeitungen werden mit maximal 12 Punkten bewertet. Punktabzug gibt es für verspätete, fehlerhafte oder unvollständige Ausarbeitungen. Inhaltliche Mängel führen ebenfalls zum Punktabzug. Eine einmalige Korrektur ist möglich; bei dieser können aber nur maximal 10 Punkte erreicht werden.

Der Abgabetermin für die Hausarbeiten ist jeweils eine Woche (Dienstag, Donnerstag bzw. Freitag) nach dem jeweiligen Versuch. Eine Ausnahme sind die Weihnachtsferien.

Das Skript zum jeweiligen Versuch finden Sie als Word-Dokument in der Windchill-Bibliothek und unter <http://ifs.muv.fh-duesseldorf.de> Materialien Vorlesung Bachelor\_PP\_PEU Strömungstechnik\_I oder

[ftp://vorlesung@ifs.mv.fh-duesseldorf.de/bachelor\\_PP\\_PEU/Stroemungstechnik\\_I/](ftp://vorlesung@ifs.mv.fh-duesseldorf.de/bachelor_PP_PEU/Stroemungstechnik_I/)

Ein Passwort ist nicht erforderlich!

Bilder und Formeln aus den Skripten sollen in den Hausarbeiten verwendet werden. Bitte lesen Sie die Aufgabenstellungen genau durch und beantworten Sie jede Teilaufgabe. Die Ausarbeitung soll folgende Einzelheiten enthalten:

1. Datum des Versuchs, Name, Gruppe, email oder Telefon-Nr.
2. Eine in eigenen Worten formulierte Aufgabenstellung.
3. Eine knappe Beschreibung der Versuchsdurchführung (besondere Vorkommnisse, Dinge, die nicht funktioniert haben oder im Skript nicht beschrieben werden).
4. In der Regel eine Excel-Auswertung der Messdaten mit einer Dokumentation der verwendeten Formeln, die Files sind auf dem Studenten-Server unter dem Gruppen-Account abzulegen.
5. Übersichtliche Diagramme mit sinnvollen Achsbeschriftungen und physikalischen Einheiten sowie einer Bildunterschrift zum Diagramm.
6. Eine Diskussion der Ergebnisse.

Die Hausarbeiten sind vollständig als ausgedrucktes Exemplar auf Papier abzugeben; das Abspeichern auf dem Server reicht nicht aus!

Die jeweils bekannt gegebenen Sicherheitshinweise sind unbedingt einzuhalten! Für Rückfragen stehen wir per email oder nach Vereinbarung zur Verfügung.

Prof. Dr.-Ing. Frank Kameier  
Prof. Dr.-Ing. Walter Müller  
Dr.-Ing. Gerd Dibowski  
Robert Heinze MScEng  
Johannes Goebel BEng  
Sophia Schönwald MScEng  
Fachbereich 4  
Maschinenbau und Verfahrenstechnik  
Josef-Gockeln-Str. 9  
40474 Düsseldorf

☎ (0211) 4351-848  
☎ (0211) 4351-424  
email Walter.Mueller@fh-duesseldorf.de  
email Frank.Kameier@fh-duesseldorf.de  
email Gerd.Dibowski@dlr.de  
<http://ifs.muv.fh-duesseldorf.de>

Düsseldorf, den 01.09.2010

## **1. Versuch: Einführung in die Messdatenerfassung mit DASyLab/ Auswertung von Messergebnissen mit EXCEL**

### **1. Einführung in die Datenverarbeitung mittels der Software DASyLab**

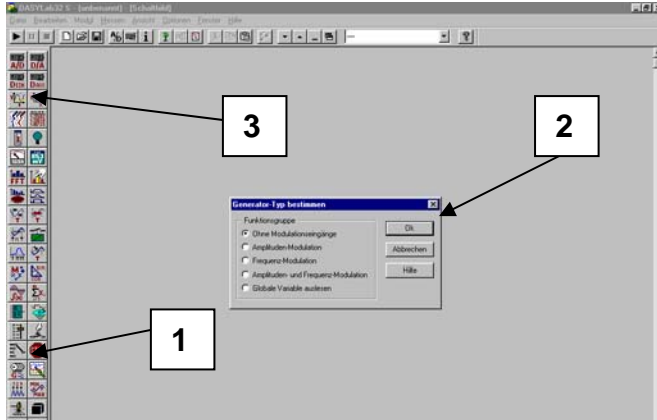
Zunächst wird ganz allgemein in die Programmierumgebung von DASyLab eingeführt, um anschließend ein Schaltbild zusammenstellen zu können, das im Laufe des Praktikums immer wieder zur Anwendung kommen wird. Ausgegangen wird von einer gewöhnlichen Installation der Schulversion DASyLab 6.00.2 oder höher. Das Programm DASyLab soll über ein Icon oder über die Programmauswahlleiste zu starten sein. Eine Programmversion DASyLab 6S liegt im ftp-Verzeichnis „Studierende“ (siehe Link Messdaten/Arbeitsverzeichnis; user: student\$ und ein Passwort ist erforderlich!).

An einem überschaubaren strömungstechnischen Beispiel mit den Mess- und Einstellgrößen Umgebungsdruck, Temperatur, Druck und Position des Staurohres wird eine Messung mit Auswertung zunächst nur simuliert. *In der grafischen Programmierumgebung müssen zu diesem Zweck fertige Module miteinander verknüpft werden.* Im zweiten Versuch des Praktikums wird die Simulation dann zu einer echten Messung erweitert.

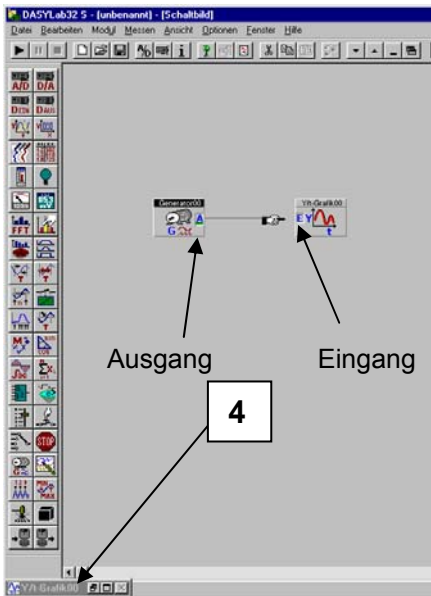
#### **1.1 Schaltbild zur Darstellung eines Sinus- oder Rauschsignals**

Elemente der Schaltbilder können links über die Icons angewählt werden oder über das Menü Module.

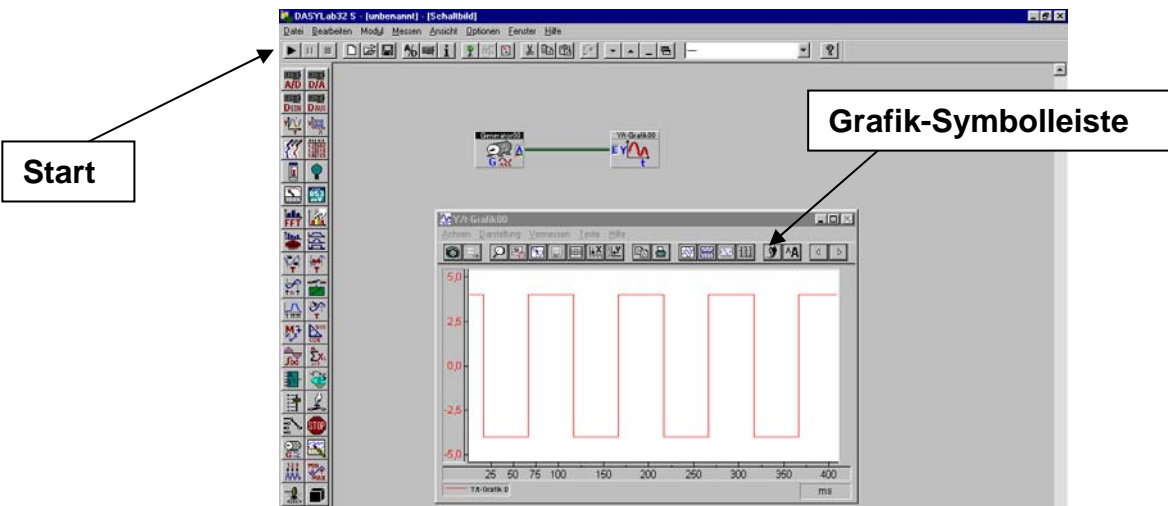
- Generatormodul anklicken [1], ohne Modulation[2], OK (Return)



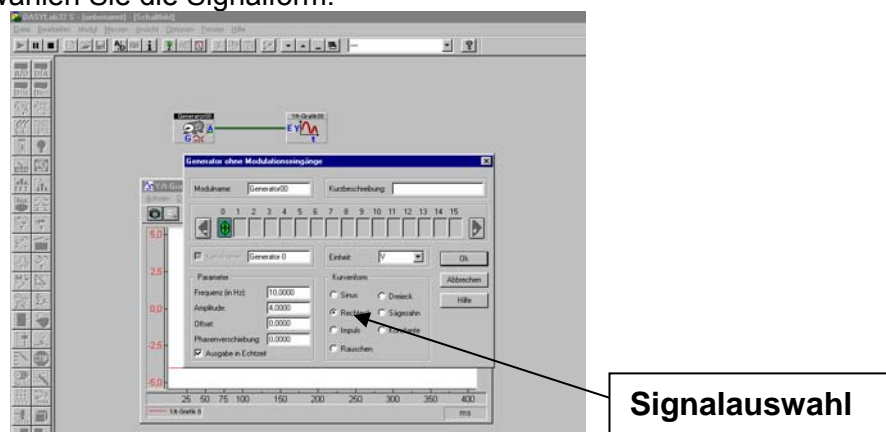
- Das Modul erscheint auf der Oberfläche mit einem Ausgang.
- Diagramm y/t auswählen [3] (Modul, Visualisierung, y/t-Grafik) und auf Oberfläche platzieren.
- Kabel legen, mit der linken Maustaste A (Ausgang) des Generators anklicken, Hand erscheint, Kabel auf E (Eingang) des Plots anklicken.



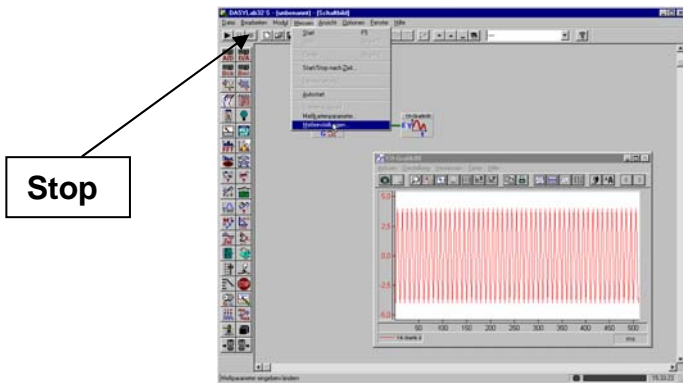
- Beim Platzieren der y/t-Grafik ist unten links [4] die Grafik erschienen, auf das linke Icon zum Vergrößern des Fensters klicken.



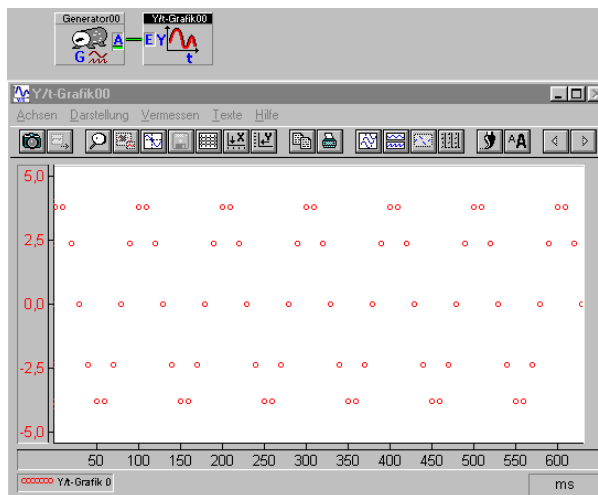
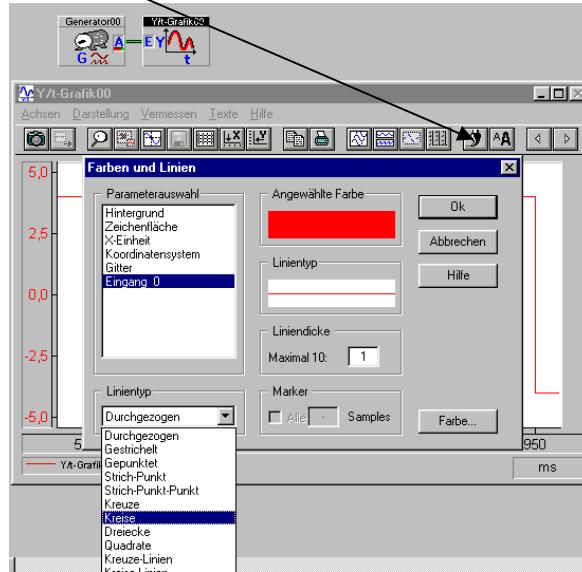
- Anschließend kann die Simulation gestartet werden (oben links).
- Ändern Sie nun die Signalforn in Rauschen oder einen Sinus. Klicken Sie auf das Generatormodul und wählen Sie die Signalforn.



- Wählen Sie die Sinus-Funktion und erhöhen Sie die Frequenz. Nun ist es notwendig, die Abtastrate unter dem Menü Messen, Messeinstellung oder mit dem Icon A/D zu ändern. Die Simulation muss hierzu zunächst angehalten werden, ansonsten lässt sich die Abtastrate nicht verändern.



- Klicken Sie den Pinsel im y-t-Diagramm zur Visualisierung der einzelnen abgetasteten Punkte an.



**Folgende Tricks seien abschließend genannt:**

- Mit F8 können innerhalb eines Moduls Eigenschaften von einem Kanal auf einen anderen übertragen werden, das ist z.B. wichtig für eine einheitliche Anzahl an Mittelungen.
- 
- Einheiten und Namen der Messkanäle lassen sich von Modul zu Modul übergeben. Einheiten werden mit dem Platzhalter #0 übergeben (Ausnahme: Formelmodul, das Einheiten manipulieren kann). Das Übertragen der Kanalnamen geschieht unter „Optionen“ → „Kanalnamen kopieren“ .

- Das Löschen von Verbindungen, Kabeln geschieht per Doppelklick mit der rechten Maustaste.

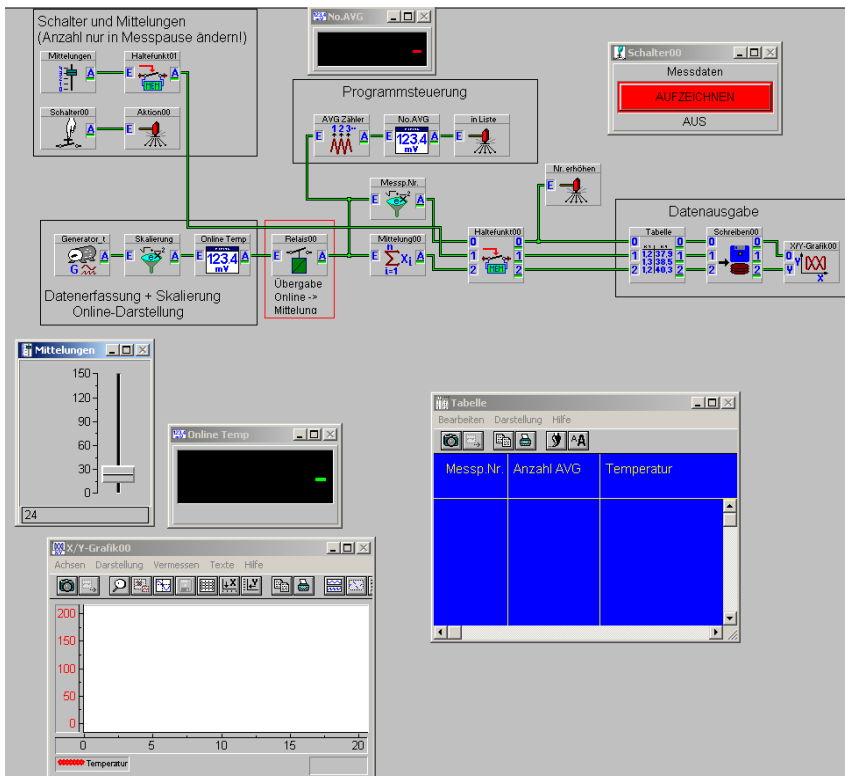
**Aufgabe 1:** Ermitteln Sie ein günstiges Verhältnis von Abtastrate und Generatorfrequenz, um eine Sinusschwingung mit minimaler Anzahl an Messpunkten gerade noch erkennbar darstellen zu können. Stellen Sie Ihre Auswahl in Ihrem Bericht anschaulich dar!

**Aufgabe 2:** Erzeugen Sie ein Signal, das der Umgebungstemperatur in Grad Celsius entspricht. Die simulierte Temperatur soll mit  $\pm 0.5$  K schwanken.

**Lösungshinweis:** Mit dem Generator erzeugen Sie mittels der Eingabe im Feld Offset einen Gleichanteil. Die Schwankung können Sie mittels eines Rauschens überlagern.

## 1.2 Simulation einer Messdatenerfassung mit Mittelung der Messdaten

Bitte laden Sie sich das Schaltbild „simulation\_online\_mit\_variabler\_mittel..DATUM.DSB“ in einen lokalen Ordner auf Ihrem PC, z.B. in Eigene Dateien. Führen Sie das Schaltbild bitte nicht vom Server aus – Datenverlust, Absturz!



**Schaltbild** simulation\_online\_mit\_variabler\_mittel310810fk.DSB

In diesem Schaltbild wird mittels Generator ein verrauschtes Messsignal erzeugt. Die Messwerte werden mittels einer Kalibrierfunktion im Modul „Skalierung“ in einen sinnvollen physikalischen Wert umgerechnet und anschließend angezeigt (Online-Datenerfassung). Erst nach Drücken des Buttons „Aufzeichnen“ wird das „Relais00“ geschlossen und somit die Messwerte weitergeleitet. Dies macht es möglich, nur dann Messwerte zu erfassen, wenn im Versuch die richtigen Versuchsparameter eingestellt sind, z.B. das Erreichen einer bestimmten Drehzahl, bei der gemessen werden soll. Die weitergeleiteten Daten werden nun gemittelt, die Anzahl an gemittelten Werten kann mit dem Schieberegler „AnzahlAVG“ vorgegeben werden. Das Ergebnis der Mittelung wird in einer Tabelle angezeigt, in einen File geschrieben und in einem Diagramm dargestellt. Jeder Messpunkt mit Mittelung wird manuell ausgelöst, nach der Mittelung und dem Wegschreiben der Daten werden die Daten weiterhin online angezeigt.

Das Modul Schreiben speichert die Daten in einem bestimmten Ordner unter einem Dateinamen welcher die Globalen Variablen für die Gruppennummer und die Messreihennummer beinhaltet (Beispiel: e:\Temp\Messdaten\_Matr\_Nr\${VAR\_3}Reihe\${VAR\_4}.ASC). Diese Variablen werden beim Starten des Schaltbildes über das Eingabefenster festgelegt.

Bitte legen Sie den Ordner so an, dass in einem Ordner unter Ihrem Benutzerprofil gespeichert wird (z.B. unter Eigene Dateien), um das Anhängen von Daten durch andere Gruppen zu verhindern.

Besonderheiten des Schaltbildes sind:

- die Blockzahl ist auf den Wert 1 gesetzt,
- die Formel dient zur Skalierung der Messdaten in sinnvolle physikalische Einheiten,
- über einen Schieberegler wird eine Mittelungszahl vorgegeben (hier: 24), der eingestellte Wert wird in die globale Variable 1 NO\_AVG geschrieben,
- ein Relais schließt und öffnet, um die Daten auf Knopfdruck zur Mittelung zu übergeben,
- jeder Block wird gezählt, die aktuelle Anzahl (No. AVG) wird links angezeigt,
- erreicht der aktuelle Wert der Mittelungszahl den voreingestellten Wert, erfolgen drei Meldungen: die Werte werden im Rahmen der Messdatenverarbeitung weitergegeben (wird im folgenden noch weiter erläutert) und der AVG-Zähler wird für die nächste Messung wieder zu Null gesetzt, das Relais öffnet,
- das Modul Haltefunktion ist später zwingend notwendig, wenn Messdaten seriell abgerufen werden und nur zu unterschiedlichen Zeiten zur Verfügung stehen,
- die Messpunkte sollen durchnummeriert werden, so dass die Messpunkt-Nr. manuell generiert wird,
- die Messdaten werden am Bildschirm in einer Tabelle angezeigt und nach jedem Messpunkt in ein File abgespeichert, das File ist solange geöffnet, wie die Online-Messung läuft.

**Aufgabe 3:** Simulieren Sie den Differenzdruck  $\Delta p$  des Prandtlrohres mit einem weiteren Generatormodul. Der Differenzdruck soll um den Wert 100 Pa mit  $\pm 10$  Pa schwanken. Erweitern Sie alle Module so, dass der Differenzdruck ebenfalls gemittelt, in die Tabelle und auf die Festplatte geschrieben wird.

**Aufgabe 4:** Simulieren Sie die Differenzdruckmessung (Einstellung wie Aufgabe 3) an verschiedenen Orten. Als dritte Größe im Datensatz soll eine fiktive Ortskoordinate (später die Position des Staurohres) in die Tabelle geschrieben werden. Erzeugen Sie mit einem Schieberegler Werte zwischen -45 mm und +45mm als Ortskoordinaten, die sogar über den Rohrradius hinaus gehen. In der Tabelle stehen dann die Messgrößen Temperatur und Differenzdruck sowie die Position als Einstellgröße. Steuern Sie den Prozess über das Relais. Übertragen Sie Kanalnamen und Einheit wie oben beschrieben.

**Aufgabe 5:** Führen Sie nun die Verrechnungsformel für Dichte und die Geschwindigkeit ein. Simulieren Sie die Messung eines Geschwindigkeitsprofils (vgl. das Beispiel auf Seite 7 unten) mit einem Prandtlischen Staurohr. Die strömungsmechanischen Erklärungen folgen im nächsten Versuch des Praktikums. Sie sollen hier zunächst nur folgende Formeln umsetzen:

ideale Gasgleichung zur Berechnung der Dichte:

$$\rho = \frac{p_{\infty}}{R \cdot T_{\infty}} \quad R = \text{Gaskonstante der Luft} = 287 \cdot \frac{\text{J}}{\text{kg} \cdot \text{K}}$$

Bernoulli-Gleichung (vereinfacht für das Prandtlische Staurohr):

$$c_1 = \sqrt{2 \frac{\Delta p}{\rho}}$$

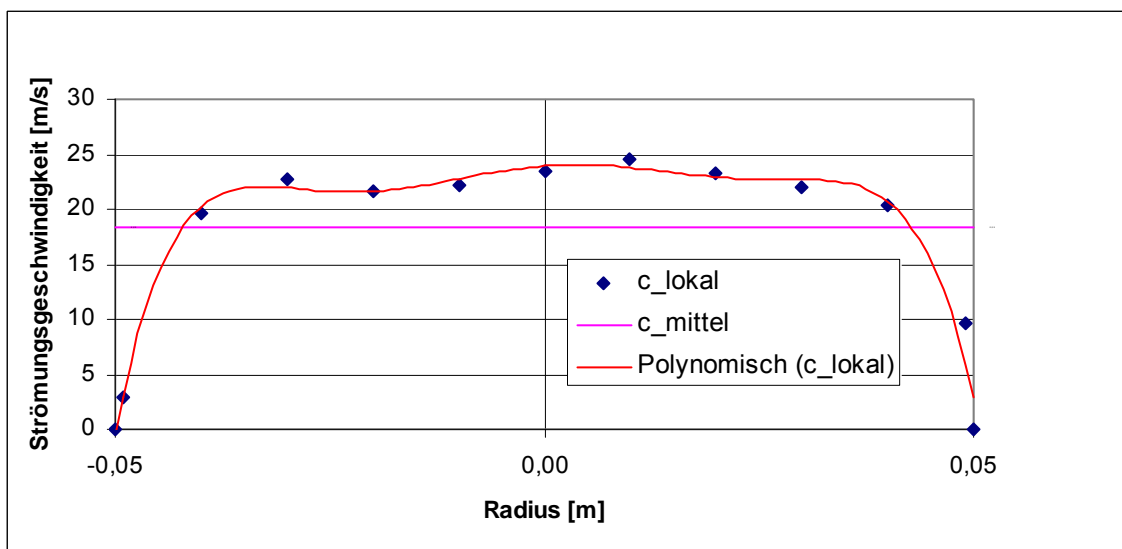
Als Messgrößen wird der Umgebungsdruck  $p_\infty$  einmalig zu Beginn der Messung abgelesen und bei Starten des Schaltbildes in die globale Variable  $\{P\_BAROMETRISCH\}$  geschrieben. Die Temperatur  $T_\infty$  und der Differenzdruck  $\Delta p = p_2 - p_1$  werden stetig ausgelesen, so dass aus den 2 Messgrößen  $T_\infty$  und  $p_\infty$  die Dichte der Luft und folglich aus der Dichte und dem Differenzdruck  $\Delta p$  die Anströmgeschwindigkeit  $c$  berechnet werden können. Verwenden Sie jeweils ein Generatormodul und stellen den Messwert im Generatormodul als Offset ein!

**Aufgabe 6:** Lesen Sie das unter DasyLab erzeugte Datenfile unter Excel ein und dokumentieren Sie die Excel-Tabelle in Ihrer Hausarbeit (Eine Anleitung finden Sie unter in diesem Skript, hinten, unter 2.

**Aufgabe 7:** Beschreiben Sie in Ihrer Hausarbeit den Unterschied zwischen einem absoluten und ein relativen Pfad beim Speichern von Daten. Die Angabe eines Beispiels genügt als Antwort.

**Aufgabe 8:** Beschreiben Sie den Vorteil einer computergestützten Datenerfassung und gehen Sie dabei auf die Rolle der Datenmittelung ein. Wie stellt man fest, ob die Anzahl der eingestellten Mittelungen richtig gewählt wurde?

**Beantworten Sie die Aufgaben 1 bis 8. Dokumentieren Sie Ihre Programme und die Ergebnisse Ihrer Simulation über Hardcopies. Für die volle Punktzahl ist es zwingend notwendig, die DasyLab-Schaltbilder und die Hausarbeit auf dem Server unter Ihrem Account und Ihrer Matrikel-Nummer abzuspeichern.**



Beispiel einer Geschwindigkeitsverteilung am Austritt des Ventilators.

## 2. Auswertung von Messergebnissen mit EXCEL

### 2.1 Übernahme von Messreihen aus anderen Programmen

Viele Programme erlauben die Speicherung von Messdaten als ASCII-Datei (\*.asc) oder als Textdateien (z.B. \*.txt, \*.prn). Solche Dateien lassen sich einfach in EXCEL einlesen, in dem man zunächst EXCEL startet und aus EXCEL heraus diese Dateien öffnet (Dateien sind nur sichtbar, wenn als Dateityp z.B. „Alle Dateien“ eingegeben wird!)

Es öffnet sich der EXCEL-Textkonvertierungs-Assistent. Hier müssen Sie eingeben, ob die Datenfelder getrennt sind und durch welches Trennzeichen (z.B. Semikolon). Da die Daten aus solchen Dateien in aller Regel mit amerikanischer Interpunktion abgespeichert sind (Dezimaltrennung „.“, Tausendertrennung „,“) werden die Zahlenwerte nur dann richtig übernommen, wenn der Rechner auf amerikanische Zahlenschreibweise eingestellt ist (unter „Systemsteuerung“ – „Ländereinstellungen“ einstellen).

### 2.2 Formatierung von Zahlentabellen

Bevor mit Zahlentabellen gearbeitet wird oder diese ausgedruckt werden, sind die Zahlenreihen sinnvoll zu formatieren und auf gleiche Stellenzahl zu bringen. Zahlen werden grundsätzlich rechtsbündig geschrieben; alle Dezimalpunkte bzw. Dezimalkommas stehen genau übereinander.

#### **Richtig:**

#### **Falsch:**

delta_p_dyn [Pa]	Drehzahl [U/min]	c Flügelrad [m/s]	delta_p_dyn [	Drehzahl [U/	c Flügelrad [m*
8.4	505	4.4	8.425	504.875	4.355
25.3	698	6.6	25.3	698.125	6.625
50.4	902	9.0	50.4	902.375	9.0025
85.0	1104	11.6	85.02857	1104.125	11.55
128.1	1304	14.1	128.10001	1303.625	14.05
179.9	1501	16.8	179.925	1501.12512	16.81333

Dabei ist insbesondere der Stellenzahl besondere Beachtung zu schenken:

- zuwenig Stellen machen den Zahlenwert ungenau und erschweren die Nachrechnung,
- zuviele Stellen täuschen eine Genauigkeit vor, die nicht vorhanden ist.

Richten Sie sich bei der Wahl der Stellenzahl nach der Genauigkeit der Messung, die der fraglichen Zahl zu Grunde liegt. Beispiel: Messung einer Distanz mit dem Zollstock (Messgenauigkeit 1 mm) und Berechnung einer Kreisfläche daraus:

#### **Richtig:**

#### **Falsch:**

#### **Falsch:**

Länge / m	Kreisfläche	Länge / m	Kreisfläche	Länge / m	Kreisfläche
gemessen	m <sup>2</sup>	gemessen	m <sup>2</sup>	gemessen	m <sup>2</sup>
1.215	4.638	1.215	4.637697615	1.215	4.6
2.876	25.985	2.876	25.98529408	2.876	26.0
3.420	36.745	3.420	36.74532431	3.420	36.7
2.129	14.240	2.129	14.23971167	2.129	14.2

Besondere Vorsicht ist bei sehr kleinen und sehr großen Zahlen geboten, die man sinnvoller in Exponentialdarstellung (EXCEL-Zahlenformat: „Wissenschaft“) wiedergibt:



<b>Richtig:</b>			<b>Falsch:</b>
1.787E-07			0.00000
2.347E-06			0.00000
7.356E-06			0.00001
5.627E-04			0.00056
9.273E-04			0.00093
3.453E-03			0.00345
8.354E-02			0.08354
3.553E-01			0.35530
1.265E+01			12.64500
4.638E+02			463.84000
5.746E+03			5746.19283
8.474E+04			84736.35200
7.251E+05			725100.00000
9.934E+06			9934219.43848

### 2.3 Erstellung eines Diagramms

Diagramm-Icon anklicken oder über Einfügen-Diagramm

Es öffnet sich der EXCEL-Diagrammassistent.

Schritt 1:

**Wichtig: Ausschließlich „Punkt (XY)-Diagramm“ wählen!**

Als Untertyp 1 wählen (zunächst nur Messpunkte darstellen – Linien können später hinzugefügt werden!)

Schritt 2:

„Reihe“ anklicken und mit dem Feld „Hinzufügen“ so viele Messreihen wählen, wie in einem Diagramm dargestellt werden sollen.

„Namen“ nur vergeben, wenn mehr als eine Messreihe im gleichen Diagramm dargestellt wird. Die Namen tauchen in der „Legende“ des Diagramms auf.

X – und Y – Werte des Diagramms aus der Messdatentabelle auswählen.

Schritt 3:

Definieren Sie Titel des Diagramms und die Achsenbeschriftungen.

Bitte achten Sie bei den Achsenbeschriftungen auf

- Beschreibung der Größe (z.B. „Temperatur“)
- Einheit (z.B. °C).

Zulässig sind als Achsenbeschriftung z.B. „Temperatur in °C“ oder „Temperatur / °C“. Eckige Klammern „Temperatur [°C]“ werden ebenfalls häufig verwendet, sind aber lt. Norm nicht mehr zulässig.

#### Schritt 4:

Diagramm immer als neues Blatt einfügen und sinnvoll benennen, z.B. „Temperaturkurve“.

#### Formatieren des Diagramms

Die folgenden Verbesserungen im Diagramm werden dringend empfohlen:


1. Ziehen Sie Titel und Legende (mit der Maus) an eine sinnvolle Stelle **innerhalb** des Diagramms, dann kann man das Diagramm vergrößern, ohne dass es mehr Platz braucht.
2. Wählen Sie als Hintergrundfarbe „WEISS“ (schon um Druckertinte zu sparen!). Mit der rechten Maustaste auf die Diagrammfläche klicken und „Zeichnungsfläche formatieren“ wählen!
3. Definieren Sie sinnvolle Gitternetzlinien (Menüleiste: „Diagramm“, Unterpunkt „Diagramm-Optionen“, dort: „Gitternetzlinien“. Diese empfehlen sich besonders bei logarithmischer Achseneinteilung. Zu viele Linien stören schnell, klicken Sie auf eine Linie und wählen Sie im Fenster „Gitternetzlinien formatieren“ unter „Muster“ eine hellere Farbe, dann fallen die Linien optisch weniger auf.
4. Das Wichtigste ist die **Achseneinteilung**. Zeigen Sie mit dem Mauszeiger auf eine Achse, bis „Größenachse X“ bzw. „Größenachse Y“ erscheint, dann doppelklicken. Hier können Sie die Skalierung sowie die Schriftgröße und Ausrichtung der Achsenbeschriftung verändern. Für die Achsenkalierung gelten folgende Regeln:
  - Als Minimum grundsätzlich 0 wählen, um die Werte in Relation richtig darzustellen. Hiervon weicht man nur in wenigen Ausnahmefällen ab. Eine solche Ausnahme sind logarithmische Achsen, die keinen Nullpunkt haben. Eine andere Ausnahme ist die Celsiustemperatur, da ihr Nullpunkt nicht wirklich „Null“ bedeutet.
  - Als Maximum die obere Grenze des Wertebereichs wählen (maximale Spreizung).
  - Liegt der Wertebereich zwischen 0 und 1, sollten die Achsen keinesfalls bis 1,2 o.ä. reichen, obwohl der Diagrammassistent dies oft so vorschlägt.
5. Formatieren Sie die Darstellung der Messpunkte, in dem Sie für jede Messreihe einen Datenpunkt doppelklicken und in der Maske „Datenreihen formatieren“ Art, Farbe und Größe der Symbole verändern. Hierfür gelten folgende Regeln:
  - Art: jede Messreihe mit einem unterschiedlichen Symbol kennzeichnen! Die Farbe alleine ist kein Unterscheidungskriterium, schließlich gibt es auch Schwarzweiss-Drucke und –Kopien.
  - Farbe: immer dunkle Farben wählen, niemals Gelb! Falls Sie dennoch z.B. Gelb verwenden wollen, wählen Sie Schwarz als Vordergrundfarbe!
  - Größe: nicht zu groß, aber so groß, dass die Symbole im Ausdruck gut unterscheidbar sind.

Um das Diagramm in der Textverarbeitung vernünftig einzubinden und um zu gewährleisten, dass die Proportionen von Text und Symbolen auch bei Änderung der Diagrammgröße erhalten bleiben, ist es notwendig, bei Word unter Bearbeiten „Inhalte einfügen“ (Bild(Erweiterte Metadatei)) auszuwählen. Es sollte nicht mit Copy und Paste gearbeitet werden!

## 2.4 Regressionen, Trendlinien und Kurven

Verwenden Sie bitte keine automatischen Linien zur Verbindung Ihrer Messpunkte!

Entweder man zeichnet sinnvolle Kurvenzüge mit der Excel-Zeichenfunktion:

Hierfür in der Symbolleiste das Icon „Zeichnen“ anklicken. In der Zeichnungs-Symbolleiste, die nun erscheint, wählt man unter „AutoFormen“ den Punkt „Linien“ und hier wiederum das Symbol 

Jetzt können Sie Ihre Ausgleichskurve bequem zeichnen, in dem Sie den Verlauf der gewünschten Kurve durch das Anklicken einzelner Punkte vorgeben. Excel glättet den Kurvenverlauf automatisch. Klicken Sie nicht jeden einzelnen Messpunkt direkt an, sondern gleichen Sie Messschwankungen durch den Kurvenverlauf aus!

Oder man verwendet als Ausgleichskurve eine „Trendlinie“, d.h. eine mathematische Korrelationsfunktion:

Klickt man auf ein Symbol einer Messreihe mit der rechten Maustaste, erscheint als Menüpunkt u.a. „Trendlinie hinzufügen“. Excel schlägt Ihnen hier mehrere Alternativen vor. Die Auswahl des richtigen Kurventyps erfordert etwas Erfahrung. Am einfachsten ist es, wenn den Messkurven ein physikalisches Gesetz zugrundeliegt, dann können Sie die entsprechende Modellfunktion wählen, z.B., eine Gerade oder eine quadratische Parabel.

Im Menü „Trendlinie formatieren“ finden Sie unter „Optionen“ noch 3 wichtige Wahlmöglichkeiten:

### 1. Schnittpunkt = 0

Immer dann anklicken, wenn Sie definitiv wissen, dass Ihre Kurve durch den Nullpunkt verläuft. Dies ist z.B. immer bei Durch- oder Umströmungscharakteristiken der Fall (Druckverlust über Volumenstrom).

### 2. Gleichung im Diagramm darstellen

Diese Funktion lässt die Korrelationsfunktion für die Trendlinie (z.B. Geradengleichung) einschl. Koeffizienten im Diagramm erscheinen, dies ist sinnvoll, wenn Sie die Koeffizienten weiterverwendet möchten.

### 3. Bestimmtheitsmaß im Diagramm darstellen

Der Korrelationskoeffizient  $R^2$  ist ein Maß für die Übereinstimmung der Korrelation mit den Messpunkten; er sollte möglichst nahe bei 1 liegen.