

## D Aufgaben der Prozessautomatisierung

- Die wichtigsten Aufgaben der Prozessautomatisierung sind:
  - **Datenerfassung** → Messwerte werden in Rechner gebracht
  - **Auswertung** der erfassten Messwerte (Mittelwerte, Kosten, ... )
  - **Überwachung** → Protokolle, Prozessabbild, Störungserfassung
  - **Steuerung** → **Binärer** Eingriff aufgrund **binärer** Prozesssignale
  - **Regelung** → Prozessgröße wird auf **vorgegebenen** Wert gebracht und gehalten
  - **Führung** → Eingriff in den Prozess so, dass er in der **gewünschten** Weise abläuft
  - **Optimierung** → Eingriff in den Prozess so, dass er in **optimaler** Weise abläuft

### D.1 Datenerfassung

## D.1 Datenerfassung

- Wegen seiner großen Speicherfähigkeit und seiner hohen Arbeitsgeschwindigkeit kann ein Rechner in kurzer Zeit große Mengen von Daten erfassen.
- Als Resultat der Datenerfassung stehen die von den Messeinrichtungen (Sensoren) gesendeten Messwerte in einer rechnerinternen Zahlendarstellung im Arbeitsspeicher.
- Von dort können sie beliebig abgerufen und weiterverarbeitet werden.
- Damit bildet die Datenerfassung die Voraussetzung für alle weiteren Stufen der Automatisierung.
- Als Interface zwischen den Messfühlern und dem Rechnereingang dient die **Prozesseinheit**, die die Prozesssignale in eine dem Rechner verständliche Form umwandelt (mithilfe von Messverstärkern, Analog/Digital-Wandlern, Multiplexern)

# 1 Unterschiedliche Signaltypen

## ◆ Analoge Signale:

Stetig veränderbare Messwerte, wie Temperatur- oder Spannungsverläufe, mit unendlichem Wertevorrat, die stufenlos (kontinuierlich) ineinander übergehen können. Sie müssen durch A/D-Wandler in digitale, dem Rechner verständliche, Signale umgewandelt werden. Beispiele für analoge Signale sind:

- Messwerte aus dem Prozess,
- vorgegebene Sollwerte,
- Widerstandswerte, Strom-, Spannungssignale.

## ◆ Digitale Signale:

Daten, die als diskrete Zustände von Schaltelementen von der Messeinrichtungen erfasst und gesendet werden und sich direkt von Digitalrechnern weiterverarbeiten lassen:

- Zählerstände,
- Verpackungsnummern,
- Stückzahlen .

Ein digitales Zeichen gehört zu einem endlichen Zeichenvorrat mit gut unterscheidbaren Elementen.

## ◆ Binäre Signale:

Schalter-, Ventil- oder Kontaktstellungen (z.B. Zustandsmeldungen, Stellungsmeldungen, Steuerbefehle) die als Wertevorrat nur die zwei diskreten Werte 0 und 1 haben.

## 2 Typen von Signaleingängen:

- Je nach Dauer und Dringlichkeit unterscheidet man 4 verschiedene Signaltypen und entsprechend 4 verschiedene Signaleingänge

### ◆ Statischer Digitaleingang

- für lange andauernde ( $> 1\text{sec}$ ), weniger dringliche Signale, die daher nicht gespeichert werden müssen und zum Zeitpunkt der Abfrage statisch anstehen,
- diese Eingänge werden vom Rechner zyklisch abgefragt (Polling)

### ◆ Dynamischer Digitaleingang:

- für Signale die nur kurzzeitig anstehen; sie werden bei Signaleingang erfasst und bis zur ihrer Abfrage, die zyklisch erfolgt, gespeichert.

### ◆ Statischer Alarmeingang

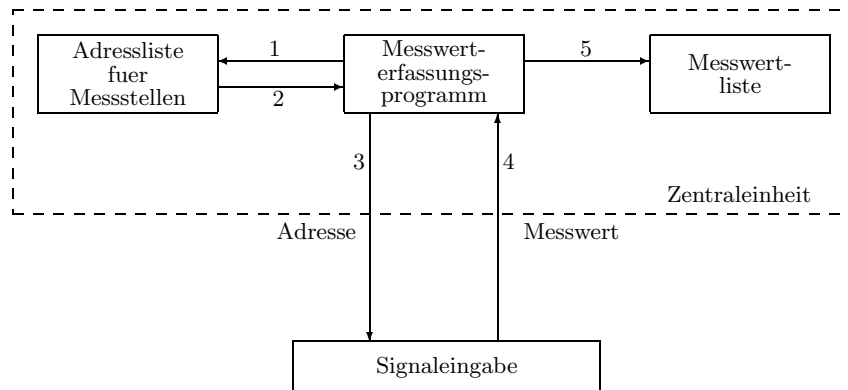
- Signale lösen sofort beim Eintreffen eine Programmunterbrechung (Interrupt) aus
- Signale werden außerzyklisch (ereignisgesteuert) und mit hoher Priorität bearbeitet, wobei falls notwendig auch noch die Zeitdauer des Signals erfasst wird,
- man schließt lange andauernde und somit nicht zu speichernde Signale hoher Dringlichkeit an.

### ◆ Dynamischer Alarmeingang:

- Signale werden außerzyklisch mit hoher Priorität erfasst, wobei das jeweilige Signal allerdings gespeichert wird.
- man erfasst hiermit kurzzeitig anstehende Signale hoher Dringlichkeit.

### 3 Ablauf der Datenerfassung

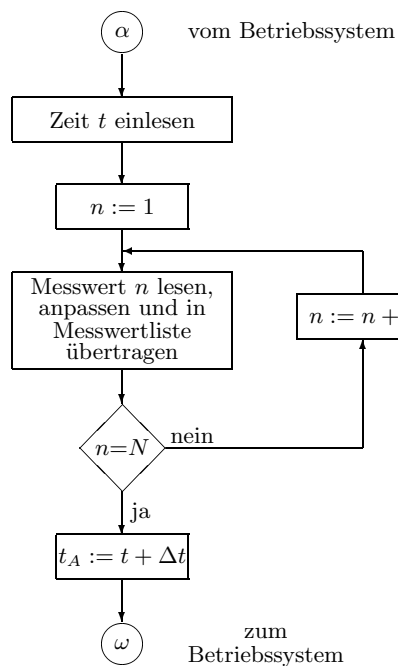
#### ■ Ablaufplan



#### ◆ Lesen der Messwerte

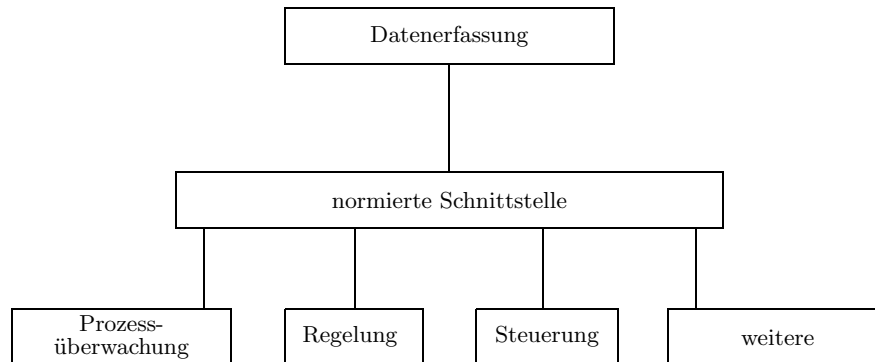
- **zyklisch** in festen Zeitabständen
- **azyklisch** durch Prozessablauf bestimmt (Alarmsignal aus dem Prozess)

#### ■ Zyklische Datenerfassung

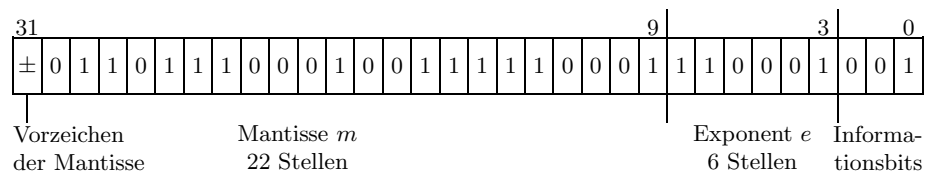


- $n$  Zelle der Adressliste in der entsprechende Adresse steht
- $N$  Anzahl aller Meßstellen (ca. bis zu 1000)
- $t_A$  Nachricht an das Betriebssystem für Wiederstart des Programms
- $\Delta t$  Abfrageintervall, das von der Anwendung abhängt (mit Rücksicht auf weiterverarbeitende Programme, darf dieses nicht zu klein sein)

## ■ Schnittstelle



## ◆ Beispiel: 32-Bit-Schnittstelle



## ◆ Informationsbits:

- 000 = Meßwert als falsch erkannt und schon gemeldet
- 001 = hierfür kann der Anwender eine eigene Bedeutung zuordnen
- 010 = Meß- oder Rechenwert zu tief
- 011 = Meß- oder Rechenwert tief
- 100 = Meß- oder Rechenwert normal
- 101 = Meß- oder Rechenwert hoch
- 110 = Meß- oder Rechenwert zu hoch
- 111 = Störung

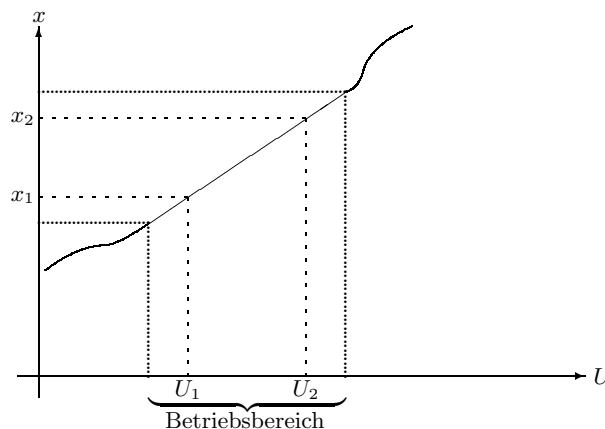
## 4 Analogwerterfassung

- ◆ Viele Messwertgeber (z.B. Thermoelement, Drehzahlmesser) liefern analoge Signale, die Spannungs- oder Stromverläufe bzw. Widerstandswerte angeben.
- ◆ Diese Analogwerte werden mittels A/D-Umsetzer (A/D-Wandler) in Digitalwerte umgewandelt und als Rohwerte abgespeichert.
- ◆ Falls die ankommenden Meßspannungen zu hoch bzw. zu niedrig für eine Weiterverarbeitung sind, müssen sie ggf. herunter- oder mittels **Verstärker** heraufgesetzt werden.
- ◆ Die erhaltenen Digitalwerte (Rohwerte) müssen in die benötigten Prozessgrößen **umgewandelt** werden: **Anpassen** der Werte.
- ◆ Beispiel: **Thermoelement**,
  - gibt Spannung  $U$  ab,
  - diese wird analog erfasst und digitalisiert (A/D-Wandler) und dann als Rohwert abgespeichert
  - Der Spannungswert steht in einem festen Zusammenhang (linear oder nichtlinear) zum entsprechenden Temperaturwert, was für die **Art der Anpassung** entscheidend ist.

### ■ Lineare Anpassung:

- ◆ **Linearer** Zusammenhang zwischen dem **Digitalwert**  $U$  und der **Prozessgröße**  $x$  :

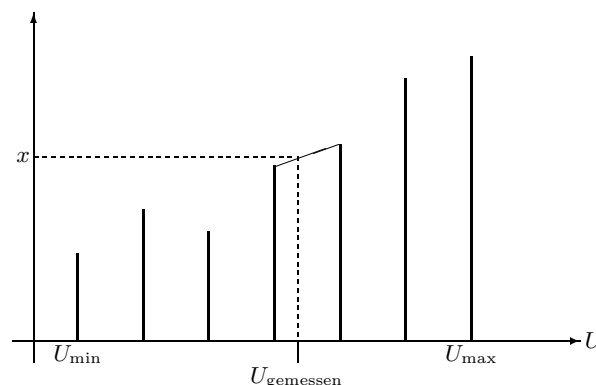
$$x = c U + x_0$$



- ◆ Um eine **lineare Anpassung** durchzuführen, benötigt man:
  - den **Betriebsbereich**, mit minimalem und maximalem Betriebswert, in dem der lineare Zusammenhang der Größen bekannt ist,
  - die entsprechenden Prozesswerte  $x_1$  und  $x_2$  mit den dazugehörigen Rechneringangsspannungen  $U_1$  und  $U_2$ , aus denen man die **Parameter** der Geradengleichung bestimmt.

## ■ Nichtlineare Anpassung ( Nichtlinearer Zusammenhang zwischen dem Digitalwert $U$ und der Prozessgröße $x$ ).

- ◆ Anpassung über **Stützwerte**
  - Prozessgrößen  $x_i$  für (in der Regel 17) äquidistante **Stützwerte**  $U_i$  eingespeichert.
  - Die Ermittlung der entsprechenden Prozessgröße  $x$ , für einen gemessenen Digitalwert  $U$ , erfolgt durch **Interpolation**.



- ◆ Anpassung durch **Polynomapproximation** 2. bis 8. Ordnung
  - Approximation durch Polynom:

$$x = a + bU + cU^2 + \dots$$

- Die Koeffizienten  $a, b, c, \dots$  werden bei Inbetriebnahme durch ein Eichprogramm unter Zuhilfenahme von  $n$  Wertepaaren  $x_i, U_i$  aus folgendem Gleichungssystem ermittelt:

$$x_i = a + bU_i + cU_i^2 \quad \text{mit } i = 1, 2, 3, \dots$$

- Höhere Genauigkeit wenn keine zu große Krümmungen

## 5 Digitalwerterfassung

- Keine A/D-Wandlung notwendig
- Zwei Arten von digitalen Signalen:
  - ◆ Messwerte von **digitalen** Messeinrichtungen
    - Zähler für Drehzahlen
    - Zähler für Durchflußmengen,
  - ◆ **Binäre** Signale, die eine von zwei möglichen Kontaktstellungen einer Messeinrichtung angeben
    - Schalter-oder Ventilstellungen,
    - Meldungen von Grenzwertgebern
    - Auslösesignale.
- Übertragung und Speicherung der Binärsignale
  - ◆ wortweise z.B. 32 Binärsignale pro Wort.
  - ◆ 1 Binärsignal pro Byte oder Wort



## D.2 Auswertung

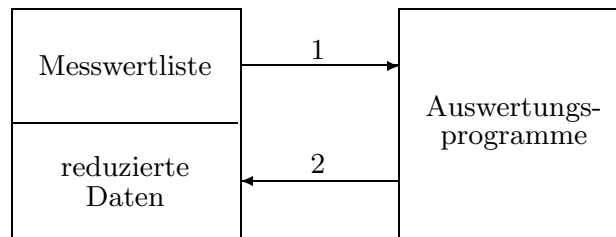
### 1 Definition:

- ◆ Unter **Auswertung** versteht man allgemein die **Verarbeitung** der angepaßten **Messwerte** durch Rechnerprogramme (Auswerteprogramme)
- ◆ Prinzipiell handelt es sich bei **allen weiteren Schritten** der Automatisierung (Überwachung, Steuerung, Regelung, Führung, Optimierung) um eine **Auswertung**. Sie sind aber so wichtig, dass sie gesondert behandelt werden.
- ◆ Einfache Form der Auswertung → **Datenreduktion**
- ◆ Datenreduktion → Ermitteln von aussagekräftigen **Kennwerten** aus einer Fülle von Einzelmesswerten.

#### ◆ Beispiele für Kennwerte:

- Mittelwerte
- Glättungswerte
- Wirkungsgrade
- Drehmomente
- Mengen
- Energien
- Betriebskosten
- Gradienten
- .....
- .....

- ◆ Die im Arbeitsspeicher in normierter Form vorliegenden **Messwerte** werden durch **Auswertungsprogramme** verarbeitet.
- ◆ Daraus resultieren **reduzierte** Daten, die in gleicher **normierter** Form im **Arbeitsspeicher** abgelegt werden.
- ◆ Von dort aus erfolgt entweder eine **Ausgabe** oder eine weitere **Verarbeitung**



## 2 Mittelwert

- ◆ Messwerte oft fehlerhaft oder störungsbehaftet
- ◆ Um möglichst genaue Kenngrößen zu erhalten, ist es daher sinnvoll, mit Mittelwerten anstelle von einzelnen Messwerten zu arbeiten.
- ◆ Bei Mittelwerten wird der Einfluss von Störungen und Messungenauigkeiten verringert

$$\bar{A} = \frac{A_1 + A_2 + \dots + A_m}{m} \quad A_i = \text{Messwerte} \quad \bar{A} = \text{Mittelwert}$$

### 3 Glättungswert

- ◆ Vom **Glättungswert** spricht man, wenn nach jedem Zyklus der augenblickliche Mittelwert bestimmt wird.
- ◆ Man gleicht dadurch **Messwertschwankungen** aus und vermeidet so zu große Extremwerte im Kurvenverlauf
- ◆ Eventuelle **Messfehler** werden damit in ihrer **Auswirkung** eingedämmt:

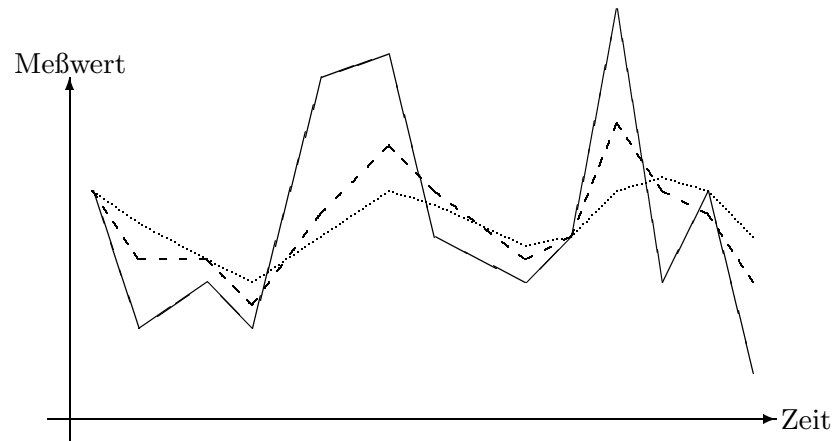
$$\bar{A}_m = \frac{(m-1)\bar{A}_{m-1} + A}{m} \quad \begin{array}{l} \bar{A}_m = \text{Glättungswert nach } m \text{ Zyklen} \\ A = \text{neuer Messwert} \end{array}$$

- ◆ Es muss immer nur der **aktuelle Glättungswert** gespeichert werden und nicht alle vorherigen Messwerte.

- ◆ Damit ein zuletzt gemessener Wert nicht zu stark gegenüber den vorherigen Werten ins Gewicht fällt, werden die **vorhergehenden Messwerte** oftmals **stärker gewichtet**.
- ◆ Dadurch wird der **Einfluss einer Störung** auf den aktuellen Messwert **verringert**.
- ◆ Dadurch erfolgt eine noch **weitergehende Glättung** (siehe Bild):

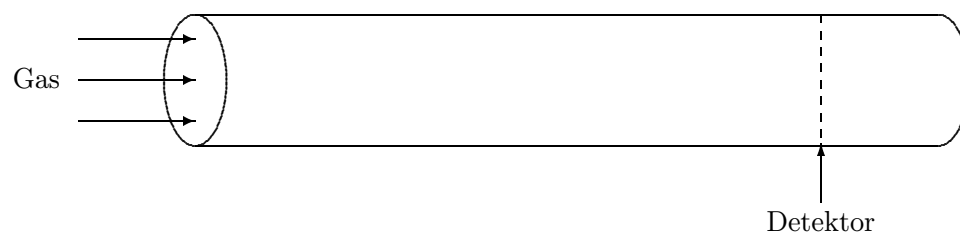
$$\bar{A}_m = \frac{(2^m - 1)\bar{A}_{m-1} + A}{2^m}$$

## ■ Messwert, Mittelwert, Glättungswert:



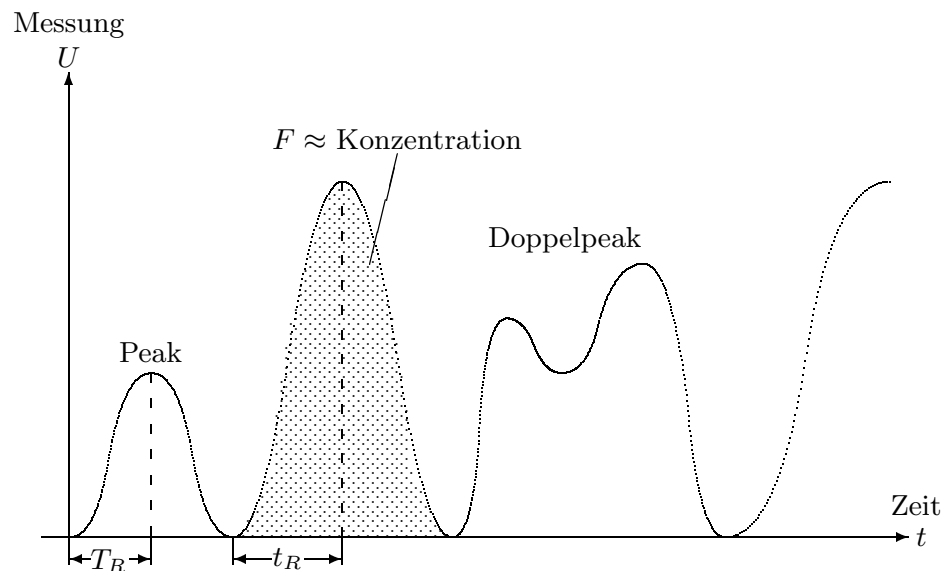
## 4 Analysentechnik:

- ◆ Mit großem Erfolg werden Rechner in der **Analysentechnik** zur Auswertung von Messdaten eingesetzt.
- ◆ Ein Beispiel für die Nutzung des Rechners in der Analysentechnik ist die **Gaschromatographie (GCG)**
  - Die GCG dient zur Bestimmung der einzelnen Komponenten eines Gasgemisches nach **Art und Konzentration**.
  - Schematische Darstellung der **Trennsäule** des **Gaschromatographen**:



- Das aus unterschiedlichen Komponenten bestehende Gas wird durch die **Trennsäule** eines **Chromatographen** geleitet.
- Aufgrund der **unterschiedlichen Laufzeiten** der einzelnen Bestandteile erreicht jede **Komponente** den am Ende des Chromatographen befindlichen **Detektor** zu einem **anderen Zeitpunkt**.
- Der **Detektor** gibt eine **Meßspannung** ab, die proportional zur **Konzentration** der einzelnen Komponenten ist.
- Diese **Meßspannung** wird **digitalisiert** und an einen angeschlossenen **Rechner** übertragen.
- Dieser **speichert** die Daten und errechnet aus dem Kurvenverlauf (**Chromatogramm**) die **Konzentration** und die **Art** jeder Komponente.

- Chromatogramm:



$T_R$ : Retentionszeit

- Die **Retentionszeit**  $T_R$  ist die Zeit vom Analysebeginn bis zum Auftreten des jeweiligen Komponentenmaximums (**Peak**).
- Die **Retentionszeit** lässt eine Aussage über die **Art der Komponente** zu.
- Die **Fläche** unterhalb des **Peaks** ist ein Maß für die **Konzentration**.
- **Doppel-** oder **Dreifachpeaks** entstehen, wenn einige Peaks dicht beieinander liegen, d.h. die Komponenten ähnliche Laufzeiten haben.

- Mit Hilfe eines **Rechners** lässt sich bei angeschlossenem Chromatographen eine sofortige **Auswertung** des Chromatogramms durchführen.
- Der **Start der Auswertung** durch den Rechner erfolgt über ein **Interruptsignal**, das vom Chromatographen beim Aussenden des Gases an den Rechner geschickt wird.
- Ca. alle 1/10 sec werden die Messwerte abgefragt.
- Der Rechner ermittelt die **Retentionszeiten** und bestimmt daraus die **Art** der Komponente.
- Die **Fläche eines Peaks** wird durch **Integration** bestimmt und daraus die **Konzentration** errechnet.
- Bei **Mehrfachpeaks** kommen besondere **mathematische Methoden** zur Anwendung.

### ■ Andere Analysegeräte:

- ◆ Massenspektrometer
- ◆ Kernresonanzspektrometer
- ◆ Infrarotspektrometer
- ◆ EKG (Elektro-Kardiogramm)- Geräte
- ◆ EEG (Elektro-Enzephalogramm)-Geräte
- ◆ Es können mehrere Geräte des gleichen Typs an den Rechner angeschlossen werden
  - Nur ein Analyseprogramm notwendig
- ◆ Gemischtbetrieb:
  - Mehrere Geräte unterschiedlichen Typs an einem Rechner
  - Es können Teile der Analyseprogramme gemeinsam benutzt werden

## D.3 Überwachung

Die Überwachung gliedert sich in **drei wesentliche Aufgabenbereiche**:

- Überwachung des **störungsfrei** ablaufenden Prozesses und das Erstellen von **Betriebsprotokollen**
- Schematische **Prozessabbildung**
- **Störungserfassung** und -analyse und das Erstellen von **Störungsprotokollen**

# 1 Betriebsprotokolle

- ◆ Ein Betriebsprotokoll enthält die gemessenen bzw. errechneten Werte, die für den Prozessablauf entscheidend sind und ihn ausreichend beschreiben.
- ◆ Es werden dafür häufig Formularvordrucke mit den entsprechenden Bezeichnungen der Prozessgrößen verwendet, in die der Rechner die Werte einträgt.
- ◆ Zusätzlich zu den wichtigen Größen wie z.B. aktuelle Werte der Prozessgrößen, Betriebszeiten und -kosten, können auch regelmäßig notwendige Wartungsarbeiten im Betriebsprotokoll ausgewiesen werden.

- ◆ Die **Protokollierung** erfolgt
  - **selbsttätig** in regelmäßigen Zeitabständen (z.B. Stundenprotokoll in einem Kraftwerk) oder
  - **ereignisgesteuert**, da jede Schalthandlung protokolliert werden muss, oder
  - aufgrund einer **expliziten Anforderung** durch das **Bedienungspersonal**.
  - nach **Abschluss eines Prozessablaufes** (zum Beispiel Walzprotokoll).
  - nach Ende einer Schicht oder eines Tages ( **Schicht-** oder **Tagesprotokolle**)

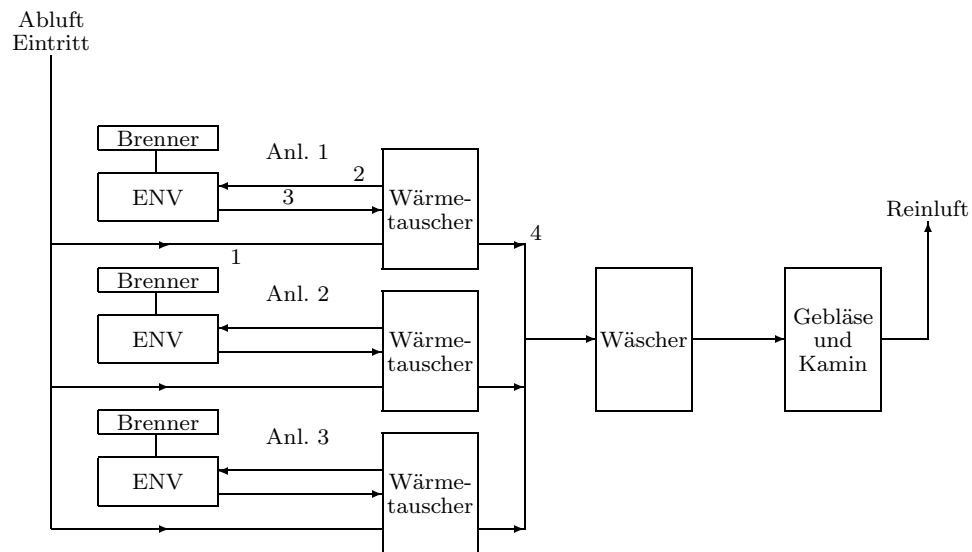


## 2 Schematische Prozessabbildung

- ◆ Bei der schematischen Prozessabbildung werden der techn. Prozess, mit Transportwegen (z.B. auch Elektrizitätsleitungen) und/oder Lagerbeschreibungen, sowie aktuelle Prozesszustände (momentane Belegung der Transportwege oder Lager), als Abbild im Rechner geführt.
- ◆ Zur Erfassung dieser Belegung bei festen Materialien, teilt man die Wege in so kleine Abschnitte ein, dass sich jeweils nur eine Einheit darin befinden kann. Die einzelnen transportierten Einheiten erhalten dazu eine maschinenlesebare Kennung, die z.B. mit Messfühlern abgetastet wird oder es werden Lichtschranken oder Endkontakte verwendet
- ◆ Handelt es sich um Abbildungen von Abläufen so spricht man auch von Materialflussverfolgung.

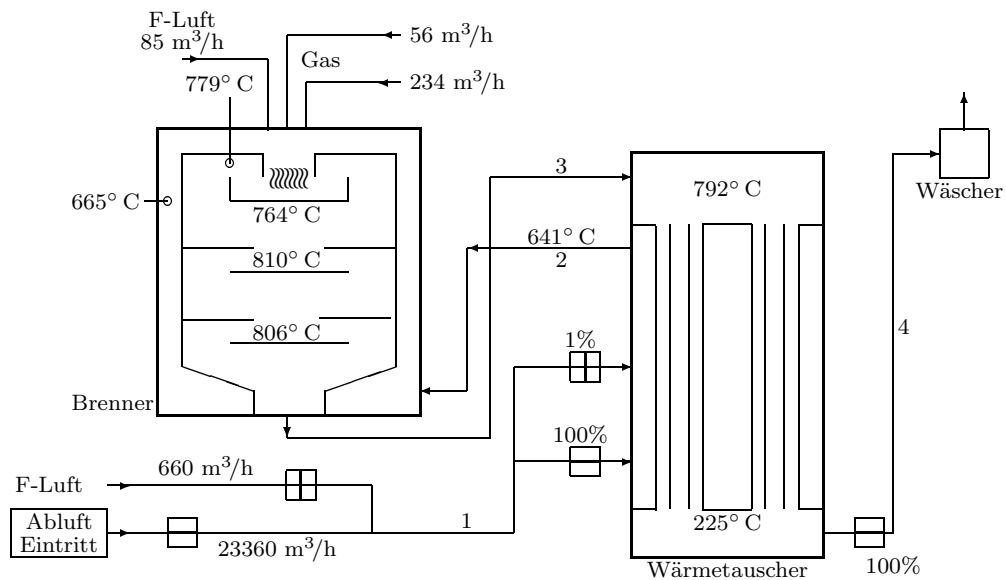
- ◆ Bei flüssigen Materialien misst man Durchflussmengen.
- ◆ Der techn. Prozess oder seine interessierenden Teile werden schematisch auf dem Bildschirm abgebildet und die interessanten Prozessgrößen an den entsprechenden Stellen eingetragen. Das Bedienungspersonal erlangt dadurch in einfacher Weise einen Überblick über den Prozess
- ◆ Eine Störung wird z.B. durch Blinken an der entsprechenden Stelle angezeigt.

## ◆ Beispiel: Erdgasnachverbrennungsanlage



- die **schadstoffhaltige** Abluft aus einem Chemiewerk wird **erhitzt**, unter Zugabe von Erdgas **verbrannt**, **gewaschen** und als **gereinigte** Luft ausgestoßen.

## Flussbild (Prozessabbild) einer Brennkammer und eines Wärmetauschers der Erdgasnachverbrennungsanlage



- Über **1** gelangt die **schadstoffhaltige** Abluft mit etwa **60° C** Anfangswärme zum **erstenmal** in den **Wärmetauscher**.
- Diese Luft strömt im Wärmetauscher nach **oben** und wird dabei durch nach unten strömende heiße Luft um fast **600° C** erwärmt, während letztere sich dabei abkühlt.
- Die so auf ca. **640° C** erhitzte Luft wird über **2** in die **Brennkammer** geleitet. Dort wird dann **Erdgas**, **Zündluft** und **Zündgas** zugegeben und das Ganze bis auf etwa **800° C** erhitzt.
- Über **3** gelangt diese nun **schadstoffarme** Luft ein **zweites** Mal in den **Wärmetauscher** und funktioniert hierbei jetzt als Wärmespender, wodurch sie sich auf ca. **200° C** abkühlt.
- Die **schadstoffarme** Luft wird über **4** an den **Wäscher** weitergeleitet. Dort wird die Luft mit Wasser in einem Düsensystem gemischt, so dass sich noch **verbliebene Schadstoffe** (z.B. Salzsäure) als „Film“ absetzen können.
- Der dann etwa nur noch **60° C** heiße **Dampf** wird über ein **Gebläse** abgesogen, über einen **Ventilator** abgekühlt und als **gereinigte** Luft durch den **Kamin** abgegeben.

### 3 Störungserfassung- und analyse

- ◆ **Aufgabe** der **Störungserfassung** ist es, **unzulässige** Prozesszustände
  - zu **erfassen**,
  - **anzuzeigen**
  - und das **Bedienungspersonal** durch Meldungen beim **Auffinden** und **Beheben** der Störungsursache zu **unterstützen** (Analyse).
- ◆ Die **Störungsmeldung** erfolgt auf unterschiedliche Weise:
  - über **externe Grenzwertmelder**, z.B. Signallampen, Hupsignale,
  - oder **interne Grenzwertmelder**, d.h. softwaremäßig durch den Einsatz von Rechnern mit speziellen **Überwachungsprogrammen** und Signaleingängen.
- ◆ Der **Rechner** übernimmt selbsttätig eine **Prüfung** der Werte nach **jeder Erfassung**:
  - Grenzwerte **leicht veränderbar**
  - **Zusätzliche** Grenzwerte können **problemlos** eingeführt werden.

◆ **Einfache Störungsprotokolle** enthalten:

- gestörte Größe
- Messwerte der gestörten Größe
- Grenzwerte der gestörten Größe
- Zeitpunkt des Auftretens der Störung

◆ **Komfortablere Störungsprotokolle** können zusätzlich enthalten:

- Messwerte von korrespondierenden Prozessgrößen (**Sekundärwerte**)
- **Verlauf** der Messwerte der gestörten Größe (Primärwert) und der Sekundärwerte vor der Störung und nach der Störung (post mortem review, **Störungsablaufprotokoll**)
- **Voraussetzung** für Störungsablaufprotokoll ist das **Speichern** aller wichtigen Prozessgrößen über einen **festen Zeitraum** (z.B. 5 min). Erst nach Ablauf dieser Frist werden sie durch neue Daten überschrieben.
- Diese Vorgehensweise hat sich als äußerst **wirkungsvolles** Mittel zur **Störungsanalyse** erwiesen.

◆ Beispiel für ein **Störungsablaufprotokoll** aus einem **Kraftwerk**:

- Störung: **Kondensatorschutz** spricht an → **Turbinenschnellschluss**

Anregende Signale für Turbinenschnellschlussauslösung

08:50:21:10:12 D0357 SD11P001 G01 Kondensatorschutz  
Auslösung

|       |          |                             |                    |
|-------|----------|-----------------------------|--------------------|
| A0405 | S010K001 | Turbinen Drehzahl           | U/min              |
| A0468 | RA12P002 | FD Druck vor Turbine        | KP/cm <sup>2</sup> |
| A5011 | SL02P005 | Lager Oeldruck              | KP/cm <sup>2</sup> |
| A0520 | SC01P002 | Steuer Oeldruck vor Filter  | KP/cm <sup>2</sup> |
| A0521 | SC01P003 | Steuer Oeldruck nach Filter | KP/cm <sup>2</sup> |
| A0601 | SD12P001 | Kondensatorschutz Kond 1    | ata                |
| A0602 | SD22P001 | Kondensatorschutz Kond 2    | ata                |

- Auflistung der **Ursache** und des **Zeitpunktes** der Störung
- **Signale**, die die Aufzeichnung verursachten
- Auflistung der im Protokoll vorkommenden **Prozessgrößen** mit ihren **Kurzbezeichnungen**

| Prozessgrößen<br>mit gemessenen<br>Analogwerten | Uhr        | A0405 | A0468 | A0511 | A0520 | A0521 | A0601        | A0602 |
|-------------------------------------------------|------------|-------|-------|-------|-------|-------|--------------|-------|
|                                                 | 08:42:20   | 1500  | 71.0  | 5.10  | 15.2  | 15.1  | 0.050        | 0.051 |
|                                                 | 08:43:20   | 1500  | 71.0  | 5.12  | 15.1  | 15.0  | 0.051        | 0.050 |
|                                                 | :          |       |       |       |       |       |              |       |
|                                                 | 08:48:20   | 1500  | 70.9  | 5.11  | 15.1  | 15.0  | 0.081        | 0.051 |
|                                                 | 08:48:35   | 1500  | 70.9  | 5.10  | 15.1  | 15.0  | 0.099        | 0.051 |
|                                                 | 08:48:50   | 1500  | 71.0  | 5.13  | 15.1  | 15.0  | 0.101        | 0.050 |
|                                                 | :          |       |       |       |       |       |              |       |
|                                                 | 08:49:50   | 1500  | 71.0  | 5.10  | 15.2  | 15.1  | 0.480        | 0.051 |
|                                                 | 08:49:55   | 1500  | 71.0  | 5.11  | 15.2  | 15.1  | 0.511        | 0.051 |
|                                                 | :          |       |       |       |       |       |              |       |
|                                                 | 08:50:10   | 1500  | 71.0  | 5.14  | 15.2  | 15.0  | 0.571        | 0.050 |
|                                                 | 08:50:15   | 1500  | 71.1  | 5.11  | 15.2  | 15.1  | 0.582        | 0.050 |
|                                                 | 08:50:20   | 1500  | 71.0  | 5.10  | 15.3  | 15.2  | 0.599        | 0.051 |
|                                                 | Störung!!! |       |       |       |       |       |              |       |
|                                                 | 08:50:25   | 1499  | 71.1  | 5.11  | 15.2  | 15.3  | <b>0.600</b> | 0.050 |
|                                                 | 08:50:30   | 1498  | 71.0  | 5.09  | 15.3  | 15.1  | 0.609        | 0.050 |
|                                                 | 08:50:35   | 1497  | 71.0  | 5.10  | 15.4  | 15.2  | 0.614        | 0.049 |
|                                                 | 08:50:40   | 1495  | 71.1  | 5.08  | 15.4  | 15.3  | 0.621        | 0.048 |
|                                                 | :          |       |       |       |       |       |              |       |
|                                                 | 08:50:50   | 1491  | 71.0  | 5.10  | 15.5  | 15.3  | 0.629        | 0.048 |
|                                                 | 08:51:05   | 1486  | 71.0  | 5.11  | 15.6  | 15.4  | 0.631        | 0.047 |
|                                                 | 08:51:20   | 1482  | 71.1  | 5.12  | 15.5  | 15.3  | 0.638        | 0.047 |
|                                                 | :          |       |       |       |       |       |              |       |
|                                                 | 08:52:20   | 1458  | 70.6  | 5.09  | 15.6  | 15.4  | 0.673        | 0.045 |
|                                                 | 08:53:20   | 1441  | 70.1  | 5.11  | 15.5  | 15.3  | 0.679        | 0.045 |
|                                                 | :          |       |       |       |       |       |              |       |
|                                                 | 08:58:20   | 1378  | 65.1  | 5.10  | 15.6  | 15.4  | 0.711        | 0.040 |

- Zwischen **8:42:20** Uhr und **8:48:20** Uhr **einminütige Protokollierung**.
- Anschließend bis **8:49:50** Uhr eine Auflistung der Werte alle **15 Sekunden**
- Dann zwischen **8:49:55** Uhr und **8:50:50** eine Protokollierung im **5 Sekundenabstand**
- Die gesamte Aufzeichnung geht über **16 Minuten**
- **Zeitpunkt** der Störung genau in der Mitte: **8:50:25** Uhr
- **Ursache** der Störung war der **hohe Druck** im Kondensator 1
- Sein **Grenzwert** liegt bei **0.600 ata**
- Als dieser erreicht wurde, sprach der **Kondensatorschutz** an und löste einen **Turbinenschnellschluss** aus.

- Das Protokoll ist aufgeteilt in eine **Vor- und Nachgeschichte** für die einzelnen Prozessgrößen.
- Aus der **Vorgeschichte** ist erkennbar, dass der **Druck** im Kondensator 1 relativ **schnell ansteigt**.
- Die **Nachgeschichte** zeigt, dass der Druck im Kondensator 1 weiter anstieg, die **Turbinendrehzahl** jedoch **absank**.
- Der **Turbinenschnellschluss** wurde somit **erfolgreich** durchgeführt.

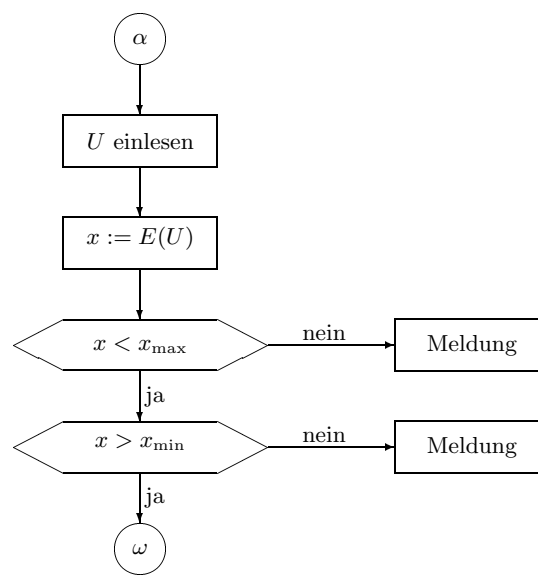
## Binärmeldungen

|                |              |                     |                                   |               |
|----------------|--------------|---------------------|-----------------------------------|---------------|
| 08:42:20:10:11 | D0117        | EF02H011 G51        | Steuer Schrank 11                 | Ausgef        |
| 08:42:24       | D0573        | VC3S101 G01         | Kuehlwasser Eintr. Ventil Kond. 1 | Zu            |
| 08:50:21:10:12 | <b>D0357</b> | <b>SD11P001 G01</b> | <b>Kondensator Schutz</b>         | <b>Auslsg</b> |
| 08:50:21:40:02 | D0831        | RA14S201 G51        | Umleit Ventil 1                   | Auf           |
| 08:50:21:40:04 | D0832        | RA14S202 G51        | Umleit Ventil 2                   | Auf           |
| 08:50:21:40:05 | D0871        | RA32S101 G01        | Schnell Schluss                   | Zu            |
| 08:50:21:40:07 | D0833        | RA24S201 G51        | Umleit Ventil 3                   | Auf           |
| 08:50:21:40:07 | D0834        | RA24S202 G51        | Umleit Ventil 4                   | Auf           |
| 08:50:23       | D1011        | RA14S101 G01        | Heiz Dampf Ventil 1               | Zu            |
| 08:50:23       | D1012        | RA14S102 G01        | Heiz Dampf Ventil                 | Zu            |

- Aufgelistete **Binärwerte zum Störungszeitpunkt**
- **8:42:20** Uhr Steuerschrank 11 **ausgefallen**
- **8:42:24** Uhr Kühlwassereintrittsventil zum Kondensator 1 **geschlossen**
- **Fehlen des Kühlwassers → Ansteigen des Drucks im Kondensator → Ursache für die Störung**

- **Störablaufprotokoll** hilft bei der **Suche** nach einer **Störursache** durch:
  - detaillierte, chronologische Aufzeichnung der beteiligten Prozessgrößen kurz vor und nach dem Auftreten einer Störung.

### ◆ Prüfung von Analogwerten:



- Zum **Prüfen** eines Wertes  $x$  benötigt der Rechner **zwei Grenzwerte**,  $x_{\min}$  und  $x_{\max}$ .
- Die Überprüfung des gemessenen Wertes erfolgt durch zwei einfache Abfragen
- Liegt der Messwert  $x$  **innerhalb** der Grenzen, so arbeitet der Prozess **einwandfrei**.
- Liegt der Messwert **ausserhalb** der Grenzen, so gibt es folgende drei **Möglichkeiten**:
  - Störung im Prozess
  - Störung der Messeinrichtung
  - Messeinrichtung ist ganz ausgefallen
- **Kurzzeitige** Störungen einer Messeinrichtung, z.B. durch Einwirkung elektromagnetischer Felder, werden durch **erneutes** Lesen des Messwertes nach einer **Wartezeit** festgestellt.

- **Ausfall** einer **Messeinrichtung** kann auf unterschiedliche Weise festgestellt werden:
  - **Äußere Grenzen**:
    - Viele Messwerte können selbst bei gestörtem Betrieb aus **physikalischen** Gründen bestimmte (äussere) **Grenzen** nicht überschreiten.
    - Beispiel: Wasser kann bei normalem Druck keine höhere Temperatur als  $100^{\circ}\text{C}$  haben
    - Es lässt sich somit ein **Bereich** angeben,  $X_{\min} < x_{\min} < x < x_{\max} < X_{\max}$ , in dem der Messwert  $x$  auch bei **gestörtem** Betrieb liegen muss.
    - Ein **Überschreiten** dieser äußeren Grenzen lässt dann mit Sicherheit auf ein **Versagen** der Messeinrichtung schließen



► **Tendenzprüfung:**

- Lässt sich anwenden, wenn die Messwerte in **festen Zeitabständen** abgefragt werden.
- Viele Größen können ihren Wert innerhalb einer bestimmten Zeit  $\Delta t$  nur um einen **maximalen** Wert  $\Delta x$  ändern:

$$|x(t) - x(t + \Delta t)| < \Delta x$$

- Ist diese **Bedingung verletzt**, so liegt ein **Versagen** der Messeinrichtung vor.

► **Redundanz:**

- Für besonders wichtige Messwerte, auf deren Zuverlässigkeit man angewiesen ist, werden **redundante** Messgeräte eingesetzt.

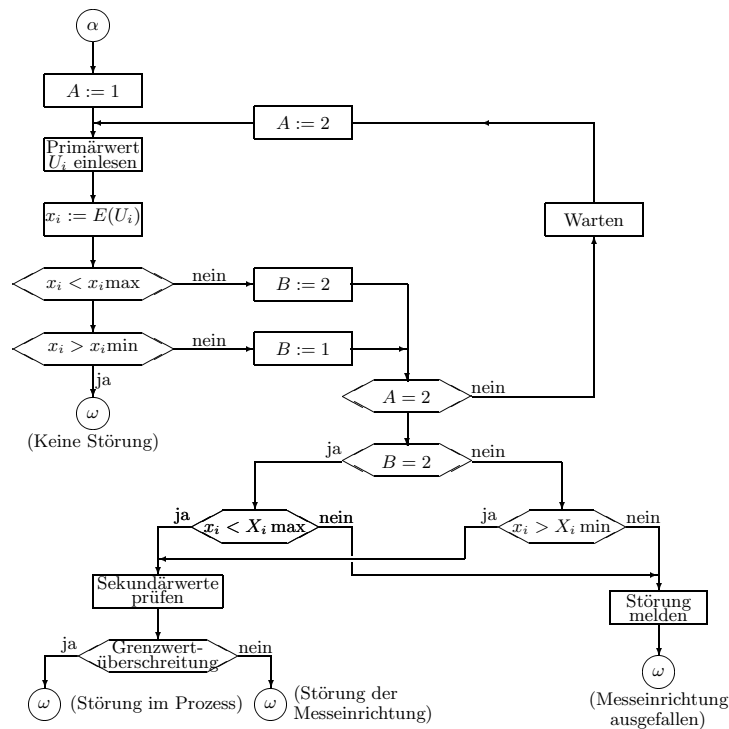
► **Sekundärwerte:**

- Werte der einzelnen Prozessgrößen stehen immer in irgendeinem Zusammenhang zueinander:

$$x_i = F_i(x_1, x_2, \dots, x_N) \quad i = 1, \dots, N$$

- Stellt sich bei der Überprüfung des **Primärwertes**  $x_i$  eine **Grenzwertüberschreitung** heraus, so werden die korrespondierenden **Sekundärwerte**  $x_k$  ebenfalls **überprüft**.
- **Überschreiten** auch die **Sekundärwerte** ihre Grenzen, so liegt eine **Störung im Prozess** vor.
- Andernfalls ist die Messeinrichtung defekt.

**Ablaufplan** für eine verknüpfte Störabfrage mit **zweimaligem Lesen**, **physikalischen Grenzwerten** und **Sekundärwerten**:



► Beschreibung des **Ablaufplanes**:

- Wird eine der beiden Grenzen für den Messwert überschritten, so wird der Wert noch ein **zweites** Mal abgefragt um **Zufallsfehler** durch **Störspannungen** zu vermeiden.
- Durch einen Vergleich mit den **äußeren Grenzen** wird festgestellt, ob die Messeinrichtung ausgefallen ist
- Das ist der Fall, wenn auch die äußeren Grenzen überschritten werden.
- Liegt der gemessene Wert noch **innerhalb** der äußeren Grenzen, so werden die **Sekundärwerte** überprüft.
- Werden auch diese überschritten, so ist der Prozess gestört, sonst die Messeinrichtung.