1.3 Schwerpunkte und Begriffe der MSR-Technik

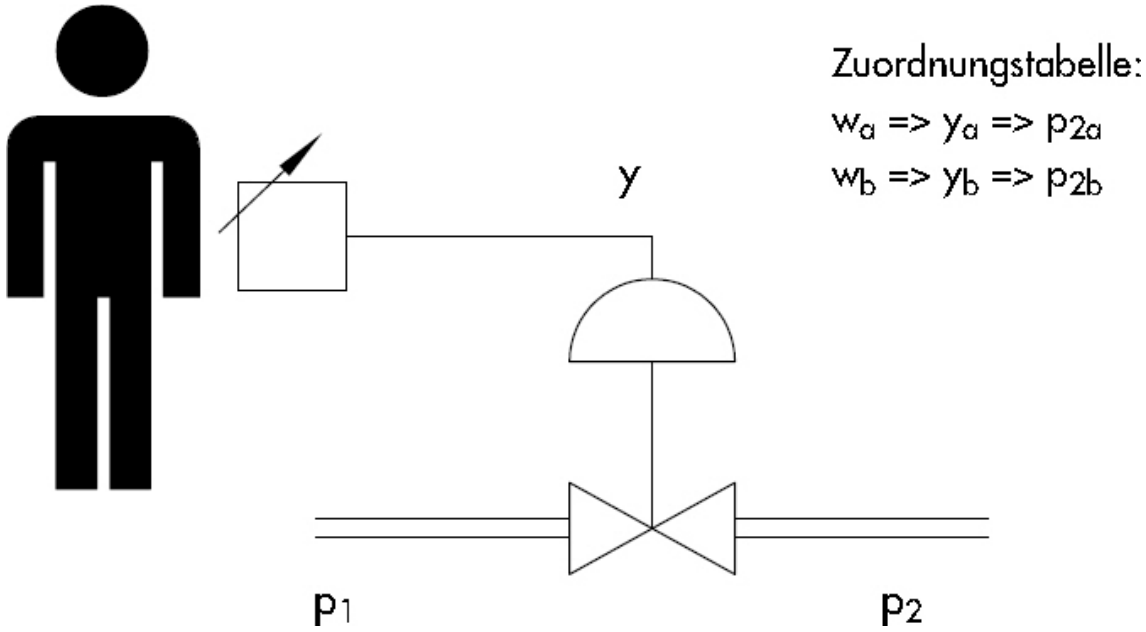
Es gibt viele Gründe, warum die deutsche Prozessindustrie international gesehen über ein hohes Ansehen verfügt, einer dieser Gründe ist nicht zu letzt, dass unsere auf einem sehr hohen Sicherheitsniveau betrieben werden.
Über viele Jahrzehnte wurde die Messtechnik bzw. Hilfsgerätetechnik systematisch weiter entwickelt und die Erfahrungen aus den betrieblichen Einsätzen von den Herstellern genutzt um die Produkte weiter zu verbessern. So wurden zuverlässige Geräte entwickelt, die helfen den wesentlichen Risikofaktor in einer Prozesskette, nämlich den Menschen, weitestgehend zu eliminieren. Menschliches Versagen ist die häufigste Ursache für Störungen oder gar Unfälle.

1.3.1 Steuern, Regeln, Leiten

Um innerhalb eines technischen Prozesses eine physikalische Größe – z.B. einen Druck, einen Durchfluss oder eine Temperatur – auf einem gewünschten Wert zu halten, kann diese Größe entweder gesteuert oder geregelt werden.

1.3.1.1 Steuern

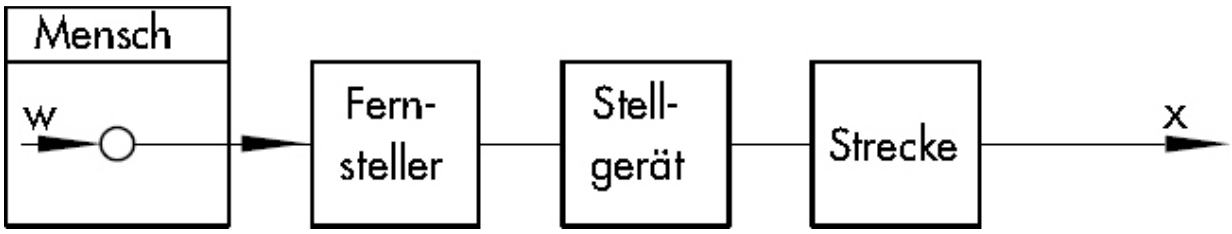
Die Steuerung ist ein Vorgang, bei dem über eine oder mehrere Eingangsgrößen eines Systems eine Prozessgröße beeinflusst wird. Der sich tatsächlich einstellende Wert der Prozessgröße wird nicht überprüft, so dass sich eine mögliche Abweichung z.B. hervorgerufen durch äußere Störungen nicht auf den Steuerungsvorgang auswirkt. Kennzeichen der Steuerung ist somit ein offener Wirkungsablauf.
Der in Bild 1 dargestellte Bediener hat die Aufgabe mit einem Stellventil den Druck (p2) in einer Rohrleitung einzustellen. Dazu nutzt er eine Zuordnungsvorschrift, in der für jeden Sollwert (w) ein bestimmtes Stellsignal (y) des Fernstellers festgelegt ist. Da dieses Stellverfahren mögliche Durchflussschwankungen nicht berücksichtigt, sollte eine Größe nur dann gesteuert werden, wenn sichergestellt ist, dass sie nicht durch Störungen in unzulänglicher Weise beeinflusst wird.



Der Bediener steuert über den Fernsteller die Prozessgröße p2

Kennzeichen einer Steuerung sind der:

- **Offene Wirkungsablauf**
- **Störungen werden nicht erkannt**

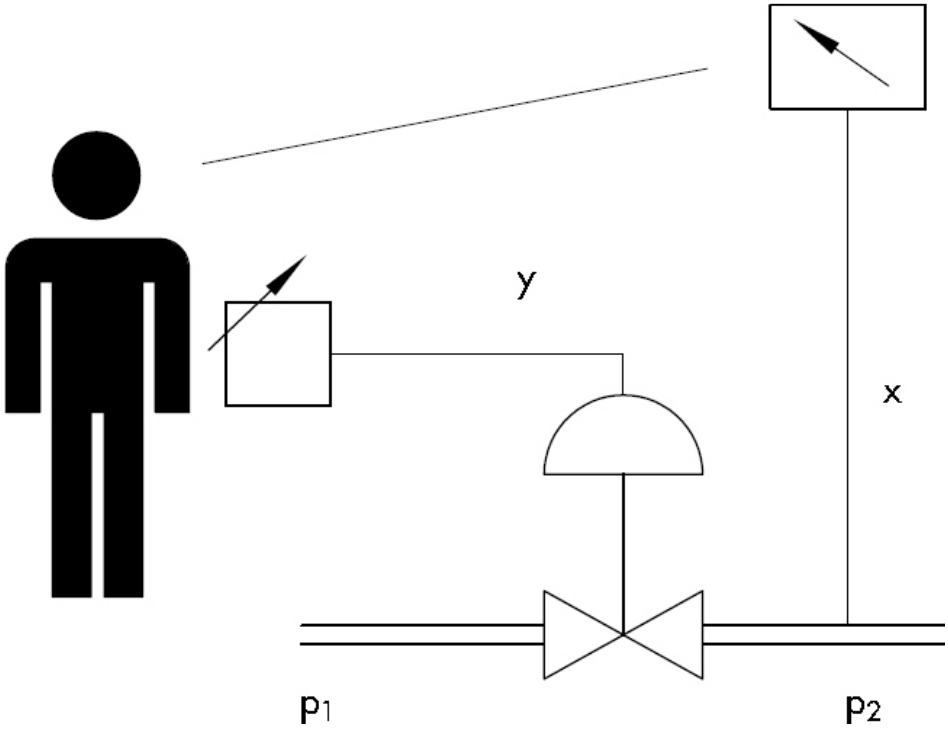


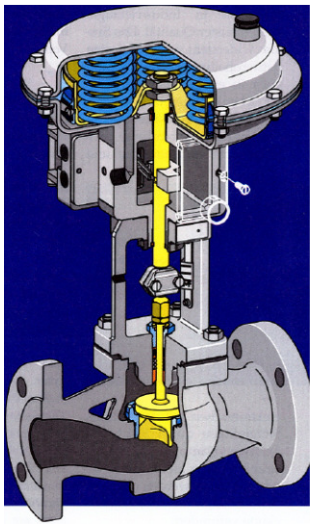
Blockschaltbild der Handsteuerung

1.3.1.2 Regeln

Bei einer Regelung wird die zu regelnde Größe (Regelgröße x) fortlaufend gemessen und mit einem vorgegebenen Wert (Führungsgröße w) verglichen. Besteht zwischen diesen beiden Größen eine Differenz (Regeldifferenz e bzw. Regelabweichung xw), so wird abhängig von der gemessenen Differenz ein Verstellvorgang eingeleitet, welcher die Regelgröße mit der Führungsgröße wieder in Übereinstimmung bringen soll. Kennzeichen der Regelung ist somit ein geschlossener Wirkungsablauf.

Der in Bild 2 dargestellte Bediener überwacht den Druck p2 in der Rohrleitung, an der verschiedene Verbraucher angeschlossen sind. Erhöht sich der Verbrauch, so sinkt der Druck in der Leitung. Dies erkennt der Bediener, woraufhin er den Steuerdruck des pneumatischen Stellventils solange verändert, bis der gewünschte Druck p2 wieder angezeigt wird. Durch die ununterbrochene Beobachtung der Druckanzeige und den unverzüglichen Regeleingriff sorgt der Bediener dafür, dass sich der Druck immer auf dem gewünschten Wert hält. Aufgrund der Rückführung der Prozessgröße p2 über die Druckanzeige zum Bediener liegt ein geschlossener Wirkungsablauf vor, das typische und notwendige Merkmal einer Regelung.

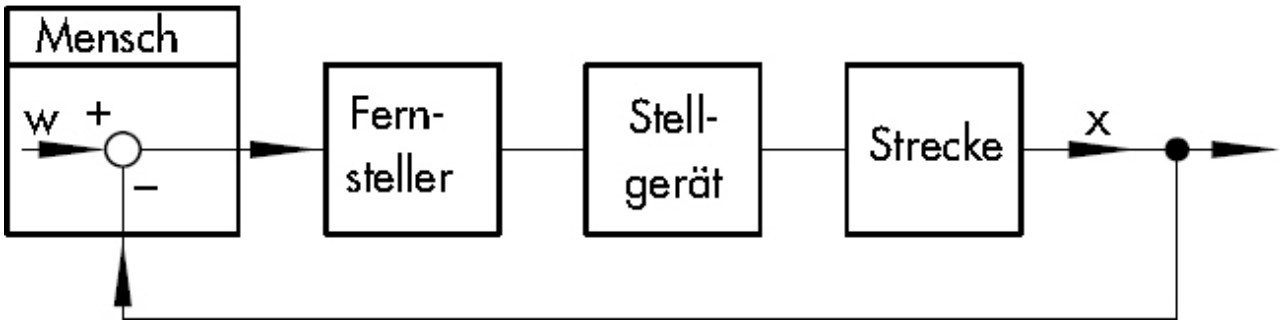




Der Bediener regelt die Prozessgröße p2

Kennzeichen einer Regelung sind der:

- **Geschlossene Wirkungsablauf**
- **Störungen werden ausgeregelt**



Blockschaltbild der Handregelung

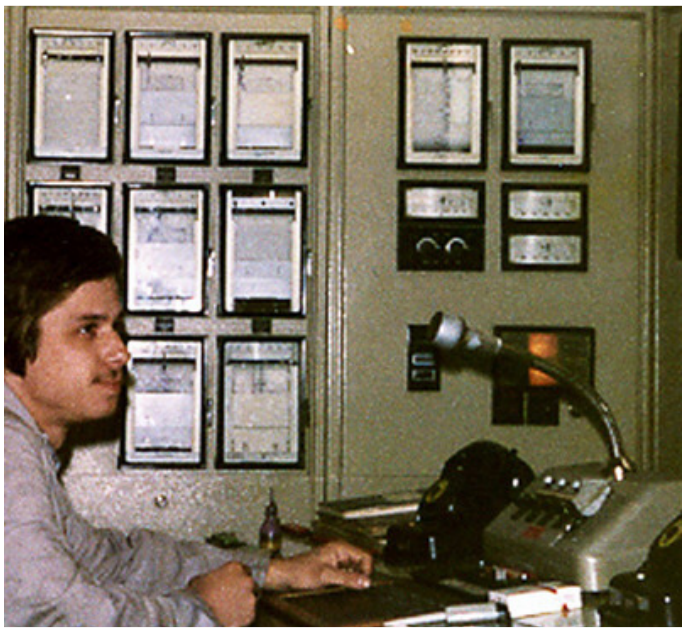
1.3.1.3 Leiten

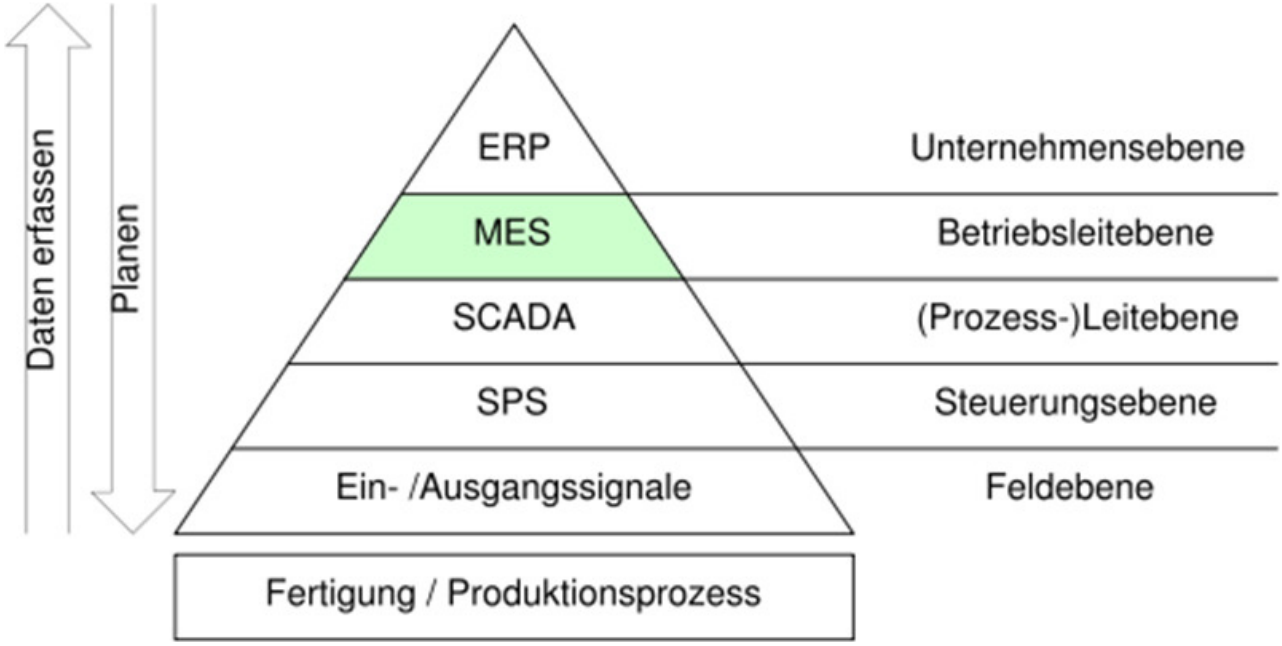
Definition des Begriffs Leiten

Gesamtheit aller Maßnahmen, die einen im Sinne festgelegter Ziele erwünschten Ablauf eines Prozesses bewirken. Die Maßnahmen werden vorwiegend unter Mitwirkung des Menschen aufgrund der aus dem Prozess oder auch aus der Umgebung erhaltenen Daten mit Hilfe der Leiteinrichtung getroffen.

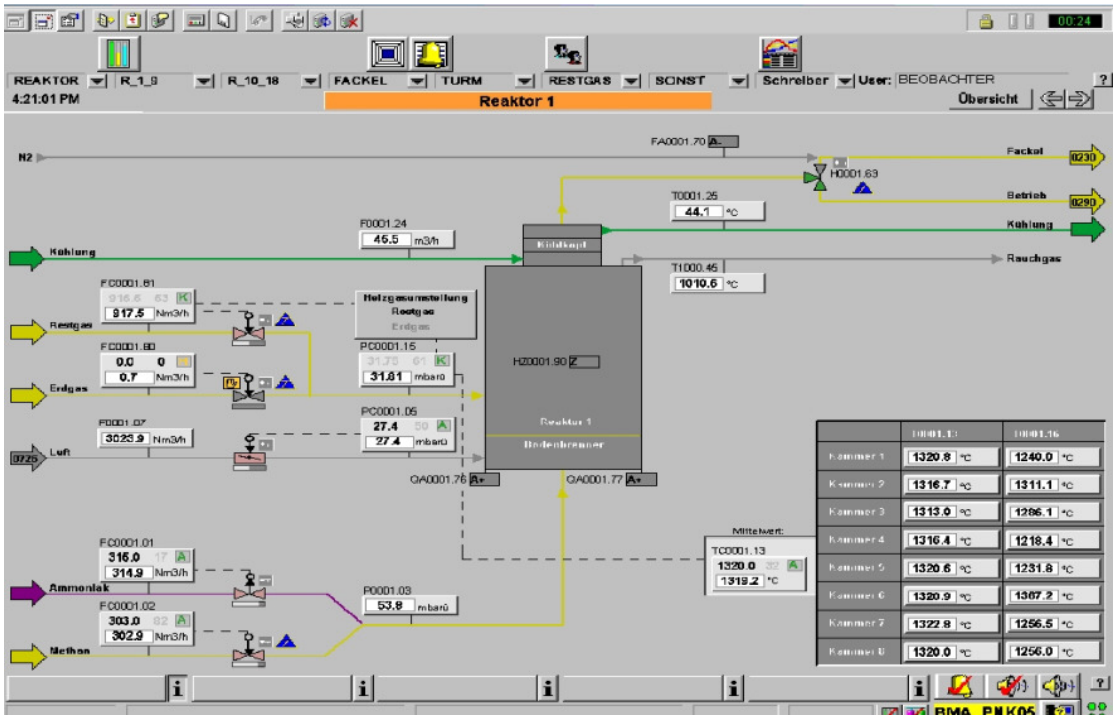
- DKE Deutsche Kommission Elektrotechnik Elektronik Informationstechnik im DIN und VDE: DIN V 19222:2001-09, 4.1.2

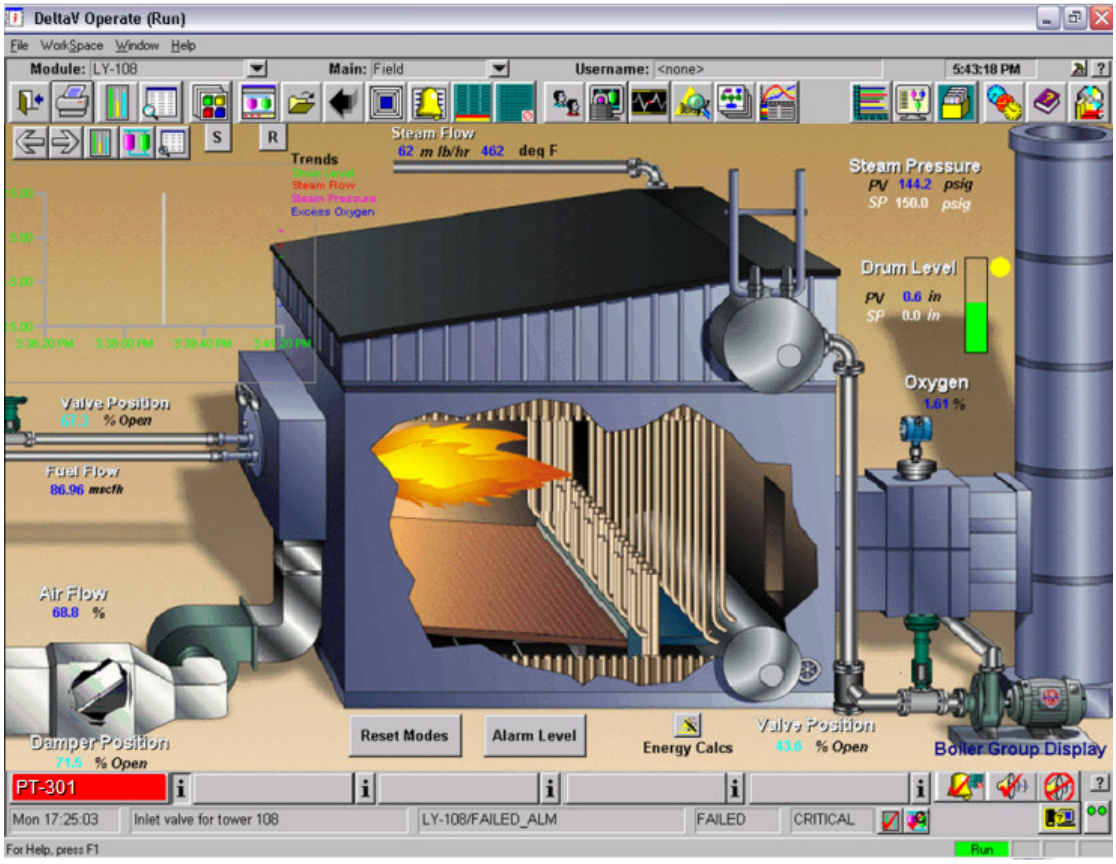
Leitstand 1974





ERP = Enterprise Resource Planning
MES = Manufacturing Execution System
SCADA = Supervisory Control and Data Acquisition
SPS = Speicherprogrammierbare Steuerung


REAKTOR
R_1_9
R_10_18
FACKEL
TURM
RESTGAS
SONST
Schreiber
User: BEOBACHTER
4:21:01 PM
Reaktor 1
Übersicht
N2
Fackel
Betrieb
Kühlung
Rauchgas
Restgas
Erdgas
Luft
Ammoniak
Methan
Mittelwert:

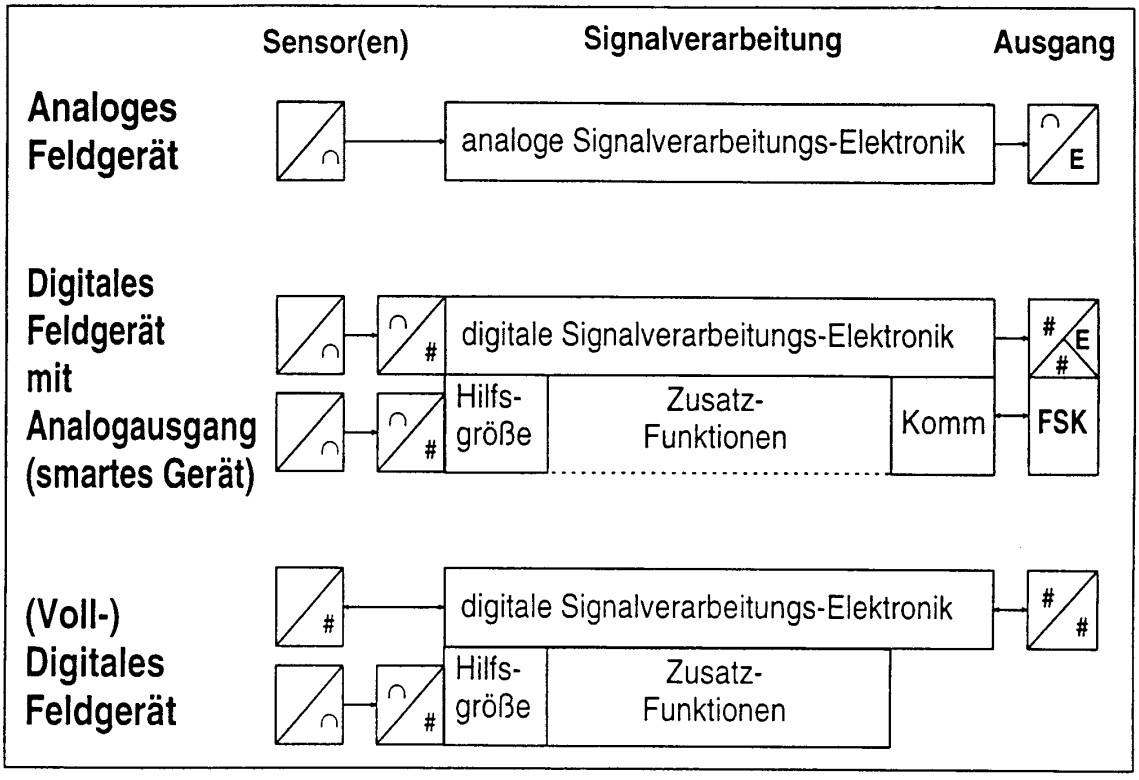

DeltaV Operate (Run)
File WorkSpace Window Help
Module: LY-108
Main: Field
Username: <none>
5:43:18 PM
Trends
Steam Flow
62 m lb/hr 462 deg F
Steam Pressure
PV 144.2 psig
SP 150.0 psig
Drum Level
PV 0.6 in
SP 0.0 in
Oxygen
1.61 %
Valve Position
% Open
Fuel Flow
86.96 mscfh
Air Flow
68.8 %
Damper Position
% Open
Reset Modes
Alarm Level
Energy Calcs
Valve Position
% Open
Boiler Group Display
PT-301
Mon 17:25:03
Inlet valve for tower 108
LY-108/FAILED_ALM
FAILED
CRITICAL
For Help, press F1
Run

1.3.2 Automatisierungskonzepte

Auszug aus einem Bericht aus „CHEMIE INGENIEUR TECHNIK" (70) 8/98

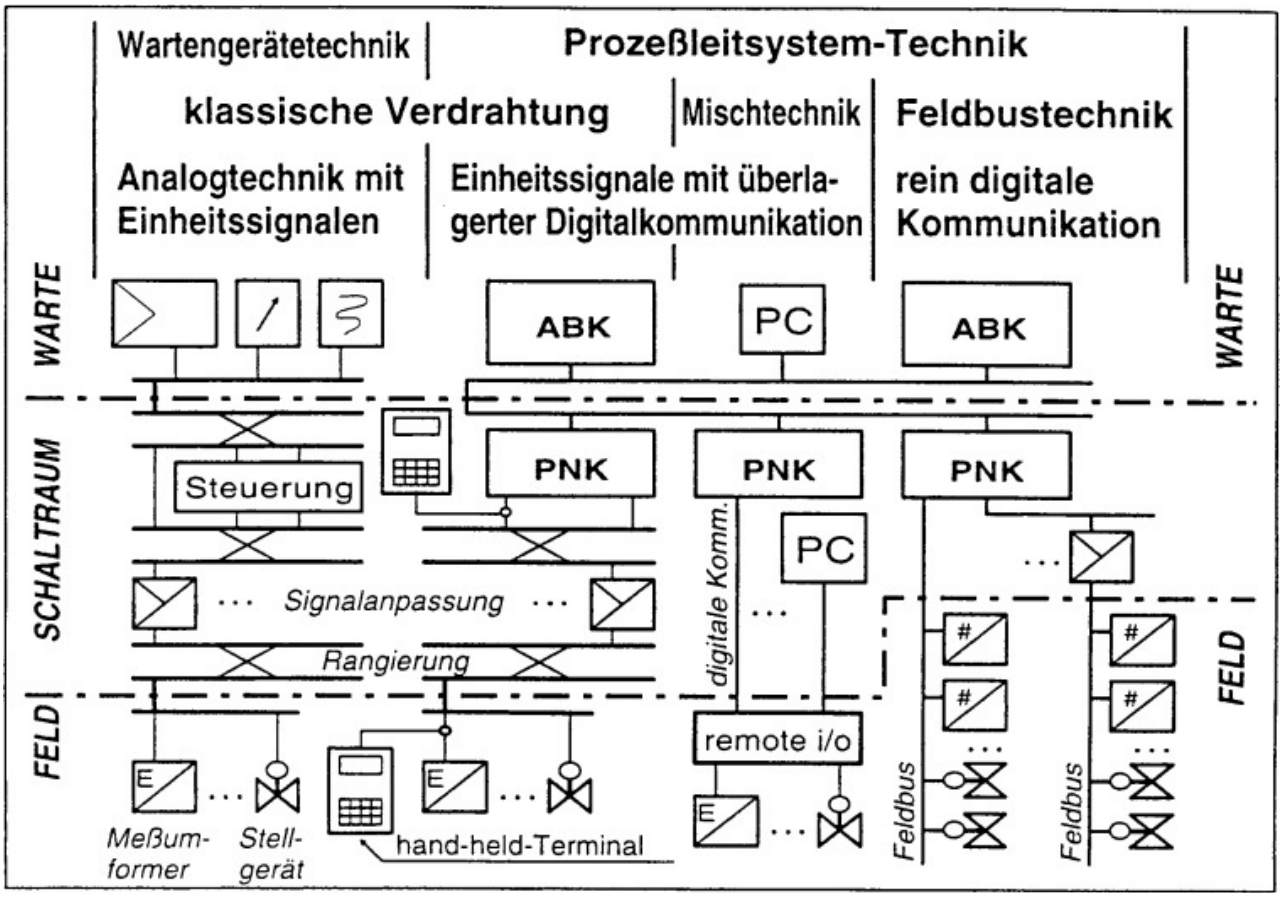
Hoch entwickelte Technologien aus dem Bereich der Sensorik und Aktuatorik, sowie der Kommunikationstechnologie, erlauben dem Planer moderne und hochintegrative Automatisierungskonzepte zu konzipieren.

Abbildung 1.
Entwicklung der elektrischen Feldgeräte, dargestellt anhand einer einfachen Blockstruktur des geräteinternen Aufbaus. Analoge Geräte stellen den Stand von „gestern" dar, digitale mit Analogausgang den heutigen Stand der Technik und die ersten volldigitalen Geräte stehen kurz vor der Einführung; (E = analoges Einheitssignal; # = digitales Signal; FSK = Frequency-Shift-Keying).

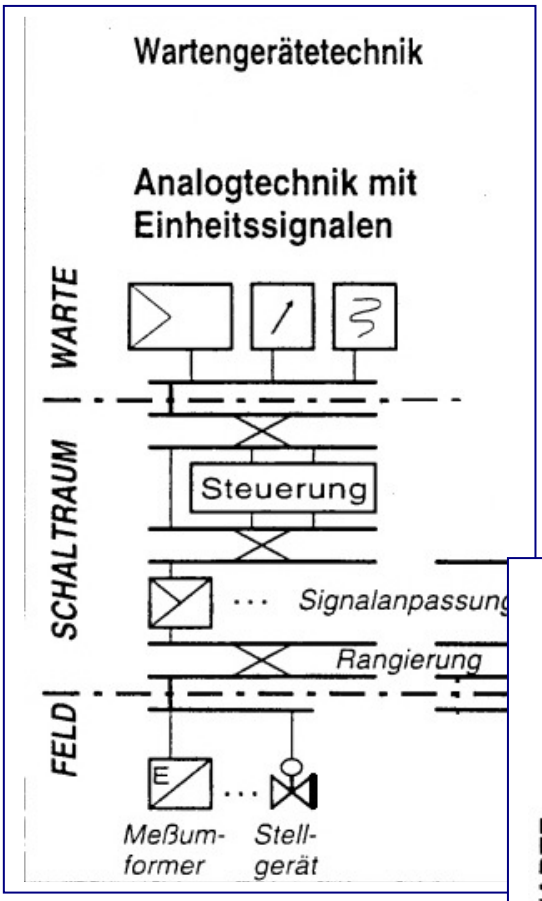


Die Grafik zeigt die Entwicklung der Sensorik vom einfachen Messumformer, der Einheitssignale verarbeitet, bis hin zum volldigitalen Sensor, der seine Information binärverschlüsselt überträgt.

Übersicht über Verdrahtungsstrukturen

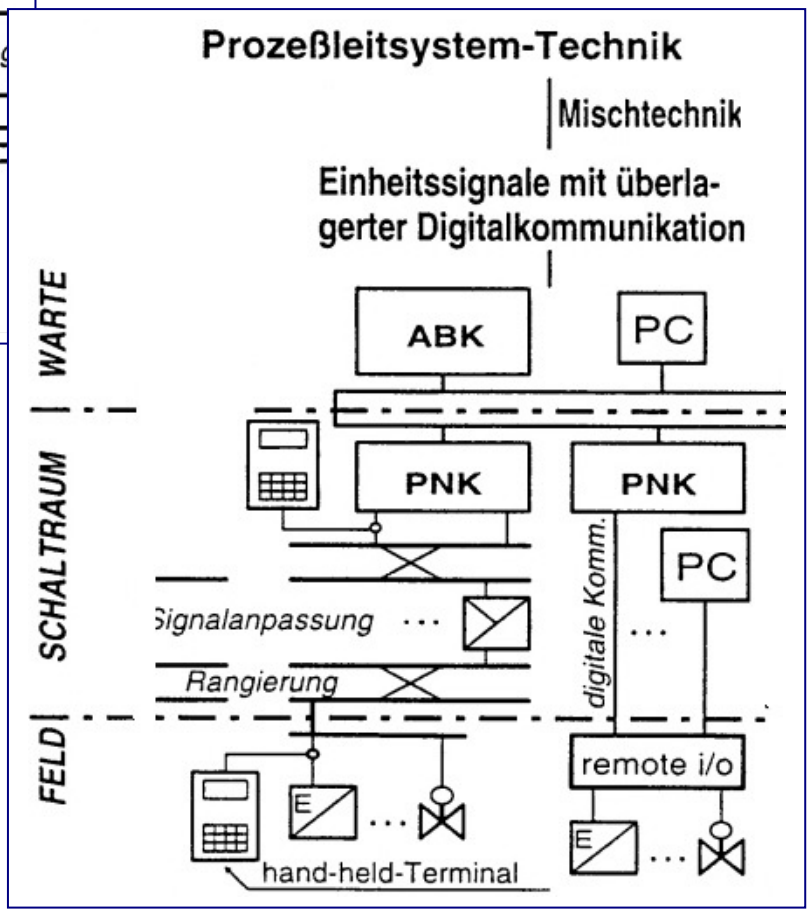


Übersicht über Verdrahtungsstrukturen in der Prozeßleittechnik; (ABK = Anzeige- und Bedienkomponente; PNK = Prozeßnahe Komponente; PC = Rechner mit entsprechender EDV-Anwendung (Engineeringwerkzeug, Datenbank etc.); E = analoges Einheitssignal; # = digitales Signal).



Klassische Verdrahtung

Mit Hilfe von „remote i/o-Konzepten“ ist heute schon (fast) herstellerunabhängig eine zentrale Struktur aufbaubar. Unter remote i/o versteht man die Auslagerung („remote“) der Ein/Ausgabe-Baugruppen *(„i/o“)* des PLS vom Schaltraum ins Feld. wobei die Kommunikation mit dem PLS über eine digitale Kommunikationseinrichtung (z.B. Datenbus) erfolgt - daher auch die alternative Bezeichnung intelligenter Verteilerkasten" (IVK).

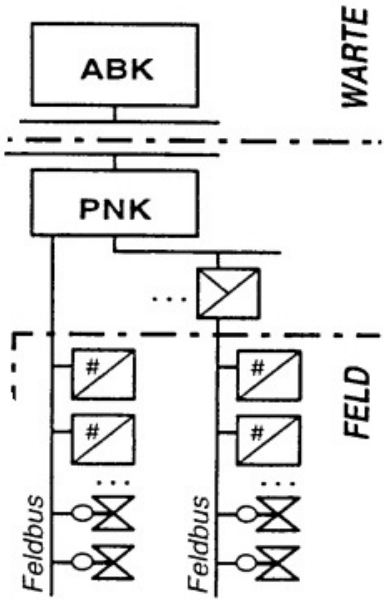


Leitsystemtechnik konventionell und Remote I/O

Prozeßleitsystem-Technik

Feldbustechnik

rein digitale Kommunikation



Es ist heute klar ersichtlich, dass die Digitalisierung der Feldgeräte deutliche technische Vorteile bringt. Um diese technischen Vorteile auch wirtschaftlich auf breiter Basis nutzen zu können, sind allerdings Voraussetzungen zu erfüllen. Sie lassen sich durch drei wesentliche Forderungen beschreiben. die heute zwar prinzipiell erfüllbar wären, aber in der Praxis auf Grund unterschiedlichster Hemmnisse noch nicht realisiert worden sind:

- Die digitale Kommunikation im Feld ist die Grundvoraussetzung.
- Die Vereinheitlichung von Anzeige. Bedienung und Grundfunktionsumfang ist das entscheidende Kriterium für die Handhabbarkeit durch die prozessleit-technische Betreuung.
- Offene Schnittstellen, d.h. vor allem auch offene Prozessleitsysteme. sind aus-schlaggebend für die Akzeptanz auch außerhalb des Fachgebietes der Prozessleittechnik.

Die heute bekannten Pilotprojekte zeigen, dass die digitale Kommunikation im Feld die technischen Grundanforderungen erfüllt (d.h. die Prozesswertübertragung funktioniert) und dass weiterhin die erhoffte Wirtschaftlichkeit bereits nachweisbar ist. Die Pilotprojekte bleiben jedoch Einzelfälle, solange eine durchgehende einheitliche digitale Kommunikation, d.h. der Feldbus für die Verfahrenstechnik, noch nicht als Standard eingeführt ist.

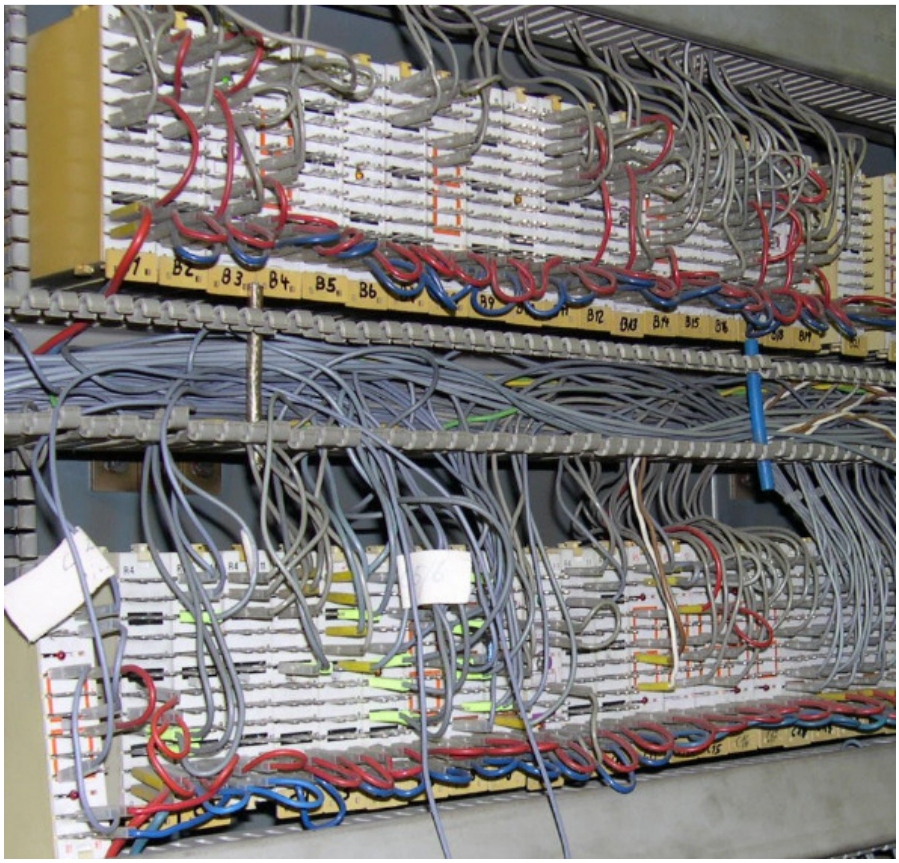
Die Auswirkungen der Digitalisierung der Feldgerätetechnik auf das Betreiben von Anlagen ist jedoch nicht nur durch technische Fragestellungen geprägt.
Erfolg oder Misserfolg, d.h. höhere Produktivität des Instandhaltungspersonals, wird letztlich durch die neuen Anforderungen an das Instandhaltungspersonal selbst geprägt. Dies betrifft auch die Berufsbilder der Instandhalter; da sie zunehmend mit Software und immer weniger mit der eigentlichen Gerätetechnik konfrontiert sein werden.

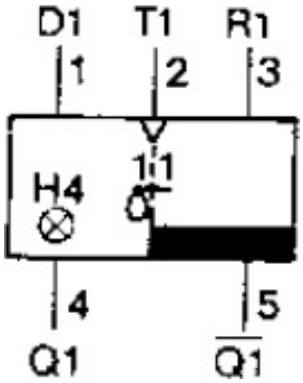
Mit Blick auf die neue Funktionalität, insbesondere für die Instandhaltung, läßt sich zukünftig eine Verschiebung des Qualifikationsprofils der Mitarbeiter prognostizieren und nicht zuletzt auch eine Reduzierung der PLT-Handwerker die unmittelbar vor-Ort" in der Produktionsanlage tätig sind.
Die Schnelllebigkeit der Software, die im krassen Gegensatz zur Langlebigkeit der Chemieanlagen steht, wird außerdem immer mehr in den Mittelpunkt prozessleittechnischer Überlegungen für die Instandhaltung rücken.
Cost of ownership" der gesamten Anlage wird davon durchaus merkbar beeinflusst. Allgemein-gültige Lösungen für diese Problematik sind noch nicht in Sicht.
Auf der Geräteseite hat sich in der letzten Dekade durch die Digitalisierung die Signalverarbeitung zur Informationsgewinnung gewandelt. Die ,,neue Funktionalität im Feldgerät und PLS, intelligent verarbeitetes, in Software gegossenes a priori-Wissen sowie die enorme Rechenkapazität in praktisch allen intelligenten Automatisierungskomponenten ermöglichen die Transformation von Daten in Wissen.
Was heute noch fehlt. ist ein einheitliches Konzept, um alle Komponenten zu einem funktionierenden Gesamtsystem integrieren zu können. Der wesentliche Teil dieses Konzepts ist die einheitliche digitale Kommunikation, die aus der Summe der Informationen und der möglichen Umsetzung in zustandsorientiertes Wissen den Schlüssel zu einem umfassenden Prozessverständnis liefern kann im Sinne der anlagentechnischen und nicht nur der prozessleittechnischen Beherrschung des Verfahrens.
Als letztes Glied in der Entwicklungskette der Digitalisierung der Prozessleittechnik wird die eigentliche digitale Kommunikation somit auch eine neue Qualität in der prozessleittechnischen Betreuung verfahrenstechnischer Anlagen nach sich ziehen.

1.3.3 VPS, SPS, SSPS und PLS

1.3.3.1. Verbindungsprogrammierte Steuerungen (VPS)

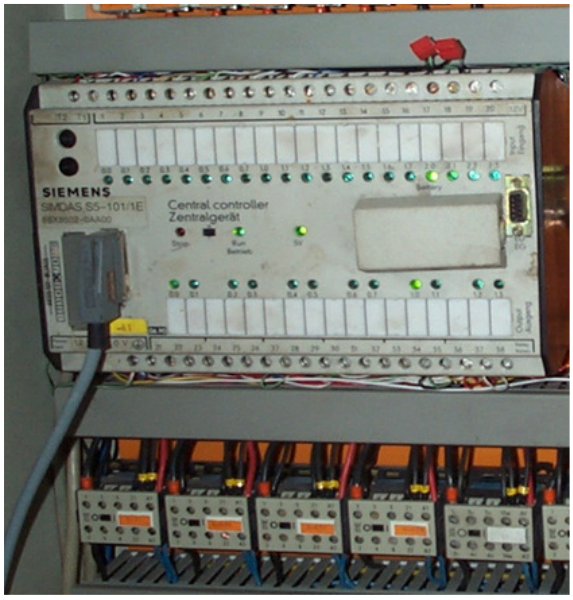
In den Ursprüngen der Steuerungstechnik, wurden Steuerungen immer wieder individuell mittels einer komplexen Verschaltung von Hilfsrelais und Schützen realisiert. Beispielsweise Logikfunktionen wie UND oder ODER, wurden in Einzelverdrahtung realisiert.
Um die Realisierung von logischen Funktionen und Verknüpfungen zu vereinfachen, wurden Logikbausteine (z.B. BBC Sigmatronic) entwickelt, die dann mittels Einzeladerverdrahtung miteinander verknüpft werden konnten. So ließen sich auch komplexere Steuerungen relativ einfach und unkompliziert realisieren.





1.3.3.2 Speicherprogrammierbare Steuerungen (SPS)

Eine **Speicherprogrammierbare Steuerung** (SPS, engl. *Programmable Logic Controller*, *PLC*) ist ein Zusammenschluss von Baugruppen (Stromversorgung, CPU, I/O-Karten, Kommunikationsbaugruppen etc.), die zur http://www.worldlingo.com/ma/dewiki/de/SteuerungstechnikSteuerung und/oder Regelung einer Maschine oder Anlage eingesetzt werden. Nach der Ära der VPS-Systeme zogen diese Systeme in die Welt der Automatisierungstechnik ein und veränderten den Blick für die Möglichkeiten Automatisierungsaufgabenstellungen zu lösen.



Siemens Simatic S5 101U

S5-115U

S5-100U

Siemens Simatic S7-400U

1.3.3.3 Sicherheitsgerichtete speicherprogrammierbare Steuerungen (SSPS)

Hima HIMax

Hima HiQuad

Sicherheitsgerichtete speicherprogrammierbare Steuerungen sind aufgrund ihrer Systemarchitektur (zum Teil bis zu 4 Prozessoren, die sich gegenseitig überwachen) und der speziellen Betriebssysteme, für die Einsatzfälle konzipiert, bei denen die Gewährleistung der Anlagensicherheit im Vordergrund steht. Ständige Plausibilitätsschecks der I/O-Signale, Zentraleinheiten mit mehreren Prozessoren, in denen die Anwenderprogramme parallel ablaufen, um im Störungsfall von einer CPU auf die andere umschalten zu können, sind Merkmale die eine SSPS von einer SPS unterscheiden.

Alle sicherheitsgerichteten SPS-Ausführungen haben zum Ziel, im Zweifel die Anlage möglichst schnell in einen sicheren Zustand zu versetzen. Dieses Ziel steht zwangsläufig in Konflikt mit dem Wunsch nach einer Erhöhung der Verfügbarkeit der Anlage (= Zuverlässigkeit).

1.3.3.4 Prozessleitsysteme (PLS)

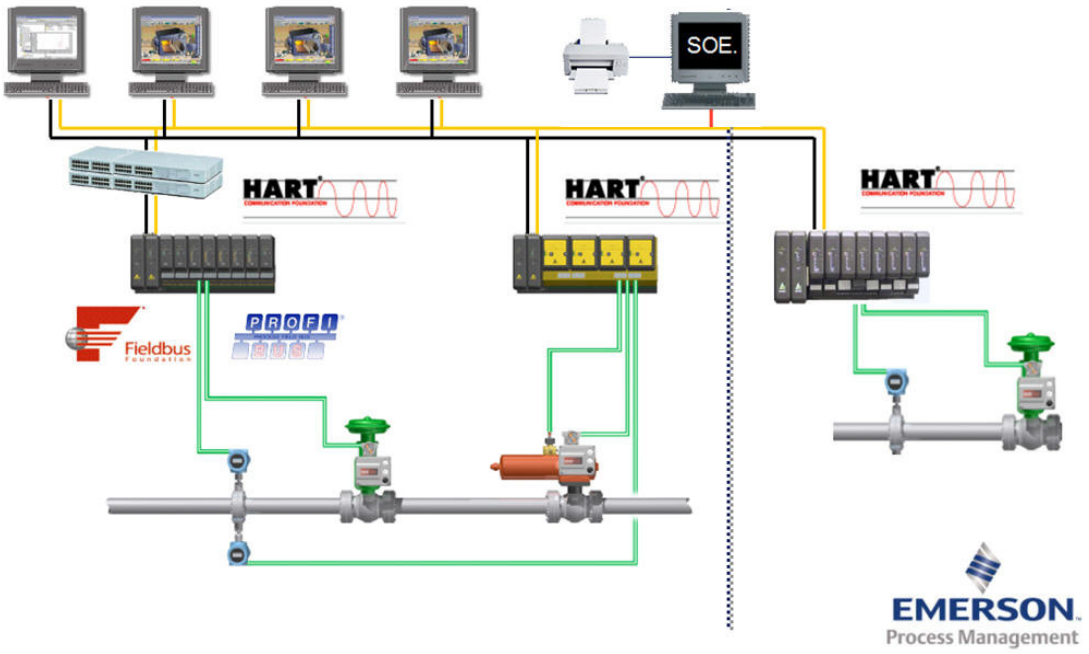
Ein **Prozessleitsystem** (engl. *process control system*, *PCS*) dient zum Führen einer verfahrenstechnischen Anlage, zum Beispiel einer Raffinerie. Es besteht typischerweise aus sogenannten prozessnahe Komponenten (*PNK*) und *Bedien- und Beobachtungsstationen* (*BUB*).
Prozessleitsysteme werden meist für größere Anlagen eingesetzt und bestehen meist aus einem Paket, das folgende Mechanismen beinhaltet:

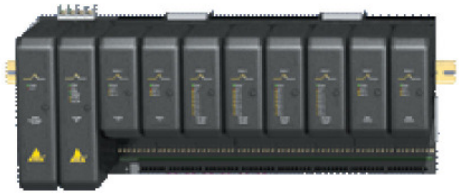
- PNK zur Steuerung von Aktoren und Aufnahme der Messwerte
- Alarmsystem
- Anlagenvisualisierung
- Kurvenaufzeichnung von analogen Messwerten
- Benutzerverwaltung
- Möglichkeiten des Engineerings.

Die Grundanforderungen an ein Prozessleitsystem sind:

Sehr hohe betriebliche und sicherheitstechnische Verfügbarkeit

- Standardsoftware
- Standardhardware
- Vertikale Integration
- Gut geeignet für alle Anlagentypen
- Lebensdauererwartung
- Skalierbarkeit
- Wartungsfreundlich





Prozessnahe Komponenten

1.3.4 Bussysteme

Im Bereich der Automatisierungs- und Prozessleittechnik kommen die verschiedensten Systemarchitekturen mit ihren spezifischen Bussystemen zum Einsatz. Dabei sind Randbedingungen wie zum Beispiel

- Geschwindigkeit des Datenübertragung (Baudrate)
- Zuverlässigkeit der Datenübertragung (Hamming-Distanz)
- Maximale Teilnehmerzahl (Adressierbarkeit der Teilnehmer)
- Empfindlichkeit gegenüber Störeinflüssen (EMV)
- Systematik der Kommunikation, Zugriffsverfahren (Master-Slave, Token-Passing, CSMA-CD)

CSMA/CD -Carrier Sense Multiple Access/Collision Detection

besonders zu beachten.

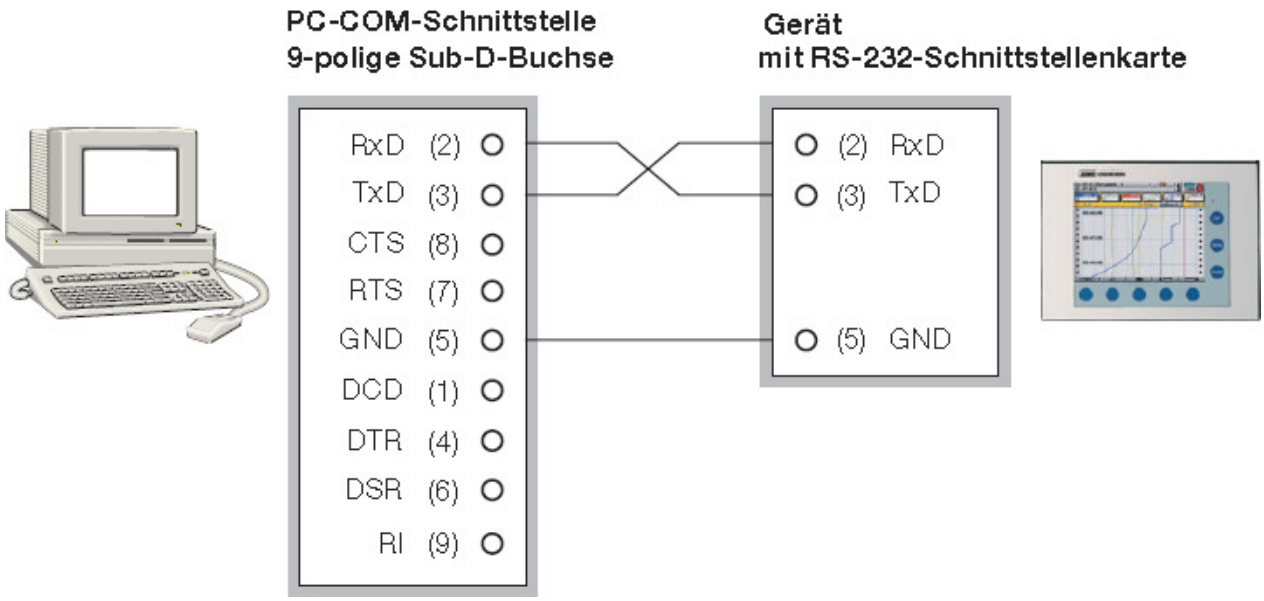
1.3.4.1 Serielle Kommunikation

(Manfred Schleicher, Fa. Jumo)

1.3.4.1.1 Die RS-232-Schnittstelle

Eine serielle Schnittstelle befindet sich nahezu in jedem PC (die COM-Ports stellen jeweils eine RS-232-Schnittstelle dar).

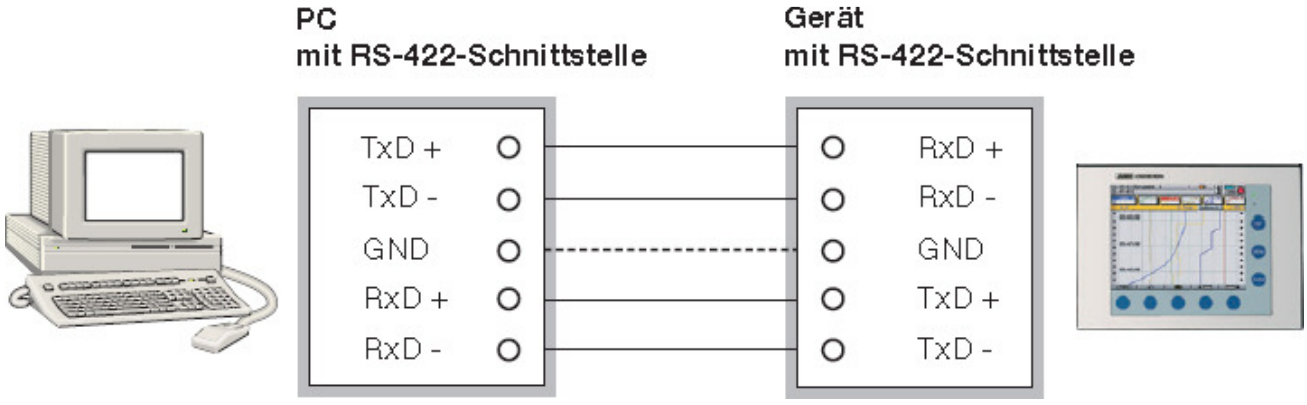
Die RS-232-Schnittstelle wurde ursprünglich entworfen, um Rechner über Telefonleitungen zu verbinden.
Aus diesem Grund ergeben sich die Vielzahl der gezeigten Signale. In der Automatisierungstechnik werden von der RS-232-Schnittstelle meist nur drei Leitungen verwendet:
TxD (Transmit Data) zum Senden, RxD (Receive Data) zum Empfangen und die GND-Leitung für das gemeinsame Bezugspotenzial (ohne Anschluss der GND-Leitung keine Datenübertragung).



Merkmale der RS232-Kopplung:

- Low-Pegel (logisch 0): 3 ... 15V
- HighPegel (logisch 1): -3 ... -15V.
- Die maximale Leitungslänge: 30m
- Die RS-232-Schnittstelle ist nicht busfähig (Punkt-zu-Punkt)

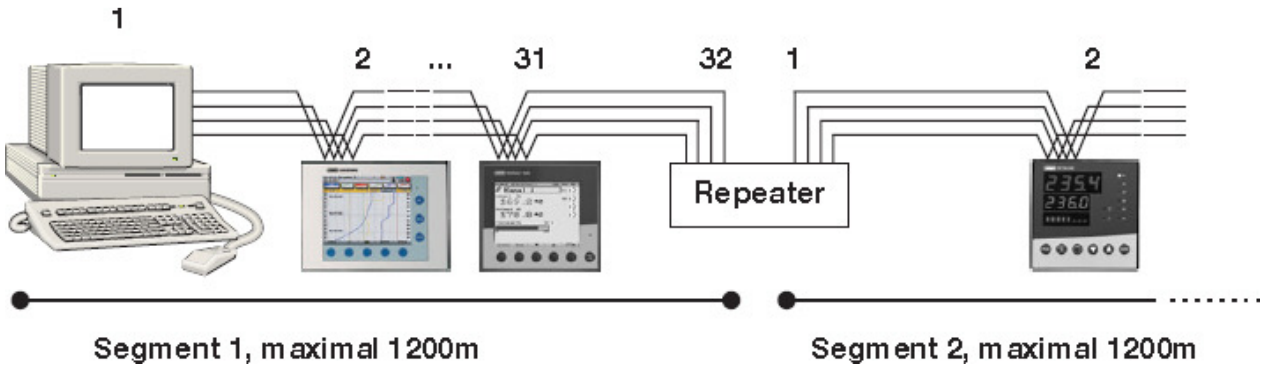
1.3.4.2 RS422-Schnittstelle



Alle Teilnehmer senden über die Datenleitungen TxD + und TxD - und empfangen über RxD + und RxD -. Die GND-Leitung ist nur bei großen Potenzialdifferenzen zu verwenden und sollte nicht notwendig sein.
Die RS-422-Schnittstelle (auch die RS-485-Schnittstelle) ist unempfindlicher gegenüber Störungen als die RS-232-Schnittstelle. Der Grund liegt darin, dass bei den Leitungspegeln immer die Differenz betrachtet wird: liegt z. B. an TxD + +5V und TxD - -5V, entspricht dies dem Pegel logisch „0“. Liegt entsprechend an TxD + -5V und TxD - +5V an, entspricht dies dem Pegel logisch „1“. Eine elektromagnetische Störung würde das Potenzial an beiden Leitungen im gleichen Maß erhöhen.
Somit hätte die Störung keinen Einfluss auf das Differenzsignal (zum Vergleich: bei der RS-232-Schnittstelle hätte die Störung nur Einfluss auf die Signalleitungen, nicht aber auf das Bezugspotenzial).

Merkmale der RS422-Kopplung:

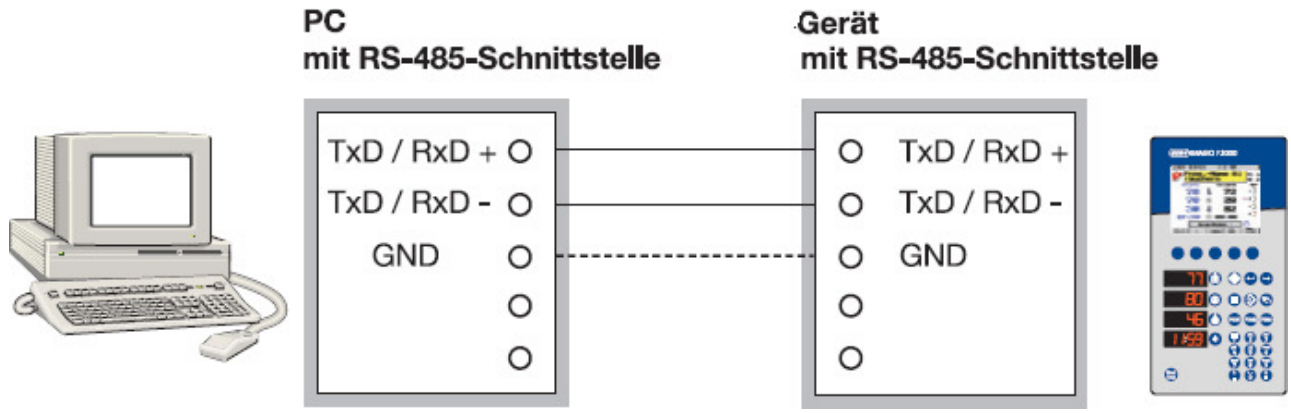
- Low-Pegel (logisch 0): TxD+ +5V und TxD- -5V
- High-Pegel (logisch 1): TxD+ -5V und TxD- +5V
- Die maximale Leitungslänge: 1200m (ohne Repeater)
- Die RS-422-Schnittstelle ist busfähig, max. 32 Teilnehmer (1 Strang)



Einsatz eines Repeaters bei einer RS-422-Schnittstelle

1.3.4.3 RS485-Schnittstelle

Die RS-485-Schnittstelle hat ähnliche Eigenschaften wie die RS-422-Schnittstelle. Die Pegel liegen in der gleichen Höhe. Es können Ausdehnungen von bis zu 1200m erreicht und 32 Teilnehmer miteinander verbunden werden. Auch bezüglich der Repeater, der Störungsunempfindlichkeit und der Spannungspegel gilt das über die Schnittstelle RS422 Beschriebene.
Der große Unterschied zur RS-422-Schnittstelle und gleichzeitig der Grund für eine viel stärkere Verbreitung ist, dass die Teilnehmer bei der RS-485-Schnittstelle lediglich über zwei Datenleitungen miteinander verbunden werden.



Die Teilnehmer senden und empfangen über die Leitungen TxD/RxD + und TxD/RxD -. Somit ergibt sich ein sehr geringer Installationsaufwand. Bei der RS-485-Schnittstelle kommt es bei den Teilnehmern zum Umschalten: so sendet z. B. der PC Daten über das Leitungspaar zum Gerät. Zu dieser Zeit nutzt das Gerät das Leitungspaar zum Empfangen. Ist die Nachricht übertragen, wird im Gerät von Empfangen auf Senden, beim PC von Senden auf Empfangen umgeschaltet.

1.3.4.4 Zugriffsverfahren

In einem Bussystem sind die Teilnehmer meist in Bustopologie angeordnet. Alle Komponenten arbeiten z. B. über eine Zweidrahtleitung. Die Leitung kann jedoch zur gleichen Zeit immer nur einem Teilnehmer zur Verfügung stehen. Durch die Zugriffsverfahren ist geregelt, welcher Teilnehmer zu welcher Zeit auf den Bus zugreifen darf.

Man Unterscheidet 4 Zugriffsverfahren

- Master-Slave-Verfahren
- Token-Passing-Verfahren
- CSMA-Verfahren (CSMA-CD und CSMA-CD)

Master-Slave-Verfahren
Beim Master-/Slave-Verfahren steuert ein Master die Kommunikation auf dem Bus: er beginnt z. B. mit Anweisungen für den Slave 1. Der Slave folgt den Anweisungen und bestätigt die Ausführung (z. B. Übernahme Sollwert). Hiernach fragt der Master die ihn interessierenden Werte vom gleichen Slave ab (der Slave sendet z. B. 2 Analogwerte). In dieser Weise kommuniziert der Master mit allen angeschlossenen Slaves. Wurden die Daten mit dem letzten Slave ausgetauscht, beginnt der Master erneut mit Slave 1. Die Zeit, die für den Austausch mit allen Slaves benötigt wird, nennt man Buszykluszeit. Die Buszykluszeit kann von ms (PROFIBUS-DP) bis zu mehreren Sekunden (Modbus) betragen.

Token-Passing-Verfahren
Auch beim Token-/Passing-Verfahren hat zur gleichen Zeit ein Master die Kontrolle über den Bus. Hier ist jedoch die Besonderheit, dass mehrere Master im System vorhanden sind. Im System existiert ein Token (Zugriffsrecht). Dieser wird von Master zu Master weitergereicht. Nur der Master, der im Besitz des Token ist, darf die Daten mit den Slaves austauschen. Das Token-/Passing-Verfahren kommt relativ selten zum Einsatz. Ein Beispiel ist PROFIBUS-DP.

CSMA-Verfahren

Arbeitet ein System nach dem CSMA(**C**arrier **S**ense **M**ultiple **A**ccess)-Verfahren, sind alle Teilnehmer auf dem Bus gleichberechtigt: jede Station kann von sich aus anfangen zu senden. Prinzipiell prüft jede Station, bevor sie zu senden anfängt, ob im Moment ein anderer Teilnehmer sendet. Problematisch wird es, wenn zwei Teilnehmer gleichzeitig anfangen zu senden. Nun gibt es unterschiedliche Möglichkeiten, wie mit dieser so genannten Kollision umgegangen wird:

CSMA-CD

Senden beim Zugriffsverfahren CSMA-CD(**C**arrier **S**ense **M**ultiple **A**ccess **C**ollision **D**etection) zwei Teilnehmer gleichzeitig, wird die Nachricht zerstört. Die Teilnehmer erkennen das gleichzeitige Senden und wiederholen die Sendung nach dem Zufallsprinzip. Sollte es wieder zu einer Kollision kommen, erfolgt ein neues Senden usw. ETHERNET arbeitet z. B. nach diesem Verfahren.

CSMA-CA

Beim CSMA-CA(**C**arrier **S**ense **M**ultiple **A**ccess **C**ollision **A**void)-Verfahren zieht sich der Teilnehmer, welcher die Nachricht mit geringerer Priorität sendet, vom Bus zurück. Durch den Protokollaufbau und die elektrischen Eigenschaften der Schnittstelle setzt sich die Nachricht mit der höheren Priorität durch und wird zerstörungsfrei übertragen.

1.3.4.5 Feldbussysteme

Mit der Öffnung der Windows-Welt für die Prozessleitsysteme und der damit verbundenen Abkehr der Leitsystemhersteller von ihren proprietären Systemen, hält auch zunehmend die typische EDV-Kommunikation bzw. EDV-typischen Bustopologien Einzug in die Automatisierungswelt. Beispielsweise MESH-Netzwerke (vermachtes Netz), oder WLAN-Technologie sind heute Stand der Technik.

Feldbussysteme sind jedoch spezifisch auf die Kommunikation von Automatisierungssystemen ausgelegt.

	Modbus	PROFIBUS-DP	ETHERNET	CANopen	HART®
Zugriffsverfahren	Master/Slave	Master/Slave	CSMA-CD	CSMA-CA	Master/Slave
Medium	beliebig	2-Draht-Leitung oder Lichtwellenlei-ter	2-Draht-Leitung	2-Draht-Leitung	2-Draht-Leitung
Teilnehmer/ Segment	247	32	16.777.216 (A-Klasse-Netz)	127	15
Daten-übertragungsrate	je nach Schnittstelle bis zu 187,5 kBit/s	9600 bit/s bis 12 Mbit/s	100 Mbit	50 kbit/s bis 1 Mbit/s	1200 bit/s
Busausdehnung	je nach Schnittstelle bis zu 1200m/Segment	1200m/Segment	maximaler Abstand zwischen zwei Punkten 100m	bis 5000m	bis 2000m

MODBUS

Modbus ist ein Übertragungsprotokoll, welches 1979 von der amerikanischen Firma Gould-Modicon entwickelt wurde. Modbus findet überwiegend Anwendung im Bereich der Prozessvisualisierung. Es ist ein einfaches und sicheres Protokoll und wird spezifiziert im „Modicon Modbus Protocol Reference Guide“. Der große Vorteil von Modbus ist, dass dieses Protokoll von jedem Programmierer realisiert werden kann und keinerlei Lizenzgebühren fällig werden. Hierdurch entstehen im Vergleich zu anderen Bussystemen kommerzielle Vorteile.

Beim Einsatz von Modbus kann der Anwender selbst bestimmen, welche Schnittstelle er verwendet (RS422/RS485, RS232, LWL etc.). Sicher findet in den meisten Fällen die RS-485-Schnittstelle Anwendung. Wird die RS-485-Schnittstelle verwendet, sind die Teilnehmer in Linie anzuordnen und ggf. der erste und letzte Teilnehmer mit einem Abschlusswiderstand zu versehen (siehe auch Kapitel 3 *„Serielle Schnittstellen RS232, RS422, RS485 und USB"*).
Die Schnittstellen aller Teilnehmer sind hinsichtlich Baudrate, Paritätsprüfung und Anzahl Stoppbits gleich einzustellen. Jedem Teilnehmer ist eine Adresse zu vergeben, diese darf im System nur einmal vorhanden sein. Hinsichtlich der Baudrate verwendet JUMO die folgenden Standardraten: 9600, 19200, 38400 Baud.
Modbus arbeitet nach dem Master-Slave-Verfahren. Wie bereits beschrieben, tauscht bei diesem Verfahren ein Master (bei Modbus meist eine Visualisierungssoftware auf einem PC) zyklisch die Daten mit allen Slaves aus.

PROFIBUS DP

PROFIBUS (**PRO**cess **FI**eld **BUS**) ist ein internationaler, offener Feldbusstandard, der in der Feldbusnorm EN 50 170 standardisiert wurde. Die PROFIBUS-Technologie wurde in Zusammenarbeit mehrerer Firmen – unter Führung von Siemens, Klöckner Möller und Bosch – entwickelt und wird von der PROFIBUS-Nutzerorganisation (PNO) gepflegt. Derzeit sind zwei Varianten der PROFIBUS-Familie von Bedeutung:

- **PROFIBUS-DP (Decentralized Peripherie)**

ist konzipiert für den Einsatz im Bereich der dezentralen Peripherie, bei dem kurze Systemreaktionszeiten wichtig sind. Er dient fast immer dazu, die dezentralen Automatisierungsgeräte (Regler, Bildschirmschreiber etc.) über eine serielle Schnittstelle mit einer SPS zu verbinden.

- **PROFIBUS-PA (Process Automation)**

wurde speziell für die Verfahrenstechnik konzipiert und erlaubt die Anbindung von Sensoren und Aktoren im Ex-Bereich. PROFIBUS-PA ermöglicht die Kommunikation und Energieversorgung der Geräte in 2-Drahttechnik gemäß dem internationalen Standard IEC 1158-2. PROFIBUS-DP und -PA sind für die schnelle Datenübertragung kleiner Datenmengen konzipiert.

ETHERNET

Bei ETHERNET werden alle Teilnehmer über Patch-Kabel und HUB's/SWITCHES miteinander verbunden. HUB's oder SWITCHES bieten die Möglichkeit, mehrere Netzteilnehmer sternförmig miteinander zu verbinden. Datenpakete, die auf einem Port empfangen werden, leitet beispielsweise der HUB auf alle Ports weiter. Die Information steht somit allen Teilnehmern zur Verfügung. Sendet ein Teilnehmer Daten in das Netzwerk, muss sichergestellt sein, dass auch der richtige Computer die Daten empfängt. Der Zielcomputer braucht eine eindeutige Adresse. Dazu wird in die Netzwerkkarte eine weltweit eindeutige Adresse eingebrannt.

Diese so genannte MAC(**M**edia **A**ccess **C**ontrol)-Adresse hat einen einheitlichen Aufbau und besteht aus 6 Bytes. Die ersten drei Bytes stehen für den Hersteller. Die nächsten drei Bytes kennzeichnen die einzelne Karte. Die Kennziffern des Herstelleranteils werden von der IEEE (**I**nstitute of **E**lectrical and **E**lectronic **E**ngineers) zentral vergeben. Die Kennung der einzelnen Karte wird von dem Hersteller selbst vorgenommen. Die MAC-Adresse ist üblicherweise auf einem Label abgedruckt, das direkt auf der Netzwerkkarte zu finden ist.

Bei Bildschirmschreibern z.B. von JUMO mit ETHERNET-Schnittstelle kann die Adresse z. B. in der Geräteinfo ausgelesen werden. ETHERNET schafft die physikalische Grundlage für TCP/IP:

CAN

CAN ist ein sehr sicheres Bussystem, welches 1986 von der Firma Robert Bosch entwickelt wurde. Ursprünglich wurde CAN für den Einsatz in Kraftfahrzeugen entwickelt, findet aber auch verstärkt im industriellen Bereich Einsatz.

CAN steht für **C**ontroller **A**rea **N**etwork und ist ein serieller Datenbus. Bei CAN werden kurze Nachrichten zerstörungsfrei übertragen. Die zerstörungsfreie Übertragung wird unter anderem durch die Adressierung der Nachrichten ermöglicht.

Das Signal wird über zwei Leitungen (CAN_H und CAN_L) übertragen. Die Teilnehmer werden über Linientopologie über eine geschirmte Zweidrahtleitung miteinander verbunden und die Leitung am ersten und letzten Teilnehmer mit einem Abschlusswiderstand versehen.
Bei CAN erfolgt über das Anschlusskabel häufig auch zugleich die Spannungsversorgung der Teilnehmer (V+ und V-).
Bei CAN kann jeder Teilnehmer von sich aus mit dem Senden beginnen. Alle Nachrichten erhalten eine Priorität. Eine Priorität ist in jedem System nur einmal vorhanden. Beginnen nun zwei Teilnehmer mit dem Senden, setzt sich die Nachricht mit der höheren Priorität durch. In Abbildung 75 beginnen zwei Teilnehmer gleichzeitig, eine Nachricht zu senden. Während des Sendens hören die Teilnehmer auf den Bus, ob die Information der von ihnen gesendeten Information entspricht.

CANopen

Ist die Weiterentwicklung des CAN-Busses. Überwiegend in Europa verbreitet, ist das Schicht-7 Kommunikationsprotokoll CANopen in der Automatisierungstechnik zu finden. Es wurde von überwiegend deutschen Firmen unter der Leitung von Bosch erarbeitet und ist als europäische Norm EN50325-4 standardisiert.
Das CANopen Protokoll nutzt als Übertragungsmedium den CAN-Bus (Schichten 1&2). Die Anwendungsschicht 7 (Application Layer 7) regelt unter anderem das zeitliche Verhalten auf dem Bus, die Verwendung der Identifier und das Netzwerkmanagement. Dies ermöglicht eine reibungslose Kommunikation von Geräten verschiedener Hersteller.
Grundsätzlich sind alle Geräte gleichberechtigt und jedes kann Daten senden und empfangen. Somit ist der Bus bei Ausfall eines Gerätes noch voll einsatzfähig. Jedes Gerät, welches als Steuergerät agiert, wird in dem CAN-Bus Knoten genannt und hat eine eigene Knotenadresse (Node-ID), unter der es verfügbar ist. Grundsätzlich unterscheidet CANopen zwischen Echtzeitdaten, die höher priorisiert über den Bus verschickt werden und Parameterdaten. Parameterdaten sind niedriger priorisiert und dienen meist der Initialisierung und Parametrierung von Knoten.

1.3.5 HART-Kommunikation, Modulation in der praktischen Messtechnik (HART)

In der praktischen Messtechnik, hier ist die Messtechnik im Bereich der Chemieproduktion, der Stromerzeugung, der Stahlerzeugung und vieler Bereiche mehr gemeint, die nicht die labortechnische Anwendung von Messverfahren und Messgeräten beinhalten, setzt sich der Wandel von der reinen Messwertübertragung (4...20mA) zur Messwertübertragung inklusive aufmodulierter Zusatzinformationen bzw. Konfigurierungsdaten immer weiter fort.

1.3.5.1 Warum zusätzliche Kommunikation

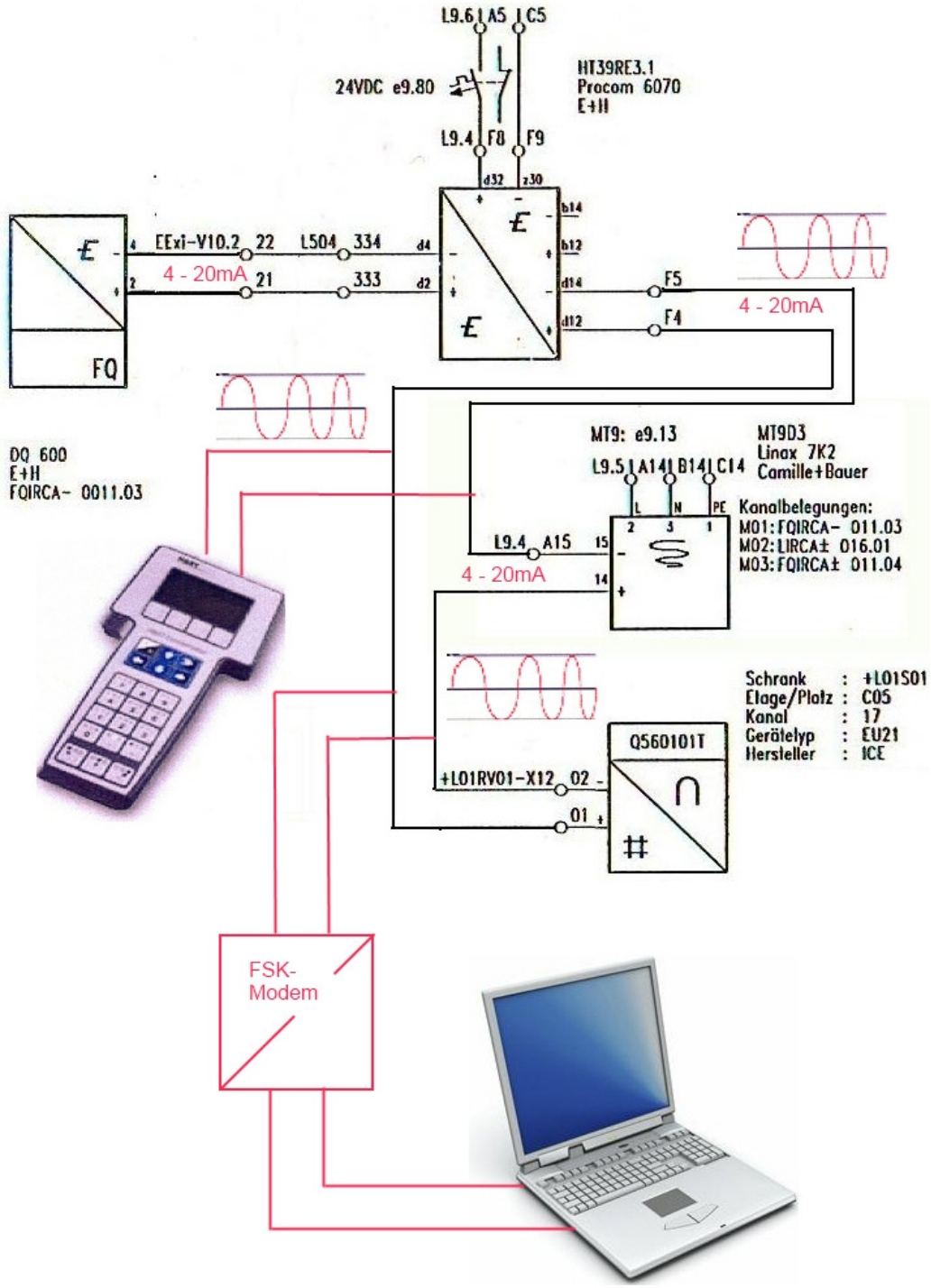
„4 bis 20 mA" ist ein bewährter Standard! Ist die Übertragung von Informationen nur in eine Richtung, vom Feld in die Prozessleitebene, aber noch zeitgemäß?

Nein. Das Feststellen der Funktionsfähigkeit aller Einheiten eines Feldgerätes, Diagnose, aber auch häufiges Einstellen neuer Arbeitsbereiche bei Chargenprozessen sowie Abgleich und Kommissionierung sind bei der herkömmlichen Technik überaus zeitaufwendig. Nur, Facharbeitermangel und hohe Ingenieurkosten warten nicht auf einen standardisierten Feldbus.

Die Lösung ist naheliegend:
Einsatz eines De-facto-Standards der digitalen Kommunikation unter Weiterverwendung der vorhandenen 4 bis 20 mA-Installation.
Mit dem HART-Protokoll (HART = Highway Addressable Remote Transducer, d.h. Protokoll für busadressierte Feldgeräte) steht eine industrieerprobte digitale Kommunikationsmöglichkeit für Feldgeräte zur Verfügung.

Smart-Messumformer u. a. für Druck, Temperatur, Füllstand, Durchfluss, Dichte sowie Stellgeräte und Regler verwenden das HART-Protokoll zum Übermitteln von

Mess-, Stell- und Gerätedaten. Das Protokoll ermöglicht darüber hinaus eine umfassende Systemintegration über Leitgeräte.



Vorteile des HART-Protokolls

- praxiserprobt, einfacher Aufbau
- gleichzeitig 4 bis 20 mA und digitale Kommunikation
- alternativ: Busbetriebsart ,,Multidrop" (Max 15 Feldgeräte bilden eine Kommunikationsverbindung
- ermöglicht Übertragung mehrerer Messgrößen aus einem einzigen Feldgerät
- hinreichende digitale Reaktionszeit von 500 ms
- offene Architektur
- steht jedem Hersteller oder Anwender zur freien Verfügung (offene Protokolldaten)

1.3.5.2 Arbeitsweise

Das HART-Protokoll arbeitet mit der Technik der Frequenzumtastung (FSK= Frequency Shift Keying), basierend auf dem Kommunikationsstandard Beil 202 [1]. Das digitale Signal Wird aus den beiden Frequenzen 1200 und 2200 Hz gebildet, die jeweils die Bitinformation 1 bzw. 0 repräsentieren. Sinuskurven mit diesen Frequenzen werden dem Gleichstrom im Adernpaar des Feldgerätes überlagert, siehe Bild.

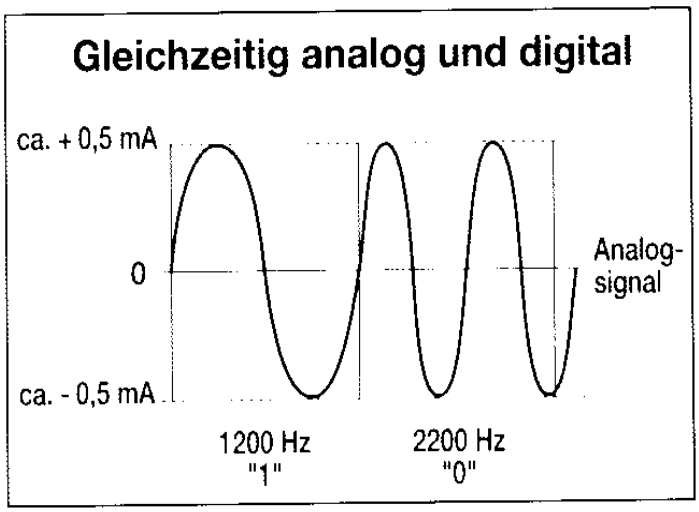
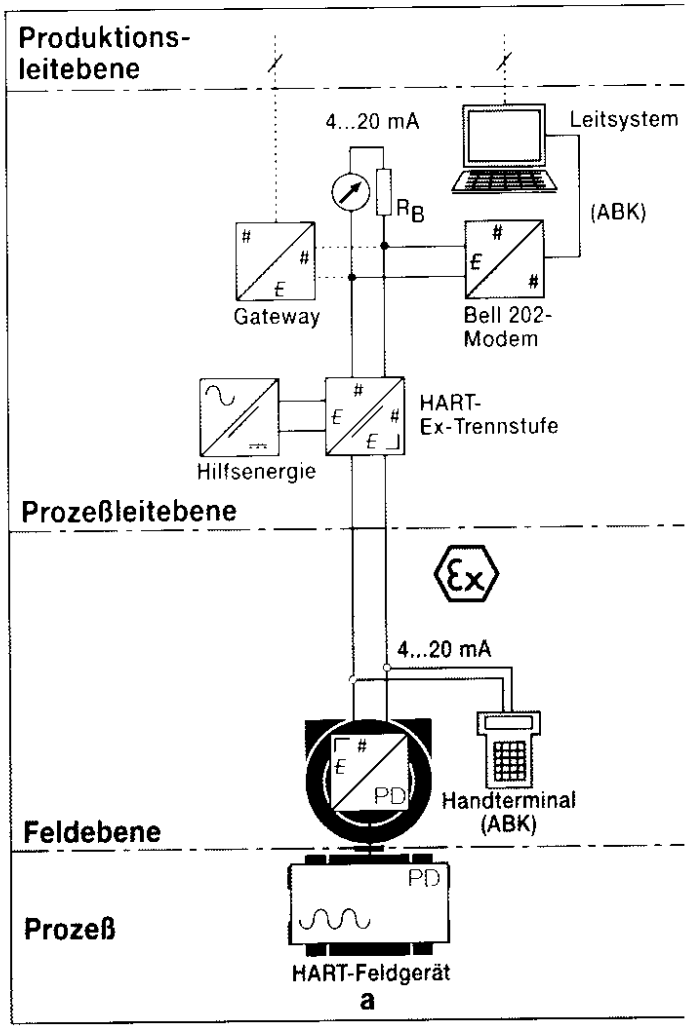


Bild 1
Weil der Signalmittelwert der Schwingung Null ist, beeinträchtigt die digitale Kommunikation ein eventuelles Analogsignal nicht.

Man erhält eine echte simultane Kommunikation mit einer Reaktionszeit von etwa 500 ms pro Feldgerät ohne Unterbrechung einer ggf. stattfindenden Analogsignalübertragung.



In jeder HART-Zusammenschaltung sind zwei Anzeige-Bediengeräte (ABK's, Anzeige-Bedienkomponenten) zugelassen:

ein primäres, im allgemeinen ein Leitsystem oder PC, und ein sekundäres, z. B. ein Handterminal oder ein Laptop.

Sie alle enthalten ein einfaches HART-Modem.

Standard-Handterminals, sogenannte UHI's werden zur Verfügung gestellt, damit die Bedienung im Feld möglichst einheitlich ist.
Gateways bieten weitere Vernetzungsmöglichkeiten

1.3.5.3 OSI-Modellstruktur

HART folgt dem Basis-Referenzmodell für die Kommunikation Offener Systeme (051) entwickelt von der Internationalen Organisation für Standardisierung (ISO) [3]. Das OSI-Modell liefert Struktur und Elemente für Kommunikationssysteme.

Das HART-Protokoll benutzt ein reduziertes OSI-Modell; es verwirklicht lediglich dessen Schichten 1, 2 und 7 siehe Bild 4.

OSI Basis-Referenzmodell
Kommunikation Offener Systeme

	Schicht	Beschreibung	HART
7	Verarbeitung	stellt formatierte Daten zur Verfügung	HART-Anweisungen
6	Darstellung	übersetzt Daten	
5	Kommunikationssteuerung	steuert den Dialog	
4	Transport	sichert die Teilnehmerverbindung	
3	Vermittlung	stellt Endsystem-verbindung her	
2	Sicherung	stellt gesicherte Systemverbindung her	HART-Protokollregeln
1	Bitübertragung	verbindet Geräte	Bell 202

Bild 4
Im HART-Protokoll sind die Schichten 1, 2 und 7 des OSI-Modells verwirklicht.

Schicht 1, die Bitübertragungsschicht, arbeitet mit der FSK-Technik, basierend auf dem Beil 202-Kommunikationsstandard:

Datenübertragungsrate: 1200 bit/s,
Frequenz für logisch „0": 2200 Hz,
Frequenz für logisch „1": 1200 Hz.

Der überwiegende Teil vorhandener Verdrahtung ist für diese Art digitaler Kommunikation verwendbar. Geeignet sind ungeschirmte aber kurze 0,2 mm²-Zweidrahtleitungen, weiterhin bis 1500 m einfach geschirmte Bündel verdrillter 0,2 mm-Adernpaare, während Entfernungen bis 3000 m mit einfachen geschirmten und verdrillten 0,5 mm²-Adempaaren überbrückt werden.
Im Kommunikationskreis muss eine Gesamtbürde im Bereich von 230 bis 1100 Ohm vorhanden sein. Sie ist in Bild 2 durch RB symbolisiert.

Schicht 2, die Sicherungsschicht, legt das Format eines HART-Telegramms fest.
HART ist ein Master-Slave-Protokoll. Jede Kommunikationsaktivität geht von einem Master, also einer Anzeige-Bedieneinheit aus.
Das angesprochene Feldgerät (Slave) interpretiert dann das empfangene Anweisungstelegramm und sendet ein Antworttelegramm zurück.

Der Aufbau dieser Telegramme geht aus Bild 5 hervor. Er sorgt für die notwendige Adressierung bei mehreren Anzeige-Bedieneinheiten und Feldgeräten in der Busbetriebsart.

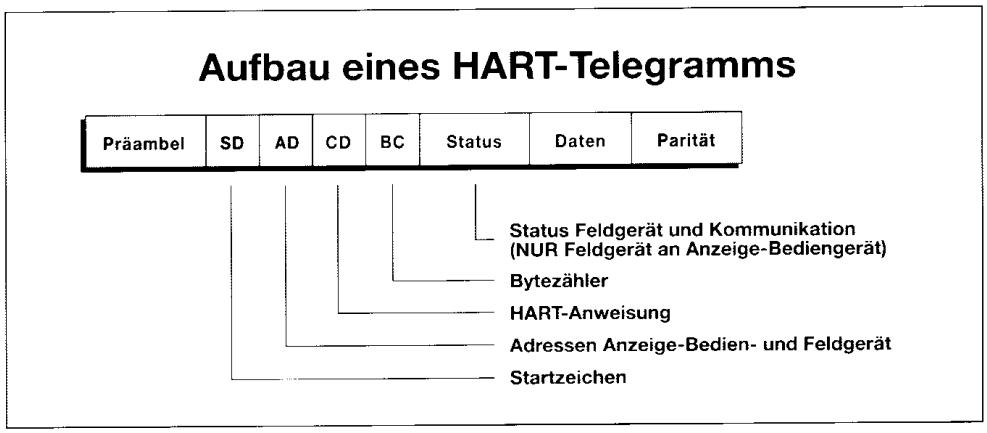


Bild 5
Der Aufbau des HART-Telegramms bietet eine hohe Datensicherheit.

Jede von einem Feldgerät auszuführende HART-Anweisung erfordert eine spezifische Größe des Datenteils. Der Bytezähler gibt jeweils die Zahl der nachfolgenden Status- und Datenbytes an.

Die Schicht 2 erhöht durch zwei Maßnahmen die Übertragungssicherheit:

Zum einen fügt sie das aus allen vorangegangenen Zeichen ermittelte Paritätszeichen an, und zusätzlich erhält jedes Zeichen ein Bit für ungerade Parität.

Die einzelnen Zeichen bestehen aus

1 Startbit,
8 Datenbits,
1 bit für ungerade Parität und
1 Stopbit.

Schicht 7, die Verarbeitungsschicht, setzt die HART-Anweisungen ein: Die Anzeige-Bedieneinheiten senden Telegramme mit Anweisungen für Sollwerte, Ist-werte und Parameter und solche für Dienste zur Inbetriebnahme und Diagnose.
Diese im Protokoll festgelegten Anweisungen erlauben den Feldgeräten ihre richtige Interpretation. Im Antworttelegramm empfangen die Anzeige-Bedieneinheiten Statusmeldungen und Daten von den Feldgeräten.

Mit dem Ziel des bestmöglichen Zusammenwirkens der HART-kompatiblen Geräte untereinander wurden Konformitätsklassen für Anzeige-Bediengeräte und Anweisungsklassen für Feldgeräte aufgestellt.

Derzeit drei Anweisungsklassen für alle Feldgeräte liefern eine schlüssige, uniforme Kommunikation:

Universelle Anweisungen
werden von allen Feldgeräten verwendet. Alle Feldgeräte, die mit dem HART-Protokoll arbeiten, verstehen diese Anweisungen.

Standardanweisungen
decken Funktionen ab, die von einer großen Zahl, jedoch nicht von allen Feldgeräten ausgeführt werden können. Diese Anweisungen bilden zusammen eine Bibliothek für die in den meisten Feldgeräten auftretenden Funktionen.

Gerätespezifische Anweisungen
sprechen Funktionen an, die lediglich auf ein individuelles Gerätemodell beschränkt sind. Diese Anweisungen greifen sowohl auf Informationen bezüglich Inbetriebnahme und Abgleich zu, als auch auf Daten über den Aufbau des Geräts.

In den meisten Geräten findet man Funktionen aus allen drei Klassen wieder: sämtliche Universelle Anweisungen, die passenden Standardanweisungen und die in dem individuellen Gerät notwendigen Gerätespezifischen Anweisungen.

1.3.5.4 Betriebsbedingungen

Das HART-Dokument [4] fordert eine Festigkeit gegenüber in die Leitungen eingekoppelten Störungen gemäß IEC 801-3 und -4 mit der Stärke 3. Allgemeine Störfestigkeitsanforderungen werden damit erfüllt.
Allein durch Zuschalten, Entfernen oder Ausfall eines Kommunikationsteilnehmers wird die Übertragung zwischen den übrigen Geräten ebenfalls nicht gestört.

Besondere Aufmerksamkeit muss den eigensicheren Anwendungen geschenkt werden. Ex-Trennstufen müssen die Bell 202-Frequenzen in beide Richtungen übertragen können, siehe Bild 2.

TECHNISCHE DATEN

DATENÜBERTRAGUNG

Art der Datenübertragung:
Frequenzumtastung (FSK) entsprechend Bell 202 bezüglich Bitübertragungsrate und der Frequenzen für die Bitinformationen "0" und "1".

Bitübertragungsrate:
1200 bit/s

Frequenz für Bitinformation "0":
2200 Hz

Frequenz für Bitinformation "1":
1200 Hz

Zeichenstruktur:
1 Startbit, 8 Datenbits, 1 bit für ungerade Parität, 1 Stopbit

Übertragungsrate für einfache Meßwerte:
ca. 2/s

maximale Gerätezahl in der Busbetriebsart:
mit zentraler Hilfsenergieversorgung: 15

Mehrgrößen-Spezifikation:
max. Meßgrößenzahl pro Feldgerät (ein Modem): 256
max. Meßgrößenzahl pro Telegramm: 4

Maximalzahl Leitgeräte:
zwei

Datensicherheit:

Bitübertragungsschicht:
Fehlerrate Empfängerschaltkreis : $1/10^5$ bit

Sicherungsschicht:
Erkannt werden: alle Gruppen von bis zu drei verfälschten Bits; nahezu alle längeren Gruppen und mehrfache Gruppen.

Verarbeitungsschicht:
Übertragung des Kommunikationsstatus im Antworttelegramm.

HARDWARE-EMPFEHLUNGEN

Leitungsaufbau und Grenzen für die Länge:

Entfernung (m)	Leitungstyp	min. Leiterquerschnitt AWG/(mm²)
≤ 1.500	mehrfach 2 adrig, verdrillt, gemeinsam geschirmt	24/0,2
> 1.500 ≤ 3.000	einfach 2 adrig, verdrillt, geschirmt	20/0,5

Aus den Anforderungen an die Signalform ergibt sich folgende Faustformel zur Bestimmung der max. Leitungslänge für eine gegebene Anwendung:

$$\ell = \frac{65 \cdot 10^6}{(R \cdot C)} - \frac{(C_f + 10.000)}{C}$$

wobei

- ℓ Länge in m,
- R Widerstand in Ω, Bürde plus Innenwiderstand des Ex-Trenners,
- C Leitungskapazität in pF/m,
- C_f maximale innere Kapazität der Smart-Feldgeräte in pF.

Als Beispiel sei ein Druckmeßumformer, ein Regelungssystem und ein einfaches geschirmtes Adernpaar mit

$$R = 250 \ [\Omega],$$
$$C = 150 \ [\text{pF/m}],$$
$$C_f = 5.000 \ [\text{pF}]$$

angenommen:

$$\ell = \frac{65 \cdot 10^6}{(250 \cdot 150)} - \frac{(5.000 + 10.000)}{150}$$

$$\ell = 1.633 \ [\text{m}]$$

Beachte:
In eigensicheren Anwendungen können weitere Beschränkungen vorliegen.

Zu eingehenderen Untersuchungen der Funktionsfähigkeit einer gegebenen Zusammenschaltung sollte die Spezifikation der Bitübertragungsschicht im HART-Dokument [4] herangezogen werden.

1.3.5.5. Grundbegriffe der Modulation durch Tastung

Gleich- und Wechselstromtastung

Tastung ist eine sehr einfache Art der Modulation. Bekanntlich lässt sich allein durch Ein- und Ausschalten eines Lichtstrahls eine Nachricht übertragen. Bei den elektrischen Modulationsverfahren dieser Art spricht man von Tastung.
Hierbei kann ein getasteter Gleichstrom über eine Leitung übertragen werden, um am anderen Ende z.B. ein Relais zu betätigen. Man spricht dann von Gleichstrom-tastung.
Man hat in der Telegrafie den Einfachstrombetrieb, wenn der Gleichstrom lediglich aus- bzw. eingeschaltet wird, den Doppelstrombetrieb, wenn zur Übertragung der beiden Zustände der Strom umgepolt wird.

Wird eine Wechselspannung als Träger der Information verwendet, dem durch Aus- und Einschalten die Nachricht aufmoduliert wird, hat man Wechselstromtastung.
Die Trägerfrequenz kann sowohl im Ton- als auch im Hochfrequenzbereich liegen.
je nachdem, ob bei der Wechselstromtastung der Signalparameter ,,Amplitude', ,,Frequenz" oder ,,Phase" getastet wird, spricht man von Amplituden-, Frequenz- oder Phasenumtastung (Bild 8.1).

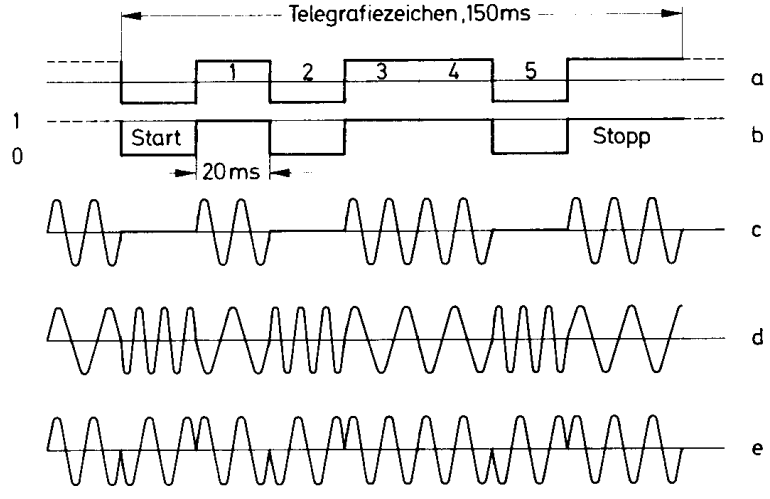


Bild 8.1 Telegrafiezeichen „F"
a) Doppel-,
b) Einfachstrom-,
c) Amplituden-,
d) Frequenz-,
e) Phasentastung

Es versteht sich, dass nur digital vorliegende Nachrichten, also z.B. Morsezeichen oder binär-kodierte Fernschreibzeichen oder Daten aufmoduliert werden können.
Bei Umtastung spricht man zuweilen auch von „Shiftung“ (angelsächsische Literatur, to shift = wechseln, umspringen).
Man unterscheidet:

ASK = Amplitude Shift Keying
Amplitudentastung

FSK = Frequency Shift Keying
Frequenztastung

PSK = Phase Shift Keying
Phasentastung