

Kapitel 6

Messwertübertragung

In diesem Kapitel wird die Technik vorgestellt, die die Verbindung vom Sensor zum Menschen bzw. zu dem Ort, wo die anfallenden Messwerte benutzt und ausgewertet werden, herstellt (siehe Abbildung 6.13). Dabei werden vor allem moderne Messkonzepte betrachtet und nicht die traditionellen elektromechanischen Registriergeräte in Form von Klarsichtschreibern.

Die Übertragungstechnik spielt in der wasserwirtschaftlichen Messtechnik eine wesentliche Rolle, da die Messstellen meist weit von den Verarbeitungsstellen entfernt sind. Bei Wasserwerken können dabei Entfernungen von einigen hundert Metern bis einigen Kilometern auftreten. Bei Grundwasser-, Altlasten-, Deponie- oder Oberflächenwasser-Monitoringsystemen kann die Entfernung von wenigen bis zu einigen zehn Kilometern und mehr betragen. Neben der Entfernung spielen die Zugänglichkeit zu den Messstellen und die klimatischen Bedingungen eine Rolle. Auch technische Sicherheitsfaktoren können zwingende Gründe sein, die Messwerte übertragen zu müssen. An Übertragungstechnik werden folgende Arten unterschieden:

- drahtlos und
- drahtgebunden

Außerdem unterscheidet man zwischen

- direkter Übertragung und
- modulierter Übertragung.

Aus diesen vier Varianten haben sich in der Praxis die drei Arten

- Zweidrahtleitung (drahtgebunden und direkt)
- Fernsprechleitung (drahtgebunden und moduliert) und
- Funktechnik (drahtlos und moduliert)

bewährt.

6.1 Zweidrahtleitung

Bei der Zweidrahtleitung (siehe Abbildung 6.1) werden die zeitabhängigen Signale, die die Sensoren liefern, direkt übertragen.

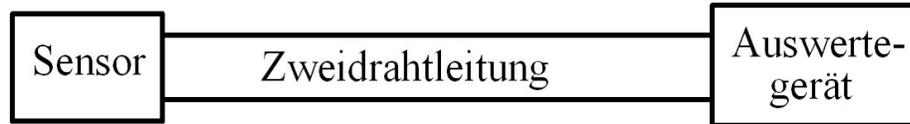


Abbildung 6.1: Verbindung mittels Zweidrahtleitung

Die Zweidrahtleitung ist zwar die einfachste Verbindung zwischen Sensor und Auswertegerät, aber auch die stör anfälligste. Die wesentlichen Störungen entstehen durch die Einstrahlung elektromagnetischer Felder und durch den endlichen OHMSchen Widerstand der Leitung. Auch kapazitive und induktive Eigenschaften der Leitung können sich störend bei der Übertragung auswirken.

6.1.1 Störeinstrahlung

Die wesentlichsten elektromagnetischen Störstrahlquellen sind Starkstromanlagen und Hochfrequenzsender. Als Starkstromanlagen kommen dabei Hochspannungsfreileitungen, elektrische Maschinen (z.B. Pumpen), erdverlegte Starkstromleitungen (z.B. Zuleitungen zu Pumpen), Transformatorstationen und Notstromaggregate in Betracht.

Die Beseitigung der Störeinstrahlung ist meist ein Versuchsprozess, bei dem mehrere Methoden probeweise anzuwenden sind. Die Auswirkung der Störeinstrahlung und der Erfolg der Abschirmmethode lassen sich am besten an einem Oszillograf verfolgen.

Folgende Methoden zur Verringerung der Störeinstrahlung auf die Messleitung haben sich in der Praxis bewährt:

- Lageänderung
- Verdrillung
- Abschirmung
- Erdung
- Stromsignal

6.1.1.1 Lageänderung

Die Stärke der Störeinstrahlung ist abhängig von der Entfernung zwischen Starkstromanlage und Messleitung (siehe Abbildung 6.2). Weiterhin sollten Messleitungen und Starkstromleitungen nie parallel verlaufen, da dann die Anzahl der Feldlinien, die von der Messleitung aufgenommen werden, maximal sind. Starkstromleitungen sollten von der Messleitung im rechten Winkel überquert werden.

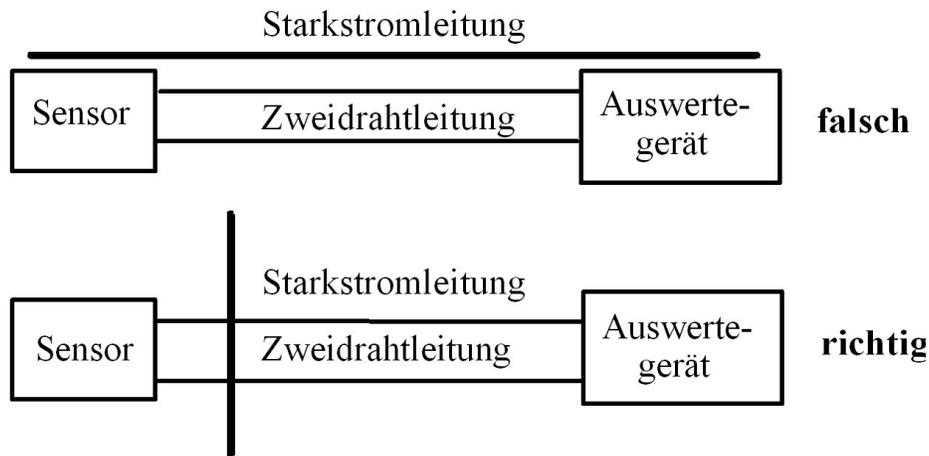


Abbildung 6.2: Lageverhältnisse zwischen Messleitung und Starkstromleitung

6.1.1.2 Verdrillung

Durch das Verdrillen der Messleitung (siehe Abbildung 6.3) erhält jede Leitungsader den gleichen Anteil an Störeinstrahlung. Am Eingangswiderstand des Auswertegerätes können sich dann beide Anteile der Störeinstrahlung der einzelnen Leitungen kompensieren, da sie mit einer Phasenverschiebung von 180° eintreffen.

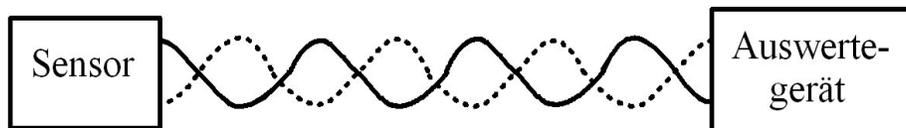


Abbildung 6.3: Verdrillte Zweidrahtleitung

6.1.1.3 Abschirmung

Bei der Abschirmung wird um die Zweidrahtleitung ein FARADAYScher Käfig in Form eines Kupfernetzes gelegt (siehe Abbildung 6.4). Der FARADAYSche Käfig bewirkt, dass alle elektromagnetischen Felder, die von außen auf ihn einwirken, in ihm Ströme induzieren. Diese

können über einen so genannten Masse- bzw. Erdanschluss abgeleitet werden. Oft wird die Abschirmung gleichzeitig als einer der Leiter genutzt. (siehe Abbildung 6.4, Koaxialkabel)

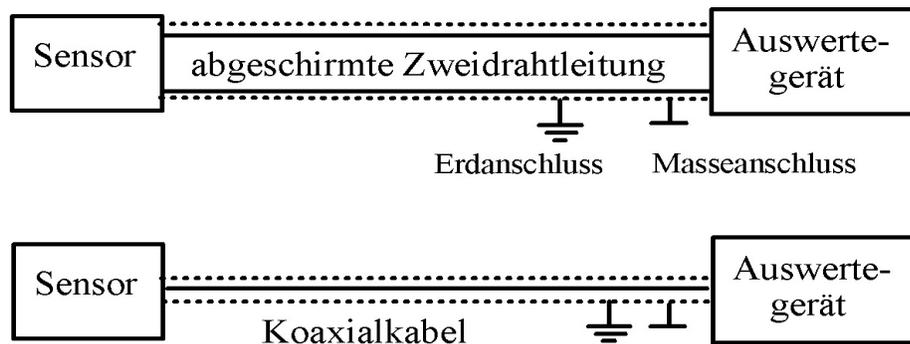


Abbildung 6.4: Abgeschirmte Zweidrahtleitung

6.1.1.4 Erdung

Bei der Erdung geht es darum, dass Ströme über den so genannten Masse- bzw. Erdanschluss auf das Nullpotential (ungestörte Gleichspannung mit dem Wert $U = 0\text{ V}$) abgeleitet werden (siehe Abbildung 6.5). Die Erdung darf nur an einem Punkt erfolgen (Sensor oder Auswertegerät), da sonst so genannte Erdschleifen entstehen. Es sollten auch **alle** an der Messkette beteiligten Geräte an **einem** zentralen Platz gemeinsam geerdet werden.



Abbildung 6.5: Geerdete Zweidrahtleitung

6.1.1.5 Stromsignal

Die elektromagnetischen Störungen induzieren in den Leitungen einen Störstrom. Dieser Störstrom bewirkt über den Eingangswiderstand des Auswertegerätes entsprechend dem OHMSchen Gesetz eine Störspannung, die proportional dem Eingangswiderstand ist ($U_S = I_S \cdot R_e$). Bei Spannungsmessgeräten wird mit Eingangswiderständen von $R_e > 10^6\ \Omega$ gearbeitet. Bei der Verwendung von Strommesssignalen kommen Auswertegeräte mit sehr kleinen Eingangswiderständen (ca. 0,1 bis $1\ \Omega$) zum Einsatz.

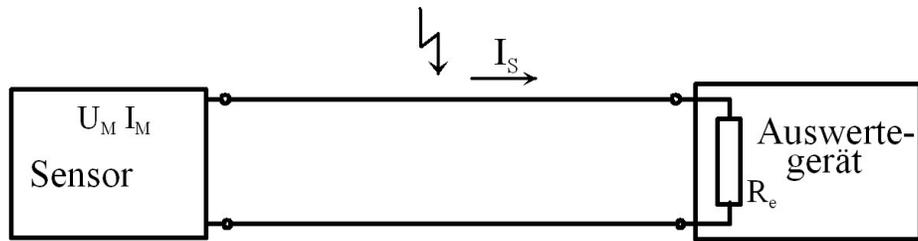
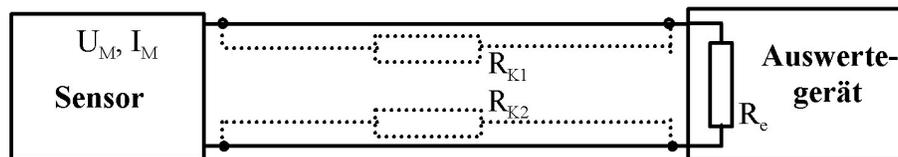


Abbildung 6.6: Verwendung von Stromsignalen

6.1.2 Kabelwiderstand

Bei den Entfernungen, die im Bereich der Wasserwirtschaft auftreten, muss man davon ausgehen, dass der OHMSche Widerstand von Kupferleitungen nicht mehr vernachlässigbar klein ist (Abbildung 6.7). Der Kabelwiderstand R_K berechnet sich zu:



Ersatzschaltbild

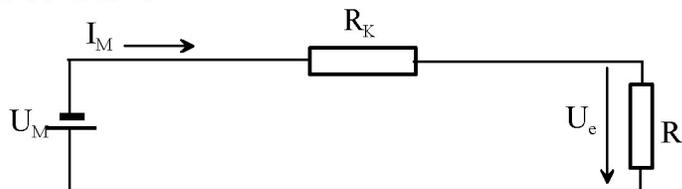


Abbildung 6.7: Wirkungsweise des Kabelwiderstandes

$$R_K = R_{K1} + R_{K2} = \rho \cdot \frac{2 \cdot l}{A} \quad (6.1)$$

ρ spezifischer Widerstand

l Leitungslänge

A Querschnitt.

Für handelsübliche Messkabel gilt:

spez. Widerstand (Kupfer) $\rho = 0,0175 \Omega \text{ mm}^2 / \text{m}$

Querschnitt $A = 0,1 \text{ bis } 0,2 \text{ mm}^2$

Das bedeutet, dass eine Leitung von einer Länge $l = 100\text{ m}$ einen Kabelwiderstand von $R_K = 35\ \Omega$ besitzt. Hinzu kommt noch, dass dieser Widerstand stark temperaturabhängig ist (siehe Abschnitt 4.4.4.1 Widerstandsthermometer). Dabei kann man für Kupfer von einem Temperaturkoeffizienten von $TK = 0,0038\text{ K}^{-1}$ ausgehen.

Entsprechend den Rechenregeln für Stromkreise, das Maschengesetz bzw. die Spannungsteilerregel, entsteht entlang dem Messkabel ein Spannungsabfall von:

$$U_K = R_K \cdot I_M \quad (6.2)$$

d.h. am Auswertegerät liegt nur eine Eingangsspannung von

$$U_e = U_M - U_K = U_M - R_K \cdot I_M \quad (6.3)$$

$$U_e = U_M \cdot \left(1 - \frac{R_K}{R_K + R_e}\right)$$

I_M Messtrom

U_M Messspannung

U_e Eingangsspannung

U_K Spannungsabfall entlang dem Übertragungskabel

R_e Eingangswiderstand

R_K Kabelwiderstand, Leitungswiderstand

an. Daraus erkennt man, dass der Fehler, d.h. der Spannungsverlust auf der Zweidrahtleitung, um so kleiner ist, je höher der Eingangswiderstand R_e des Messgerätes ist. Damit erhöht sich aber der Einfluss von Störspannungen (vgl. den obigen Abschnitt Stromsignal auf Seite 279).

Die Benutzung von Stromsignalen bieten auch hier eine Alternative, denn der aufgeprägte Messstrom I_M wird verlustfrei in das Auswertegerät übertragen, da keine Verzweigung innerhalb der Zweidrahtleitung auftritt.

6.1.3 Kabelkapazität

Einige Sensoren arbeiten auf kapazitiver Basis (siehe z.B. Abschnitt 4.4.1.3, S. 94), oder es müssen Wechselspannungen übertragen werden (z.B. Leitfähigkeitssensor, Abschnitt ??, Seiten ?? ff). Bei derartigen Messprinzipien kann die Auswirkung der Kabelkapazität meist

nicht vernachlässigt werden. Die Kabelkapazität wächst proportional mit der Länge des Kabels. Meist wird von dem Hersteller eine längenbezogene (auf 1 m) Kapazität angegeben. Je nach Kabeltyp liegt sie in der Größenordnung von ca. $C = 0,2$ bis 10 nF/m . Die störende Auswirkung liegt zum einem in der Parallelschaltung dieser Kabelkapazität zum Sensor (siehe Abbildung 6.8). Dabei entsteht ein Messwert, der um diesen Betrag vergrößert ist. Andererseits fließt bei Wechselspannung ein Leckstrom zwischen den Leitungsadern. Dieser Strom wächst proportional mit der Frequenz.

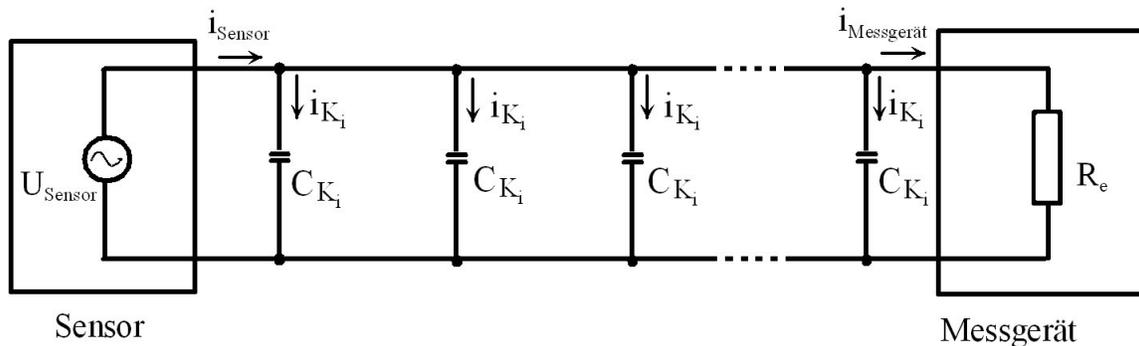


Abbildung 6.8: Wirkungsweise der Kabelkapazität

$$i_K = \omega C_K \cdot u = 2\pi f \cdot \frac{\varepsilon \cdot A}{d} \quad (6.4)$$

A wirksame Flächen

C_K Kapelkapazität

d Abstand zwischen den Leitern

i_K kapazitiver Strom

u anliegende Spannung

ε Dielektrizitätskonstante

ω Kreisfrequenz

Bei Hochfrequenzanordnungen kommen noch weitere Probleme, wie Anpassung, stehende Wellen und Reflexionsfaktor, hinzu.

6.2 Modulierte Datenübertragung

Der Unterschied zwischen Fernsprechleitung und Zweidrahtleitung besteht in der Verwendung des Leitungsmaterials. Hier können vor allem auch bestehende Leitungssysteme des öffentlichen Fernsprechnetzes oder betriebseigene Systeme benutzt werden. Bei der Nutzung öffentlicher Datennetze werden folgende technischen Merkmale unterschieden:

Netzart	Standleitung oder Wählnetz
Vermittlungsart	leitungsvermittelt oder paketvermittelt
Betriebsart	duplex (dx), halbduplex (hdx) oder simplex (sx)

Der weitere wesentliche Unterschied besteht darin, dass das Messsignal nicht mehr direkt übertragen, sondern auf einen Wechselspannungsträger moduliert wird. Dabei haben sich drei Arten durchgesetzt:

- Amplitudenmodulation
- Frequenzmodulation
- Pulscodemodulation

Kernstück der modulierten Datenübertragung sind neben der eigentlichen Übertragungsstrecke die so genannten **Modems**. Dies sind Geräte, die die Modulation bzw. die Demodulation vornehmen (siehe Abbildung 6.9). Dabei ist darauf zu achten, dass die Geräte immer paarweise einzusetzen sind (nach Möglichkeit gleiche Fabrikate).

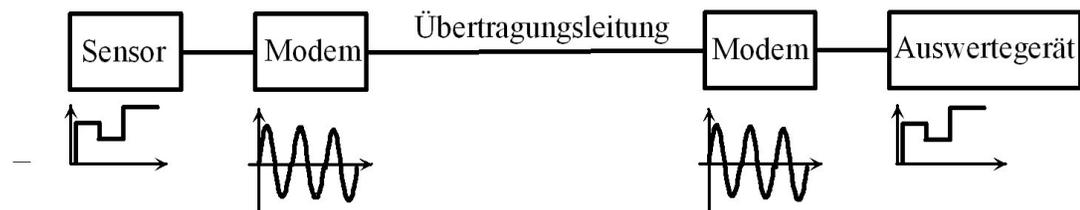


Abbildung 6.9: Signalwandlung und Übertragung beim Einsatz von Modems

6.2.1 Amplitudenmodulation

Bei der Amplitudenmodulation wird der Sensorspannung eine Amplitude einer Niederfrequenzschwingung (bei Übertragung über Fernsprechkabel) oder einer Hochfrequenzschwingung (bei drahtloser Übertragung) zugeordnet. Die Frequenz der Schwingung ist dabei unabhängig vom Messsignal (siehe Abbildung 6.10).

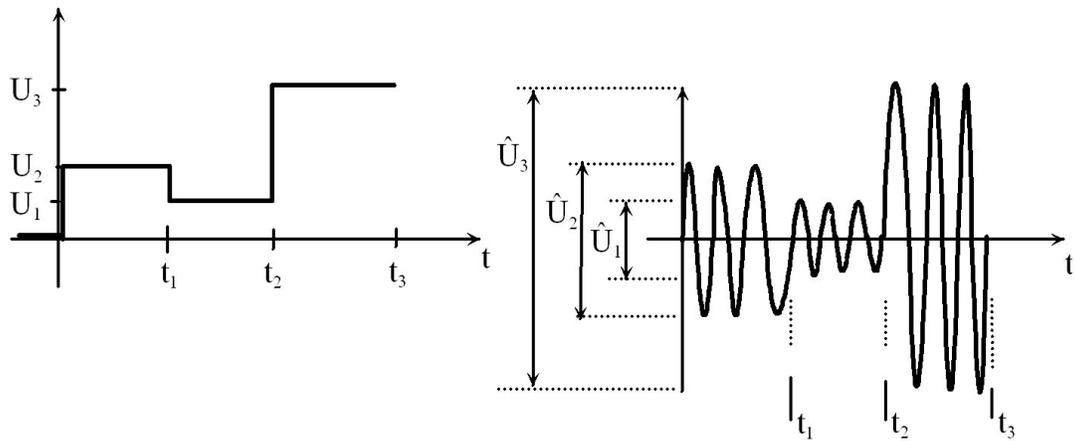


Abbildung 6.10: Signaldarstellung bei Amplitudenmodulation

6.2.2 Frequenzmodulation

Bei der Frequenzmodulation wird die Frequenz einer Sinusschwingung proportional zur Sensorspannung gesteuert (siehe Abbildung 6.11). Die Amplitude spielt bei diesem Verfahren keine Rolle, so dass sich Übertragungsstörungen nicht auf den Informationsparameter auswirken. Die Frequenzmodulation wird meist bei der drahtlosen Übertragungstechnik angewendet.

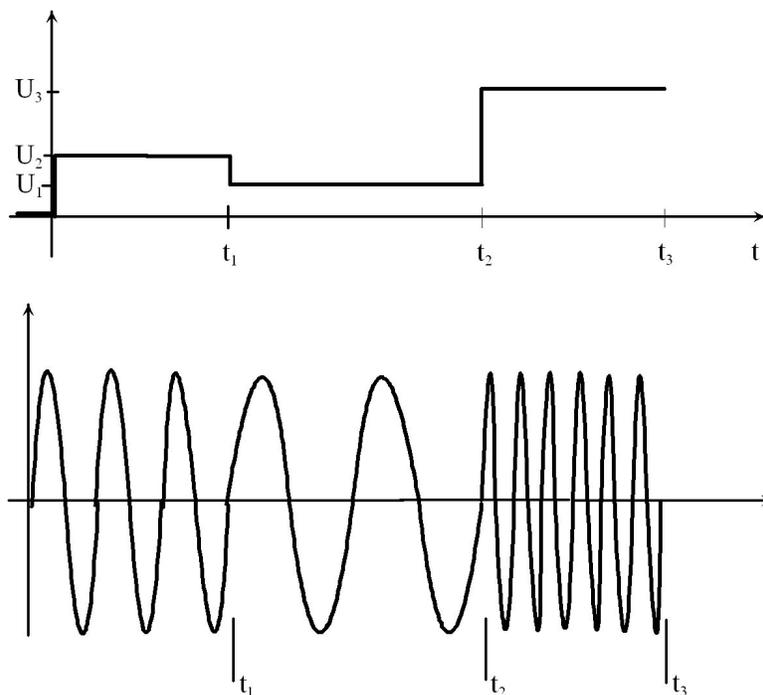


Abbildung 6.11: Signaldarstellung bei Frequenzmodulation

6.2.3 Pulscodemodulation

Bei der Pulscodemodulation wird der Messwert, z.B. die Sensorspannung, zeit- und amplitudenbezogen abgetastet. Anschließend erfolgt die Kodierung der amplitudenquantisierten Abtastwerte (siehe Abbildung 6.12). Der Vorteil besteht vor allem darin, dass sich Störungen im Übertragungsweg nur sehr gering auswirken. Auf der Empfangsseite kann das eventuell gestörte Signal elektronisch leicht regeneriert werden, da es in quantisierter Form mit bekanntem Pegel und Zeitverhalten vorliegt. Der Nachteil dieses Verfahrens liegt in der Methodik der Quantisierung begründet (siehe 4.1.4 Quantisierung). Der technische Aufwand steigt vor allem bei kleiner werdenden Amplitudenschrittweiten.

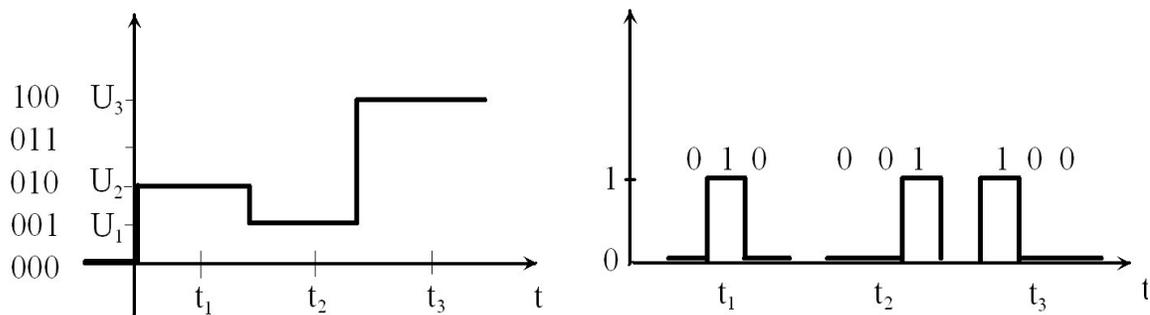


Abbildung 6.12: Signaldarstellung bei der Pulscodemodulation

6.3 Standardschnittstellen

In dem Prozess der Messwertübertragung von der Informationsgewinnung bis zur -auswertung müssen die Messwerte eine Reihe von Geräten passieren und unterliegen dabei einigen Wandlungen. Man spricht dabei davon, dass das Signal eine Messkette durchlaufen muss (siehe Abbildung 6.13). Auf Grund der Vielzahl unterschiedlichster Hersteller von Teilen der Messkette und der unterschiedlichsten Messaufgaben kann es zu Schwierigkeiten bei der Zusammenschaltung der verschiedenartigen Geräte kommen. Um solche Konfliktsituationen zu vermeiden und eine Variabilität der Geräte zu erreichen, ist es sinnvoll, Geräte zu verwenden, die aufeinander abgestimmt sind. In solchen Fällen kann das Ausgangssignal des einen Gerätes als Eingangssignal des nächsten problemlos genutzt werden. Die Verbindungsstelle zwischen zwei Geräten wird als Schnittstelle bezeichnet. Die Schnittstellen werden z.B. durch die Art der Signaldarstellung, durch den maximalen Signalpegel, aber auch durch die Buchsenart gekennzeichnet. Vereinheitlichte Schnittstellen (siehe Abbildung 6.14) werden als standardisierte Schnittstellen gekennzeichnet. Mit der weiteren Einbeziehung der Mikrorechentechnik in den Messprozess hat man es nicht nur mit **analogen**, sondern auch mit **digitalen** Schnittstellen zu tun, wobei die Bezeichnung entsprechend des zu übertragenden Signals gewählt wird.

6.3.1 Analoge Standardschnittstellen

Die verschiedenartigen Sensoren liefern stark unterschiedliche Signalarten. So treten z.B. Ströme, Spannungen, Kapazitäten, Frequenzen oder Impulse auf. Meist unterscheiden sich die Messwerte gleicher Arten noch wesentlich hinsichtlich ihres Maximalwertes und ihrer Dynamik. Um an diese Vielzahl einheitliche Auswertegeräte anschließen zu können, ist es notwendig, eine Standardisierung der Schnittstellen durchzuführen. Für die analoge Signalverarbeitung hat sich dabei die Einführung der so genannten **Einheitssignale** durchgesetzt. Dabei werden Einheitsstrom - und Spannungssignale unterschieden.

Tabelle 6.1: Übersicht über die Einheitsmesssignale

Einheitssignale	Lastwiderstand	Anwendung	
Strom	0 bis 5 mA	0 bis $1.6k\Omega$	Informationsgewinnung
	0 bis 20 mA	0 bis 500Ω	Informationsübertragung
	4 bis 20 mA		Feldgeräte
Spannung	0 bis 10 V	$> 2,4k\Omega$	Informationsverarbeitung
	0 bis 5 V		

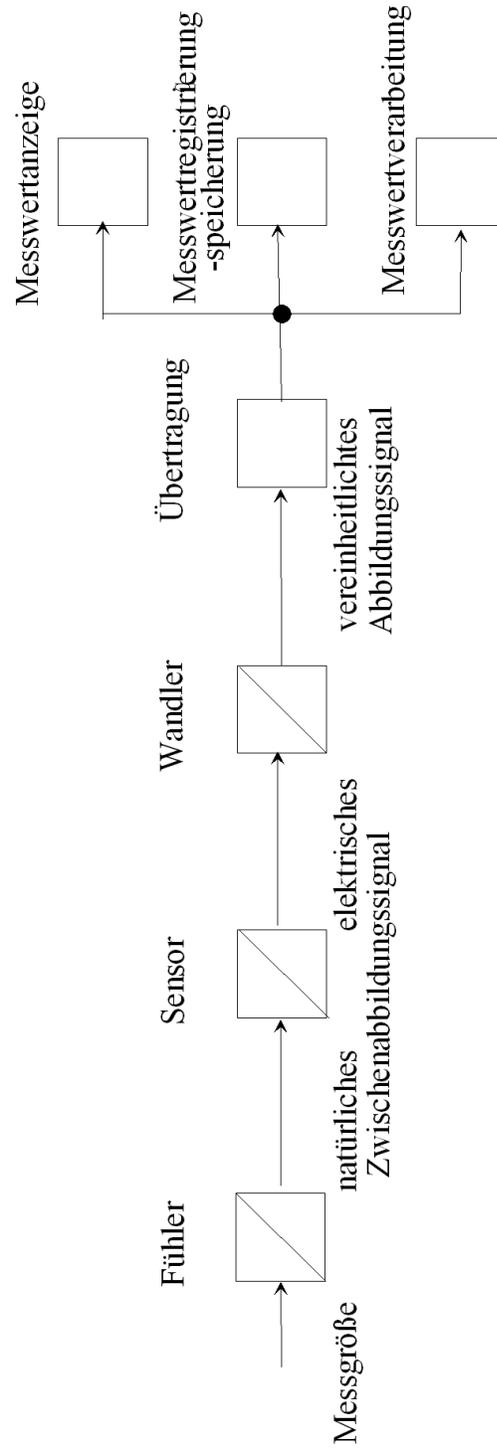


Abbildung 6.13: Schematische Darstellung der Messkette

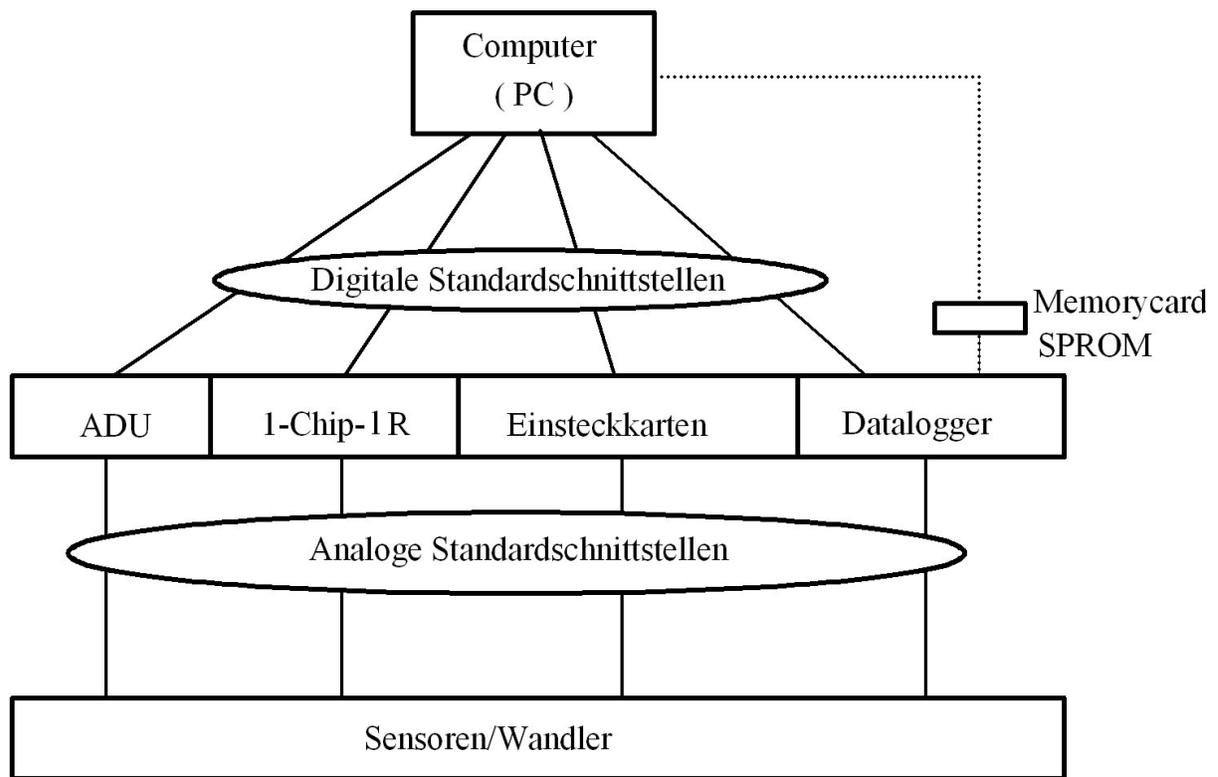


Abbildung 6.14: Schnittstellen innerhalb der Messkette

Die Gesamtheit aller Signalparameter bezeichnet man als **Signalinterface**. Außer den aufgeführten elektrischen Werten gehören zur Standardisierung auch die Festlegungen über die Innenwiderstände der Signalquellen und Toleranzen, sowie über die konstruktive Lösung der Steckverbindungen. Aus den Sensorsignalen werden derartige Einheitssignale mittels Wandler erzeugt.

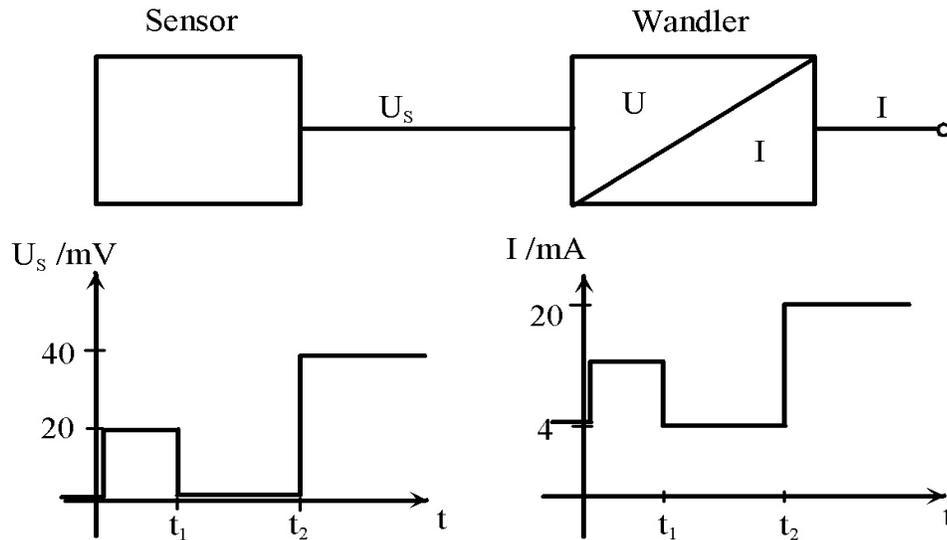


Abbildung 6.15: Beispiel der Wandlung eines Spannungssignals in ein Einheitsstromsignal

Entsprechend der allgemeinen Wandlergleichung $x_e = k \cdot x_a$ gilt für die Wandlung eines Sensorsignals x_{eS} in ein Einheitssignal x_{aE} :

$$\frac{(x_{es} - x_{emin})}{(x_{emax} - x_{emin})} = \frac{(x_{aE} - x_{amin})}{(x_{amax} - x_{amin})} \quad (6.5)$$

$$x_{es} = \frac{(x_{aE} - x_{amin})}{(x_{amax} - x_{amin})} \cdot (x_{emax} - x_{emin}) + x_{emin}$$

Eine besondere Bedeutung hat in der Messtechnik die Verwendung des Einheitsstromsignales erlangt. Dies basiert auf den Vorteilen des Stromsignales bei der drahtgebundenen Übertragung von Messwerten. Insbesondere werden Stromsignale weder durch elektromagnetische Störstrahlungen (Abschnitt 6.1.1.5 Stromsignale, Seite 279) noch durch Leitungswiderstände (Abschnitt 6.1.2 Stromsignale, Seite 280) verfälscht, wie dies bei Spannungssignalen der Fall ist.

Im Beispiel der Abbildung 6.15 wird die Wandlung einer Sensorspannung U_s in ein Einheitsstromsignal dargestellt. Dafür gilt folgende Wandlungsbedingung:

$$I = \frac{(U_s - U_{min})}{(U_{max} - U_{min})} \cdot (I_{max} - I_{min}) + I_{min} = \frac{U_s}{40 \text{ mV}} \cdot 16 \text{ mA} + 4 \text{ mA} \quad (6.6)$$

6.3.2 Digitale Standardschnittstellen

Für die digitalen Standardschnittstellen kommt die gleiche Notwendigkeit wie für die analogen zum Tragen. Digitale Schnittstellen werden auch als **Interfaces** bezeichnet. Ein Interface beschreibt die Gesamtheit der vereinheitlichten Bedingungen wie Funktion, Signalträger und Konstruktion der Schnittstelle. Eine spezielle Form des Interface stellt der **Bus** dar. Man spricht von einem Bus, wenn eine Verbindung zu mehreren Funktionseinheiten (Stationen) über ein für alle gemeinsames Leitungssystem existiert. Über diese Verbindung werden (digitale) Informationen ausgetauscht, und jede Funktionseinheit ist gleichwertiger Nutzer dieser Verbindung. Ein einfaches Interface stellt nur die Verbindung zwischen zwei Funktionseinheiten her. Es werden serielle und parallele Interfaces unterschieden. Die seriellen lassen sich noch in die synchronen und die asynchronen unterteilen. An digitalen standardisierten Interfaces werden vor allem die in Tabelle 6.2 dargestellten benutzt.

Tabelle 6.2: Gebräuchliche digitale Interface- und Bussysteme

Bezeichnung	Kennzeichen	Anwendung
Mikrorechnerbus	parallel	innerer Systembus
Feldbus	seriell, moduliert	äußerer Systembus
LAN	seriell	Vernetzung
IEEE 480	seriell	Automatisierungsgeräte
RS 232 C (V 24)	seriell	Datenverarbeitungsgeräte
Centronics	parallel	Datenverarbeitungsgeräte

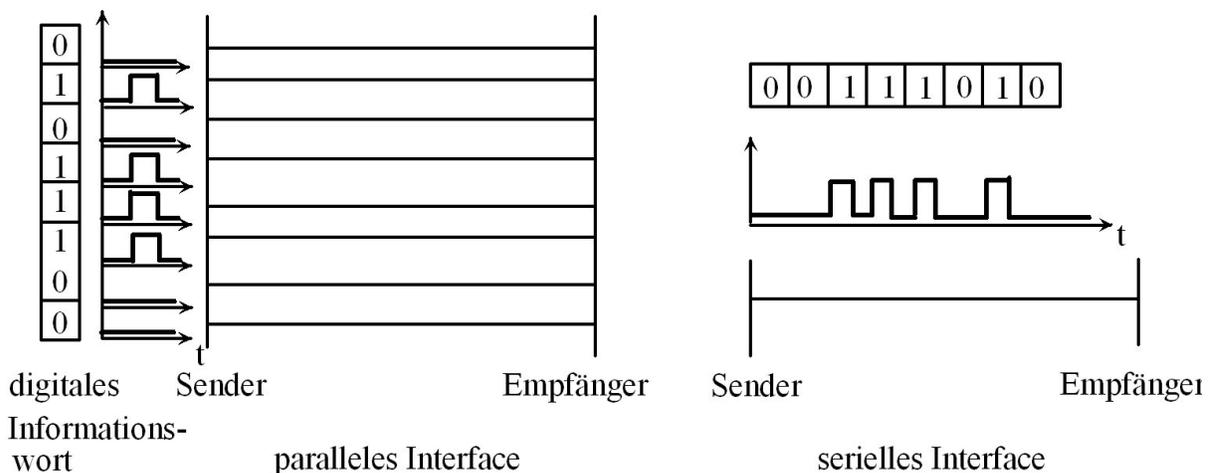


Abbildung 6.16: Parallele und serielle Informationsübertragung

Für die sehr unterschiedlichen Anforderungen hinsichtlich Übertragungsentfernung, -geschwindigkeit und Informationsmenge muss das entsprechende Interface ausgewählt werden (siehe Abbildung 6.16). Parallele Interface- bzw. Bussysteme übertragen die einzelnen Bits der digitalen Information gleichzeitig über ein Leitungsbündel. Die Anzahl der Leitungen

ist dabei abhängig von der Breite des digitalen Informationswortes (z.B. 8-, 12-, 16- oder 64-Bit) und der Anzahl zusätzlicher Steuerinformationen für den Datenaustausch (z.B. Paritätsbit, Ready-Signal). Die Übertragung erfolgt relativ schnell, ist jedoch wegen der relativen Laufzeitunterschiede auf den einzelnen Leitungen und ökonomisch wegen des zu hohen Aufwandes bei der Verkabelung auf sehr kurze Entfernungen (kleiner als 20 m) begrenzt. Serielle Interface- bzw. Bussysteme sind technisch auch über große Entfernungsbereiche geeignet und ökonomisch wegen der Einsparung von Verkabelungsaufwendungen vorteilhaft. Sie decken als Prozessbusse die in der Automatisierung interessanten Entfernungsbereiche bis etwa 5 km bei einer Übertragungsrates bis etwa 1Mbit/s ab. Bei dieser Art der Übertragung wird die digitale Information nacheinander auf ein- und dieselbe Leitung gegeben. Neben der einen Datenleitung werden meist noch ein oder zwei Steuersignalleitungen realisiert.

Starke Überschneidungen mit seriellen Prozessbussen weisen die so genannten lokalen Netze (LAN) auf, die aus der Büroautomatisierung stammen und der Datenkommunikation zwischen Rechnern und Peripheriegeräten dienen. Auf diesen Leitungen werden meist Datenblöcke auf Anforderung des Nutzers transportiert. Das Übertragungsmedium sind Koaxialleitungen oder für Hochgeschwindigkeitsnetze die Glasfasersysteme.

6.4 Redundanz

Die Messwerte können entsprechend der Platzierung der Messstellen stark unterschiedliche Wertigkeiten in ihrer Relevanz zum überwachten Prozess besitzen. So werden einige Messwerte nur zur Kontrolle gewonnen, andere dienen zur Prozessbeschreibung oder haben rechtlichen Charakter, d.h. dass bei Unterbrechung des Messvorganges in dem einen Fall keine negativen Erscheinungen und Folgen zu erwarten sind, in einem anderen Fall große finanzielle, ökologische oder rechtliche Konsequenzen auftreten können. Je nach Bedeutung des Messwertes muss die Sicherheit des Messsystems aufgebaut werden. Die Erhöhung der Verfügbarkeit erfordert fehlertolerierende Hardwarestrukturen, ergänzt durch spezielle Softwaremaßnahmen. Dabei hat sich die doppelte Ausführung von kritischen Einheiten bewährt. Eine Informationsdichte über das notwendige Maß zur Erkennung des Prozesses bezeichnet man als Redundanz. Jede Redundanz erhöht die Kosten für die Prozessüberwachung. Man sollte deshalb stets nur die Form der Redundanz wählen, die erforderlich ist. Für die Erzielung solcher Redundanzen werden die folgenden Methoden (siehe auch Abbildung 6.17) verwendet:

Messwertredundanz: Es werden mehr Messwerte abgetastet (siehe Abschnitt 5.2 Abtastfehler, Zeit- oder Ortsabtastung), als es der dynamische Vorgang entsprechend dem Abtasttheorem erfordert. Mittels statistischer Methoden (z.B. gleitende Mittelwertbildung über n Messwerte) lassen sich zufällige Messfehler eliminieren. Bei Fehlen von einzelnen Messwerten kann trotzdem noch eine eindeutige Zustandsbeschreibung erfolgen. Es werden mehr unterschiedliche Messgrößen erfasst, als der Naturvorgang

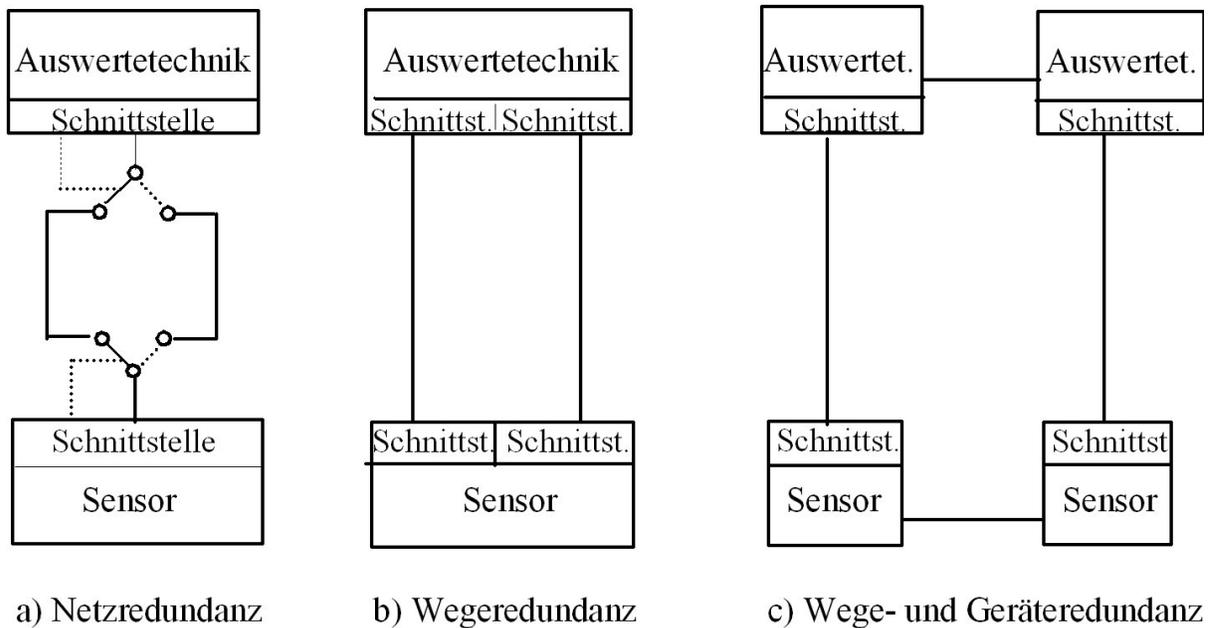


Abbildung 6.17: Beispiele redundanter Technik

an unabhängigen Variablen bzw. Zustandsgrößen bietet. Damit entsteht eine überbestimmte Beschreibung des Systems. Mittels der Methoden für überbestimmte Systeme lassen sich systematische und zufällige Messfehler eliminieren. Durch Fehlen einzelner Messwerte entsteht somit meist noch eine eindeutige Systembeschreibung.

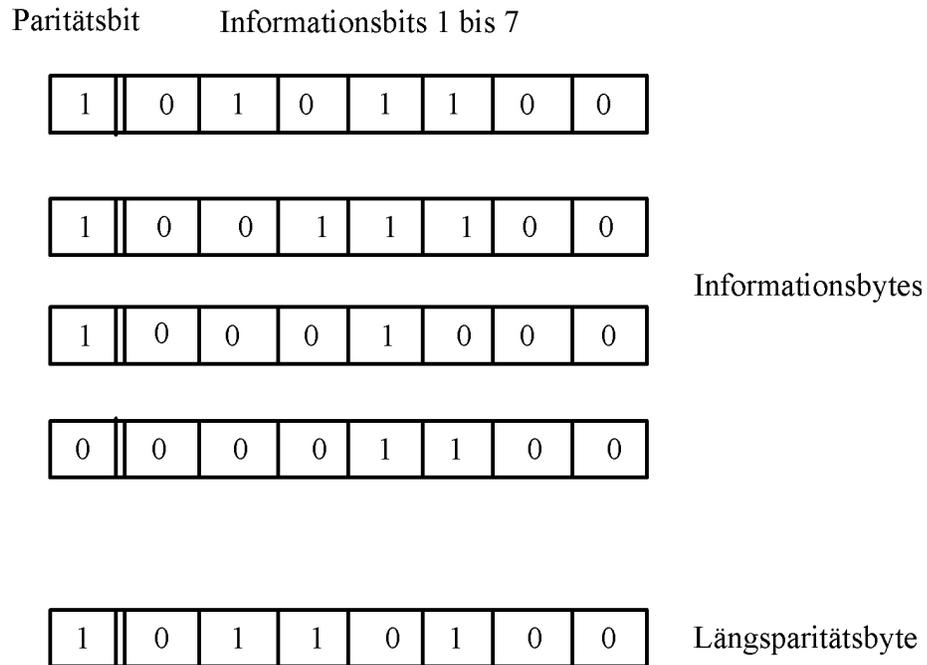
Netzredundanz: Der Übertragungsweg vom Sensor zur Auswertetechnik ist doppelt vorhanden. Bei einer Störung auf einer Leitung erfolgt eine Umschaltung auf die andere. Die Übertragung wird ständig über zwei verschiedene Wege durchgeführt. An Hand eines Vergleiches der beiden übertragenen Signale kann die Übertragungsqualität kontrolliert und mittels mathematischer Methoden eine Verbesserung des gestörten Signals erzielt werden (Signalrestaurierung).

Geräteredundanz: Die Sensoren und die Auswertetechnik werden doppelt ausgeführt. Damit wird eine doppelte Sicherheit bei der Informationsbehandlung erzielt.

Übertragungsredundanz: Bei der Übertragung digitalcodierter Informationen kann man durch die Einführung zusätzlicher Informationen eine Fehlererkennung bzw. Fehlerkorrektur erreichen. Solche zusätzlichen Informationen werden als Paritätsbit bzw. -byte bezeichnet (siehe Abbildung 6.18). Bei dem Paritätsbit, auch als Querparität bezeichnet, wird innerhalb jeder Byteübertragung ein Bit als Paritätsbit generiert und übertragen. Dabei werden geradzahlige (geradzahlige Anzahl der mit „1“ belegten Bitpositionen) und ungeradzahlige Parität unterschieden. Bei der Längsparität wird ein zusätzliches Byte generiert, welches die Anzahl der auf „1“ gesetzten Bits längs einer Spur auf Geradzahligkeit oder Ungeradzahligkeit ergänzt.

Wird eine Übertragung durch Kontrolle der Paritätsbits als fehlerhaft erkannt, so wird

diese Übertragung so oft wiederholt, bis sie fehlerfrei verläuft. Bei der Übertragung kleinerer Blöcke ist die Wahrscheinlichkeit der Fehlerfreiheit größer als bei großen.



Parität auf Geradzahligkeit gesetzt

Abbildung 6.18: Beispiele zur Bildung der geradzahligen Quer- und Längsparität

6.5 Übungsaufgaben

1. Was verstehen Sie unter dem Einheitsstromsignal und welche Vorteile besitzt dieses?
2. Im Praktikum haben Sie den Wasserstand mit einem Halbleiterdruckwandler gemessen.
Skizzieren Sie die physikalisch-elektrische Wirkungskette dieses Wandlers vom Wasserstand $[cm]$ bis zur Ausgabe eines elektrischen Stromes $[mA]$.
3. Für die Messung des Grundwasserstandes in der Nähe eines Flusses (Wasserfassung eines Uferfiltratwasserwerkes) soll ein automatisch arbeitendes Messsystem aufgebaut werden. Die Entfernung zwischen Messort und Verarbeitungsort beträgt ca. $300m$.
Skizzieren Sie die Messkette und ordnen Sie jedem Übertragungsglied entsprechende technische Details zu.
Begründen Sie Ihre Entscheidung und geben Sie die Vor- und Nachteile Ihrer ausgewählten technischen Lösung an.
Berechnen Sie den Fehler, der über die gesamte Messkette auftritt, d.h. vom Wasserstand bis zum Zahlenwert, den Sie weiter verarbeiten.
4. Die Wasserstandsmessung in einem Grundwasserbeobachtungsrohr (GWBR) soll mittels eines piezoresistiven Halbleiterdruckwandlers mit Einheitsstromausgang erfolgen. Skizzieren Sie die Glieder der Messkette vom Wasserstand bis zum Einheitsstromsignal mit den dazugehörigen Zwischengliedern und geben Sie die einzelnen Zwischensignale an.
Wie groß ist das maximale Einheitsstromsignal, wenn der minimale überstaute Wasserstand $1m$ und der maximale $2,5m$ beträgt?
5. Zur Kalibrierung eines Wasserstandsgebers nach dem piezoresistiven Druckmessverfahren wurden folgende Messwerte ermittelt.
 $h_1 = 0,10m \implies U_1 = 0V$;
 $h_2 = 1,10m \implies U_2 = 100mV$;
Berechnen Sie die Übertragungsverhältnisse für eine beliebige Wasserhöhe h !
Welche Kennlinienfehler besitzt dieser Wandler?
Wenn die Spannung in ein Einheitsstromsignal gewandelt wird, so ergeben sich welche Stromwerte I_1 und I_2 ?
Welcher Wasserstand würde herrschen, wenn ein Strom von $I = 12mA$ angezeigt wird?
6. Bewerten Sie die verschiedenen Übertragungssignale (Spannung, Strom, Widerstand, Einheitsstromsignal, Impulse, Digitale Interface) hinsichtlich ihrer Eigenschaften bei der Übertragung über eine Drahtleitung.
7. Der Volumenstrom in einer Kläranlage soll mittels eines VENTURI-Gerinnes mit Einheitsstromausgang gemessen werden.

Wie groß ist der Volumenstrom, wenn er minimal $0,05m^3/s$, maximal $1m^3/s$ ist und ein Einheitsstromsignal vom $14mA$ angezeigt wird?

8. Ein Pt100-Messfühler wird über eine $100m$ lange Zweidrahtleitung betrieben.
 $\rho_{Cu} \approx 0,02\Omega mm^2/K$, $TK \approx 0,004K^{-1}$, $A = 0,1mm^2$
 Berechnen Sie den Messfehler, der durch die verwendete Zweidrahtleitung entsteht.
 Berechnen Sie den Fehler, der durch eine Temperaturerhöhung um $10K$ entsteht.
9. Was verstehen Sie unter analogen bzw. digitalen Schnittstellen?
 Bewerten Sie die verschiedenen Schnittstellen hinsichtlich ihrer Übertragungseigenschaften.
10. Ein Sensor liefert Spannungswerte zwischen $U_{min} = 0V$ und $U_{max} = 100mV$. Der aktuelle Messwert beträgt $60mV$.
 Wie groß wäre das zu übertragende Einheitsstromsignal?
11. Die Spannung eines Magnetisch-Induktiven-Durchflussmessers soll in einem Wandler in ein Einheitsstromsignal umgewandelt werden.
 Zeichnen Sie den Verlauf des Einheitsstromsignals, wenn die Eingangsspannung folgenden Verlauf hat:

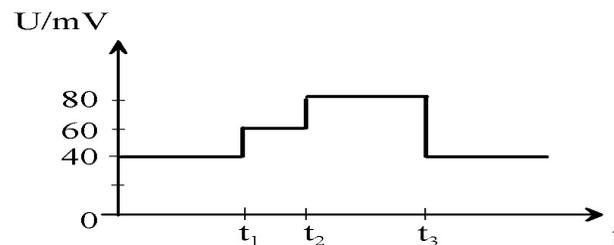


Abbildung 6.19: Beispiel des Spannungsverlauf eines MI D

12. Die Wasserstandsmessung soll mittels eines piezoresistiven Halbleiterwandler mit Einheitsstromausgang erfolgen.
 Skizzieren Sie die Glieder der Messkette vom Wasserstand bis zum Einheitsstromsignal mit den dazugehörigen Zwischengliedern und geben Sie die einzelnen Zwischensignale an.
 Wie hoch ist der überstaute Wasserstand, wenn der minimale überstaute Wasserstand $0,5m$ und der maximale $4,5m$ beträgt und ein Einheitsstromsignal von $12mA$ angezeigt wird?
 Beschreiben und skizzieren Sie die Ermittlung des Übertragungsfaktors an Hand einer Kalibrierung, wenn eine lineare Übertragungsfunktion zu erwarten ist.
13. Der Zufluss zu den Absetzbecken einer Kläranlage soll mittels eines VENTURI-Kanals bestimmt werden. Die Messwertübertragung erfolgt mittels des Einheitsstromsignales.
 Skizzieren Sie die Glieder der Messkette vom Durchfluss bis zum Einheitsstromsignal

und dessen Anzeige.

Wie hoch ist der Durchfluss, wenn der minimale Durchfluss $0m^3/s$ und der maximale $0,5m^3/s$ beträgt und ein Einheitsstromsignal von $14mA$ angezeigt wird?

Beschreiben und skizzieren Sie die Ermittlung des Übertragungsfaktors an Hand einer Kalibrierung, wenn eine lineare Übertragungsfunktion zu erwarten ist.

14. Der Volumenstrom in einer Rohrleitung soll mittels eine VENTURI-Düse mit Einheitsstromausgang gemessen werden.

Skizzieren Sie die Glieder der Messkette vom Volumenstrom bis zum Einheitsstromsignal mit den dazugehörigen Zwischengliedern und geben Sie die einzelnen Zwischensignale an.

Wie groß ist der Volumenstrom, wenn der minimale $0,05m^3/s$, der maximale $1m^3/s$ ist und ein Einheitsstromsignal vom $14mA$ angezeigt wird?

Beschreiben und skizzieren Sie die Ermittlung des Übertragungsfaktors an Hand einer Kalibrierung, wenn eine lineare Übertragungsfunktion zu erwarten ist.

15. Mittels eines induktiven Durchflussmessers soll der Volumenstrom einer Förderpumpe überwacht werden. Der Messwert wird in ein Einheitsstromsignal umgewandelt.

Beschreiben Sie die Messkette von der Messgröße bis zum Einheitssignal.

Beschreiben Sie Vor- und Nachteile des Einheitsstromsignals.

Welcher Volumenstrom ist vorhanden, wenn das Einheitsstromsignal $I = 12mA$, der minimale Volumenstrom $Q_{min} = 0l/s$ und der maximale $Q_{max} = 100l/s$ betragen?

16. Mit einem piezoresistiven Halbleiterdruckwandler mit Einheitsstromausgang soll der Wasserstand on-line in einem Grundwasserbeobachtungsrohr überwacht werden.

Skizzieren Sie die schematische Messkette dieses Wandlers vom Wasserstand bis zum Einheitsstrom.

Beschreiben Sie dazu die einzelnen Wandlungsformen mit ihren Fehlern.

17. Bei der Echolotmessung wird die Wasserspiegellage über die Laufzeit des Ultraschalls bestimmt. Zur Durchflussmessung mittels Messkastens soll das Echolotprinzip eingesetzt werden.

Skizzieren und beschreiben Sie die Messkette für das oben beschriebene Messprinzip, vom Durchfluss bis zur Anzeige am PC.

18. Der Volumenstrom in einer Kläranlage soll mittels eines VENTURI-Gerinnes mit Einheitsstromausgang gemessen werden.

Skizzieren Sie die Glieder der Messkette vom Volumenstrom bis zum Einheitsstromsignal mit den dazugehörigen Zwischengliedern und geben Sie die einzelnen Zwischensignale an.

19. Welche Standardschnittstellen werden bei der Messwertübertragung und -verarbeitung verwendet?

20. Warum werden piezoresistive Druckwandler häufig mit einem Einheitsstrom-Ausgang angeboten?

21. Erklären Sie die Wirkungsweise der Redundanz bei der Messwertübertragung und nennen Sie zwei Beispiele zu deren Realisierung.