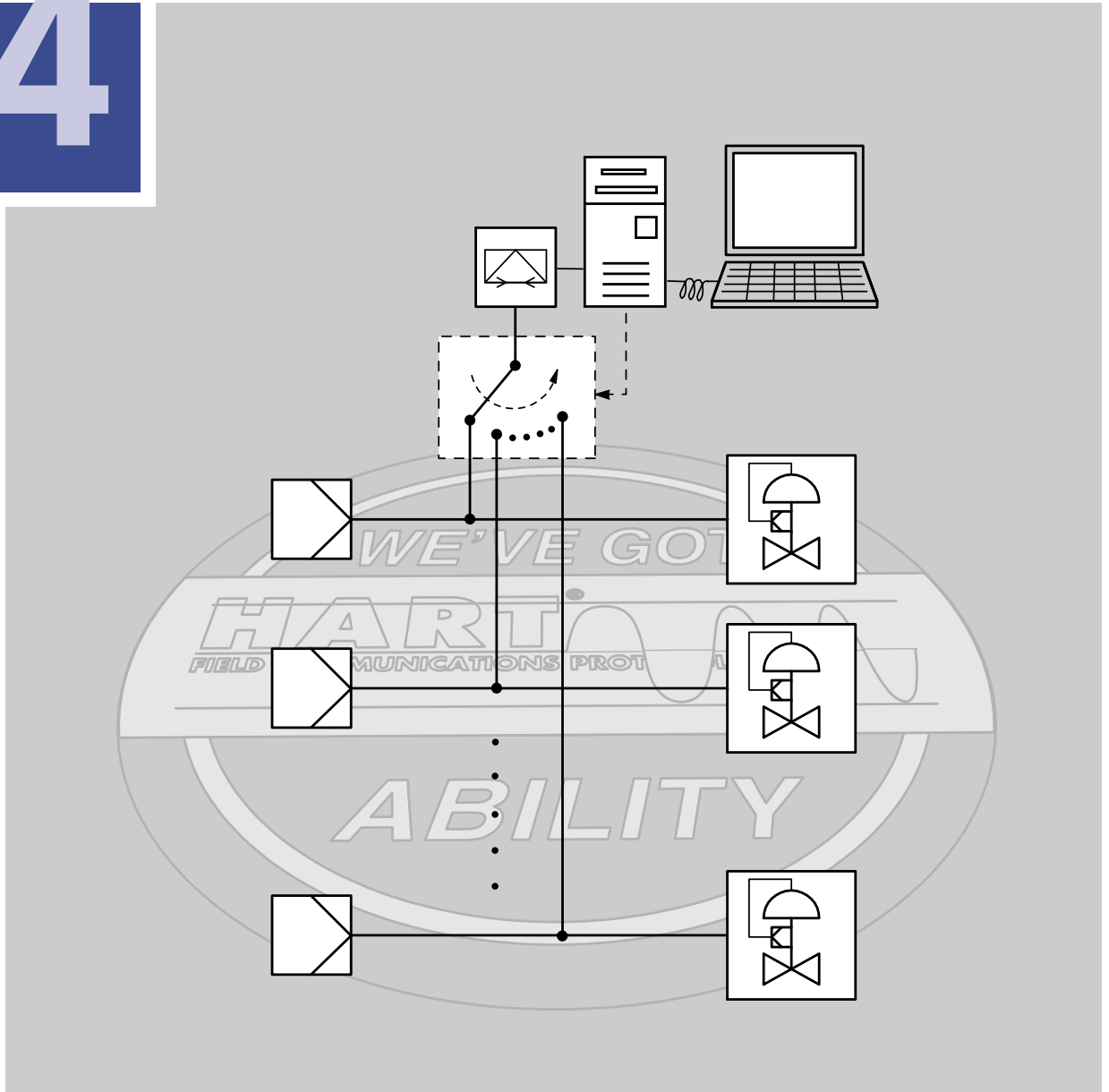


HART-Kommunikation

4

Teil 4 Kommunikation





Technische Informationen

Teil 1: Grundlagen

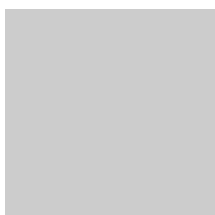
Teil 2: Regler ohne Hilfsenergie

Teil 3: Stellventile

Teil 4: Kommunikation

Teil 5: Gebäudeautomation

Teil 6: Prozessautomation



Bitte richten Sie Rückfragen und Anregungen an:

SAMSON AG
V74 / Schulung
Weismüllerstraße 3
60314 Frankfurt

Telefon (069) 4 00 94 67
Telefax (069) 4 00 97 16
E-Mail: schulung@samson.de
Internet: <http://www.samson.de>

HART-Kommunikation

Einleitung	5
HCF-Nutzerorganisation	6
Verschaltung von HART-Geräten.	7
Teilnehmeranzahl und Adressierung	8
Punkt-zu-Punkt-Verbindung	8
HART über Multiplexer.	8
Multidrop.	9
Bus für Split-Range-Betrieb.	10
FSK-Bus	11
Übergeordnete Kommunikationssysteme	12
Zweileitertechnik und Bürdenspannung	13
Einsatz im Ex-Bereich.	14
Feldgeräte-Schnittstelle	14
HART-Kommunikationsschichten	16
Physikalische Schicht	16
Kodierung	16
Leitungsspezifikation	18
Steckverbinder	18
HART-konforme Eigenschaften	19
Schicht 2 – Dienste	21
Zugriffssteuerung	21
Kommunikationsdienste.	21

Telegrammaufbau	22
Störsicherheit	24
Übertragungszeit und Nutzdatenrate	25
Anwendungsschicht: HART-Kommandos	26
DDL-Gerätebeschreibung	29
Anforderungen an Bediengeräte	32
Beispiel: IBIS	33
HART-Handbediengerät	33
Anhang A1: Typische Fehlerquellen	35
Anhang A2: Ergänzende Literatur	36

Einleitung

Nicht immer muss auf ein Feldnetz zurückgegriffen werden, wenn man die Vorteile kommunikationsfähiger Feldgeräte nutzen will. Mit dem HART-Protokoll stehen viele dieser Möglichkeiten auch in Anlagen zur Verfügung, die in konventioneller 4 bis 20 mA Technik ausgeführt sind.

HART-Geräte tauschen ihre Daten über die Leitungen der 4 bis 20 mA-Installation aus. Mit Hilfe dieser Kommunikation lassen sich die Feldgeräte sehr flexibel parametrieren und in Betrieb nehmen oder ermittelte und gespeicherte Daten(sätze) auslesen. Für all diese Aufgaben sind Feldgeräte mit Mikroprozessortechnik erforderlich. Diese werden häufig als SMART-Geräte bezeichnet.

Das 1989 eingeführte und seitdem vielfach industrieprobte Protokoll ermöglicht eine bidirektionale Kommunikation auch in explosionsgefährdeter Umgebung. HART lässt bis zu zwei Bediengeräte zu: zum einen die Engineering Konsole in der Leitstation, zum anderen ein sekundäres Gerät für die Bedienung vor Ort – z.B. ein PC-Laptop oder Handterminal.

Die wesentlichen Leistungsmerkmale des HART-Protokolls sind:

- ▶ Praxiserprobt, einfach im Aufbau, Wartung und Anwendung,
- ▶ kompatibel zu konventioneller Analoggeräte-Instrumentierung,
- ▶ gleichzeitige analoge und digitale Kommunikation,
- ▶ alternativ Punkt-zu-Punkt- oder Multidrop-Betrieb möglich,
- ▶ flexibler Datenzugriff über bis zu zwei Bediengeräte,
- ▶ unterstützt multivariable Feldgeräte,
- ▶ hinreichende Reaktionszeit von ca. 500 ms und
- ▶ offener de facto Standard, der jedem Hersteller oder Anwender frei zur Verfügung steht.

**HART-Protokoll nutzt
4 bis 20 mA-Leitungen**

**vielfach industriell
bewährt für
SMART-Geräte**

**typische
Leistungsmerkmale**

HCF-Nutzerorganisation

Unterstützung bei Implementierung und Anwendung

Als offenes Kommunikationsprotokoll zwischen Leitgerät und Feldgerät, kann das HART-Protokoll von jedem Hersteller implementiert und vom Anwender frei genutzt werden. Die notwendige technische Unterstützung leistet dabei die HART Communication Foundation (HCF). Diese herstellerunabhängige Non-Profit-Organisation hat sich das Ziel gesetzt, die Anwendung der HART-Technologie zu fördern. Unter anderem koordiniert und sichert sie die Aufrechterhaltung des offenen Protokollstandards und verwaltet in diesem Rahmen die Gerätebeschreibungen aller eingetragenen Geräte (siehe auch Seite 29).



Bild 1: HART- und HCF-Logo

Verschaltung von HART-Geräten

Geräte, die das HART-Protokoll unterstützen, unterteilt man in Bedien- und Feldgeräte. Als Bediengeräte kommen Handbediengeräte sowie PC-gestützte Arbeitsplätze – z.B. in der Leitwarte – zum Einsatz. HART-Feldgeräte umfassen Sensoren, Umformer sowie diverse Aktoren. Dabei reicht die Varianz von Zwei- über Vierleitergeräte bis hin zu eigensicheren Ausführungen für den Ex-Einsatz.

Die HART-Daten werden per FSK-Modem auf das 4 bis 20 mA-Signal aufmoduliert. Auf diese Weise können die Geräte über das HART-Protokoll digital kommunizieren, während gleichzeitig die analoge Signalübertragung stattfindet (siehe 'Kodierung' auf Seite 16ff. sowie Lit./2/).

Während bei Feldgeräten und kompakten Handbediengeräten das FSK-Modem im Gerät integriert ist, wird es bei PC-Bedienstationen über eine serielle Schnittstelle extern angeschlossen. Bild 2 zeigt eine typische Verschaltung eines HART-Feld- und Bediengerätes. Die HART-Kommunikation wird häufig für solche einfachen Zweipunktverbindungen genutzt. Darüber hinaus existieren aber viele weitere Verbindungsvarianten.

Bedien- und Feldgeräte

Kommunikation auf der analogen Signalleitung

FSK-Modem: das Bindeglied zum Analogsignal

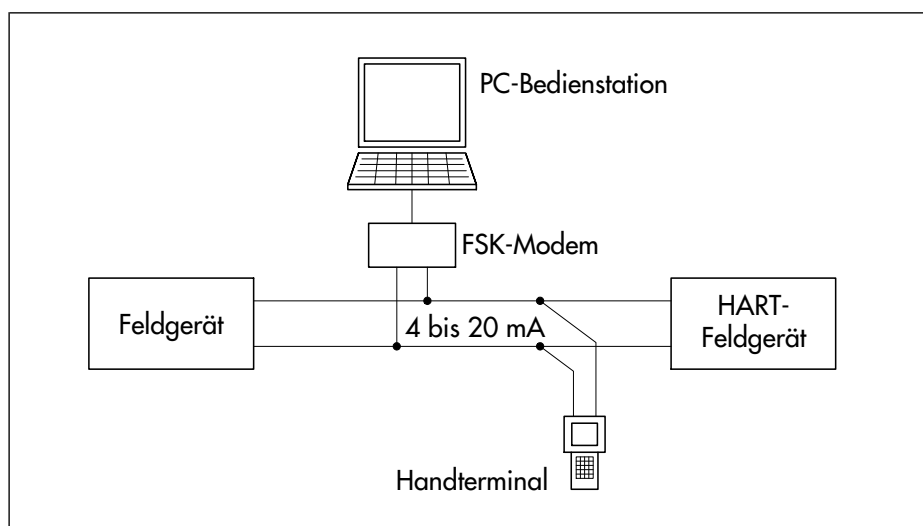


Bild 2: Anschluss der HART-Bediengeräte

**verschiedenartige
Verschaltungen**

Für große Anlagen lässt sich die Anzahl der anwählbaren Geräte durch eine Multiplexer-Steuerung erweitern. Darüber hinaus bietet HART für spezielle Anwendungen die Möglichkeit der Vernetzung. Man unterscheidet zwischen Multidrop, FSK-Bus sowie Verschaltungen für den Split-Range-Betrieb.

Teilnehmeranzahl und Adressierung

- Punkt-zu-Punkt-Verbindung

**Punkt-zu-Punkt
Kommunikation**

Die in Bild 2 dargestellte HART-Kommunikation wird als Punkt-zu-Punkt-Verbindung bezeichnet, d.h. das HART-Bediengerät steht mit genau einem HART-Feldgerät in Verbindung. Bei dieser Verschaltungsart muss das Feldgerät immer auf die Geräteadresse 'Null' eingestellt sein, da das Bedienprogramm über diese Adresse die Kommunikation aufbaut.

Geräteadresse 'Null'

- HART über Multiplexer

Bild 3 zeigt die Anschaltung über Multiplexer, über die sehr viele HART-Geräte eingebunden werden können. Der Benutzer wählt per Bedienprogramm

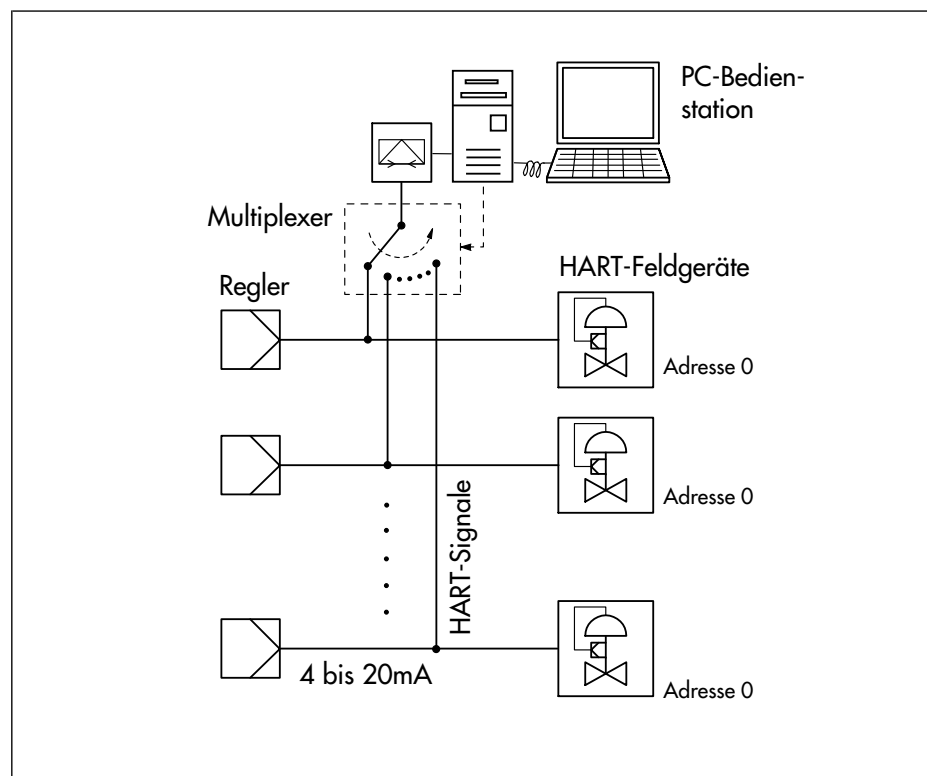


Bild 3: HART-Kommunikation über Multiplexer

eine Stromschleife zur Kommunikation aus. Für die Dauer der Kommunikation verbindet der Multiplexer diese Stromschleife mit der Bedienstation. Durch eine kaskadierte Multiplexerstruktur kann man mit sehr vielen (> 1000) Geräten – alle adressiert auf Adresse 'Null' – kommunizieren.

Multiplexer wählt zeitversetzt Stromschleifen aus

- Multidrop

Das HART-Protokoll wurde ursprünglich für Messumformer konzipiert. Für diese wurde auch der Multidrop-Betrieb spezifiziert. Hier tauschen die Geräte ihre Daten und Messwerte ausschließlich über das HART-Protokoll aus. Das Analogstromsignal dient nur noch zur Energieversorgung der Zweileiterteile, so dass hier ein konstanter Strom von 4 mA eingepreßt ist.

Multidrop-Betrieb für Messumformer

Bei Multidrop werden bis zu 15 Feldgeräte parallel an ein einziges Adernpaar angeschlossen (Bild 4). Die Bedienstation unterscheidet die Geräte durch ihre voreingestellten Adressen im Bereich von 1 bis 15.

Adressbereich: 1 bis 15

Für Stellventile kann die Multidrop-Betriebsweise nicht verwendet werden. Wie die Berechnungen auf Seite 25 zeigen, ist die digitale HART-Kommunikation für die Vorgabe von Sollwerten zu langsam. Daher werden Stellsignale für Ventile immer als 4 bis 20 mA-Einheitsstromsignale übertragen.

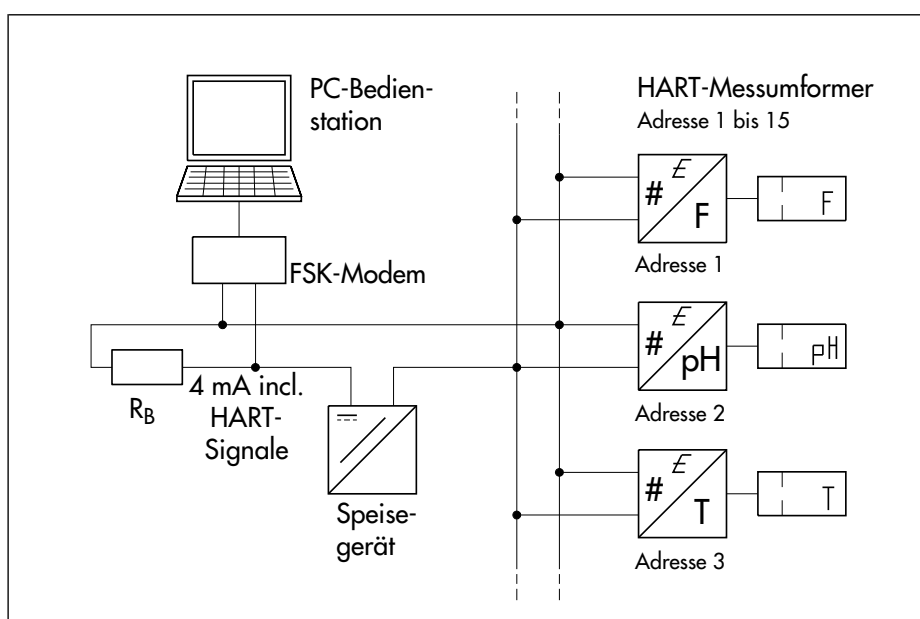


Bild 4: Multidrop-Betrieb mit HART-Messumformern

Aufteilung des Sollwertbereiches

- Bus für Split-Range-Betrieb

Spezielle Applikationen machen es erforderlich, dass mehrere – zumeist zwei – Aktoren dasselbe Stellsignal erhalten. Typisches Beispiel ist der Split-Range-Betrieb von Stellventilen. Hier arbeitet ein Ventil im Stromsollbereich von 4 bis 12 mA, während das zweite den Bereich von 12 und 20 mA abdeckt.

Im Split-Range-Betrieb sind die Stellventile in der Stromschleife elektrisch in Reihe geschaltet. Haben beide eine HART-Schnittstelle, so muss ein HART-Bediengerät unterscheiden können, mit welchem kommuniziert werden soll. Um dies zu ermöglichen, wird das HART-Protokoll ab der Revision 6 (vss. 2001) um eine Betriebsvariante erweitert.

HART-Adresse 1 bis 15

analoge Führungsgröße

Wie im Multidrop-Betrieb, wird jedem Gerät eine Adresse von 1 bis 15 zugeordnet. Das analoge 4 bis 20 mA-Signal behält dabei jedoch seine gerätespezifische Funktion, – bei Stellventilen, die Vorgabe des geforderten Stellhubes. Damit die HART-Kommunikation auch heute schon bei Anwendungen wie dem Split-Range-Betrieb genutzt werden kann, arbeitet der SAMSON HART-Stellungsregler unabhängig von der Geräteadresse immer mit dem Analog-Stromsignal als Führungsgröße (Bild 5).

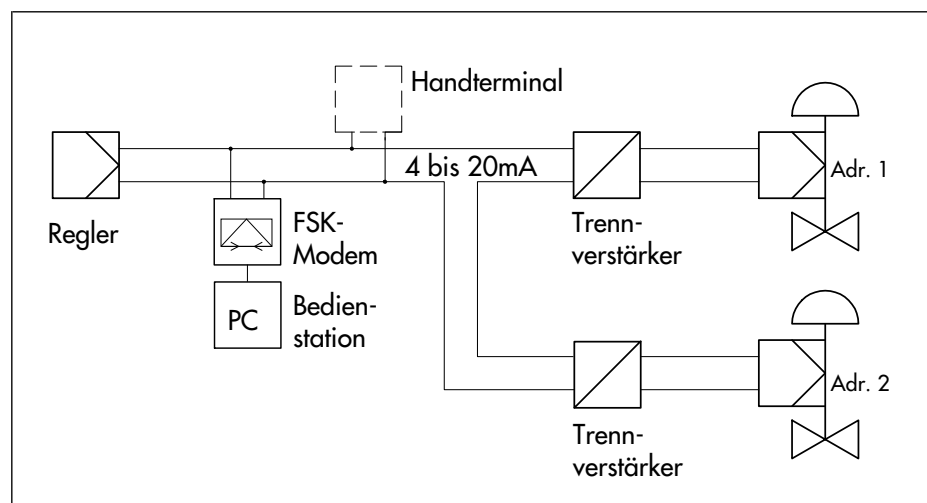


Bild 5: Split-Range-Betrieb mit zwei HART-Stellungsreglern

• FSK-Bus

Für das HART-Protokoll existieren zusätzliche, firmenspezifische Erweiterungen. Von der Firma Hartmann & Braun wurde beispielsweise der FSK-Bus entwickelt, an den sich in Art eines Gerätebusses bis ca. 100 HART-Geräte anschließen und adressieren lassen. Dazu sind spezielle, als Baugruppen ausgeführte, Trennverstärker erforderlich (z.B. TET 128). Die Begrenzung der Teilnehmerzahl ist allein dadurch gegeben, dass sich mit jedem zusätzlichen Teilnehmer das Signalrauschen erhöht und die Signalqualität schließlich für eine fehlerfreie Auswertung des Telegramms nicht mehr ausreicht.

FSK-Bus für vernetzte Kommunikation

... bis zu 100 Geräte

Die HART-Geräte werden über den Trennverstärker mit ihrem Analog-Stromsignal sowie mit der gemeinsamen FSK-Busleitung verbunden (Bild 6). Die Trennverstärker wirken aus Sicht des FSK-Busses als Impedanzwandler, so dass es möglich ist, auch Geräte mit großer Bürde in die Kommunikation einzubinden.

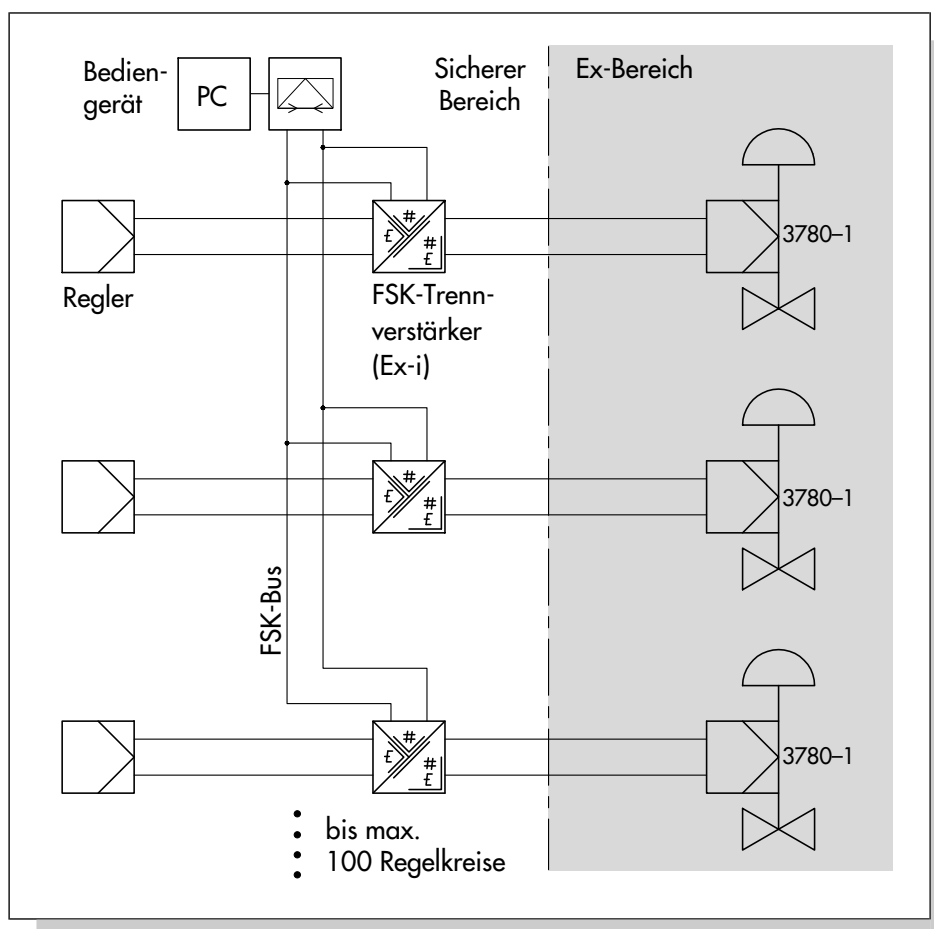


Bild 6: Komponenten und Verschaltung des FSK-Busses

**Adressierungsformat
bei vielen Teilnehmern**

Zur Adressierung der Geräte wird ein spezielles, langes Adressformat verwendet (siehe auch Bild 15, Seite 23). Während der Konfigurationsphase wird bei jedem Gerät einzeln dessen Busadresse und die Messstellenummer – das TAG – per Zweipunktverbindung eingestellt. Im Betrieb arbeiten die Geräte dann mit der langen Adressierung. Über das HART-Kommando 11 kann die Bedienstation ein Gerät auch per TAG ansprechen. So ist es möglich, während der Inbetriebnahmephase die Systemkonfiguration einzulesen und zu überprüfen.

- Übergeordnete Kommunikationssysteme

Gateway koppelt Netze

Um die HART-Kommunikation an andere Kommunikationssysteme anzukoppeln zu können, werden Gateways eingesetzt. Diese übersetzen wechselseitig die Protokolle der zu koppelnden Netze.

HART-Protokoll \Leftrightarrow Feldbus-Protokoll

In den meisten Fällen wird man für komplexe Kommunikationsaufgaben von vornherein auf ein leistungsfähiges Feldbussystem zurückgreifen.

**HART-Signale über
Telefonleitungen**

Auch ohne aufwendige Protokollkonvertierungen ist mit HART eine Kommunikation über große Entfernungen möglich. HART-Signale lassen sich mit Hilfe von HART/CCITT-Konvertern über Telefonleitungen übertragen. Direkt an firmeneigene Standleitungen angeschlossene Feldgeräte können so mit der Zentrale kommunizieren, die sich viele Kilometer entfernt befindet.

Zweileitertechnik und Bürdenspannung

HART-Signale setzen auf das konventionelle Analog-Stromsignal auf. Ob die Geräte als Vierleitergeräte zusätzlich versorgt werden, oder ob sie in Zweileitertechnik ausgeführt sind, beide Fälle können durch die HART-Kommunikation abgedeckt werden. Zu beachten ist jedoch, dass die maximal zulässige Bürde eines HART-Gerätes vorgegeben ist.

HART für Zwei- und Vierleitergeräte

Die Bürde eines HART-Gerätes ist schon durch die HART-Spezifikation begrenzt (siehe Seite 17: max. 1100 Ohm für die gesamte Last im Stromkreis). Eine weitere Einschränkung entsteht – vor allem bei älteren Anlagen – durch den Prozessregler. Dessen Ausgänge müssen in der Lage sein, die Versorgungsenergie des angeschlossenen Zweileitergerätes bereitzustellen.

Bürde beachten!

Je höher der elektrische Leistungsbedarf eines Zweileitergerätes ist, umso größer ist dessen Bürde. Aufgrund der zusätzlichen Funktionen eines HART-fähigen Gerätes erhöht sich dessen Leistungsaufnahme – und damit auch die Bürde – gegenüber der nicht kommunikationsfähigen Variante.

Bei der Umrüstung auf HART-Geräte muss daher geprüft werden, ob der Prozessregler die vom HART-Gerät geforderte Leistung bereitstellen kann. Voraussetzung dazu ist, dass er bei 20 mA mindestens die Bürdenspannung

Regler-Ausgangsleistung ist begrenzt

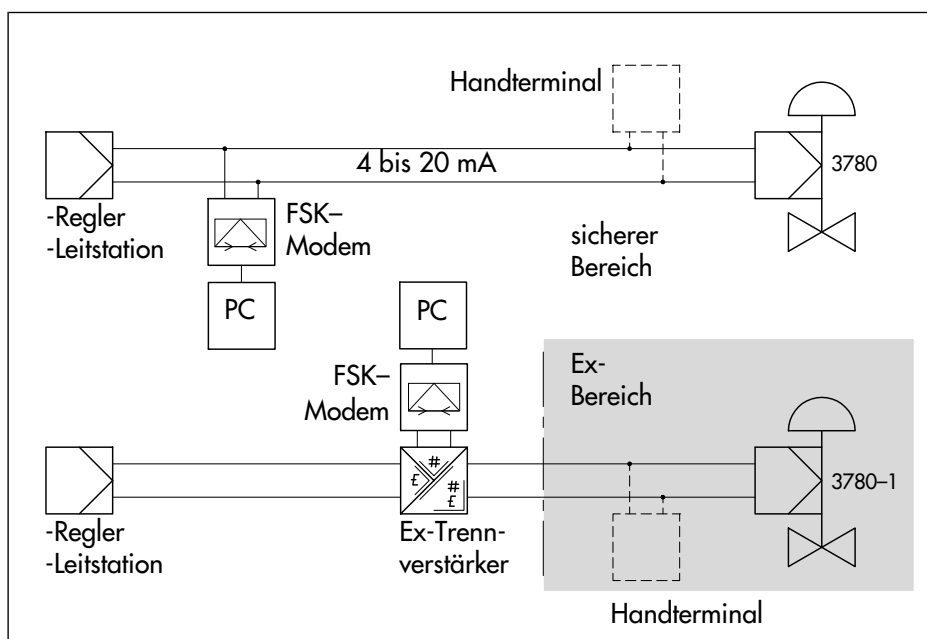


Bild 7: Punkt-zu-Punkt Verbindung: mit oder ohne Ex-Trennverstärker

des HART-Gerätes aufbringen kann. Die erforderliche Bürdenspannung U_B und die aufgenommene Leistung P_W berechnen sich aus:

Bürdenspannung und Leistungsaufnahme

$$U_B = 20 \text{ mA} \cdot \text{Bürde}$$

$$P_W = U_B \cdot I = I^2 \cdot \text{Bürde}$$

HINWEIS: Der Wert der Gerätebürde wird immer bei einem Strom von 20 mA bestimmt. Kann der Prozessregler die Bürde – einschließlich der Leitungswiderstände etc. – nicht treiben, besteht die Möglichkeit einen (HART-konformen) Trennverstärker zu installieren.

Einsatz im Ex-Bereich

eigensichere Kommunikation im Ex-Bereich

Die in der HART-Spezifikation festgelegten technischen Eigenschaften ermöglichen, dass man HART-fähige Geräte in der Betriebsart Eigensicher (Ex-i) – nach entsprechender Zulassung – auch im Ex-Bereich einsetzen kann.

HART-konformer Ex-Trennverstärker

Bei der Installation im Ex-Bereich muss sichergestellt sein, dass sich der Ex-Trennverstärker, der zugleich als Verstärker und als Ex-Barriere wirkt, HART-konform verhält (näheres siehe Ausführungen auf Seite 19).

Feldgeräte-Schnittstelle

integriertes FSK-Modem

HART-fähige Feldgeräte benötigen eine geeignete Kommunikations-Schnittstelle. Wie bereits erwähnt, ist bei Feldgeräten das FSK-Modem bereits integriert. Bild 8 zeigt als Blockschaltbild die Komponenten des SAMSON HART Stellungsreglers Typ 3780. Folgende Elemente sind für Signalauswertung relevant:

getrennte Prozessoren für Applikation und Kommunikation

- ▶ das Analogstromsignal (8) wird über einen A/D-Wandler auf den Mikroprozessor (2) gegeben, der die Anwendung – die Stellungsregelung – bearbeitet.
- ▶ über das FSK-Modem werden die empfangenen HART-Signale (8) auf den für die Kommunikation zuständigen Prozessor (5) geschaltet.

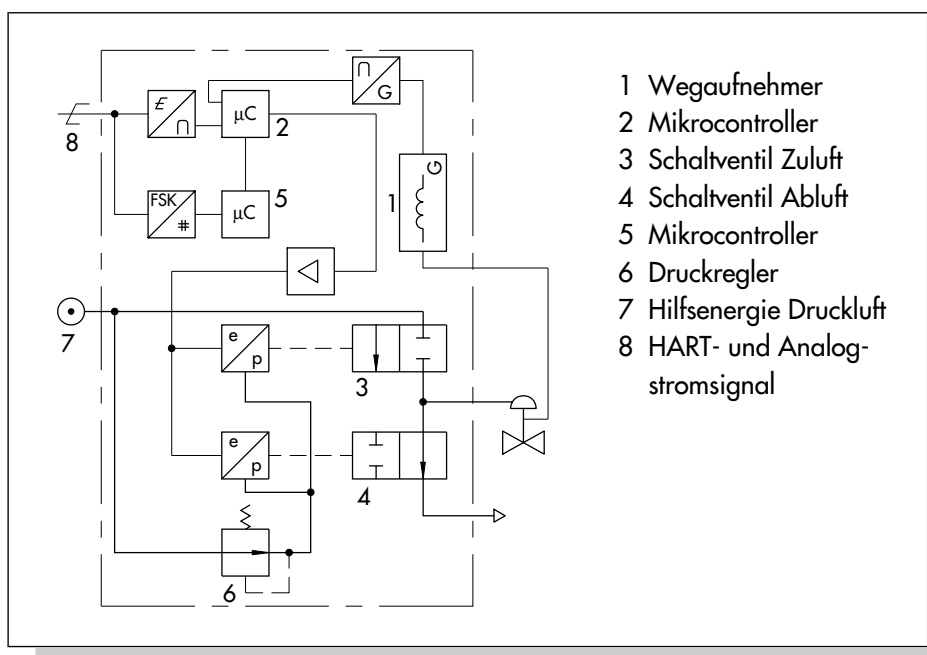


Bild 8: HART-Schnittstelle des SAMSON-Stellungsreglers

- ▶ die zu sendenden HART-Signale moduliert das FSK-Modem auf das Analogstromsignal der 4 bis 20 mA-Leitung auf.
- ▶ beide Prozessoren, für Kommunikation (5) und Anwendung (2), tauschen die zu sendenden und empfangenen Daten aus.

Die übrigen Funktionsblöcke zeigen die Elemente, mit denen die Stellung des Ventils erfasst wird (1) und über die der pneumatische Druck im Antrieb entsprechend der Regelung eingestellt wird (3, 4, 6 und 7).

Schaltventile stellen den Antriebsdruck ein

HART-Kommunikationsschichten

OSI-Schichten	HART-Schichten
Anwendung	HART-Kommandos
Darstellung	
Kommunikation	
Transport	
Vermittlung	
Sicherung	HART-Protokollregeln
Physikalische Schicht	Bell 202

Bild 9: HART-Protokoll im OSI-Schichtenmodell

HART-Protokoll verwirklicht die OSI-Schichten: 1,2 und 7

Das HART-Protokoll folgt dem OSI-Referenzmodell. Wie die meisten Kommunikationssysteme für die Feldebene, sind beim HART-Protokoll nur die Schichten eins, zwei und sieben des OSI-Modells implementiert. Die Schichten drei bis sechs bleiben leer, da deren Dienste nicht benötigt werden oder von der Anwendungsschicht sieben mit übernommen werden (siehe Bild 9).

Physikalische Schicht

- Kodierung

Die Datenübertragung zwischen den Mastern und den Feldgeräten wird physikalisch dadurch realisiert, dass auf die 4 bis 20 mA-Stromschleife ein kodiertes Digitalsignal aufmoduliert wird. Da die Kodierung mittelwertfrei ist, beeinflusst sie eine zeitgleich stattfindende Analogsignal-Übertragung nicht. Auf diese Weise steht mit dem HART-Protokoll neben dem Simplex-Kanal des Stromsignals (Analoges Steuergerät → Feldgerät) auch ein Halb-Duplex-Kanal für die wechselseitige Kommunikation zur Verfügung.

HART-Protokoll nutzt die bestehende Feldverdrahtung

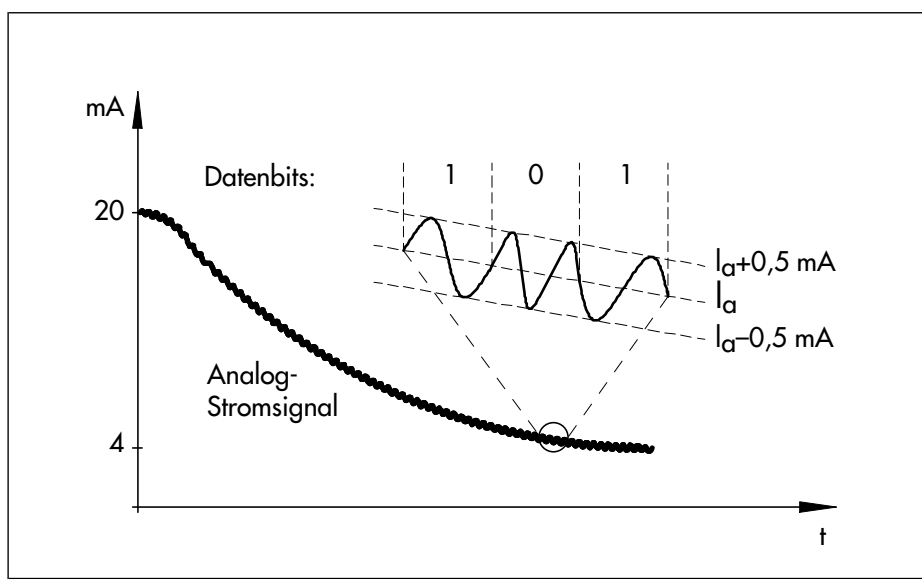


Bild 10: Analog-Stromsignal mit dem Hart-Signal moduliert

Die Bitübertragungsschicht definiert eine asynchrone Halbduplex-Schnittstelle, die auf der Leitung des Analog-Stromsignals arbeitet. Zur Bit-Kodierung wird das FSK-Verfahren (Frequency Shift Key) basierend auf dem Bell 202-Kommunikationsstandard genutzt, bei dem die beiden digitalen Zustände '0' und '1' folgenden Frequenzen zugeordnet werden (siehe Bild 10):

Logisch '0': 2 200Hz

Logisch '1': 1 200Hz

**frequenzmodulierte
HART-Signale**

Jedes einzelne Byte des Schicht-2-Telegramms wird als 11 Bit-UART-Zeichen mit einer Datenübertragungsrate von 1 200 Bits/s übertragen.

Datenrate: 1 200 Bit/s

Die HART-Spezifikation legt fest, dass Bediengeräte (Master) ein Spannungssignal senden, während die Feldgeräte (Slaves) ihre Nachrichten über eingepreßte Ströme absetzen. Die Stromsignale werden am Innenwiderstand des Empfängers (an dessen Bürde) in Spannungssignale umgesetzt.

Um einen zuverlässigen Empfang zu garantieren, spezifiziert das HART-Protokoll, dass die Gesamtbürde der Stromschleife – einschließlich des Kabelwiderstandes – zwischen minimal 230 Ohm und maximal 1 100 Ohm liegen muss. Zumeist wird die obere Grenze aber nicht durch diese Spezifikation vorgegeben, sondern ergibt sich aus der begrenzten Ausgangsleistung der speisenden Stromquelle (siehe auch Seite 13f.).

**Bürde sichert die
Empfangspegel**

Da HART-Bediengeräte einfach parallel zu den Feldgeräten angeschlossen werden (z.B. Bild 7), kann dies im laufenden Betrieb geschehen, denn die Stromschleife muss zum An- oder Abklemmen nicht unterbrochen werden.

- Leitungsspezifikation

HART-Leitungen im Feld bestehen üblicherweise aus verdrehten Leitungspaaren. Werden sehr dünne und/oder lange Kabel eingesetzt, vergrößert sich der Leitungswiderstand und damit die Gesamtbürde. Dadurch erhöht sich die Signaldämpfung und -verzerrung und die Grenzfrequenz des Übertragungsnetzwerks sinkt.

HINWEIS: Für eine ungestörte Übertragung müssen deshalb die Übertragungsleitungen mit ausreichendem Querschnitt und nicht zu lang ausgeführt werden.

Sind Störungen durch Fremdsignale möglich, müssen vor allem längere Leitungen geschirmt werden. Dabei sollte der Signalkreis und der Leitungsschirm an nur einem gemeinsamen Punkt geerdet werden.

Folgende Konfigurationen arbeiten laut Spezifikation noch problemlos:

- ▶ Für kurze Entfernungen eignen sich einfache ungeschirmte $0,2 \text{ mm}^2$ Zweidrahtleitungen.
- ▶ Bis 1500 m sollten einzeln verdrehte und gemeinsam geschirmte $0,2 \text{ mm}^2$ Adernpaare verwendet werden.
- ▶ Für Entfernungen bis 3000 m sind einzeln verdrehte und paarweise geschirmte $0,5 \text{ mm}^2$ Zweidrahtleitungen notwendig.

Der überwiegende Teil der im Feld vorhandenen Verdrahtung erfüllt diese Anforderungen und lässt sich deshalb auch für die digitale Kommunikation verwenden.

- Steckverbinder

Ein wesentliches Merkmal von HART ist, dass die Kommunikation auf die bestehende Leitungsinstallation aufsetzt. Die HART-Spezifikation legt deshalb auch keinen speziellen Steckverbinder fest. Da die Polarität bei der Auswertung der Frequenzen keinen Einfluss hat, werden HART-Signale zumeist über einfache Klemmbuchsen geführt.

Qualität der Übertragungsleitungen

Anforderungen an die Übertragungsleitung

- HART-konforme Eigenschaften

Die HART-Kommunikation zwischen zwei oder mehreren Geräten kann nur dann einwandfrei funktionieren, wenn alle Kommunikationsteilnehmer die HART- Sinussignale korrekt auswerten können. Um dies zu garantieren, müssen nicht nur die Übertragungsleitungen bestimmte Vorgaben erfüllen (siehe oben). Auch und gerade die Geräte in der Stromschleife, die nicht an der HART-Kommunikation beteiligt sind, können die Datenübertragung behindern oder gar unmöglich machen.

alle Geräte prüfen

Die Ursache liegt darin, dass die Ein- und Ausgänge dieser Geräte nur für die 4 bis 20 mA-Technik spezifiziert sind. Da sich die Ein- und Ausgangswiderstände mit der Signalfrequenz ändern, ist es leicht möglich, dass die höher frequenten HART-Signale (1200 bis 2200 Hz) von solchen Geräten kurzgeschlossen werden.

FSK-Frequenzen dürfen nicht unterdrückt werden

HINWEIS: Ein- oder Ausgänge mit zu geringem Innenwiderstand im FSK-Frequenzbereich schließen die HART-Signale kurz!

Um dies zu vermeiden, muss mit einer Zusatzbeschaltung der Innenwiderstand erhöht werden. Der in Bild 11 dargestellte RC-Tiefpass (250 Ω , 1 μ F)

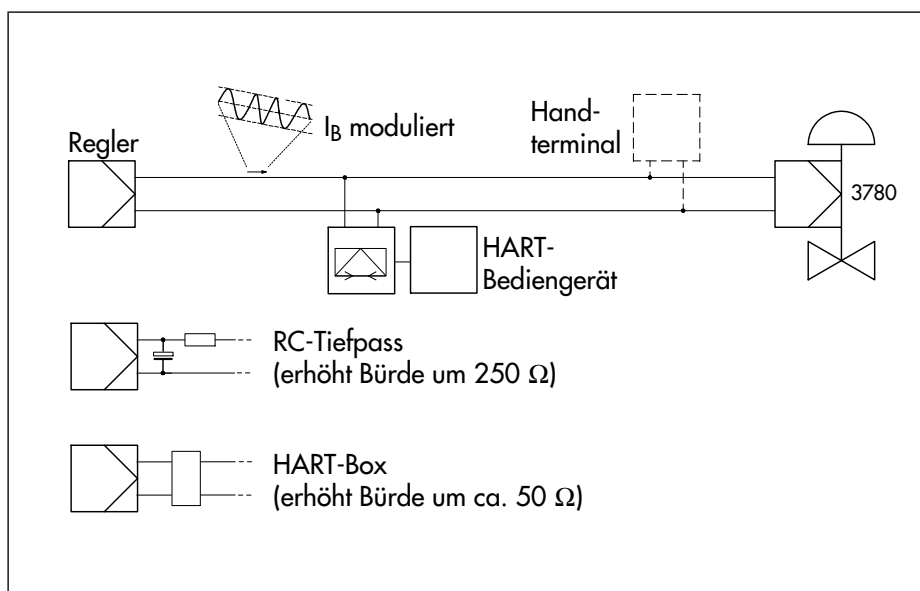


Bild 11: Reglerausgang darf die HART-Signale nicht kurzschließen

erfüllt diese Funktion. Nachteilig ist jedoch der in Reihe liegende Widerstand, den der Reglerausgang als zusätzliche Last treiben muss.

Vom Regler zu treibende Last:

RC-Tiefpass: 250Ω + Leitungswiderstand + Bürde des Feldgerätes

HART-Box: 50Ω + Leitungswiderstand + Bürde des Feldgerätes

**Zusatzbeschaltungen
erhöhen die Bürde**

Mit der Verwendung einer speziell dafür gefertigten HART-Box lässt sich die zusätzliche Bürde um ein Fünftel auf 50Ω reduzieren. Ist auch dieser Wert noch zu hoch, muss entweder ein Signalverstärker oder ein Regler mit höherer Ausgangsleistung installiert werden.

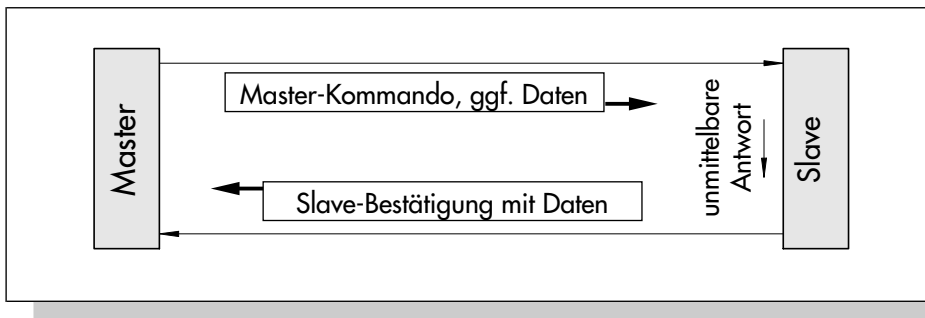


Bild 12: HART-Transaktion: Datenaustausch zwischen Master und Slave

Schicht 2 – Dienste

- Zugriffssteuerung

Das HART-Protokoll arbeitet nach dem Master-Slave-Verfahren. Jede Kommunikationsaktivität geht vom Master, einer Leitstation oder einem Bediengerät, aus. HART lässt zwei Master zu, den primären – typischerweise das Leitsystem – und den sekundären – ein vor Ort Bediengerät (PC-Laptop oder Handterminal).

HART-Feldgeräte – die Slaves – senden niemals unaufgefordert. Sie antworten immer nur, wenn sie zuvor vom Master eine entsprechende Aufforderung erhalten haben (Bild 12). Die Zuteilung, wann welche Master-Bedienstation aktiv ist, erfolgt zeitgesteuert. Nach jeder Transaktion, – das ist ein Datenaustausch zwischen Bedienstation und Feldgerät, kann innerhalb eines fest zugeteilten Zeitfensters einer der beiden Master die Kommunikation übernehmen.

- Kommunikationsdienste

Das HART-Protokoll unterscheidet Standard- und Broadcastkommandos:

HART - Kommunikationsformen	
Standardkommando:	Master/Slave-Datenaustausch
Broadcast:	HART-Kommando an alle Geräte

Bild 13: HART-Kommunikationsformen

Master-Bedienstation steuert Slave-Feldgerät

zeitgesteuerte Zugriffsberechtigung

Broadcast-Nachricht

In der einfachsten Form besteht eine Transaktion aus einem Master-Telegramm, an das sich direkt das Antwort- bzw. Bestätigungs-Telegramm des Slaves anschließt (Bild 12). Diese Kommunikationsform wird für den gewöhnlichen Datenaustausch genutzt. Während des Verbindungsaufbaus kann mit dem HART-Kommando 11, über eine Broadcast-Nachricht an alle Geräte, die Systemkonfiguration überprüft werden.

Burst-Modus für schnelle Messwertübergabe

Schließlich existiert der sogenannte BURST-Modus. Dabei setzt ein einziges Feldgerät – mit kurzen 75 ms Pausen – zyklisch Nachrichten-Telegramme ab, die von dem primären bzw. sekundären Master abwechselnd gelesen werden können. Während normalerweise pro Sekunde nur zwei Transaktionen durchgeführt werden können, kann das Feldgerät auf diese Weise bis zu vier Telegramme absetzen.

- **Telegrammaufbau**

Ein HART-Telegramm ist entsprechend Bild 14 aufgebaut. Jedes einzelne Byte wird als 11-Bit UART-Zeichen mit Start-, Paritäts- und Stopbit gesendet.

zwei Adressformate möglich

Seit Revision 5 unterscheidet das HART-Protokoll zwischen zwei Telegrammformaten, die mit unterschiedlichen Adressierungsarten arbeiten. Neben der kurzen Vier-Bit-Adressierung der Slaves, ist alternativ ein langes Adressformat eingeführt worden. Mit diesem lassen sich mehr Teilnehmer einbinden, wobei zugleich eine erhöhte Sicherheit gegenüber fehlerhafter Adressierung bei Übertragungsstörungen erreicht wird.

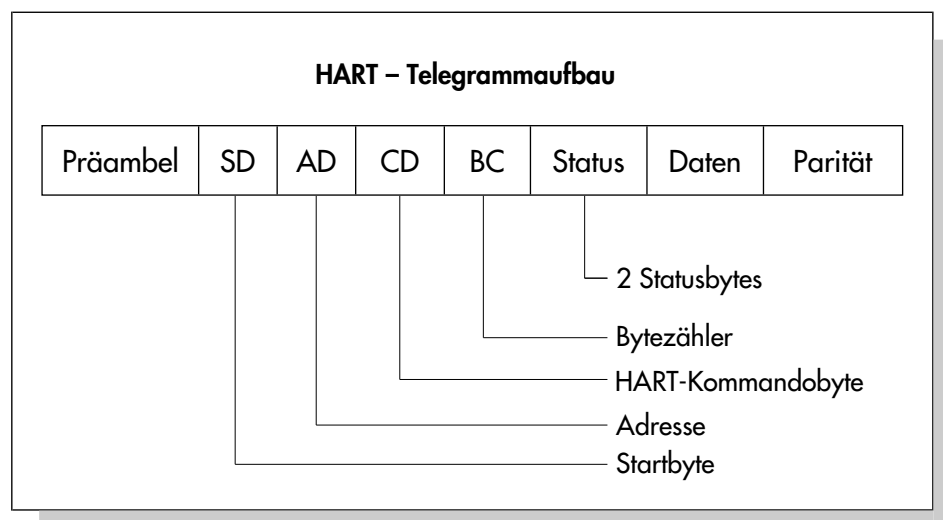


Bild 14: Aufbau und Elemente des HART-Telegramms

Die Elemente des HART-Telegramms haben folgende Aufgaben:

- ▶ Die aus drei oder mehr FF-(Hex-)Zeichen bestehende Präambel dient zur Synchronisierung der Teilnehmer.
- ▶ Das Startbyte kennzeichnet, wer sendet (Master, Slave, Slave im Burst-Modus) und ob das lange oder kurze Telegramm verwendet wird.
- ▶ Die Adresse besteht beim kurzen Format aus einem Byte (Bild 15), wobei ein Bit für die Unterscheidung der beiden Master und ein Bit für die Kennzeichnung von Burst-Telegrammen zuständig ist. Die Adressierung der Feldgeräte erfolgt über 4 Bits (Adresse 0 bis 15).
- ▶ Bei der langen Adressierung werden fünf Bytes verwendet, so dass die Feldgeräte-Identifizierung über 38 Bits erfolgt.
- ▶ Das KommandoByte kodiert Master-Befehle der Kategorien Universelle-, Standard- und gerätespezifische Kommandos. Die Bedeutung dieser Kommandos ergibt sich aus den Definitionen der Anwendungsschicht sieben.
- ▶ Das Byte zur Kennzeichnung der Nachrichtenlänge ist erforderlich, da die Anzahl der Datenbytes pro Telegramm zwischen 0 und 25 liegen kann. Nur so ist es dem Empfänger möglich das Telegramm und das Prüfbyte eindeutig zu identifizieren. Die Byteanzahl ergibt sich aus der Summe der Status- und Datenbytes.
- ▶ Die beiden Statusbytes enthalten nur die Slave-Telegramme. Hierüber wird bitkodiert angezeigt, ob der Empfang fehlerfrei war und in welchem Betriebsstatus sich das Feldgerät befindet. Im – fehlerfreien – Normalfall werden beide Bytes auf Null gesetzt.

Elemente des HART-Telegramms

HART-Kommandos steuern alle Aktionen

variable Datenmenge

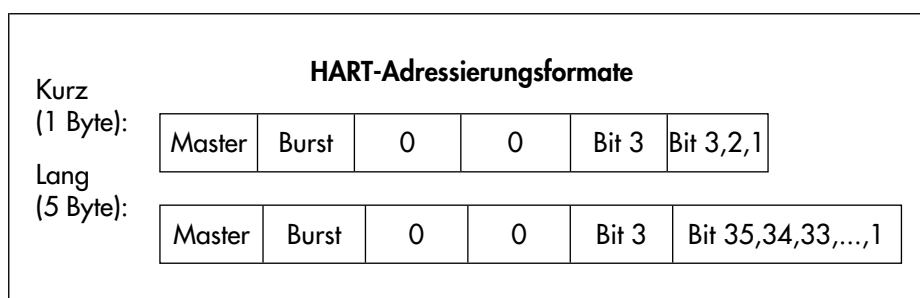


Bild 15: Kurze und lange HART-Adressierung

- ▶ Die Daten können als vorzeichenlose Ganzzahlen, Gleitkomma-Zahlen oder ASCII-kodierte Zeichenketten übertragen werden. Der zu verwendende Datentyp wird durch des Kommando-Byte vorgegeben, aber nicht alle Kommandos oder Antworten enthalten Daten.
- HD gleich vier**
- ▶ Das Prüfbyte bildet die Longitudinale-Parität über alle Bytes eines Telegramms. Entsprechend den Ausführungen in Lit.[2] beträgt die Hammingdistanz der HART-Übertragung demnach vier.
- Störsicherheit
- störungsempfindliche Kommunikation**
- Während des Betriebs können Kommunikationsteilnehmer zugeschaltet oder entfernt werden, ohne dass die Bauteile der übrigen Geräten gefährdet werden oder deren Kommunikation unterbrochen wird.
- Gegenüber Störungen, die in die Übertragungsleitungen eingekoppelt sein können, fordert die HART-Spezifikation eine Störfestigkeit gemäß IEC 801-3 und -4 der Stärke 3. Allgemeine Störfestigkeitsanforderungen werden damit erfüllt. Weitere Schutzmechanismen, um eine gestörte Kommunikation zu erkennen, sind auf den verschiedenen Kommunikationsschichten implementiert.
- Fehlererkennung auf unterschiedlichen Ebenen**
- In den unteren Schichten werden bei der Telegrammübertragung durch die UART- und die Longitudinal-Paritätsprüfung bis zu drei fehlerhafte Bits sicher erkannt (Hamming Distanz $HD = 4$). Fehler, die auf höherer Ebene auftreten, wie nicht zu interpretierende HART-Kommandos oder Gerätedefekte, meldet der Slave bei jeder Transaktion durch die hierfür reservierten Statusbytes. Bei regelmäßigem Polling-Betrieb kennt das Bediengerät den Zustand aller angeschlossenen Kommunikationsteilnehmer und kann daher reagieren, wie vom Anwender oder Bedienprogramm erwünscht.

- Übertragungszeit und Nutzdatenrate

Die Zeit für die Übertragung eines Telegramms ergibt sich aus der Bitdatenrate (1200 Hz) und der Anzahl der Bits pro Telegramm. Die Telegrammlänge variiert mit der Nachrichtenlänge – 0 bis 25 Zeichen – und der Art der Adressierung. Bei kurzer Adressierung und einer Nachricht von 25 Zeichen sind insgesamt 35 Zeichen zu übertragen. Da jedes Byte als UART-Zeichen übertragen wird (siehe [Lit. 2]), ergeben sich folgende Daten:

HART-Telegrammübertragung:		
Byte pro Telegramm:	25 Nachrichten- + 10 Steuerzeichen	
Telegrammgröße:	35 Zeichen* 11 Bit	= 385 Bit
Nutzdatenanteil:	25 * 8 Bit / 385 Bit	= 52 %
Zeit pro Bit	1 / 1200 Bit/s	= 0.83 ms
Übertragungszeit:	385 * 0.83 ms	= 0,32 s
Zeit je Nutzbyte	0.32 s / 25 Byte	= 13 ms

Leistungsdaten der HART-Übertragung

Bild 16: Übertragungszeit eines HART-Telegramms

Bei kürzeren Nachrichten wird das Verhältnis von Nutz- zu Steuerdaten immer ungünstiger, so dass pro Nutzbyte auch bis zu 128 ms benötigt werden. Man rechnet pro Transaktion – d.h. für je ein Master- und Slave-Telegramm, einschließlich zusätzlicher Warte- und Synchronisationszeiten, mit durchschnittlich 500 ms. So können ungefähr zwei HART-Transaktionen pro Sekunde durchgeführt werden.

bis zu zwei Transaktionen je Sekunde

Diese Werte zeigen, dass die HART-Kommunikation nicht dafür gedacht ist, zeitkritische Daten zu übertragen. Die Möglichkeit über HART die Führungsgröße für ein Stellglied vorzugeben ist daher für Test- und Inbetriebnahmeschritte sinnvoll, aber nicht geeignet, um Regelaufgaben zu lösen.

nicht für zeitkritische Regelaufgaben geeignet

Anwendungsschicht: HART-Kommandos

Die Kommunikationsroutinen der HART-Bediengeräte und -programme basieren auf HART-Kommandos, welche in der Anwendungsschicht des HART-Protokolls definiert sind.

HART-Kommando vom Master...

Mit Hilfe vordefinierter Kommandos erteilt ein Bediengerät (der Master) Befehle an ein Feldgerät oder setzt Nachrichten/Daten ab. So lassen sich Sollwerte, Istwerte und Parameter übertragen sowie verschiedene Dienste zur Inbetriebnahme und Diagnose abwickeln.

... und Antwort vom Slave

Die Feldgeräte antworten unmittelbar mit ihrem Bestätigungstelegramm, welches eventuell angeforderte Statusmeldungen und/oder Daten des Feldgerätes enthält.

Bild 17 zeigt als Beispiel die Bedeutung der übertragenen Bytes bei einer Transaktion mit dem Kommando 33. Dieses HART-Kommando ermöglicht dem Master mit einem Befehl vier Messwerte inklusive Einheit vom Feldgerät auszulesen.

Gruppierung der HART-Kommandos

Um eine universelle, aber auch Geräte übergreifende gültige Kommunikation zu ermöglichen, gruppiert man HART-Kommandos entsprechend ihrer Funktion für Bedien- und Feldgeräte (Bild 18).

HART-Kommando 33: Lese – bis zu 4 – Messwerte		
<i>Bediengerät-Kommandodaten (4 Byte):</i>		
Byte 1		Variablen-Code Kanal 0
Byte 2		Variablen-Code Kanal 1
Byte 3		Variablen-Code Kanal 2
Byte 4		Variablen-Code Kanal 3
<i>Feldgerät-Antwortdaten (24 Byte):</i>		
Byte 1	Kanal 0:	Gerätevariable-Code
Byte 2		Einheitencode
Byte 3-6		Messwert
Byte 7-12	Kanal 1:	wie Kanal 0
Byte 13-18	Kanal 2:	wie Kanal 0
Byte 19-24	Kanal 3:	wie Kanal 0

Bild 17: Beispiel einer HART-Transaktion

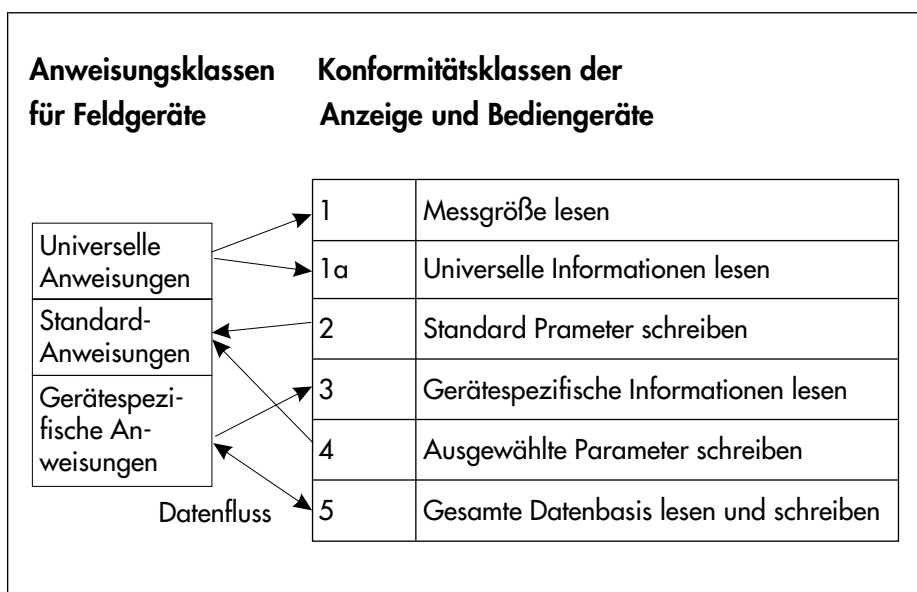


Bild 18: Einteilung der HART-Kommandos in Anweisungs- und Konformitätsklassen

- ▶ Anzeige-Bediengeräte: sechs Konformitätsklassen
- ▶ Feldgeräte: drei Anweisungsklassen

Je nach auszuführender Aufgabe nutzt ein HART-Anzeige- oder Bediengerät ein Kommando, das einer von sechs verschiedenen Konformitätsklassen zugeteilt werden kann. Jede Konformitätsklasse enthält eine Untermenge von HART-Kommandos, mit denen ein spezieller verwaltungs- oder steuerungstechnischer Aufgabenbereich abgedeckt wird.

Feldgeräte interpretieren und bearbeiten nur diejenigen HART-Kommandos, die an sie, oder an alle Teilnehmer, gerichtet sind. Jedes Kommando ist einer von drei Anweisungsklassen zugehörig. Diese Klassen unterscheiden, wie speziell – oder allgemein gültig – ein Kommando ist:

- ▶ universelle Kommandos verstehen und verwenden alle Feldgeräte, die mit dem HART-Protokoll arbeiten (Gerätebezeichnung, Firmware-Nr., etc.)
- ▶ Ein Standard-Kommando wird zumeist nur von einer Gruppe von HART-Feldgeräten unterstützt. (Wert auslesen, Parameter setzen etc.). Die meisten HART-Feldgeräte sind in der Lage Standard-Anweisungen zu interpretieren und zu beantworten.

Konformitätsklassen der Bediengeräte

Anweisungsklassen für die Feldgeräte

versteht jedes Gerät

speziellere Anweisungen für komplexere Geräte

Spezialkommandos für besondere Funktionen

- ▶ Gerätespezifische Kommandos sprechen Funktionen an, die lediglich auf ein individuelles Anweisungs- und Gerätemodell beschränkt sind. Diese Anweisungen greifen sowohl auf Daten über die Art und den Aufbau des Gerätes zu, als auch auf Informationen bezüglich des Wartungszustandes und der Inbetriebnahme (siehe auch DDL-Gerätebeschreibung, Seite 29).

Die meisten Feldgeräte unterstützen Kommandos aus allen drei Klassen: sie verstehen sämtliche universellen Anweisungen, die für sie passenden Standardanweisungen, sowie ganz spezielle, geräte- und herstellungsspezifische Anweisungen.

DDL-Gerätebeschreibung

Die HART-Kommandos ermöglichen, aufbauend auf die Dienste der unteren Schichten, eine offene Kommunikation zwischen Bedien- und Feldgeräten. Diese Offenheit, einschließlich ihrer herstellerunabhängigen Austauschbarkeit der Geräte (Interchangeability), gilt jedoch nur so lange, wie die Feldgeräte ausschließlich mit den Universellen- und Standard-Kommandos arbeiten und solange dem Anwender für Status- oder Fehlermeldungen die einfache HART-Standard-Notation ausreicht.

**Austauschbarkeit
von Feldgeräten**

Will man jedoch, dass die Meldungen weitergehende, auf das jeweilige Gerät bezogene Informationen beinhalten, oder dass spezielle Eigenschaften eines Feldgerätes mit genutzt werden, so reichen die Standard- und Universal-HART-Kommandos nicht aus. Zur Anwendung und Interpretation von Daten ist grundsätzlich die Kenntnis ihrer Bedeutung erforderlich. Diese Kenntnis ist aber bei sich weiterentwickelnden Systemen nicht gegeben, bei denen auch neue Komponenten mit zusätzlichen Möglichkeiten eingebunden werden können. Damit die Software der Bediengeräte nicht mit jeder weitergehenden Statusmeldung oder neu installierten Komponente angepasst werden muss, wurde die Gerätebeschreibungssprache (DDL: Device Description Language) entwickelt.

**DDL beschreibt
gerätespezifische
Funktionen**

Das Sprachmittel DDL ist nicht auf die Anwendung im HART-Bereich beschränkt. Vielmehr wurde es unabhängig vom HART-Protokoll im Rahmen der Feldbusarbeit der International Fieldbus Group (IFG) vom Arbeitskreis 'Human Interface' entwickelt und spezifiziert.

**DDL auch für
Feldnetzanwendungen**

Bei der Entwicklung der Gerätebeschreibungssprache DDL stand eine möglichst vielseitige Nutzbarkeit im Vordergrund. Die DDL kommt beispielsweise auch im Bereich der Feldnetze zum Einsatz. Die erforderliche Flexibilität ist sichergestellt, da die DDL die Anzahl und Funktionen der Geräteschnittstellen und deren Darstellungsform auf den Bedienstationen nicht selbst festlegt. Vielmehr ist die DDL eine Sprache – ähnlich einer Programmiersprache – mit der Gerätehersteller alle Kommunikationsmöglichkeiten eines Gerätes exakt und komplett beschreiben können (Bild 19).

```

VARIABLE low_flow_cutoff
{
  LABEL [low_flow_cutoff];
  TYPE FLOAT;
  {
    DISPLAY_FORMAT "6.4f",
  }
}

MENU configure_io
{
  LABEL [configure_io]
  ITEMS
  {
    FLOW_UNITS,          /* VARIABLE      */
    rerange              /* edit-display  */
    operate_mode,       /* variable      */
    flow_config          /* menu          */
  }
}

```

Bild 19: Ausschnitt aus einer Gerätebeschreibung mit DDL

Mit Hilfe der DDL lassen sich beschreiben:

verbessertes Bedienen und Beobachten

- ▶ Attribute und Zusatzinformationen zu Kommunikations-Datenelementen,
- ▶ sämtliche Betriebszustände des Gerätes,
- ▶ alle Gerätekommandos und -parameter sowie
- ▶ eine Menüstruktur-Beschreibung, welche dem Anwender sämtliche Bedien- und Funktionsmerkmale des Gerätes übersichtlich darstellt.

Ein Bediengerät, das über die Gerätebeschreibung dieses Feldgerätes verfügt und diese interpretieren kann, hat dann alle notwendigen Informationen, um den vollen Leistungsumfang des Gerätes nutzen.

DDL unterstützt alle Erweiterungen

Somit können auch gerätespezifische, herstellerdefinierte Kommandos ausgeführt werden. Dabei muss der Anwender nicht auf eine Geräte übergreifende, einheitliche Bedienoberfläche verzichten, auf der sämtliche Gerätefunktionen übersichtlich dargestellt und bedienbar sind. Das Bedienen und Beobachten eines Prozesses kann mit diesen Zusatzinformationen wesentlich übersichtlicher und exakter und damit auch sicherer ausgeführt werden (Bild 20).

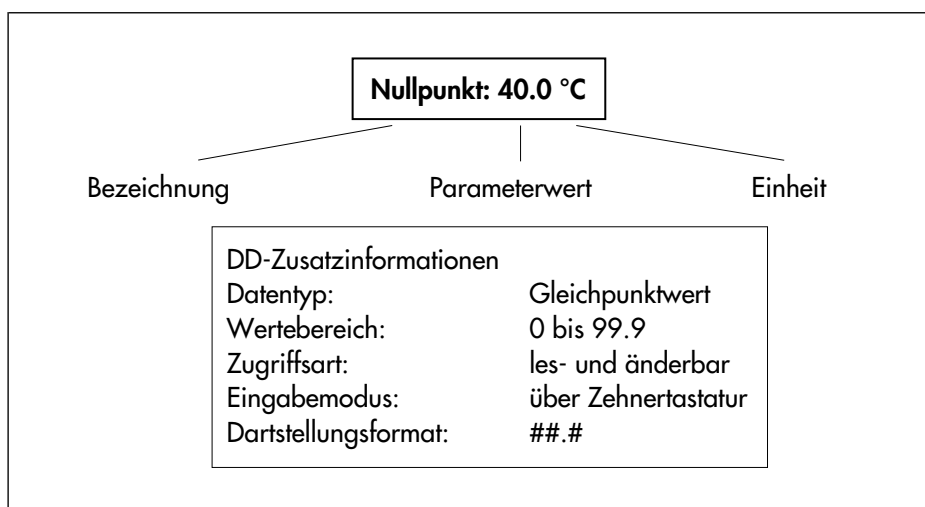


Bild 20: DDL-Zusatzinformationen

Die Gerätebeschreibung wird vom Bediengerät nicht als lesbarer Text in DDL-Syntax eingelesen, sondern als kurzer, binärkodierter DD-Datensatz, der von einem DDL-Encoder speziell generiert wird. Bei Geräten mit ausreichendem Speicherplatz bietet diese Kurzform die Möglichkeit, dass die Gerätebeschreibung auch in der Firmware des Feldgerätes gespeichert werden kann. In der Parametrierungsphase kann sie dann vom jeweiligen Bediengerät ausgelesen werden.

DD-Datensatz wird vom Encoder generiert

Anforderungen an Bediengeräte

Bedienoberflächen nach VDI-Richtlinie

Universell einsetzbare Bediengeräte, auch von unterschiedlichen Herstellern, sollten sich möglichst einheitlich bedienen lassen. Um dies zu gewährleisten, wurde die VDI-Richtlinie 2 187 definiert. Diese legt die wesentlichen Leistungsmerkmale einer solchen Bedienoberfläche sowie deren Struktur fest.

Eine weitere wesentliche Anforderung lautet, dass jedes beliebige HART-Gerät unterstützt werden muss. Entsprechend der vorangegangenen Ausführungen kann dies nur ein offenes, d.h. flexibles und herstellerunabhängiges Bediengerät mit folgenden Leistungsmerkmalen erfüllen:

- ▶ Alle im HART-Protokoll definierten Kommandos müssen implementiert sein und in beliebiger Weise ausgewählt werden können.
- ▶ Zur Erweiterung der Bedienfunktionen lassen sich beliebige Gerätebeschreibungen einlesen.
- ▶ Sämtliche erweiterten Kommunikations-, Informations- und Steuerungsmöglichkeiten werden dem Benutzer über die Bedienoberfläche zur Verfügung gestellt.

Gerätebeschreibungen bei der HCF

Verzichtet man auf spezielle gerätespezifische Möglichkeiten, so lassen sich alle HART-Geräte in ihren Grundfunktionen mit Hilfe der Universellen- und Standard-HART-Kommandos bedienen. Zusätzlich sollten die Bediengeräte jedoch die DDL-Datensätze von Feldgeräten – z.B. über Diskette – einlesen können. Dazu verwaltet die HCF (siehe Seite 6) eine Bibliothek, in der sämtliche Gerätebeschreibungen aller eingetragenen HART-Geräte abgelegt sind.

Die meisten der heute am Markt verfügbaren Bedienprogramme auf PC-Basis unterstützen diese Konfigurierbarkeit jedoch (noch) nicht. Aus diesem Grund liefern HART-Gerätehersteller – unter Verlust der Flexibilität und Offenheit des Systems – zumeist eigene, speziell an die Geräte angepasste Programme, in denen die gerätespezifischen Erweiterungen fest implementiert sind.

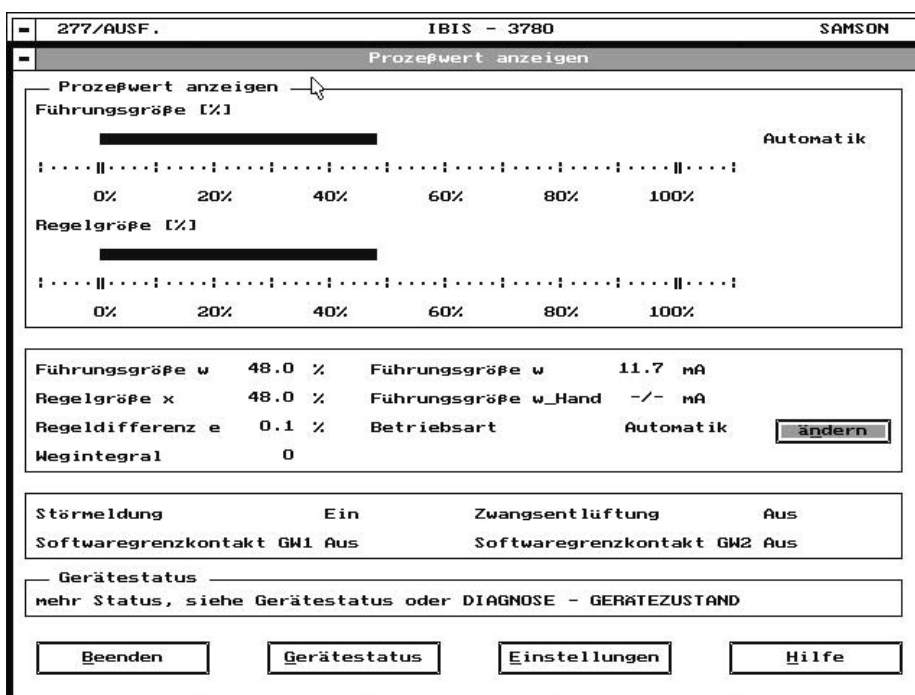


Bild 21: IBIS-Bedienoberfläche für den HART-Stellungsregler Typ 3780

Beispiel: IBIS

Das von Hartmann und Braun entwickelte Programm IBIS (Intelligentes Bedien- und Informationssystem) basiert auf den Vorgaben der VDI-Richtlinie 2 187 und bietet eine übersichtliche, in Fenstertechnik aufgebaute Bedienoberfläche.

Die Möglichkeit beliebige HART-DDs einzulesen wird nicht unterstützt. Der Zugriff auf sämtliche Kommandos eines HART-Gerätes ist nur mit einer vom Gerätehersteller angepassten IBIS-Version möglich. Bild 21 zeigt ein Fenster der IBIS-Bedienoberfläche für den HART-Stellungsregler Typ 3780 der SAMSON AG.

HART-Handbediengerät

Handbediengeräte unterstützen die einfache Bedienung und Diagnose von HART-Feldgeräten vor Ort. Diese Geräte – auch als Handheld oder Handterminal bezeichnet – sind für den Einsatz im Ex-Bereich auch in eigensicherer Ausführung erhältlich.

Bedienoberfläche entsprechend VDI 2 187

Gerätespezifische Version erforderlich

Vor-Ort-Einsatz auch im Ex-Bereich



Bild 22: HART-Handbediengerät

**programmierbares
Handheld für beliebige
DDLs**

Das in Bild 22 gezeigte Handbediengerät der Firma Rosemount lässt sich mit Hilfe einer speziellen Programmier-Hardware so anpassen, dass alle vom Anwender gewünschten Gerätebeschreibungen – löschar – eingespeichert werden. Damit steht dem Anwender im Feld ein flexibel nutzbares Servicegerät zur Verfügung, mit dem er auf alle HART-Feldgeräte seiner Anlage in vollem Funktionsumfang zugreifen kann.

Anhang A1: Typische Fehlerquellen

Treten bei der Installation von HART-Geräten und der Inbetriebnahme der Kommunikation Schwierigkeiten auf, sollten unbedingt auch folgende Punkte überprüft werden:

- ▶ ist die Geräte- oder Busadresse entsprechend der Anwendung richtig eingestellt ?
- ▶ Ist an der PC-Bedienstation das FSK-Modem an die im Programm konfigurierte Schnittstelle angeschlossen – COM1 oder COM2?
- ▶ Eignen sich alle Geräte im Stromkreis – auch die nicht kommunikationsfähigen – für die HART-Datenübertragung?
- ▶ Entsprechen Leitungslänge und -querschnitt den Anforderungen der HART-Kommunikation?
- ▶ Kann die Stromquelle (zumeist der Regler) die Bürde des HART-Gerätes treiben?

Anhang A2: Ergänzende Literatur

- [1] Digitale Signale
Technische Information L150; SAMSON AG
- [2] Serielle Datenübertragung
Technische Information L153; SAMSON AG
- [3] Kommunikationsnetze
Technische Information L155; SAMSON AG
- [4] Kommunikation im Feld
Technische Information L450; SAMSON AG
- [5] PROFIBUS PA
Technische Information L453; SAMSON AG
- [6] FOUNDATION Fieldbus
Technische Information L454; SAMSON AG

Bildverzeichnis

Bild 1:	HART- und HCF-Logo	6
Bild 2:	Anschluss der HART-Bediengeräte	7
Bild 3:	HART-Kommunikation über Multiplexer	8
Bild 4:	Multitrop-Betrieb mit HART-Messumformern	9
Bild 5:	Split-Range-Betrieb mit zwei HART-Stellungsreglern	10
Bild 6:	Komponenten und Verschaltung des FSK-Busses	11
Bild 7:	Punkt-zu-Punkt Verbindung: mit oder ohne Ex-Trennverstärker .	13
Bild 8:	HART-Schnittstelle des SAMSON-Stellungsreglers.	15
Bild 9:	HART-Protokoll im OSI-Schichtenmodell	16
Bild 10:	Analog-Stromsignal mit dem Hart-Signal moduliert	17
Bild 11:	Reglerausgang darf die HART-Signale nicht kurzschließen. . .	19
Bild 12:	HART-Transaktion: Datenaustausch zwischen Master und Slave	21
Bild 13:	HART-Kommunikationsformen	21
Bild 14:	Aufbau und Elemente des HART-Telegramms	22
Bild 15:	Kurze und lange HART-Adressierung.	23
Bild 16:	Übertragungszeit eines HART-Telegramms	25
Bild 17:	Beispiel einer HART-Transaktion	26
Bild 18:	Anweisungs- und Konformitätsklassen	27
Bild 19:	Ausschnitt aus einer Gerätebeschreibung mit DDL.	30
Bild 20:	DDL-Zusatzinformationen	31
Bild 21:	IBIS-Bedienoberfläche für den HART-Stellungsregler Typ 3780 .	33
Bild 22:	HART-Handbediengerät	34

NOTIZEN

NOTIZEN



SAMSON AG · MESS- UND REGELTECHNIK · Weismüllerstraße 3 · D-60314 Frankfurt am Main
Telefon (069) 4 00 90 · Telefax (069) 4 00 95 07 · Internet: <http://www.samson.de>