

**Zeitschrift:** Bulletin des Schweizerischen Elektrotechnischen Vereins, des Verbandes Schweizerischer Elektrizitätsunternehmen = Bulletin de l'Association suisse des électriciens, de l'Association des entreprises électriques suisses

**Herausgeber:** Schweizerischer Elektrotechnischer Verein ; Verband Schweizerischer Elektrizitätsunternehmen

**Band:** 71 (1980)

**Heft:** 17

**Artikel:** Prozessangepasste Kommunikation in Multiprozessorsystemen

**Autor:** Steiner, P. / Müri, K. / Funk, G.

**DOI:** <https://doi.org/10.5169/seals-905283>

### **Nutzungsbedingungen**

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Zeitschriften und ist nicht verantwortlich für deren Inhalte. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern beziehungsweise den externen Rechteinhabern. [Siehe Rechtliche Hinweise.](#)

### **Conditions d'utilisation**

L'ETH Library est le fournisseur des revues numérisées. Elle ne détient aucun droit d'auteur sur les revues et n'est pas responsable de leur contenu. En règle générale, les droits sont détenus par les éditeurs ou les détenteurs de droits externes. [Voir Informations légales.](#)

### **Terms of use**

The ETH Library is the provider of the digitised journals. It does not own any copyrights to the journals and is not responsible for their content. The rights usually lie with the publishers or the external rights holders. [See Legal notice.](#)

**Download PDF:** 01.04.2025

**ETH-Bibliothek Zürich, E-Periodica, <https://www.e-periodica.ch>**

# Prozessangepasste Kommunikation in Multiprozessorsystemen

Von P. Steiner, K. Müri und G. Funk

681.3.012:681.518;

Die Anforderungen an die Kommunikation in Prozessleitsystemen mit verteilter System-Intelligenz werden erläutert. Als Lösungsmittel, das die gestellten Anforderungen erfüllt, wird ein demokratisch verwaltetes Kommunikationsprinzip vorgestellt, bei dem die benötigten Verwaltungsfunktionen, wie etwa die Buszutrittsregelung, die Überwachung der Systemkonfiguration, die Speisung usw. von allen Stationen gleichförmig übernommen werden. Anschliessend werden die Vorkehrungen zum Schutz der Information gegen Fehler und Verluste am gemeinsamen Datenweg, die erzielbare Informations-Durchsatzrate, die gewählte Nachrichtenverschlüsselung und der Aufbau der Systemkomponenten beschrieben.

*Exposé des exigences posées à la communication dans des systèmes de contrôle-commande de processus avec intelligence répartie. Un principe de communication «démocratique» qui satisfait à ces exigences est présenté. Les fonctions de gestion requises, telles que le réglage des entrées dans le bus, la surveillance de la configuration du système, l'alimentation, etc., sont assumées uniformément par tous les postes. Les moyens de protéger les informations contre des erreurs et des pertes dans la voie commune de transmission des données sont décrits, de même que les taux de transmission atteignables, le codage adopté et la constitution des composants du système.*

## 1. Einleitung

Bei Prozessleitsystemen mit steigenden Anforderungen bezüglich Datenmenge, kurzen Reaktionszeiten und nachweisbar hohen Systemverfügbarkeitszahlen gewinnen Systemstrukturen mit einer Aufteilung von Verarbeitungsaufgaben auf mehrere Prozessoren zunehmend an Bedeutung. Die Anzahl von Aufgaben, die gleichzeitig und rasch durchzuführen sind, die steigende Komplexität dieser Aufgaben und die geforderte Toleranz gegenüber Ausfall von Systemkomponenten befürworten Lösungen mit simultan arbeitenden Prozessoren.

Voraussetzung für die Steigerung der Effizienz in einem Mehr-Rechner-Verbundsystem ist eine Datenübertragungsmethode, die den benötigten Informationsaustausch zwischen den Prozessoren in geeigneter Weise unterstützt.

## 2. Anforderungen an die Datenübertragung in Prozessleitstationen mit verteilter Systemintelligenz

Fig. 1 zeigt eine typische Aufteilung von Funktionen auf mehrere Prozessoren in einer Prozessleitstelle. Im prozessnahen Bereich führen Prozessoren Aufgaben der Ist-Zustands-Erfassung und die Ausgabe von Massnahmen zum Leiten des Prozesses durch. Für örtliche Prozesse werden diese Aufgaben durch Prozessoren für die lokale Automatisierung wahrgenommen, während bei geographisch weitverzweigten Prozessen sogenannte «Frontend»-Rechner die fernwirkspezifischen Funktionen des Datenverkehrs der Kommandostationen mit den Unterstationen übernehmen.

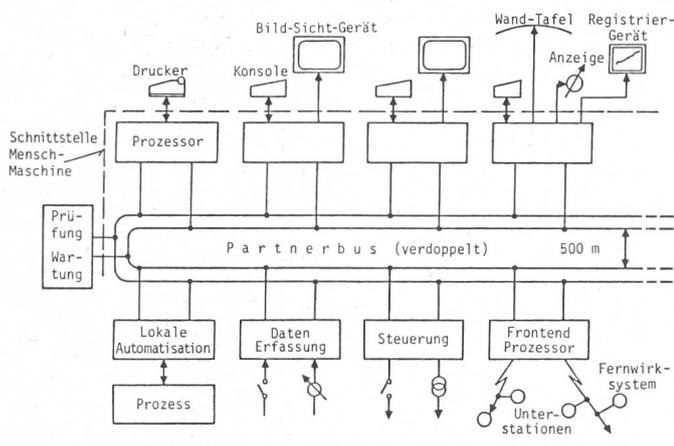


Fig. 1 Typische Konfiguration einer Prozessleitstelle

Die Anforderungen und Eigenschaften der Datenübertragung über den gemeinsamen Bus sind dabei folgendermassen charakterisierbar.

– *Überwiegend ereignisorientierte Datenübertragung.* Ereignisse, die in einem Prozessor erfasst werden, stossen Verarbeitungsprozeduren in anderen Prozessoren an. Das Auslösen von mehreren Verarbeitungsprozeduren in mehreren Prozessoren gleichzeitig ist zu ermöglichen.

– *Hohe Verfügbarkeit.* Zur Erhaltung der Funktionstüchtigkeit des Systems bei Einzelkomponentenausfall: Hier wird der Partnerbus verdoppelt, wobei beide Busse im Normalfall betrieben und permanent überwacht werden.

– *Hohe Datenzuverlässigkeit.* Jeder Datentransfer ist durch Codierung mit Hamming-Distanz 4 und durch Signalqualitätsüberwachung gegen nicht erkennbare Verfälschung und gegen Verlust abgesichert.

– *Integrität für Nachrichten variabler Länge.*

– *Hohe Effizienz der Nachrichtenübertragung.* Die Verzögerungszeiten der Nachrichtenübertragung müssen klein sein gegenüber den Zeiten, die beim Erfassen an der Quelle oder beim Verarbeiten an Bestimmungsorten aufgewendet werden.

– *Überwachung der Systemkonfiguration.* Der Ausfall oder das Zuschalten eines Teilnehmers wird von allen übrigen Teilnehmern erkannt.

– *Omnibusverkehr mit Quellenadressierung.* Die Nachrichtensendung eines Teilnehmers muss von allen Partnern verstanden und gegebenenfalls auch verarbeitet werden können. Quelle und Typ der Nachricht müssen dabei eindeutig identifizierbar sein.

## 3. Gewählte Lösung (BBC-Partnerbussystem)

### 3.1 «Demokratische» Busorganisation

Um die genannten Forderungen zu erfüllen, wurde ein bitserielles Datenübertragungsverfahren mit einer demokratischen Verteilung der Steuer- und Kontrollfunktionen auf alle Teilnehmer gewählt. Die Überlegung, die zur Aufteilung der Anwenderfunktion auf mehrere autonom arbeitende Prozessoren führt, wird sinngemäss auch auf die Kommunikation zwischen diesen Prozessoren ausgedehnt. Demzufolge werden Konzentrationen von vitalen Systemfunktionen an einer Stelle vermieden: Die für die Kommunikation benötigten Hilfsfunktionen wie Speisung, Takt, Buszutrittsorganisation, Konfi-

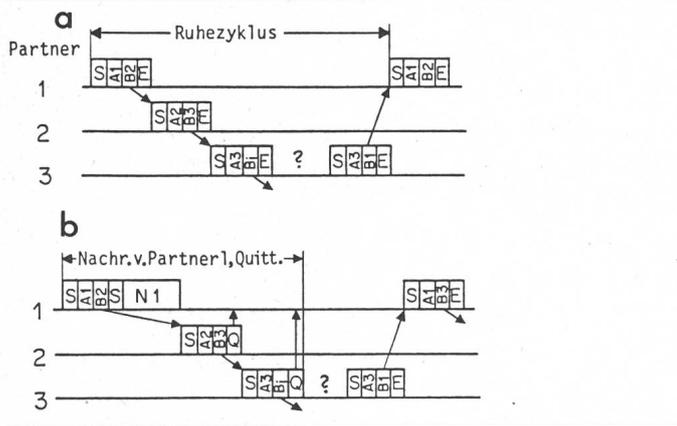


Fig. 2 Zyklischer Buszutritt

- |                                       |   |
|---------------------------------------|---|
| a Ruhezyklus                          | A <sub>i</sub> Absenderadresse                    |
| b Nachrichtenübertragung mit Quittung | B <sub>i</sub> Zieladresse für Zutrittsweitergabe |
| S Startsynchrisation                  | Q Quittierzeichen                                 |
| E Endezeichen                         | N <sub>i</sub> Nachricht                          |

gurationsüberwachung usw. werden von allen Teilnehmern gleichförmig übernommen.

### 3.2 Zyklischer Buszutritt

Der Zutritt zum Bus wird zyklisch von Partner zu Partner weitergegeben: Der Partner sendet ein Startsynchrisationszeichen, seine Absenderadresse, dann die Zieladresse für die Zutrittsweitergabe und schliesst seinen Zutritt mit einem Endezeichen ab, falls keine Anforderung für eine Nachrichtensendung vorliegt (Fig. 2a). Inaktive Partner werden beim zyklischen Zutritt berücksichtigt, so dass sie nach dem Aktivieren in den Zyklus einbezogen werden. Ausfallende Partner werden von allen restlichen Partnern registriert und den Anwenderprogrammen gemeldet.

Sobald eine Anforderung für eine Nachrichtensendung eintrifft, wird die entsprechende Nachricht im Anschluss an das Buszutrittstelegramm gesendet und bei fehlerfreiem Empfang von allen aktiven Partnern quittiert, indem diese ihr Zutritts-

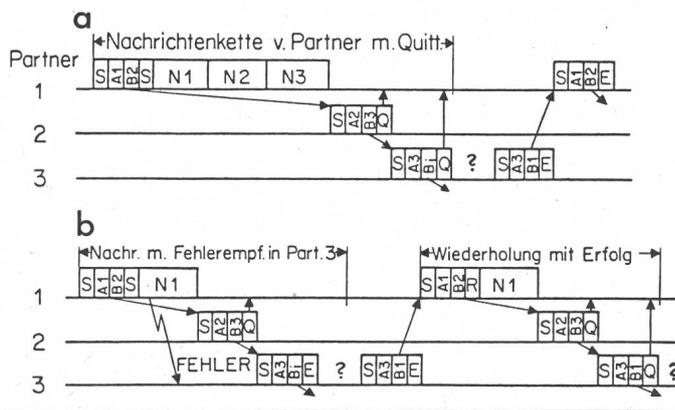


Fig. 3 Beispiele für Nachrichtenübertragungen

- |   |
|---|
| a Nachrichtenblockaufstellung                               |
| b Nachrichtenwiederholung nach Fehlererkennung in Partner 3 |
| R Repetition  |

telegramm mit einem Quittierzeichen abschliessen (Fig. 2b). Danach gibt der Partner, der die Nachricht gesendet hat, den Zutritt weiter (und zwar auch dann, wenn inzwischen weitere Nachrichten eingetroffen sein sollten).

Benutzernachrichten mit unterschiedlicher Blocklänge werden in Form von Vielfachen zu 8 Nutzbytes, ergänzt mit einem Prüfbyte, über den Partnerbus übertragen (Fig. 3a).

### 3.3 Fehlerbehandlung

Falls ein Partner eine Nachrichtenverfälschung feststellt (Partner 3 in Fig. 3b), oder falls ein Partner eine zeitliche Überlastung seiner Empfangsbereitschaft feststellt, so quittiert dieser Partner nicht, gibt jedoch den Zutritt weiter (Endezeichen). Der Partner, der die Nachricht gesendet hat, wiederholt die Sendung und kennzeichnet die Wiederholung. Falls ein Partner nach 15maliger Wiederholung nicht quittiert, gibt der sendende den Zutritt weiter und meldet dem Anwender einen «Sende-fehler» mit der Angabe, welche Partner nicht quittiert haben.

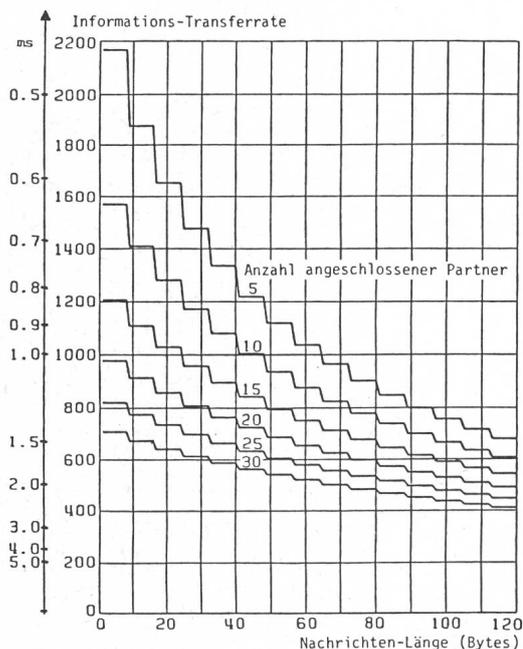


Fig. 4 Effektive Nachrichtenübertragungsrate, wenn 1 Partner sendet

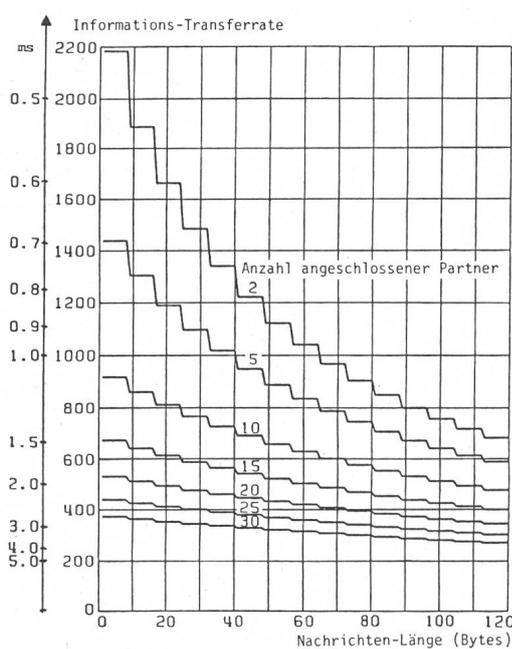


Fig. 5 Effektive Nachrichtenübertragungsrate, wenn alle Partner senden

### 3.4 Nachrichtenselektion im Empfänger

Die Kommunikationseinheit enthält Tabellen, die unter der Kontrolle des Anwenderprogramms stehen. In einer dieser Tabellen kann der Anwender angeben, von welchen Absendern er Nachrichten empfangen will und welche Informationstypen ihn interessieren. Unterlässt ein Partner diese Eintragung, übergibt ihm die Kommunikationseinheit alle Nachrichten, die den Bus passieren.

### 3.5 Informationstransferrate

Die effektive Geschwindigkeit der Nutzinformationsübertragung hängt von der zeitlichen Verteilung des Nachrichtenanzfalls im ganzen System sowie von der Länge der Nachrichten und der Anzahl der angeschlossenen Partner ab. Die Figuren 4 und 5 zeigen die effektiven Nachrichtenübertragungsraten als Funktionen der Nutzdatenlänge und der Anzahl der angeschlossenen Partner. Fig. 4 zeigt die Rate bei Anfall von Nachrichten in einem einzelnen Partner, Fig. 5 bei Anfall von Nachrichten in allen angeschlossenen Partnern. Bei der verwendeten Übertragungsgeschwindigkeit von 1 Mbit/s liegen die Informationstransferraten zwischen 300 und 2200 Nachrichten pro Sekunde.

In den Figuren 4 und 5 sind zusätzlich die Reziprokwerte der Informationstransferrate eingetragen. Diese Zeiten geben die maximale Kadenz an, mit der Nachrichten eintreffen können, bevor eine Überlastung der Partnerbuskommunikation eintritt. Dies ist ferner die maximal mögliche Zutrittszeit, die in einem System, das nicht überlastet ist, auftreten kann. Schliesslich ist dies auch die Zykluszeit, die sich einstellt, wenn für bestimmte Anwendungsprobleme Partner mit permanenten Zutrittswünschen vorgesehen werden.

### 3.6 Technische Daten

Übertragungsrate	1 Mbit/s
Maximale Partnerzahl	32
Übertragungsart	asynchron
Maximale Nachrichtenlänge	120 Bytes
Maximale Kabellänge	500 m

## 4. Aufbau des Partnerbussystems

Zum Aufbau des Partnerbussystems sind folgende Einheiten nötig: die Kommunikationseinheit, der Leitungskoppler und das Übertragungskabel (Fig. 6).

### 4.1 Kommunikationseinheit

Die Kommunikationseinheit (KE) wird direkt am ED-Systembus angeschlossen. «ED-Systembus» ist die Bezeichnung des Busses der Modulfamilie ED 1000 für Aufgaben der Fernwirktechnik und der industriellen Datentechnik [1, 2]. Die KE ist ein Peripheriegerät der Modulfamilie ED 1000. In Fig. 7 ist ein Blockschaltbild der KE wiedergegeben. Sie umfasst im wesentlichen drei Teile: einen Sendeteil, einen Empfangsteil sowie einen Steuerteil.

Die Steuerung überwacht den gesamten Ablauf der Zutrittsweitergabe und erteilt die nötigen Befehle an die Sender- und Empfängersteuerung.

Nach dem Einschalten ist das Gerät vom Leitungskoppler abgetrennt und der Sender mit dem Empfänger verbunden. Die Überprüfung des Geräts durch Nachrichten, die am kurzgeschlossenen Verbindungsweg reflektiert werden, ist in diesem Zustand möglich. Auf Anweisung des Anwenders wird diese Verbindung aufgehoben und die KE mit dem Leitungskoppler

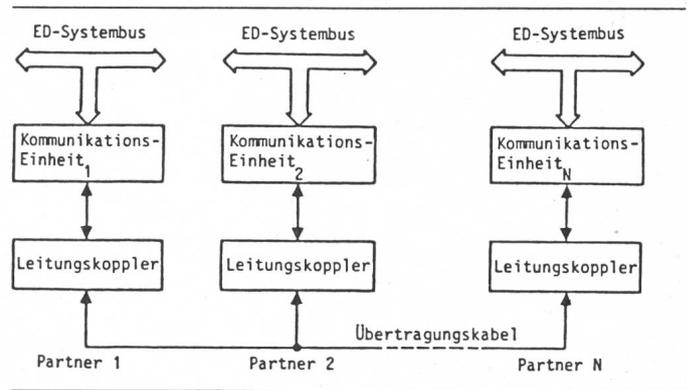


Fig. 6 BBC-Partnerbussystem

verbunden. Dabei wird vorerst nur der Empfänger aktiviert. Ist nach einer bestimmten Zeit noch kein Telegramm eingetroffen, nimmt die Steuerung an, dass kein anderer Partner angeschlossen ist, und übernimmt selbst die Initiative. Ist das System aber bereits aktiv, analysiert die Steuerung die ankommenden Telegramme. Falls Nachrichten eintreffen, werden diese auch bereits untersucht und gegebenenfalls zum Anwender weitergeleitet. Zutritt zur Übertragungsleitung erhält der Partner aber erst, wenn die zyklische Aufrufoutine seine Adresse aufruft. Ist dies der Fall, übernimmt er den Zutritt, indem er ein Zutrittsweitergabe-Telegramm sendet. Damit ist er im System aufgenommen, und alle andern Partner teilen dies dem Anwender mit.

Für den Anwender erfolgt der Datentransfer in sehr einfacher Art und Weise. Er schreibt die Daten byteweise in den Sendespeicher und erteilt dann der Steuerung durch Setzen des entsprechenden Statusbits den Befehl, beim nächsten Zutritt diese Nachricht auszusenden. Empfangsseitig wird dem Anwender durch Interrupt angezeigt, dass neue Daten im Empfangsspeicher bereit sind. Er liest diese ebenfalls byteweise aus und gibt dann den Empfangsspeicher wieder frei. Die Massnahmen zur Sicherung der Nachrichten gegen Fehler und Verluste zwischen Sendespeicher und Empfangsspeicher sind für den Anwender nicht sichtbar, ebenso wie die Tatsache, dass der Empfangsspeicher doppelt ausgeführt ist, damit das System bereits die nächste Nachricht empfangen kann, während der Anwender noch eine vorherige Nachricht ausliest.

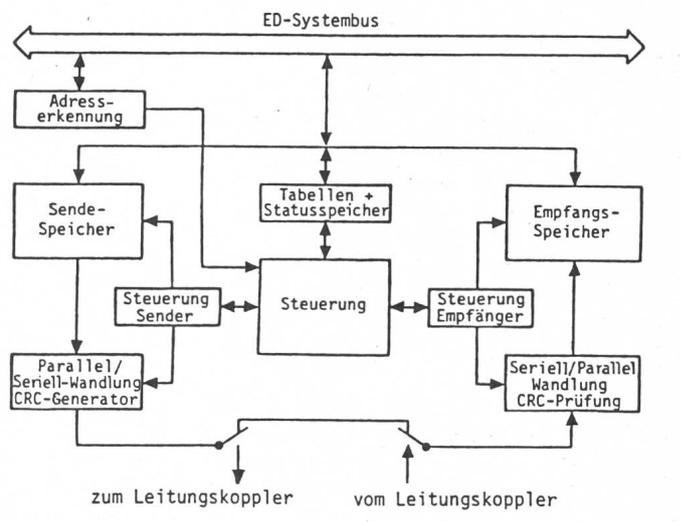


Fig. 7 Blockscha der Kommunikationseinheit (KE)

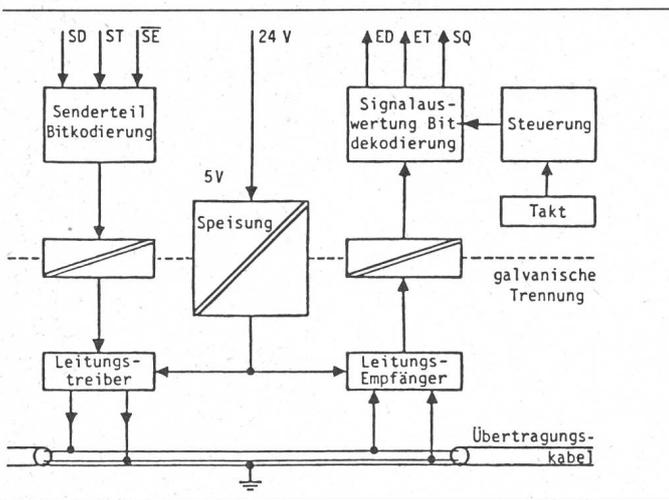


Fig. 8 Blockschaltbild Leitungskoppler

SD Sendedata ED Empfangsdaten  
 ST Sendetakt ET Empfangstakt  
 SE Sender-Ein SQ Signalqualität

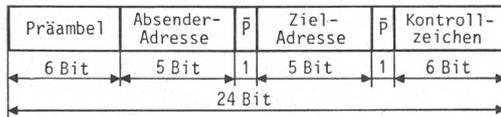


Fig. 9 Zutrittsweitergabe-Telegramm

$\bar{p}$  Paritybit

Die Steuerungen für Sender und Empfänger sind reine sequentielle Ablaufsteuerungen. Die Sendesteuerung übernimmt das normierte Formatisieren der Telegramme, steuert den Parallel/Serie-Wandler und den CRC-Code-Generator. Auf der Empfangsseite werden das serielle Telegramm wieder in parallele Information umgewandelt, der CRC-Code getestet und die Datenbytes im Speicher abgespeichert.

Um dem Anwender die Bedienung der KE zu erleichtern, wird dem Nachrichtentelegramm (als erste zwei Bytes) automatisch die Information angefügt, wie viele Bytes das Telegramm enthält und wer der Absender der Nachricht ist. Organisatorische Informationen zwischen Anwender und KE werden über Tabellen- und Statusspeicher ausgetauscht. Über diese Tabellen teilt der Anwender mit, welche Nachrichten empfangsseitig ausgewählt werden sollen, und die KE meldet dem Anwender allfällige Änderungen in der Konfiguration der aktiven Partner.

Die KE führt ferner die in Abschnitt 3.3 beschriebene Fehlerbehandlung nach erkannten Störungen der Nachrichtenübertragung durch.

#### 4.2 Leitungskoppler

Der Leitungskoppler übernimmt die Anpassung der Signale an die Leitung und das Codieren und Decodieren des Biphas-L-Codes.

Fig. 8 zeigt die T-förmige Kopplung der Partner an die gemeinsame, aus einem TWINAX-Kabel bestehende Übertragungsleitung. Obwohl die Signale mit aktiven Bauelementen direkt auf die Leitung gekoppelt werden, beeinträchtigt ein Spannungsausfall am Koppler den übrigen Datenverkehr auf dem Übertragungskabel nicht, denn der Sender ist ohne Speisung hochohmig.

Senderseitig werden die seriellen Daten in den Biphas-L-Code umgewandelt und dann direkt auf den Leitungstreiber weitergeschaltet. Empfangsseitig werden die ankommenden Daten ausgewertet, decodiert und seriell an die KE weitergegeben. Dazu liefert der Leitungskoppler noch einen synchronisierten Takt und ein Signal «Signalqualität» (SQ), das Auskunft gibt, ob die Daten gültig sind.

#### 4.3 Telegrammstruktur

Wie in Abschnitt 3 erläutert, läuft unabhängig vom Systemzustand eine zyklische Weitergabe des Zutritts ab. Dazu dient das sogenannte Zutrittsweitergabe-Telegramm (Fig. 9).

Die Präambel kennzeichnet den Beginn eines Telegramms und wird im Leitungskoppler gebildet. Die Absenderadresse kennzeichnet den Partner, der dieses Zutrittsweitergabe-Telegramm aussendet. In der Zieladresse steht die Adresse des Partners, an den der Zutritt weitergegeben werden soll. Das Kontrollzeichen dient zum Kennzeichnen des Telegramms. Es sind folgende Kontrollzeichen möglich:

- Endezeichen: Kennzeichnet das Telegramm als reines Zutrittsweitergabe-Telegramm.
- Quittierzeichen: Mit diesem Zeichen wird eine vorhergehende Nachricht quittiert, falls diese richtig empfangen wurde. Der Zutritt wird weitergegeben.
- Startzeichen: Dieses Kontrollzeichen bedeutet, dass dem Zutrittsweitergabe-Telegramm eine Nachricht folgt.
- Wiederholzeichen: Die dem Zutrittsweitergabe-Telegramm folgende Nachricht wird als Wiederholung gekennzeichnet.

Die Kontrollzeichen halten untereinander eine Hamming-Distanz von 4 ein. Die Absender- und Zieladresse sind mit einem Paritybit abgesichert, doch wird durch Ausnützung der Systemredundanz (der Zutritt wird erst freigegeben, wenn die Absenderadresse gleich der vorherigen Zieladresse ist und der Absender gleich dem Absender aus dem vorigen Zyklus ist) die Hamming-Distanz 4 gleichwohl erreicht.

Die Nachrichten werden mit einem CRC-Code ebenfalls auf Hamming-Distanz 4 abgesichert (Fig. 10).

#### 4.4 Biphas-L-Code

Ausführliche Untersuchungen [3] haben gezeigt, dass sich ein Biphas-L-Code für ein schnelles seriellles Datenübertragungssystem besonders eignet (Fig. 11).

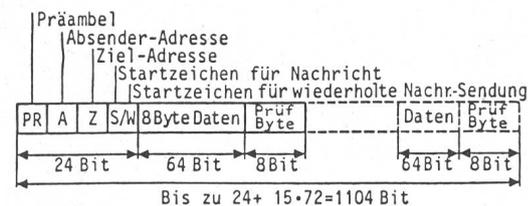


Fig. 10 Nachrichtentelegramm

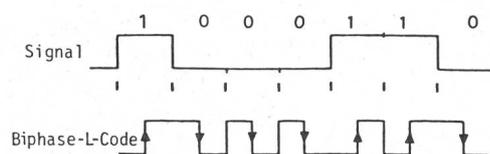


Fig. 11 Biphas-L-Code

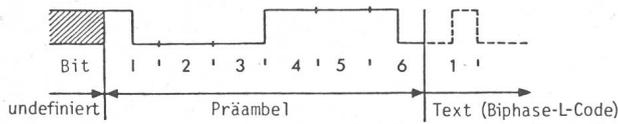


Fig. 12 Präambel zur Synchronisation

Für die Präambel wurde ein möglichst kurzes Zeichen gesucht, das sich mit Hamming-Distanz 4 vom Biphase-L-Code unterscheidet, mit einer Eins beginnt und das möglichst viele Flanken zur Synchronisation enthält. Ausgewählt wurde das Muster, das in Fig. 12 dargestellt ist.

#### 4.5 Signalqualitätsüberwachung

Im Leitungskoppler ist empfangsseitig eine Signalqualitätsüberwachung eingebaut (Fig. 13). Diese Überwachung nutzt die Tatsache, dass Schrittwechsel nur zu bestimmten Zeiten erfolgen dürfen. Ausserhalb der definierten Zeiten darf kein Schrittwechsel vorkommen.

In einem Fenster von 200 ns Breite muss jede Mikrosekunde die Informationsflanke und verschoben dazu darf jede Mikrosekunde eine zusätzliche Flanke auftauchen. In der Bit-Mitte muss genau eine Flanke eintreffen, am Ende eines Bit darf höchstens eine Flanke auftreten. Wird eine dieser Bedingungen

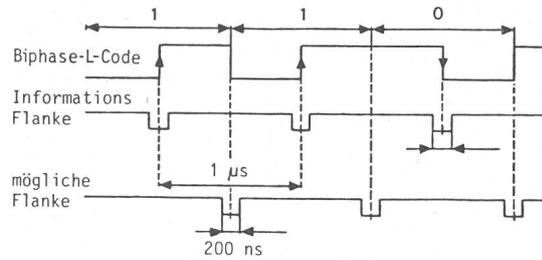


Fig. 13 Signalqualitätsüberwachung

verletzt, wird der Empfänger sofort zurückgesetzt und beginnt wieder nach einer Präambel Ausschau zu halten. Der Takt wird während des gesamten Telegrammempfangs weich nachsynchronisiert.

Diese Überwachungskriterien sind hart, doch hat sich in der Praxis gezeigt, dass das System die geforderte hohe Datenzuverlässigkeit gewährleistet, auch wenn die Leitung kräftigen Störungen ausgesetzt ist.

#### Literatur

- [1] F. Tisi: Die Modulfamilie ED 1000 für Aufgaben der Fernwirktechnik und der industriellen Datentechnik. Brown Boveri Mitt. 60(1973)10/11, S. 436...442.
- [2] G. Funk und J. Holm: Modulfamilie ED 100 zur Lösung von Aufgaben industrieller Datentechnik. Brown Boveri Mitt. 63(1976)9, S. 545...549.
- [3] N. Felber u. a.: Störfreie Datenverteilung und Datenerfassung in einem digitalen Glasfasernetz. Interner Bericht Nr. 1/1978. Zürich, ETH, Abteilung für Industrielle Forschung (AFIF), 1978.

#### Adresse der Autoren

Dipl. Ing. P. Steiner, K. Müri, Abt. ESP, und G. Funk, Abt. ESL,  
BBC Aktiengesellschaft Brown, Boveri & Cie, Werk Turgi, 5401 Baden.