Das Fernwirk- und Prozessrechnersystem: Datenerfassung und -verarbeitung, automatisierte Betriebsführung

Autor(en): **Fierz, Ulrich**

Objekttyp: **Article**

Zeitschrift: **Schweizer Ingenieur und Architekt**

Band (Jahr): **98 (1980)**

Heft 36: **Der Gotthard-Strassentunnel**

PDF erstellt am: **19.03.2024**

Persistenter Link: https://doi.org/10.5169/seals-74188

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Inhalten der Zeitschriften. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern.
Die auf der Plattform e-periodica veröffentlichten Dokumente stehen für nicht-kommerzielle Zwecke in Lehre und Forschung sowie für die private Nutzung frei zur Verfügung. Einzelne Dateien oder Ausdrucke aus diesem Angebot können zusammen mit diesen Nutzungsbedingungen und den korrekten Herkunftsbezeichnungen weitergegeben werden.
Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. Die systematische Speicherung von Teilen des elektronischen Angebots auf anderen Servern bedarf ebenfalls des schriftlichen Einverständnisses der Rechteinhaber.

Haftungsausschluss

Alle Angaben erfolgen ohne Gewähr für Vollständigkeit oder Richtigkeit. Es wird keine Haftung übernommen für Schäden durch die Verwendung von Informationen aus diesem Online-Angebot oder durch das Fehlen von Informationen. Dies gilt auch für Inhalte Dritter, die über dieses Angebot zugänglich sind.

Ein Dienst der *ETH-Bibliothek*
ETH Zürich, Rämistrasse 101, 8092 Zürich, Schweiz, www.library.ethz.ch

http://www.e-periodica.ch

frequenz 75 kHz im Vordergrund. Sekunden- oder Minutenimpulse werden an alle angeschlossenen Zeitabnehmer weitergeleitet und dadurch ist eine exakte Synchronisation gewährleistet.

Zusammenfassung und Ausblick

Die installierten Systeme haben die Testphasen erfolgreich bestanden. Es hat sich gezeigt, dass die beteiligten Unternehmen vorzügliche Arbeit geleistet haben. Sowohl auf der Hardware- als auch auf der Softwareseite sind relativ wenig Fehler aufgetreten, die aber in Kürze behoben werden konnten.
Die *praktische Betriebserfahrung bei Spitzenverkehr oder in Alarmfällen steht noch bevor.* Es ist anzunehmen, dass da und dort Ergänzungen erforderlich werden, die dank dem modularen Aufbau leicht realisiert werden können.
Das zentrale Steuern von umfangreichen Vekehrsanlagen wie der Gotthard-Strassentunnel ist ohne die Verwendung von Prozessrechneranlagen kaum denkbar. Zukünftige Kommandoanlagen sind durch den steigenden Informationsanfall, noch leistungsfähigere Systeme und komplexere Geräte gekennzeichnet. Die *richtige Synthese zwischen Mensch und Maschine zu finden, ohne den ersten zu überfordern, ist eine Hauptaufgabe für die projektierenden Instanzen.*

Adresse des Verfassers: *E. Keller,* Ing. HTL, Elektrowatt Ingenieurunternehmung AG, 8022 Zürich.

Das Fernwirk- und Prozessrechnersystem

Datenerfassung und -verarbeitung, automatisierte Betriebsführung

Von Ulrich Fierz, Zürich

Aufgaben

Die Ansteuerung der umfangreichen Anlagen in den Kommandoräumen Göschenen und Airolo und die Fernsteuerung der Einrichtungen im Tunnel, in den Lüftungszentralen, in den Schachtkopfanlagen und in den Werkhöfen erfordern eine leistungsfähige Fernwirkanlage. Sie muss alle Ereignisse rasch und zuverlässig erfassen, verarbeiten und darstellen können. Sie gibt damit dem Betriebspersonal eine Gesamtübersicht und ermöglicht allfällige Eingriffe in die verschiedenen Systeme.
Eine Analyse des Tunnelbelüftungsprozesses als Funktion zahlreicher Parameter, wie Verkehrsaufkommen, Luftdruckverhältnisse, CO-Gehalt, Sichttrübung usw., zeigte auch, dass ein *optimaler Betrieb nur mit Hilfe eines Prozessrechners* möglich sein würde. Ein solches Rechnersystem muss dabei über die Fernwirkanlage mit den Ventilations- und Messeinrichtungen gekoppelt werden.
Aus diesen Überlegungen wurde eine Anlage konzipiert, welche die Informationsverarbeitung der gesamten technischen Anlagen und Einrichtungen, nur mit Ausnahme der Verkehrssteuerung, übernimmt und die Steuerung dieser Anlagen samt der automatischen Regelung der Belüftungseinrichtungen ermöglicht. Erschwerend bei der Realisierung wirkte sich dabei die grosse Zahl unterschiedlichster Signale und Kriterien aus, die in ihrer Behandlung ein differenziertes Vorgehen erforderten.

Beschreibung der Anlage

Die Ausschreibung ging von einer *Trennung der drei Funktionen*

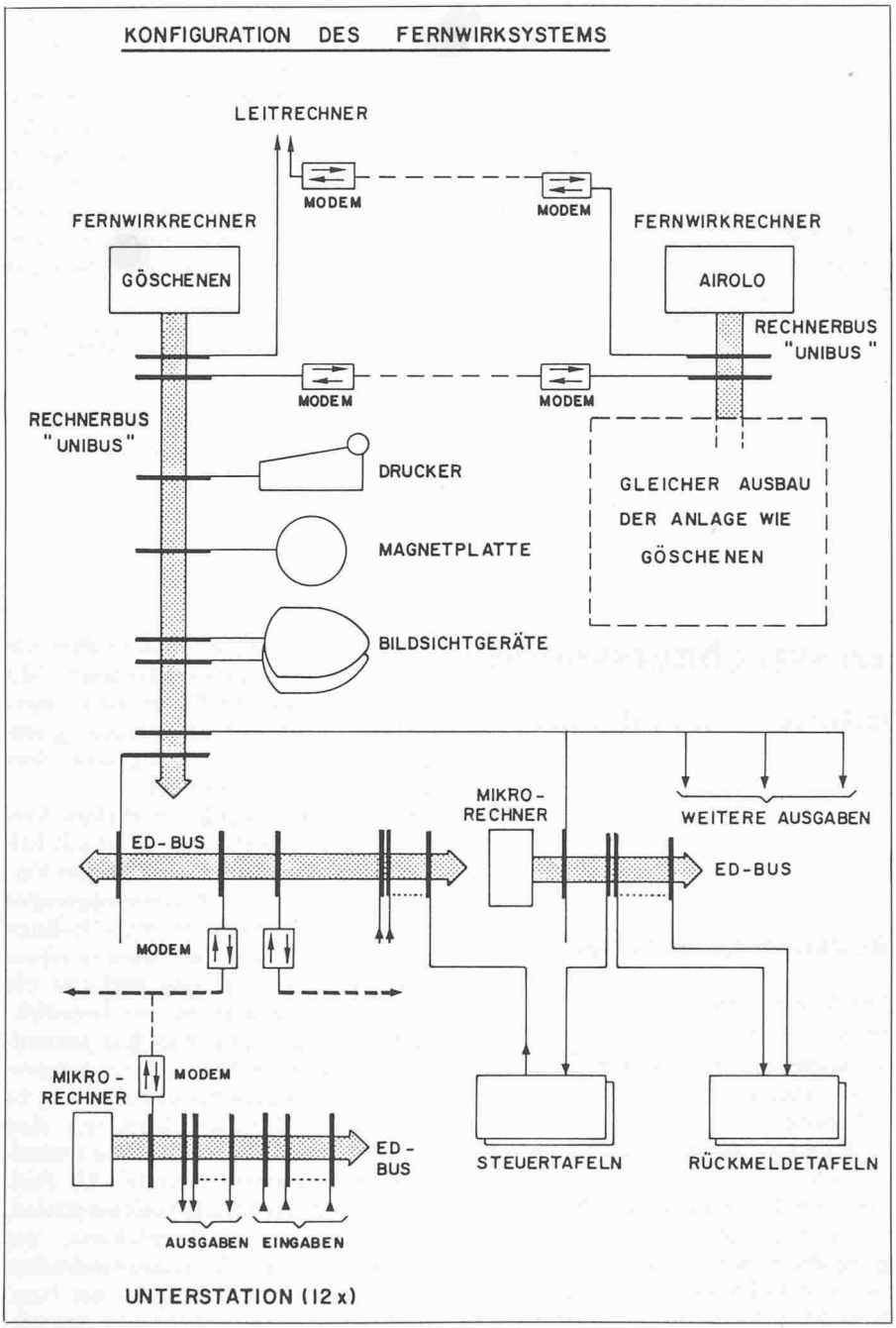
- Datenerfassung und -Übertragung,
- Verarbeitung, Anzeige und Protokollierung,
- Belüftungsautomatisierung und Statistik

aus. Die Lieferfirma, AG Brown, Boveri + Cie, schlug eine *Zusammenlegung der beiden ersten Funktionen* vor. Die weitere Projektierung folgte diesem Vorschlag. Es bestehen heute *zwei in sich geschlossene, durch Datenverbindung gekoppelte Systeme:* Die *Fernwirkanlage* und der *Prozess- oder Leitrechner.*

Die Fernwirkanlage besteht aus zwei identischen, redundanten Kopfstationen in Göschenen und Airolo. Das Kernstück jeder Kommandostation bildet ein Rechner vom Typ PDP 11/34, der alle Daten erfasst, speichert, verarbeitet, weitergibt und ausschreibt. Ein Drucker und zwei Bildsichtgeräte sind zur Ausgabe der Textinformation direkt am Rechner angeschlossen. Die Anzeigetafeln werden über vier von Mikrorechnern gesteuerte Ausgabeblöcke betrieben. Der «On-line» Rechner erfragt die Prozessdaten oder sendet seine Befehle an zwölf, auch von Mikrorechnern gesteuerte Unterstationen im Tunnel und in den beiden Werkhöfen.
Alle Daten werden über eine Rechnerverbindung dem «Stand-by» Rechner zur Anzeige weitergegeben. Beide Kommandoräume sind damit über alle Vorgänge im Tunnel informiert. Mit einem einfachen Verfahren kann jederzeit die automatische Umschaltung eingeleitet und die Befehlsgewalt dem Partner übergeben werden.
Der Leitrechner hat keine direkten Verbindungen zum Prozess. Er ist mit beiden Fernwirkrechnern und beiden Verkehrsrechnern über *Rechnerkopplungen* verbunden. Von den beiden «On-line» Rechnern erhält er die Daten in einem fehlergesicherten Dialog und gibt die errechneten Befehle an den Fernwirkrechner zurück. Der auch hier verwendete Rechner PDP 11/34 ist entsprechend der Aufgabe besser ausgebaut: Er hat mehr Kernspeicherplatz, eine Fliesskommarecheneinheit und spezielle Kommunikationsmoduln. Als Peripherie sind vier Magnetspeicherplatten, zwei «Floppy-Speicherplatten», ein Kartenleser und ein Konsolendrucker angeschlossen. Zur Ausgabe der lang- und kurzfristigen statistischen Auswertungen in den Kommandoräumen stehen dort je ein Drucker und ein farbiges Bildsichtgerät samt Kopierer zur Verfügung.

Anpassungen der Projektierung zur Realisierung

Ausgehend von der Ausschreibung, die in der Beschreibung der Anlagen und Funktionen natürlich noch keine Rücksicht auf vorhandene Systeme von Lieferanten nehmen konnte, wurde mit der Lieferfirma für jedes Rechnersystem eine Spezifikation erarbeitet. In diesen Dokumenten wurden die Funktionen der beiden Anlagen, wie etwa die Protokolle, Bilder, Steuerungsabläufe oder Signalverarbeitungstypen, festgehalten. Sie bildeten die Grundlage für die Programmierung.
Ergänzt wurden diese Unterlagen durch die Signal-Listen, das Verzeichnis aller



Konfiguration des Fernwirksystems

Signale im System, jedes mit Verarbeitungstyp, Ein- und Ausgangsadressen und deutschem sowie italienischem Protokolltext, allenfalls auch mit Bereich und Grenzwerten.

Die Zusammenstellung dieser Unterlagen war schwierig, nicht etwa weil diese Tätigkeit für den Lieferanten oder die Ingenieurunternehmung grundsätzlich neu gewesen wäre, sondern weil das Zusammentreffen derart vieler Teilsysteme mit verschiedenen Ansprüchen und Funktionen neu war.

Zunächst galt es die *Funktionsabläufe bei der Verarbeitung von Meldungen und Befehlen je System zu definieren*. Die Energie- und die Wasserversorgung, die Belüftungsanlagen, die Beleuchtung, die Brandmeldeanlagen, die Verkehrsraumüberwachung und andere Funktionen im Tunnel mussten analysiert und die Parameter festgelegt werden.

Bei dieser Arbeit waren zahlreiche Einschränkungen zu beachten: Im Verlaufe der Projektierung waren Absprachen mit dem Bauherrn und zu Nachbarsystemen erfolgt und mit der Grundprogrammierung des Lieferanten konnte nicht jede Funktion verwirklicht werden. Nur ein *Dialog* aller beteiligten Projektierungsgruppen führt hier zum Erfolg. Auch ein *klares Konzept* in allen Teilsystemen und an den Schnittstellen hilft Schwierigkeiten vermeiden. Die Vermischung von konventionell und mit Rechnern gesteuerten Anlagen samt dazugehörigen Bedienungskonzepten hat im Fall des Strassentunnels einige Knoten verursacht. Das ist eine der Konsequenzen der rasch voranschreitenden Entwicklung, machten doch die heute eingebauten Systeme zu Beginn der Tunnelplanung eben erst ihre ersten Gehversuche.

Die Ergänzung dieser Spezifikationen mit den Signal-Listen, die auch die Grundlage für die Rangierungen an den Verteilern abgeben, war nicht in der vom Lieferanten gewünschten Art und Weise möglich. Durch die relativ späte Vergabe der elektrischen Anlagen durch den Bauherrn wurden die Projektierungsarbeiten weitgehend parallel durchgeführt. Es war somit unmöglich, für alle Signale die notwendigen Parameter zusammenzustellen und für den Einbau ins Rechnerprogramm anzugeben. *Zahlreiche Änderungen und Anpassungen an den Anlagen und Programmen im Verlauf der Realisierung waren die Folge*. Für die betroffenen Arbeitsgruppen ergaben sich erhebliche Schwierigkeiten und Verzögerungen.

Allerdings muss man sich rückblickend doch fragen, ob man bei einem Bauwerk mit vergleichbar vielfältigen Anlagen nicht mit dieser Situation rechnen muss. Sollten deswegen nicht, besonders bei den Rechnerprogrammen und Programmierhilfen oder bei den Rangier- und Anschlusslisten, Wege gefunden werden, die eine Bearbeitung unter solchen Umständen von Anfang an vorsehen?

Prüfungen und Inbetriebnahme

Die Terminplanung zeigte bald, dass es unmöglich sein würde, die gesamte Anlage im Werk des Lieferanten zu errichten, die Programme zu laden und die Funktionen zu prüfen. Gemeinsam wurde daher ein *schrittweises* Vorgehen beschlossen, das sich, besonders auch wegen der beim Lieferanten vorhandenen Testprogramme und speziellen Testgeräte, bewährt hat.

Zu Beginn, im Sommer 1979, wurden die Geräte im Prüffeld des Herstellers zusammengebaut und schrittweise mit den Prüfprogrammen in Betrieb genommen. Vor der ersten Lieferung im Herbst fand eine gemeinsame Überprüfung statt, bei der bereits ein Teil der Anwenderprogramme vorhanden war. Diese Prüfung wurde Anfang 1980 ergänzt durch eine zweite, bei der nur noch mit einem Teil der Geräte gearbeitet werden konnte, aber der Leitrechner zum ersten Mal ins System integriert wurde.

In der Zwischenzeit wurden die Installationsarbeiten im Tunnel vorangetrieben und dank der bereits vorhandenen, wenn auch unvollständigen Anwenderprogramme konnte mit der Prüfung der Signale von Endpunkt zu Endpunkt begonnen werden. Der rechtzeitige Beginn dieser zeitraubenden Arbeiten ist wichtig, und es zeigte sich auch, dass damit nicht bis zur Inbetriebnahme der Programme durch die Programmierergruppe zugewartet werden kann.

Die Erprobungen aller Funktionen und der Rechnerkopplungen im Frühling 1980 führten schliesslich zur betriebsbereiten Anlage, die alle zu einem sicheren Betrieb des Tunnels notwendigen Funktionen erfüllt.

Schnittstellen und Rechnerkopplungen

Es hiesse Eulen nach Athen tragen, wollte man auf die Probleme an den Übergabestellen an sich aufmerksam machen. Bei der beschriebenen Anlage, welche die zentrale Führung der Tunnelinstallationen erst ermöglicht und durch zahlreiche automatische Vorgänge die Bedienung und Überwachung erleichtert, sind einige Überlegungen zu dieser Problematik sinnvoll.

Im System treten *drei verschiedene Arten von Schnittstellen* auf:

- die elektrischen Signale von und zu anderen Steuerungen,
- die Rechnerkopplungen und
- der Signalaustausch innerhalb des Leitrechners zum Belüftungsautomatisierungsprogramm.

Das letzte residiert als selbständige Einheit im Leitrechner und wurde von der Ingenieurgemeinschaft erarbeitet.

Die parallelen Ein- und Ausgaben zu anderen Steuersystemen, wie etwa die lokale Belüftungsautomatik in den Lüftungszentralen oder die Fernsehsteuerung, die selbst über interne Verknüpfungen verfügen, erfordern ein genaues Verständnis der Vorgänge, wenn die Fernwirk- oder Leitrechneranlage Befehle an diese Einrichtungen abgeben soll. Dass damit auch hier die beschriebene Problematik der *gleichzeitigen* Projektierung zum Tragen kommt, ist offensichtlich; auch hier spielen Einschränkungen in den Möglichkeiten der Programme der Fernwirkanlage eine Rolle.

Die *Rechnerkopplungen sind besonders dann ein Problem, wenn zwei Rechner unterschiedlichen Fabrikates miteinander verbunden werden müssen,* da eine Unzahl von verschiedensten Kommunikationsprotokollen existiert und sich eine Normung erst langsam abzeichnet. Die Verbindung der Rechner von Digital Equipment, also der Fernwirkrechner unter sich und zum Leitrechner, war daher einfacher als die Kopplung zum Verkehrsrechner, einer Maschine von Siemens. Um in allen Fällen über eine Datensicherung im Blick auf die Übertragung längs des Tunnels zu verfügen und die Möglichkeit für automatische Wiederholungen und Quittierungen zu haben, wurde Wert auf ein entsprechend ausgebautes Protokoll gelegt. Die Rechner PDP 11/34 verkehren daher mit dem DDCMP-Verfahren von Digital Equipment, während für die Verbindung zu den beiden anderen Rechnern

80-07-01 15:12:55

CO-CONZENTRATION:

MESSPERIODE: 07-01 14:00 BIS 14:55, AB 15:00

RESULTATE IN PPM:

5-MINUTENMITTELWERTE:

ORT:		LETZTE STUNDE:		LAUFENDE STUNDE:	
		MIN.	MAX.	MIN.	MAX.
01V	PO	0.	0.	0.	0.
03V	PO	0.	0.	0.	0.
01V	PW	0.	0.	0.	0.
03V	PW	0.	0.	0.	0.
01V		15.30	32.10	22.50	28.80
08F		0.	0.	0.	0.
09F	RW	55.80	126.30	10.50	25.80
11B	RW	161.40	189.60	176.10	183.60
13F	RW	21.00	29.40	31.80	32.70
16F	RW	98.40	122.85	120.30	140.10
18F	RW	44.70	52.80	58.20	59.70
21F	RW	28.50	45.90	43.50	44.10
24F	RW	41.10	52.20	56.40	83.40
27F	RW	56.10	89.70	104.10	115.50
29F	RW	40.80	60.30	50.10	52.80
33F	RW	28.80	74.40	70.80	75.00
35B	RW	73.20	145.50	136.50	144.30
40F	RW	42.90	75.30	62.10	65.70
42F	RW	19.80	58.50	48.30	53.70
46F	RW	43.80	60.00	57.60	66.90
50F	RW	57.00	157.20	135.60	153.60
54B	RW	147.00	175.50	154.20	174.30
59B	RW	25.50	67.50	25.50	31.20
63B	RW	11.10	34.50	22.50	30.30
65F	RW	10.80	41.70	10.80	22.20
69F	RW	0.	24.00	0.	0.
73F	RW	0.	22.80	0.	0.

Beispiel einer statistischen Auswertung des Leitrechners über Prozessdaten, die über die Fernwirkanlage erfasst wurden

ein anderes Verfahren gesucht werden musste. Die Wahl fiel auf das Protokoll 2780 von IBM, da für beide Rechner ein Grundprogrammpaket für den Betrieb mit diesem Verfahren erhältlich war. In beiden Fällen verlief die Inbetriebsetzung, nach anfänglichen Schwierigkeiten, erfolgreich.

Die Übergabe im Leitrechner selbst wurde durch die Festlegung von Tabellen auf den Magnetspeicherplatten gelöst, die von beiden Programmen abgefragt oder beschrieben werden können. Ausser genauen Absprachen ist dieses Vorgehen unproblematisch, mehr Schwierigkeiten entstanden durch das gleichzeitige Arbeiten der verschiedenen Programme nebeneinander im Leitrechner, der eben kein Datenverarbeitungszentrum darstellt und in seinen Möglichkeiten eingeschränkt ist.

Ausgehend von den in diesem Zusammenhang gemachten Erfahrungen und mit Berücksichtigung der laufenden Entwicklung, die in der Anwendung von grösseren und kleineren Rechnern in fast jeder Steuerung endet, sei die *Frage nach der zukünftigen Gestaltung* solcher Anlagen gestattet. Sollte man nicht, mit der Signal- und Informationserfassung und -verarbeitung im Mittelpunkt, alle Schnittstellen als Rechnerkopplungen verschiedener Komplexität definieren und in den einzelnen Teilsystemen einer Gesamtanlage entsprechend beschreiben? Hätte eine solche Anordnung nicht auch den Vorteil, dass die umfangreichen parallelen Signalschnittstellen verschwinden und die Prüfungen der Funktionen vereinfacht würden?

Würden zusätzlich die Spezifikationen der neuen Normen rund um CCITT X. 25 (Packet Switching) in ihren verschiedenen Stufen verwendet, die eine grosse Verbreitung in Datenübertragungssystemen zu erreichen scheinen, so dürften einige der geschilderten Probleme vereinfacht und eine Flexibilität in der Zusammenarbeit der Teilsysteme ermöglicht werden, die bei der heutigen Anlage noch nicht verwirklicht werden konnte.

Zusammenfassung

Erst der Betrieb des Strassentunnels und seine Belastung mit Verkehr werden zeigen, ob die geplanten Einrichtungen zweckmässig sind und die Fernwirk- und Prozessrechneranlage die in sie gesetzten Erwartungen erfüllt.

Trotzdem lässt sich bereits heute feststellen, dass im Verlauf der Projektierungsarbeiten an diesem in dieser Art einzigartigen Projekt Erfahrungen gesammelt werden konnten, die nicht zuletzt auch dem *Seelisbergtunnel*, der *Südrampe im Tessin* und anderen Objekten der Nationalstrassen zugute kommen.

Wollte man die *Hauptanliegen der Projektierungs- und Planungsgruppen* zusammenfassen, so wären dies vor allem

- der *Ausbau der Arbeitshilfen*, um eine gute Übersicht und eine hohe Flexibilität in der Bewältigung des grossen Informationsumfangs zu gewinnen,
- eine *gewisse Standardisierung der Programmoduln* für die Signalverarbeitung und Steuerung bei einem ausgewogenen Verhältnis zwischen konventioneller Darstellung auf Anzeigetafeln und Rechnerperipherie wie Videogeräten und Drucker und
- eine *Vereinheitlichung der Schnittstellen der Systeme* untereinander unter Ausnützung der heute gebotenen Möglichkeiten.

Literaturverzeichnis

Funk, G. & Holm, J.: «Modulfamilie ED 1000. Zur Lösung von Aufgaben industrieller Datentechnik». Brown Boveri Mitt., Bd. 63, Heft 9 1976

Klein, R.: «Fernwirk-Bausteine für Systeme der Netzführung». Brown Boveri Mitt., Bd. 66, Heft 3 1979

Leuzinger, J. & Baumann, R.: «Das Software-System Becos 10 für Unterstationen und kleine Leitstellen». Brown Boveri Mitt., Bd. 66, Heft 3 1979

INDACTIC 33, Systemübersicht. Brown Boveri Druckschrift CH-E 8.0057.2 D

INDACTIC 11. Brown Boveri Druckschrift HEDT 90970

PDP 11 Processor Handbook. Digital Equipment Corp., 1978

Terminals and Communications Handbook. Digital Equipment Corp., 1978

Introduction to Minicomputer Networks. Digital Equipment Corp., 1974

IBM 2780 Data Transmission Terminal. International Business Machines Corp. File 2780-09, GA 27-3005-3. 4th Edition, 1971

Offer, U. & Schneider, U.: «Vom Minicomputer bis zum Multiprozessorsystem mit den innovierten Zentraleinheiten der Siemens-Systeme 300». Siemens Zeitschrift, 51, 1977

Dass diese Massnahmen bereits bei der Projektierung der Anlagen, bei der Konzeptwahl und in der Präsentation der Projekte vor dem Bauherrn berücksichtigt werden müssen, versteht sich wohl von selbst. In diesem Sinn ist die Anlage, die im Gotthard-Strassentunnel realisiert wurde, ein Schritt auf dem richtigen Weg, der schliesslich nur ein Ziel hat: Dem Verkehrsteilnehmer und dem Betriebspersonal optimale Voraussetzungen für die Benützung der Anlagen zu bieten.

Adresse des Verfassers: U. Fierz, dipl. Ing. ETH, Elektrowatt Ingenieurunternehmung AG, 8022 Zürich.

Stauerfassung

Von Kurt Brunner, Zürich

Warum Stauerfassung?

Dem Problem «Stau im Strassenverkehr» wird heute allgemein Beachtung geschenkt, nicht zuletzt, weil damit auch ein *Energieproblem* verbunden ist. Im Strassentunnel hat die Stauerfassung in erster Linie eine *sicherheitstechnische Bedeutung im Zusammenhang mit der Tunnelbelüftung*. Bei schwachem Verkehr arbeitet die Lüftung normalerweise auf niedriger Stufe, während sie bei starkem Verkehr auf hoher Stufe arbeiten muss. Wenn sich nun bei schwachem Verkehr ein Stau bildet, so gleicht dies lokal gesehen einer erheblichen Verkehrszunahme mit entsprechender CO-Produktion, für welche die eingestellte Lüftung nicht ausreicht.

Bei starkem Verkehr ist die relative Zunahme der CO-Produktion bei Stau wesentlich kleiner, weil die Lüftung bereits auf hoher Stufe arbeitet. Das Ziel besteht nun darin, in erster Linie Stau bei schwachem Verkehr rasch zu erkennen.

Die hardwaremässige Ausrüstung

Detektoren

Auf der Erfassungsstrecke im Gotthard-Strassentunnel befinden sich im Abstand von ungefähr 500 m die Messquerschnitte. Jeder Messquerschnitt besteht aus vier Schleifendetektoren, wobei je Fahrstreifen ein Doppeldetektor installiert ist. Die Schleifen haben eine Länge von je 2 bis 3 m und einen Abstand von 1 m zueinander. Jede Schleife ist auf Unterbrechung und Kurzschluss überwacht. Die Störung eines Messquerschnittes wird in die Kopfstationen Göschenen und Airolo gemeldet.

Übertragungssystem

Die Vielzahl der zwischen den einzelnen Messstellen und den Kopfstationen zu übertragenden Meldungen legt aus wirtschaftlichen Gründen (Adereinsparung) die Verwendung eines *Multiplex-Verfahrens* nahe. Installiert ist das bewährte Frequenzmultiplexsystem TST-20.

Verarbeitungssystem

Die Auswertung der Grundmessgrössen aus der Verkehrserfassung geschieht in der Kommandostation mit einer Rechneranlage.

Die Grundmessgrössen

Es sind dies

- *Verkehrsstärke* (Anzahl Fahrzeuge/Zeiteinheit),
- *Verweilzeiten* der Fahrzeuge auf einer Schleife (Belegung), Summen in 20-ms-Takt über 10 s und diese Original-Messwerte exponentiell ausgeglichen,
- die *Geschwindigkeit über Doppelschleifen*. Sie wird je Fahrzeug gemessen, das einen Mindestabstand zum Vordermann von etwa 7 m (mit Einschränkungen auch 4 m) hat. Messtakt 20 ms, gemessener Fahrweg etwa 4 m. Der je Fahrzeug ermittelte Original-Messwert wird, ebenfalls je Fahrzeug, exponentiell ausgeglichen (gemittelt), es ergibt sich so eine stets auf letztem Stand befindliche mittle-