Zeitschrift: Schweizerische Bauzeitung

Herausgeber: Verlags-AG der akademischen technischen Vereine

Band: 90 (1972)

Heft: 33: SIA-Heft, Nr. 6/1972: Nachrichtentechnik

Artikel: Nachrichtentechnik - das Übertragungsglied im Regelkreis der industriellen Betriebsführung

Autor: Eggimann, F.

DOI: https://doi.org/10.5169/seals-85283

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften auf E-Periodica. 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. Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen sowie auf Social Media-Kanälen oder Webseiten ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. Mehr erfahren

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. La reproduction d'images dans des publications imprimées ou en ligne ainsi que sur des canaux de médias sociaux ou des sites web n'est autorisée qu'avec l'accord préalable des détenteurs des droits. En savoir plus

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. Publishing images in print and online publications, as well as on social media channels or websites, is only permitted with the prior consent of the rights holders. Find out more

Download PDF: 12.12.2025

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

Nachrichtentechnik – das Übertragungsglied im Regelkreis der industriellen Betriebsführung

DK 654.19:658

Von Dr. F. Eggimann, Zürich

Mit dem Wachstum betrieblicher Organisationen, insbesondere öffentlicher und halböffentlicher Dienste, und den zunehmenden Forderungen an ihre Betriebszuverlässigkeit, wachsen im gleichen Mass auch ihre Informationsbedürfnisse. Der Aufbau leistungsfähiger Informationssysteme ist gebunden an die Möglichkeit, Informationen jeglicher Art, insbesondere Sprache, Text und Zahlen, zuverlässig und sicher zu übertragen. Anschliessend an eine kurze Betrachtung der Bedeutung dieses Informationsflusses für die Betriebsführung und der Verschiedenartigkeit der Informationen geht der Bericht anhand von illustrierten Beispielen auf einige heute verwirklichte Nachrichtennetze mit Funk, Richtfunk und drahtgebundener Übertragung über Hochspannungsleitungen ein.

1. Nachrichtentechnik als Führungsmittel

Führen bedeutet Einsatz der Mittel auf ein Ziel: Das Führungsorgan «informiert sich» mit Hilfe von Sensoren oder Fühlern über den Ist-Zustand, vergleicht ihn mit dem als Soll-Zustand formulierten Ziel und erarbeitet daraus die nächsten, für die unmittelbare Zukunft gültigen «Weisungen» an die ausführenden Organe. Der Ist-Zustand hängt damit hauptsächlich von der Tätigkeit dieser ausführenden Organe, daneben aber auch von «Störern» ab, welche – absichtlich oder zufällig – den Regelprozess beeinträchtigen. Führung bedingt demnach immer Informationsaustausch: Messwerte orientieren über den Ist-Zustand, Weisungen sind an die ausführenden Organe zu übertragen (Bild 1). Dieses allgemeine kybernetische Modell des Führungsregelkreises lässt sich auf viele Beispiele industrieller Betriebsleitung anwenden: die Führung eines Baukrans gehört ebenso dazu wie die zentrale Leitung von Netzen öffentlicher Verkehrsmittel oder der optimale kontinentale Verbundbetrieb vieler Energieerzeuger und -verbraucher. Parallel zur Grösse eines Organismus wächst der Informationsfluss von und zum Führungsorgan; gleichzeitig steigen die Anforderungen an seine Kapazität der Informationsverarbeitung. Durch den Aufbau hierarchischer Strukturen aus dem Grundbaustein des entwickelten Modells kann man solchen steigenden Forderungen mindestens teilweise ausweichen. Die Rechengeschwindigkeit und das Speichervermögen moderner Digitalrechner erlauben heute die optimale Führung komplexer Betriebe, wenn die Nachrichtentechnik fähig ist, den nötigen Informationsfluss sicherzustellen: sicher in bezug auf Übertragungskapazität, Fehlerfreiheit und Zuverlässigkeit.

Die folgenden Ausführungen befassen sich mit diesem Problemkreis aus der Sicht der Nachrichtentechnik. Die Eigenschaften der verschiedenen «Nachrichten» und die Forderungen, die sie an die Übertragungskanäle stellen, werden kurz betrachtet; Beispiele von verwirklichten Führungssystemen vermitteln einen Einblick in die heutigen Möglichkeiten.

2. Nachrichten und Signale

In den Anfangszeiten der Technik war das ausführende und messende Organ meistens ein Mensch: er erhielt Aufträge von der vorgesetzten Stelle, führte sie aus und meldete den neuen Zustand, die Reaktion des Systems, an den Auftraggeber zurück. Die Nachrichtenübermittlung beschränkte sich auf die reine Sprachübertragung, wie wir sie in der Form des Telephons – über Draht – oder des Radiotelephons – für drahtlose Verbindungen – auch heute kennen: die Schalldruckschwankungen der gesprochenen Sprache werden im Mikrophon in elektrische Spannungsschwankungen umgeformt und als «Sprachsignale» übertragen. Einen Ausschnitt aus einem Sprachsignal zeigt Bild 2, oben. Die hochqualitative Wiedergabe erfordert die Übertragung von Frequenzkomponenten bis zu etwa 15 kHz, für eine gute Sprachverständlichkeit genügt eine obere Bandgrenze von etwa 3,4 kHz, was einem minimalen Abstand der Nulldurchgänge von etwa 140 µs entspricht. Zeitfunktion und Amplitudenverteilung eines Sprachsignals sind stetig; der Nachrichtentechniker spricht von einem *zeitkontinuierlichen* und *analogen* Signal.

In vergleichbarer Weise wie Sprache, nämlich «analog», können beispielsweise auch langsamschwankende Messwerte wie Wasserstände oder Drehzahlen übertragen werden. Schwieriger wird die Übermittlung von Befehlen oder Aufträgen, wenn sie nicht mehr an einen Menschen gerichtet sind, sondern unmittelbar das ausführende Organ steuern sollen: ein Schalter soll geöffnet, eine Weiche umgelegt, die Leistung einer Maschine erhöht werden. Die Schwierigkeiten liegen auf zwei Ebenen: der Befehl muss sowohl durch das empfangende Organ erkannt werden können als auch sicher übermittelt werden, das heisst er darf weder verlorengehen noch als Falschmeldung auf der Empfangsseite eintreffen. Beide Schwierigkeiten sind auf dem gleichen Weg zu lösen, nämlich durch Beschränkung auf eine feste, endliche Anzahl von Befehlen oder Meldungen. Eine geordnete endliche Menge von Nachrichten nennt der Nachrichtentechniker ein *Alphabet*. Werden die einzelnen Nachrichten, deren Gesamtheit das Alphabet bildet, nach einem bestimmten Schema numeriert, genügt die Übertragung der Nummer eines Befehls zu seiner Charakterisierung. Die Übertragung von Zahlen, das heisst von diskreten Elementen aus einer endlichen Menge, nennt der Nachrichtentechniker

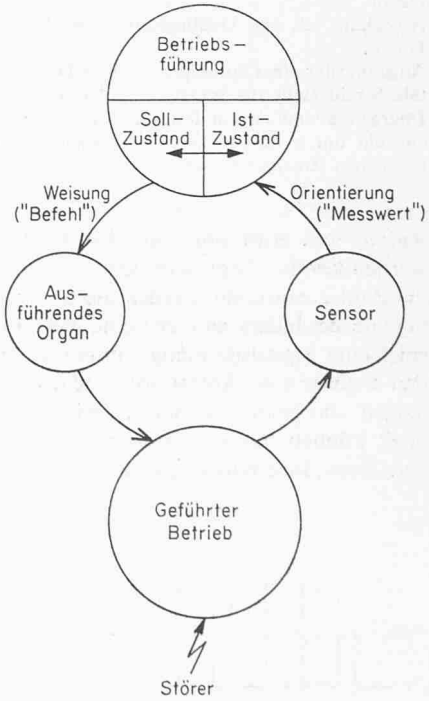


Bild 1. Der allgemeine Regelkreis der Betriebsführung stützt sich auf einen doppelten Nachrichtenfluss: Aufträge oder «Befehle» gehen vom führenden, Information über den Ist-Zustand oder «Messwerte» des geführten Betriebes gehen vom Sensor aus

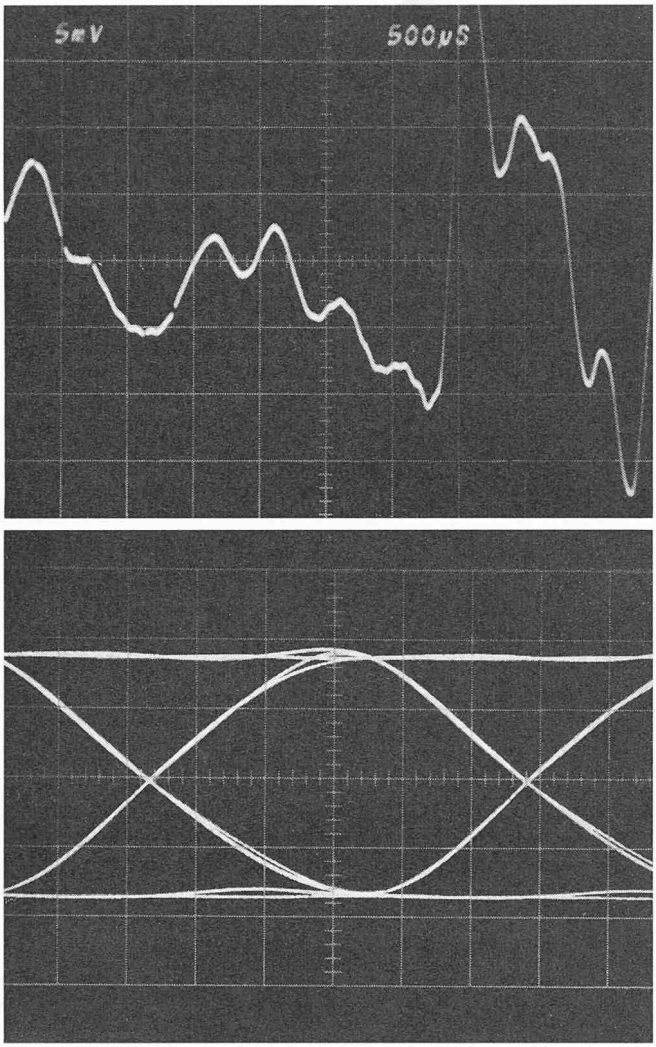


Bild 2. Sprachsignal und Datensignal als Zeitfunktion
Oben:
Ausschnitt aus dem Oszillogramm einer Sprachschwingung
Unten:
Augenmuster eines zufälligen binären Datensignals: der obere horizontale Strahl stellt die binäre «0», der untere die binäre «1» dar; alle Übergänge sind an ein festes Zeitraster gebunden. Das Augenmuster entsteht durch mehrfaches, rastersynchrones Überschreiben mit allen möglichen Zuständen und Übergängen

digital, was etwa mit «an den Fingern zählbar» übersetzt werden könnte. Legt man dem Numerierungssystem als Basis die Zahl 2 zugrunde, werden die dazugehörenden elektrischen Signale besonders einfach: eine elektrische Grösse, zum Beispiel eine Signalspannung, nimmt zu bestimmten Zeiten, in den sogenannten Abtastmomenten, nur einen von zwei Werten an, das Signal ist binär. Zwischenwerte im Abtastaugenblick können nur von Störungen auf dem Übertragungsweg herrühren; ihre Wirkung kann vollständig aufgehoben werden, solange sie ein bestimmtes Mass nicht überschreiten. In Bild 2 unten erkennt man das Augenmuster einer binären Telegraphieübertragung; der Unterschied zum oberen Bild des Sprachsignals ist deutlich sichtbar. Wird ein binärer Signalwert durch eine starke Störung in den entgegengesetzten Signalwert verändert, also die zugehörige Binärzahl von einer Null in eine Eins transponiert oder umgekehrt, spricht man von einem fehlerhaften Bit. Der binäre Übertragungskanal wird charakterisiert durch die Wahrscheinlichkeitsstruktur seiner Fehlerbits.

Mit dem Übergang auf digitale Signale erreicht man also zwei Ziele: die Signale werden regenerierbar und einfach erkennbar. In den letzten zehn Jahren wurde eine grosse Entwicklungsarbeit auf den Gebieten der Erzeugung und Verarbeitung, der Übertragung und der Codierung von digitalen Signalen geleistet. Parallel dazu verläuft die stürmische Entwicklung der digitalen oder «logischen» elektronischen Schaltkreise, mit welchen die komplexen Funktionen verwirklicht werden.

Bild 3 zeigt ein Beispiel für einen Nachrichtenzyklus eines digitalen Systems. Charakteristisch ist die Beschränkung auf zwei Signalwerte und der zeitlich straffe Rahmen. Innerhalb eines Zyklus können mehrere Meldungen in Form von Worten zu je 8 bit übertragen werden; mit $2^8 = 256$ entspricht dies einer Meldungsvielfalt von 256 Meldungen oder dem Quantisierungsunterschied von zwei benachbarten Messwerten von rund 0,4%. Ein neuntes zusätzliches Bit pro Meldung wird so gewählt, dass die Anzahl Einer gerade ist, es ist das sog. Parity-Check-Bit. Diese einfache Massnahme erlaubt bereits das sichere Erkennen jeder ungeraden Anzahl Fehler pro Meldung, weil dadurch die Geradzahligkeitsregel gestört wird. Insbesondere sind die weitaus wahrscheinlichsten Einfachfehler pro Wort sicher erkennbar. Der Schutz gegen Übertragungsfehler kann aber noch viel weiter getrieben werden: durch gezieltes Hinzufügen von Prüfbits zu den Meldungsbits können Fehler nicht nur erkannt, sondern auch korrigiert werden. Dabei steigt die Korrekturfähigkeit mit der relativen Anzahl Prüfbits und vor allem mit der erfassten Wortlänge. Charakteristisch für diese Zusammenhänge sind Kurven, wie sie Bild 4 zeigt: zu übertragen ist eine Meldung oder ein Wort von rund 100 bit, also eine sehr umfangreiche Meldung. Die Wahrscheinlichkeit für ein fehlerhaftes Wort ist als Funktion der Bitfehlerwahrscheinlichkeit des Kanals für verschiedene Codes dargestellt. Der Fall «ohne Korrektur» liefert mit total 127 bit nur Fehlererkennung, bei einer Bitfehlerwahrscheinlichkeit von 10^{-3} ist im Mittel etwa jedes zehnte empfangene Wort falsch. Werden die hundert Informationsbits auf 27 Teilworte zu 4 Informationsbits und 3 Prüfbits aufgeteilt [(7,4)-Hamming-Code], ist pro Wort ein Einfachfehler korrigierbar, die Wortfehlerwahrscheinlichkeit sinkt stark. Durch Codierung in einem einzigen, langen (255,107)-Bose-Chaudhuri-Code sinkt sie noch einmal um Grössenordnungen, doch ist für solch lange Codes der Decodierungsaufwand im Gegensatz zum (7,4)-Hamming-Code wirtschaftlich oft untragbar.

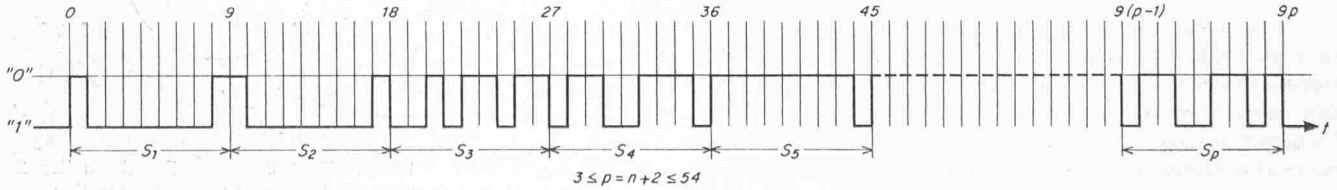


Bild 3. Typischer Meldungszyklus einer digitalen Informationsübertragung. Die ersten zwei Schrittgruppen (S1, S2) dienen der Synchronisierung von Sender und Empfänger, die weiteren Schrittgruppen (S3 bis Sp) enthalten die Meldungen in Form von 8-bit-Worten. Ein neuntes Bit ergänzt mit Ausnahme des Nullwortes (S5) jeweilen auf eine gerade Anzahl «1» innerhalb der Meldung, wodurch jede ungerade Anzahl Fehler pro Wort erkannt werden kann

Die elektrische Nachrichtenübertragung beruht auf den Ausbreitungseigenschaften des elektromagnetischen Feldes. Je nachdem, ob dieses Feld längs elektrischen Leitern geführt oder in den freien Raum abgestrahlt wird, spricht man entweder von leitergebundener oder drahtloser Übertragung. In beiden Fällen erstreckt sich das ausnützbare Frequenzband grundsätzlich von einigen tausend Schwingungen pro Sekunde bis in den Bereich der Gigahertz, also etwa 10^9 Schwingungen pro Sekunde. Die folgenden ausgewählten Beispiele lassen erkennen, wie die Übertragungsart – Draht oder Funk – und die Frequenzlage – von Langwellen bis zu Mikrowellen – von der Anwendung her mitbestimmt wird. Im besonderen sollen die Eigenschaften von Funknetzen, Richtfunkstrecken im Mikrowellenbereich und eine besondere Form der drahtgebundenen Übertragung, nämlich die Trägerfrequenztechnik über Hochspannungsleitungen, etwas näher betrachtet werden. Selbstverständlich ist auch der Aufbau kombinierter Verbindungen möglich.

3. Funknetze

Überall dort, wo die ausführenden oder meldenden Organe einer grösseren Organisation beweglich sind, also sogenannte mobile Stationen darstellen, wird man die Anwendung der drahtlosen Übertragung in Betracht ziehen.

Ein erstes Beispiel mit einem geographisch eng umgrenzten Wirkungsbereich ist die SBB-Rangierfunkanlage im Zentralstellwerk des Hauptbahnhofs Zürich. Bild 5 zeigt die leitende Stelle in diesem mehrfachen Führungskreis. Die Kommunikationsmittel umfassen 12 mobile und 13 ortsfeste Funkausrüstungen. Jede mit Funk ausgerüstete Rangiermaschine verfügt für ihre Verbindung zur Gegenstation über einen eigenen Hochfrequenzkanal im 400-MHz-Band, so dass die 12 Rangierdienstgruppen ohne gegenseitige Behinderungen gleichzeitig Meldungen und Befehle übertragen können. Neben den Sprechfunkverbindungen können mit Hilfe der Gleismeldereinrichtung in einem einseitig gerichteten dreizehnten, gemeinsamen Kanal rasch Fahrstrassenanforderungen von der Lokomotive nach dem Stellwerk übermittelt werden. Diese Meldungen erscheinen in Leuchtschrift auf dem Stelltisch des betreffenden Sektors und geben Aufschluss über Start- und Zielgleis. Die Information bleibt so lange gespeichert, bis sie der zuständige Sektorwärter entgegennimmt und löscht. Eine Rückmeldeeinrichtung zeigt dem Rangiermeister an, ob seine Meldung im Stellwerk richtig eingegangen ist oder wiederholt werden muss. Parallel zur Sprachverbindung wickelt sich also eine digitale, durch einfache Fehlererkennung und anschliessende Wiederholung gesicherte Datenübertragung ab. Die Wellenlänge von etwa 80 cm deckt bei geeigneter Lage der ortsfesten Antennen das Gebiet des Rangierbahnhofes ausreichend, doch können grössere Hindernisse im Ausbreitungsweg bereits zu Verbindungslücken führen. Deshalb werden auf der ortsfesten Seite je Kanal zwei Empfangsgeräte mit getrennten Antennen über eine elektronische Auswahlschaltung im sogenannten Raumdiversity betrieben, so dass Empfangslücken weitgehend vermieden werden.

Die ökonomischen und betrieblichen Vorteile, welche sich mittels eines solchen Funknetzes verwirklichen lassen, führen dazu, dass öffentliche Verkehrsbetriebe in vielen Städten, beispielsweise auch in Zürich, einfache, halbautomatische oder voll automatisierte Funkleitsysteme einführen oder planen. Die Anzahl mobiler Stationen wird um Grössenordnungen höher sein als im erwähnten Rangierfunknetz. Wenn nach wie vor auch hier Sprechverbindungen nötig sind, wird je nach Automatisierungsgrad doch der Anteil der Datenübertragung am gesamten Nachrichtenfluss zunehmen. Die Leitstelle wird über eine elektronische Datenverarbeitungsanlage verfügen, die allein in der Lage ist, die vielen Meldungen zu sammeln, die nötigen Dispositionen zu treffen und zeitgerecht an die

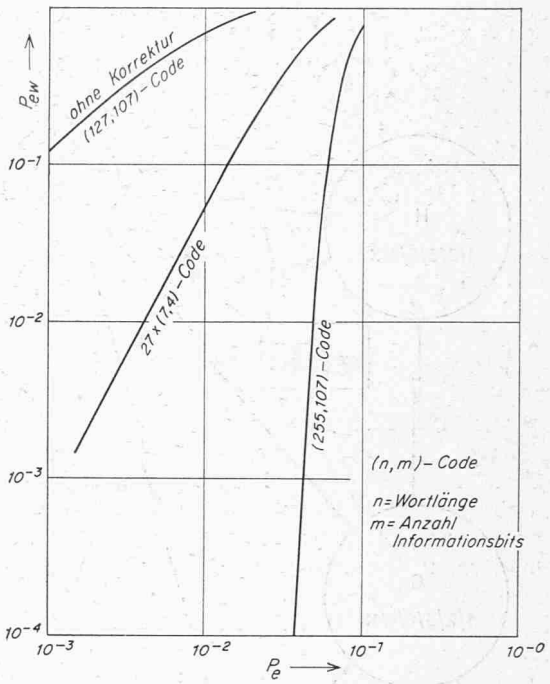
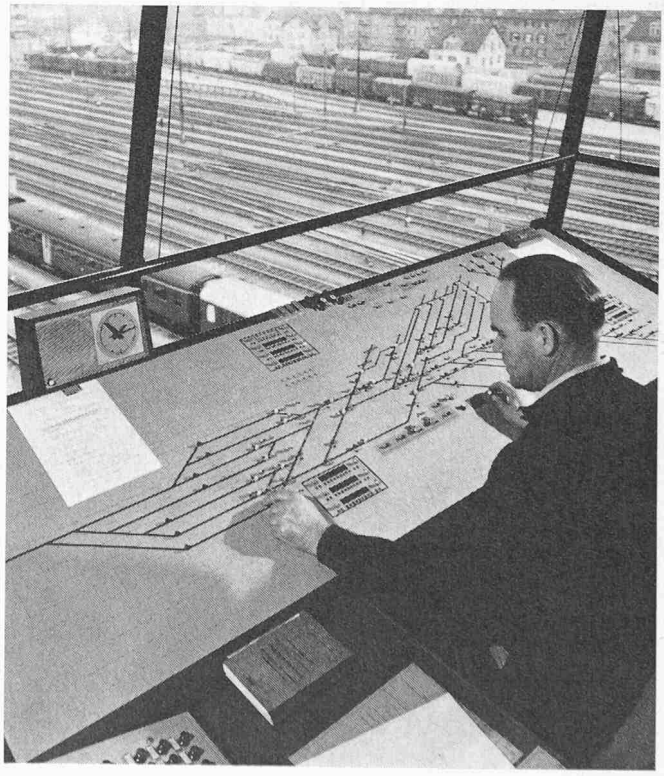


Bild 4. Vergleich verschiedener Codes für ungefähr 107 Informationsbits. Die Wortfehlerwahrscheinlichkeit P_{ew} eines 107-bit-Wortes ist als Funktion der Bitfehlerwahrscheinlichkeit P_e dargestellt. Bei Codes, die nur der Fehlererkennung, nicht aber der Korrektur dienen, ist die Wortfehlerwahrscheinlichkeit sehr gross; die Erkennung von Übertragungsfehlern verlangt Wiederholung der Meldung. Darstellung des Wortes in Form von 27 Teilworten im (7,4)-Hamming-Code erlaubt die Korrektur eines Fehlers pro Teilwort, im (255,107)-Bose-Chaudhuri-Code sind total 22 beliebige Fehler korrigierbar

Bild 5. Stelltisch mit eingebauter Gleismelder-Optik im Zentralstellwerk SBB des Hauptbahnhofs Zürich. Parallel zur Sprachübertragung wickelt sich die Übermittlung von Fahrstrassenanforderungen ab; sie erscheinen in Leuchtschrift auf dem Stelltisch des betreffenden Sektors



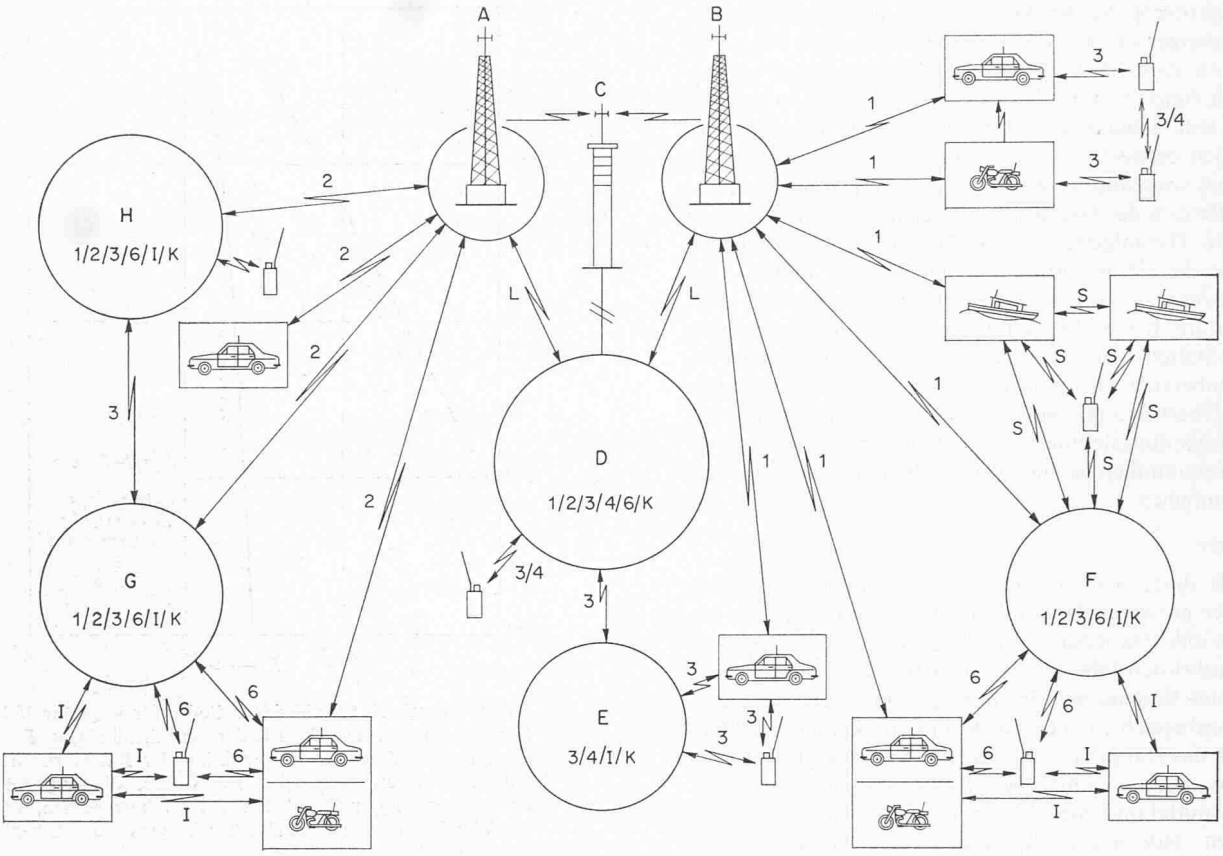


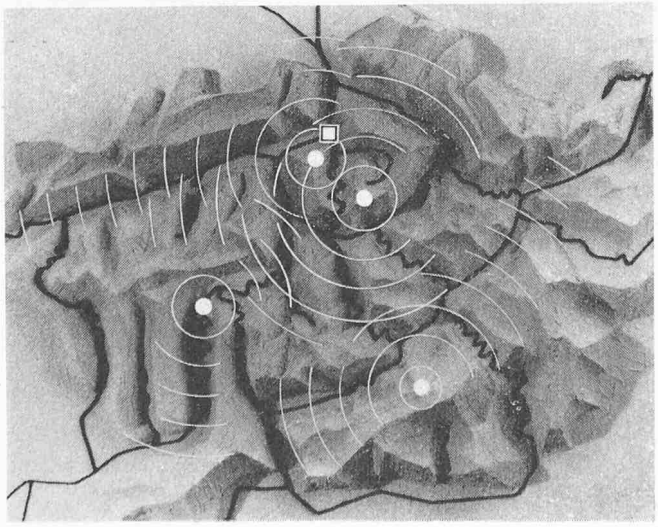
Bild 6. Funknetz einer Kantonspolizei. Polizeifahrzeuge und Schiffe verkehren auf zwei Duplexkanälen (1, 2) mit der Zentrale; dem gegenseitigen Verkehr und für lokale Verbindungen zu tragbaren Stationen dienen die Simplexkanäle (3 bis 6). Der Kanal I ist allen kantonalen Polizeikorps gemeinsam, der Kanal K ist dem Verkehr mit Rettungsorganisationen (Feuerwehr, Sanität, Rettungsflugwacht usw.) vorbehalten, auf Kanal S werden die Verbindungen der Seepolizei mit den Seerettungsdiensten abgewickelt

A, B: Relaisstationen, C: Empfangsstation, D: Zentrale, E, F, G, H: Lokale Zentren, L: Richtfunkverbindungen

mobilen Fahrzeuge zu vermitteln. Als neues nachrichtentechnisches Element wird bei solchen automatisierten Führungssystemen die automatische Standortmeldung hinzukommen. Sowohl die mobile Station wie die zentrale Leitstelle werden in jedem Augenblick über den genauen Standort des Fahrzeuges orientiert sein.

Bild 7. Funkverkehr über Relaisstationen. In ausbreitungsmässig schwierigen Gebieten mit Höhenunterschieden bis zu 3000 m erreicht die Leitstelle die Fahrzeuge auf den wichtigen Strassenzügen über Relaisstationen

■ *Leitstelle* ● *Relaisstation*



Geographisch ausgedehntere Funknetze sind zum Beispiel für Polizeikorps zu erstellen. Bild 6 zeigt das Schema der Verbindungen einer Kantonspolizei. Im Gegensatz zum ausgesprochenen Sternnetz für Verkehrsbetriebe, wo alle mobilen Teilnehmer ausschliesslich mit der Leitstelle verkehren, müssen mobile Polizeistationen mindestens in begrenztem Raum auch untereinander Informationen austauschen können. In ausgesprochenen Gebirgsgegenden ist dieses Problem nur mit Relaisstationen lösbar (Bild 7).

4. Richtfunknetze im Mikrowellenbereich

Obwohl bereits oberhalb von etwa 400 MHz, entsprechend einer Wellenlänge von 80 cm, Richtstrahlverbindungen möglich sind und auch betrieben werden, liegt ein Schwerpunkt heute im Bereich von 6 bis 8 GHz, also bei einer Wellenlänge von rund 4 cm. Mit parabolischen Antennen von 1 m Durchmesser lassen sich bei diesen hohen Frequenzen Antennengewinnfaktoren von etwa 2000 erzielen: durch die starke Strahlbündelung wird die in der Regel kleine Sendeleistung wesentlich nur in der Hauptstrahlrichtung emittiert und aufgenommen. Ein 100-mW-Sender liefert mit gleichen Sende- und Empfangsantennen eine Empfangsleistung, wie sie einem 500-kW-Rundstrahlsender und Empfänger entspricht! Zur kurzen Wellenlänge gesellen sich quasi-optische Ausbreitungseigenschaften, so dass die Antennen meistens auf Geländeerhebungen und Türmen montiert werden (Bild 8). In der Regel fordert man deshalb Sichtverbindung zwischen Sende- und Empfangsantenne, obwohl auch Verbindungen ohne Sicht möglich sein können.

Mit zunehmender Höhe über dem Erdboden nimmt die Dielektrizitätskonstante und damit der Brechungsindex $n = \sqrt{\varepsilon_r}$

der Troposphäre im allgemeinen ab, wodurch der Mikrowellenstrahl zur Erde hin gekrümmt wird. Hindernisse werden also gleichsam übersprungen. Um trotzdem mit geradliniger Ausbreitung rechnen zu können, berücksichtigt man die Strahlkrümmung bei der Konstruktion des Streckenprofils durch einen fiktiven Erdradius $R_E = kR$, der bei $k > 1$ den Einfluss von Hindernissen abschwächt. Die Brechungseigenschaften der Troposphäre sind aber nicht konstant, weshalb bestimmte k-Werte nur mit bestimmter Wahrscheinlichkeit erwartet werden dürfen. Die Verteilung der Werte zeigt, dass k sogar kleiner als 1 angenommen werden muss, wenn der Wert für mindestens 99,9 % der Zeit überschritten werden soll; ist p gleich dem prozentualen Anteil der Zeit, in der k grösser als der angegebene Wert ist, gelten folgende Zusammenhänge:

$p(\%)$	= 1	10	50	90	99	99,9
k	= 2,25	1,6	1,33	1,20	1,05	0,9

Sehr grosse k-Werte trifft man über ruhigen Meeresoberflächen, auf denen bei Windstille eine Feuchtluftmasse lagert, wogegen über Wüstengebieten Luftschichtinversion mit einer Strahlkrümmung nach oben ($k < 1$) nicht selten ist. Der Einfluss des wechselnden k-Wertes kann durch eine Zusatzdämpfung, welche die Abschattung durch Hindernisse berücksichtigt, vermindert werden. Praktische Messungen und theoretische Studien zeigen deutlich, dass Schwankungen der Dielektrizitätskonstanten im Ausbreitungsmedium bei Strecken unter 40 km zu einer Mehrwegausbreitung innerhalb der Troposphäre mit starken Interferenzfadings[1]) im Empfänger führen

[1]) Fading (Schwund) nennt man die nachteilige Beeinflussung der Empfangsbedingungen für elektromagnetische Wellen durch leitende Schichten der Ionosphäre. Es handelt sich um eine Interferenzerscheinung zwischen verschiedenen Wellenzügen, beispielsweise einem längs des Erdbodens und einem an der Ionosphäre reflektierten Wellenzug. Da diese zwischen Sende- und Empfangsantenne verschiedene Entfernungen zurücklegen, ist auch ihre Laufzeit verschieden. Unterscheiden sich die Entfernungen um ½ Wellenlänge (oder $^3/_2\,\lambda$, $^5/_2\,\lambda$ usw.), so schwächen sich die Wellenzüge in ihrer Wirkung u. U. bis zur Auslöschung. *(Red.)*

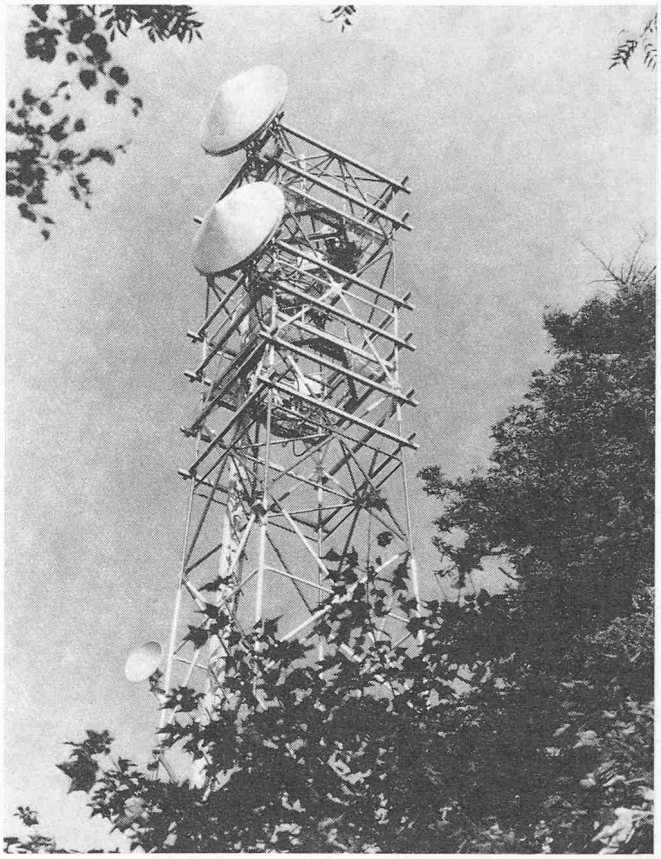


Bild 8. Antennenanlage für Mikrowellen-Richtstrahlverbindungen. Die grossen Antennen sind durch Radome geschützt. Sie reduzieren die Vereisung und den Einfluss des Winddrucks

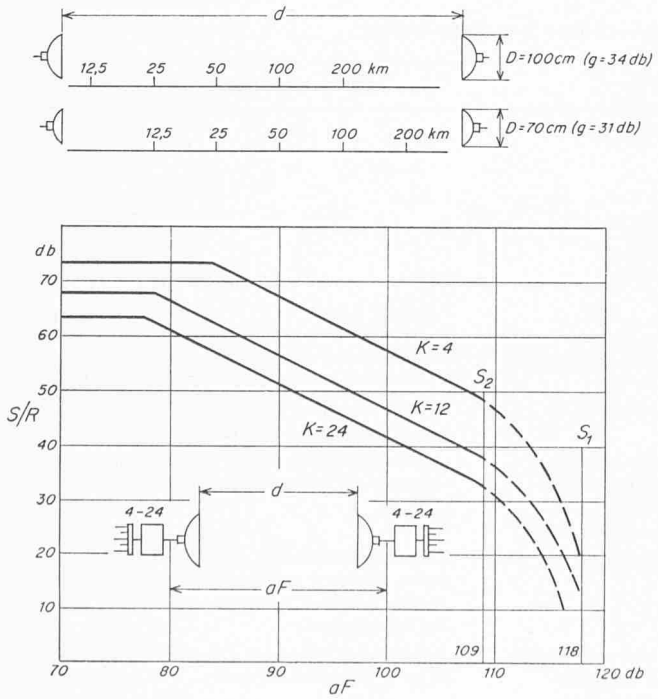


Bild 9. Zusammenhang zwischen Übertragungsqualität und Funkfelddämpfung für verschiedene Kanalzahlen eines Kleinrichtstrahlgerätes

K: Anzahl Telephonkanäle pro Richtstrahlverbindung
aF: Funkfelddämpfung
S/R: Geräuschabstand im Telephonkanal in db
d: Übertragungsentfernung

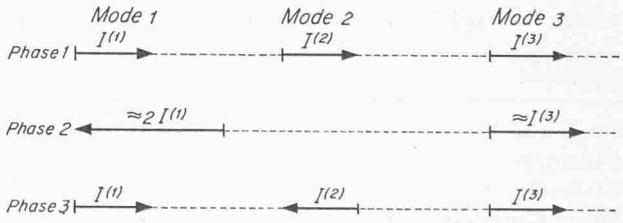


Bild 10. Ausbreitungsmodi der Nachrichtenströme auf einer dreiphasigen Hochspannungsleitung. Bei Mode 1 und Mode 2 schliesst sich der Stromkreis innerhalb des Dreiphasensystems, bei Mode 3 führt die Erde den Rückstrom

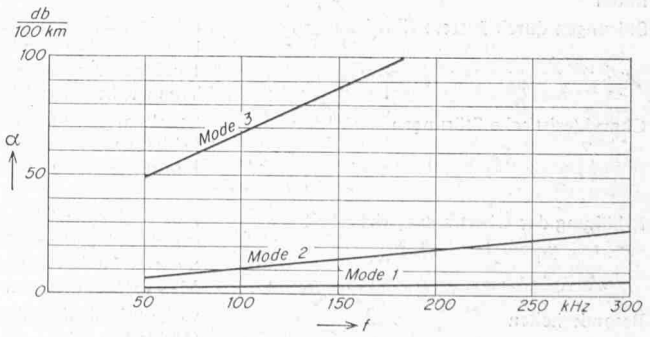


Bild 11. Zusammenhang zwischen Frequenz und Dämpfungsbelag für die drei Modes in Bild 10. 20 db pro hundert Kilometer bedeuten, dass nach hundert Kilometer Übertragungsentfernung nur noch 1 % der Sendeleistung vorhanden ist

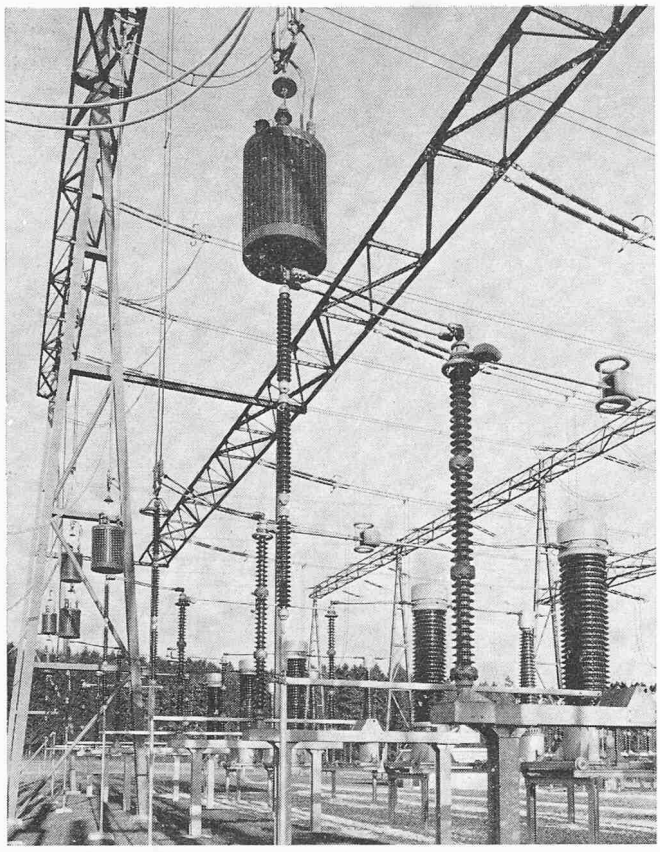


Bild 12. Hochfrequenzsperren trennen Nachrichten- und Energiefluss. Die tonnenförmigen Spulen am Eingang von 380-kV-Leitungen in ein Unterwerk stellen für den netzfrequenten Wechselstrom eine vernachlässigbare, für die Nachrichtenströme eine sehr hohe Dämpfung dar

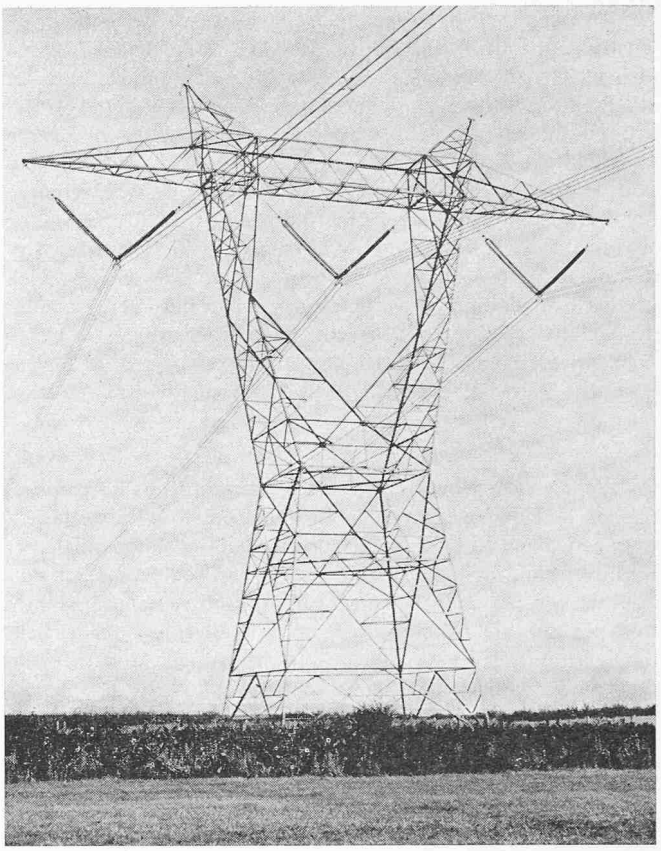
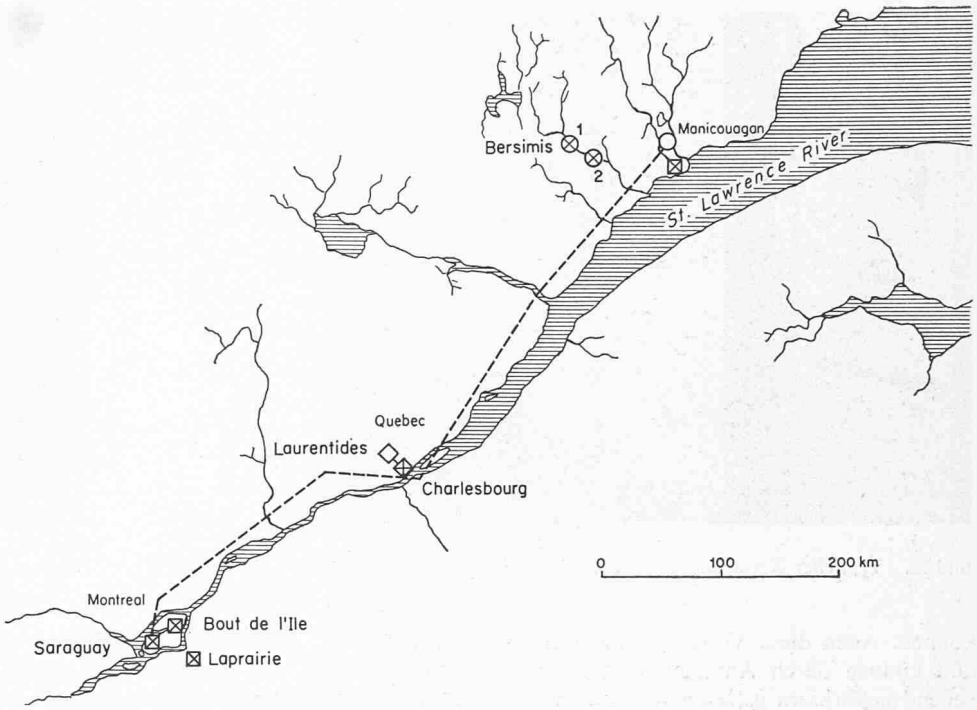


Bild 14. Mast der kanadischen 735-kV-Leitung. Ein Bündel von vier Einzelleitern bildet einen Phasenleiter

Tabelle 1. Vergleich der Nachrichtenübertragung auf Hochspannungsleitungen und Mikrowellen

Eigenschaft	Hochspannungsleitung	Mikrowellenverbindung
Frequenzband	36 kHz bis $\leqq$ 500 kHz	> 1 GHz
Wellenlänge	8 km bis $\geqq$ 600 m	< 30 cm
HF-Bandbreite	4 kHz	1 MHz
Ausbreitungsgeschwindigkeit	(280 bis 300) · 10^6 m/s Leitung 150 · 10^6 m/s Kabel	300 · 10^6 m/s
Typische Filterlaufzeiten	ms	µs
Modulationsart	ESB—AM	FM, IM
Ursache von Dämpfungsschwankungen	Änderung der Leitungsdaten (Schnee, Eis, Schaltzustand, Kurz- und Erdschlüsse, Zerstörung der Leitung)	Änderung der Ausbreitungsbedingungen in der Troposphäre (variabler Brechnungsindex: Luftfeuchtigkeit, Regen, Temperaturgradient)
Einwirkung auf andere Kommunikationsmittel	möglich, da Leitung als Antenne wirkt	unwahrscheinlich durch starke Bündelung, Beschränkung auf ungefähr Sichtweite
Störungen durch äussere Einwirkungen	möglich, da Leitung als Antenne wirkt; besonders aber durch Vorgänge auf der Hochspannungsseite (Koronageräusch, Trenner, Schalter, Blitz, parallele Leitung)	unwahrscheinlich, da die Energie der Schaltvorgänge im Mikrowellenbereich verschwindend klein ist
Charakteristische Störungen	Schaltvorgänge auf der Leitung (oft in kritischen Augenblicken); Koronageräusch	Zusammenbrüche der Empfangsfeldstärke durch Auslöschungen infolge Änderung der Ausbreitungsbedingungen (unabhängig von der Information)
Erhöhung der Übertragungssicherheit	Hochspannungsleitung an sich mechanisch stabil; Beizug verschiedener 3-Phasen-Systeme (auf gleichem Mast/getrennte Masten/Netzvermaschung)	Ausnützung geeigneter Diversity-Verfahren (Raum-/Frequenz-Diversity)
Besonderheiten	verhältnismässig hohe Sendeleistungen (10 bis 100 W); lange Verbindungen ohne Zwischenverstärker (bis rd. 500 km) möglich; Verbindungsmedium besteht; schnelle Impulsübertragung schwierig	kleine Sendeleistungen (100 mW); Relaisstationen (im Abstand von 50 bis 100 km) notwendig; Verbindung ist gesondert aufzubauen; geeignet zur Übertragung kurzer Impulse (PCM)

Bild 13. Leitungsführung des ersten 735-kV-Übertragungssystems der Welt in Kanada. Auch auf diesen Leitungen werden gleichzeitig Sprache und Daten übertragen; die grossen Entfernungen und der hohe Störpegel durch das Koronageräusch verlangen Sendeleistungen von 250 W



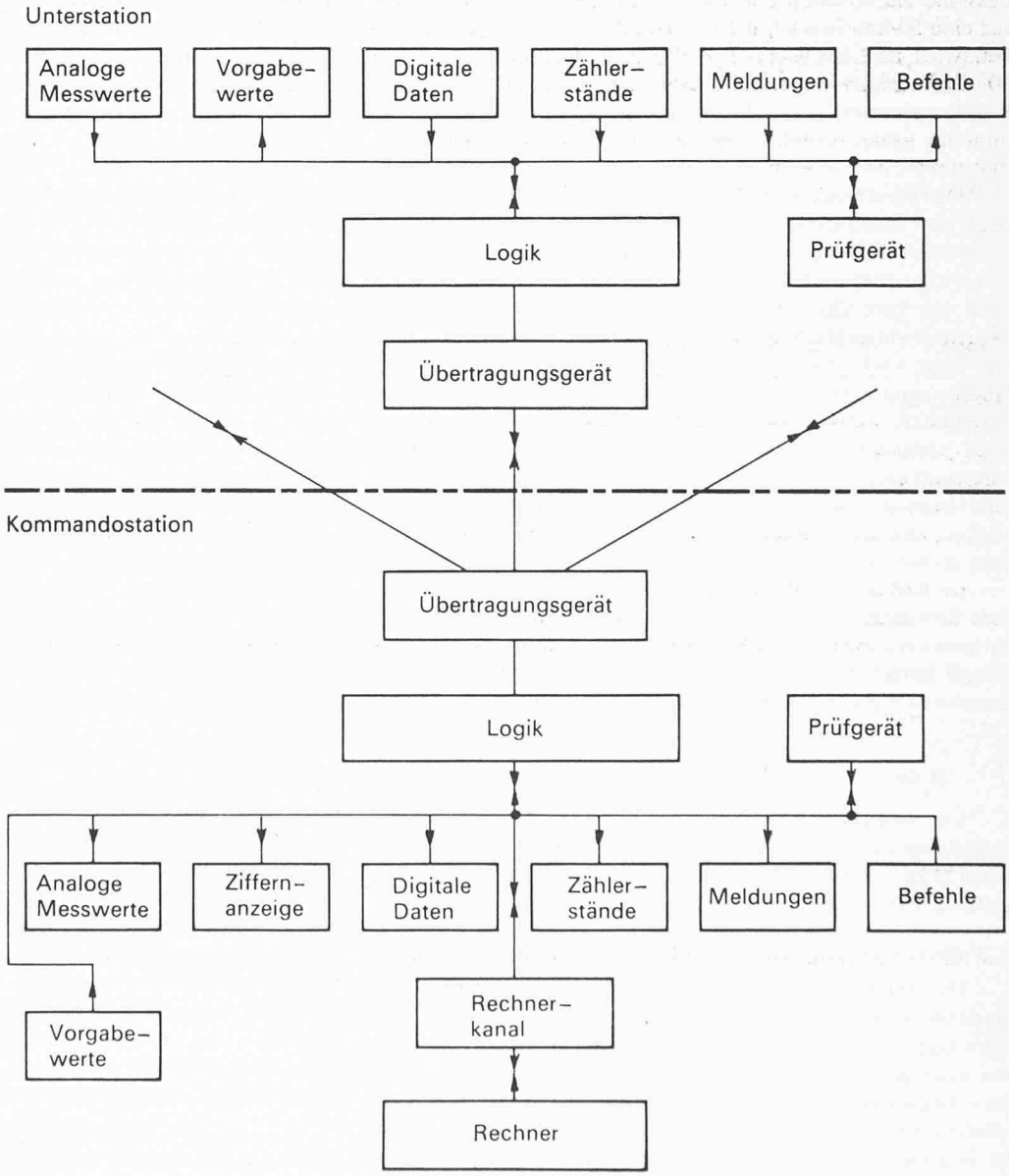


Bild 15. Aufbau eines komplexen Fernwirkgerätes. Eine Kommandostation steht in Verbindung mit verschiedenen Unterstationen. Sie hat ausserdem über einen Rechnerkanal Zugang zur Steuer- und Verarbeitungskapazität eines Digitalrechners

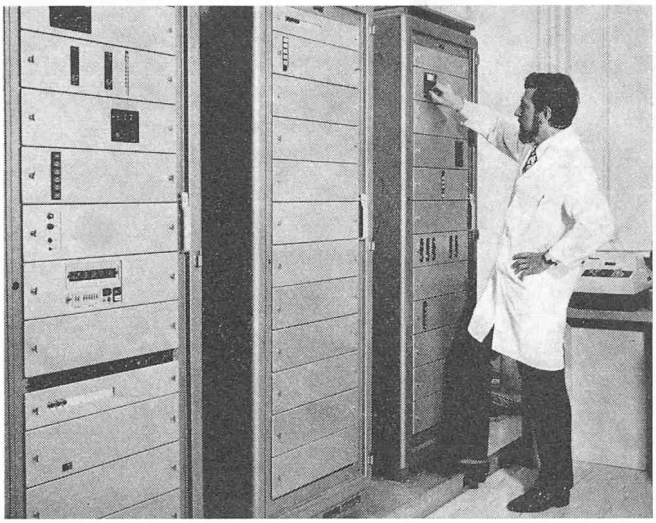


Bild 16. Typischer Kommandoraum eines Fernwirksystems

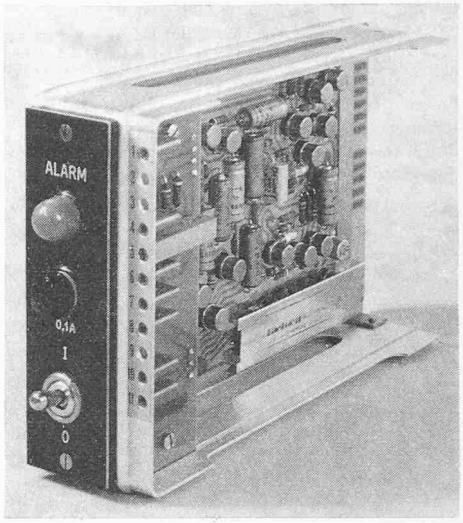


Bild 17. Empfängerbaustein eines Datenübertragungsgerätes

können. Auch diese Vorgänge sind nur statistisch erfassbar und können durch Annahme von Zusatzdämpfungen weitgehend unwirksam gemacht werden. In ähnlicher Weise sind Regen und Nebel zu berücksichtigen. Berechnungen zeigen, dass die Zusatzdämpfung und damit die Dämpfungsreserve für eine 50-km-Strecke, die mit 1-m-Antennenspiegeln betrieben wird und höchstens 1‰ der Zeit ausfallen darf, etwa 30 db betragen muss. Dies bedeutet, dass die «normale» Empfangsleistung etwa 1000mal grösser sein muss als die minimal nötige Empfangsleistung, die dann nur in 1‰ der Zeit unterschritten wird.

Die Bandbreite einer Mikrowellenverbindung liegt im Bereich der Megahertz, wodurch Mehrkanalverbindungen von 1 bis 24 bis 120 Kanälen bei Geräten für kleine Kanalzahlen, von einigen tausend Kanälen für hohe Kanalzahlen möglich sind. Die gute Qualität einer sorgfältig geplanten Mikrowellenrichtstrahlverbindung, ihr sehr kleines Störgeräusch und ihre hohe Verfügbarkeit, sind ideale Voraussetzungen für die Übertragung digitaler Signale zu Führungszwecken. In dieser Eigenschaft werden solche Verbindungen bereits heute und noch vermehrt in Zukunft vor allem von der Elektrizitätswirtschaft eingesetzt. Sie dienen zur Übertragung von Leitungsschutzsignalen, der vollautomatischen Steuerung von Unterwerken, der Datenübertragung, zur optimalen zentralen Leitung grosser Verbundbetriebe.

In Bild 9 sind die typischen Zusammenhänge zwischen dem Störgeräusch im Einzeltelephonkanal und der Übertragungsentfernung für verschiedene Kanalzahlen und Antennenspiegel festgehalten. Das Verhältnis S/R von Signal- zu Störrauschleistung wird dabei in Dezibel (db) ausgedrückt. Es gilt

$$\left.\frac{S}{R}\right|_{\mathrm{db}} = 10 \cdot \log \left[\frac{\text{Signalleistung}}{\text{Rauschleistung}} \right]$$

Ein Störabstand von 40 db in einem Telephon- oder Funkkanal ist sowohl für Sprach- wie für Datenübertragung hoher Qualität absolut ausreichend, er entspricht einer Rauschleistung, welche 10000mal kleiner als die Signalleistung ist.

5. Trägerfrequenzübertragung über Hochspannungsleitungen

Die optimale Führung eines elektrizitätswirtschaftlichen Betriebes benötigt vielfältige Nachrichtenverbindungen. Die Stationen im Nachrichtennetz fallen örtlich zusammen mit den wichtigen Zentren des Energienetzes. Es liegt daher nahe, die Energieleitungen unmittelbar und gleichzeitig auch für den Informationstransport auszunützen. Dies ist möglich, wenn man die beteiligten Leistungsträger frequenzmässig genügend weit trennt: der Energietransport geschieht bei 50 oder 60 Hz, das von der Leitung her ausnützbare Frequenzband für die Nachrichtenübertragung liegt etwa zwischen 30 kHz und 500 kHz. Auf einer Dreiphasenleitung (Bild 14) können im wesentlichen drei Ausbreitungsmodi der Nachrichtenströme bestehen, wie sie Bild 10 zeigt. Zu den verschiedenen Modi gehören verschiedene Ausbreitungsgeschwindigkeiten und insbesondere verschiedene kilometrische Dämpfungen (Bild 11). Der Ausbreitungsmode und die Art der Signalkopplung müssen vom Planer der Verbindung unter Berücksichtigung vielfältiger Überlegungen gewählt werden. Massgebend sind neben den Ausbreitungscharakteristiken vor allem Zuverlässigkeitsanforderungen – Ausfall oder Erdschluss einer Phase – und der Preis, sind doch die Einrichtungen zur Trennung der Energie- und Nachrichtenströme ausserordentlich teuer, da sie insbesondere sowohl hohen Spannungen wie auch hohen Kurzschlussströmen standzuhalten haben (Bild 12). Tabelle 1 hält die wichtigsten Unterschiede einer Nachrichtenübertragung über Mikrowellen und Hochspannungsleitungen fest.

Oft ist die Verbindung über die Hochspannungsleitung wirtschaftlicher als jeder andere Weg. Sie lässt sich, wie das Beispiel der Bilder 13 und 14 zeigt, insbesondere für sehr lange Strecken auch in Höchstspannungsnetzen einsetzen.

Das Blockschema einer modernen Datenaustausch- und Steueranlage, wie sie für Kommando- und Unterstationen eingesetzt wird, beweist die grosse Vielfalt von Informationen, die über Hochspannungsleitungen übertragbar sind (Bild 15); ein typischer Kommandoraum, ausgerüstet mit einer solchen Anlage, ist in Bild 16 festgehalten, während Bild 17 den Aufbau des Empfängerbausteins einer Datenübertragungseinrichtung zeigt.

Dieses letzte Beispiel einer grösseren Anlage, die in der Regel auf der Kommandostation mit einem Rechner kombiniert ist, lässt erkennen, dass die routinemässige Auswertung der vielen Daten eines grossen Netzes oft nur noch mit Rechenautomaten zu bewältigen ist. Diese sind aber auch fähig, kritische Lagen rasch zu erkennen, diese mit ihren wesentlichen Elementen einem überwachenden Menschen geeignet darzustellen, in vorprogrammierten Sonderfällen sogar selbständig und rascher, als es dem Menschen möglich wäre, einzugreifen. Solche Systeme beruhen weitgehend auf der zeitgerechten und sicheren Übertragung von Daten im ganzen Netz, also auf einer Forderung, welche die moderne Nachrichtentechnik zu erfüllen imstande ist.

Adresse des Verfassers: Dr. *F. Eggimann*, AG Brown, Boveri & Cie., Abteilung ENF, Postfach, 5401 Baden.