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: 79 (1988)

Heft: 13

Artikel: ROBCOM : ein neues Konzept für die Datenübertragung über das elektrische Verteilnetz

Autor: Braun, W. R.

DOI: https://doi.org/10.5169/seals-904046

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: 10.12.2025

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

ROBCOM: Ein neues Konzept für die Datenübertragung über das elektrische Verteilnetz

W. R. Braun

Um ein elektrisches Verteilnetz optimal zu betreiben, müssen Daten- und Steuerkanäle verfügbar sein. Eine direkte Ausnützung der Stromleitungen hat einige Vorteile. Die Signalstörung und -dämpfung auf diesem Kanal erschwert jedoch die zuverlässige Übertragung. Das hier vorgestellte System ist den Eigenschaften dieses Kanals optimal angepasst. Mögliche Anwendungen werden ebenfalls besprochen.

Pour pouvoir exploiter un réseau de distribution d'énergie électrique dans les conditions les plus favorables, il faut disposer de canaux de transmission de données et de commande. L'utilisation directe des lignes électriques possède plusieurs avantages. Cependant les perturbations et affaiblissements du signal sur ces lignes rendent une transmission fidèle assez difficile. Le système présenté possède une adaptation optimale aux propriétés de ce canal. Des applications possibles seront discutées également.

Der Aufsatz ist eine Kurzfassung des Berichtes einer Forschungsgruppe der ABB über ihr Projekt im Rahmen des Nationalen Forschungsprogrammes 44 «Energie – sozioökonomische Forschungen im Konsumbereich».

Adresse des Autors
Dr. *Walter R. Braun*, Asea Brown Boveri, Forschungszentrum, 5405 Baden.

1. Einleitung

Die Elektrizitätsgesellschaften betreiben grosse Kommunikationsnetze, um ihre Kraftwerke und Hochspannungsanlagen zu überwachen und zu steuern. Die Mittel- und Niederspannungsnetze hingegen verfügen im allgemeinen über keine Kommunikationskanäle mit Ausnahme der Rundsteuer- oder Netzkommandoanlagen, welche von einem Punkt aus Befehle an viele Empfänger senden können. Damit lässt sich zwar eine gewisse Steuerung des Verbrauchs realisieren, zum Beispiel durch Sperren von Waschmaschinen und Elektroboilern zu Spitzenlastzeiten, es ist aber nicht möglich, das Verteilnetz zu überwachen und optimal zu führen. Gerade in der heutigen Zeit mit wachsendem Stromkonsum und stagnierender Generator- und Transportkapazität wäre es jedoch wichtig, die verfügbaren Anlagen optimal zu nutzen. Dazu braucht es leittechnische Systeme, das heisst rechnergestützte Systeme, welche den Prozess überwachen und durch Steuereingriffe dafür sorgen, dass die vorgegebenen Ziele auf optimale Art erreicht werden.

Eine Voraussetzung für die Anwendung der Leittechnik ist die Verfügbarkeit von Datenverbindungen zwischen der zentralen Leitstelle und jenen Punkten im Netz, wo Daten anfallen oder Befehle empfangen werden sollen. Im Mittelspannungsnetz können z. B. Schalter, Trenner und Transformatoren angeschlossen werden. Im Niederspannungsnetz können bei den einzelnen Verbrauchern Zähler abgelesen und Lasten gesteuert werden. Wenn die Daten als Trägerfrequenzsignale auf den Netzleitungen übertragen werden, ergeben sich eine Reihe wichtiger Vorteile für den Netzbetreiber: Jeder Punkt des Stromnetzes wird vom Datennetz bedient, die Topologie des Datennetzes erlaubt Rückschlüsse auf jene des Stromnetzes, und die Verbindungsmittel sind unter der vollen Kontrolle des Benützers. Es sind deshalb schon verschiedene Versuche zur Datenübertragung über Stromleitungen unternommen worden. [1; 2]. Die Schwierigkeit ist jedoch, dass sowohl das Verteilnetz als auch die Lasten nicht für diese Verwendung des Netzes ausgelegt wurden. Bei Frequenzen über 50 Hz können die Lasten beliebige frequenzselektive Signaldämpfungen und Störungen erzeugen. Da aus Kostengründen die Sendeleistung klein sein muss, ist es schwierig, unter diesen Umständen die Daten zuverlässig zu übertragen. Die untersuchten Systeme erreichten deshalb nicht die angestrebte Verbindungssicherheit und konnten sich nicht durchsetzen.

Die erwähnten Systeme verwendeten Übertragungsverfahren, welche normalerweise auf Kanälen mit besser gearteten Eigenschaften, zum Beispiel Telefonkanälen, eingesetzt werden. Bei diesen Kanälen liegt die Schwierigkeit meist darin, innerhalb eines gegebenen Frequenzbandes ein Signal mit einer möglichst grossen Datenrate zu übertragen. Beim Verteilnetz muss jedoch nicht auf spektrale Effizienz Rücksicht genommen werden: Im Prinzip reicht das verfügbare Band von knapp über 50 Hz bis an das untere Ende des Langwellenbandes, also bis etwa 140 kHz, während die Datenrate im Bereich 100–1000 bit/s liegen sollte. Es ist jedoch bekannt, dass Signale mit Bandbreiten, die wesentlich grösser sind als die Datenrate (sogenannte Spreizbandsignale) viel robuster bezüglich Störungen sein können. Dies wurde in [3; 4] berücksichtigt, indem gewisse Spreizbandsignale auf ihre Eignung für diesen Kanal überprüft wurden.

In der vorliegenden Arbeit wird das Resultat einer globalen Optimierung des Übertragungssystems dargestellt. Das auf diese Art konzipierte ROB-

COM-(Robust Communication) System wurde im Labor und, in beschränktem Masse, im Felde getestet. Die Ergebnisse lassen erwarten, dass mit dem vorgeschlagenen Signalformat die Anforderungen eines Netzleitsystems bezüglich Verfügbarkeit und Reichweite erfüllt werden können.

Bevor das optimierte Übertragungssystem vorgestellt werden kann, muss die Struktur des Datennetzes für die Netzführung und Laststeuerung genauer definiert werden (Abschnitt 2). Anschliessend werden die Kanaleigenschaften genauer umrissen (Abschnitt 3). In Abschnitt 4 wird dann das ROBCOM-Übertragungssystem beschrieben, und in Abschnitt 5 werden erste Messergebnisse vorgestellt. Abschnitt 6 schliesslich skizziert die möglichen Aufgaben, welche sich mit einem Zweiweg-Datennetz lösen lassen.

2. Struktur des Datennetzes

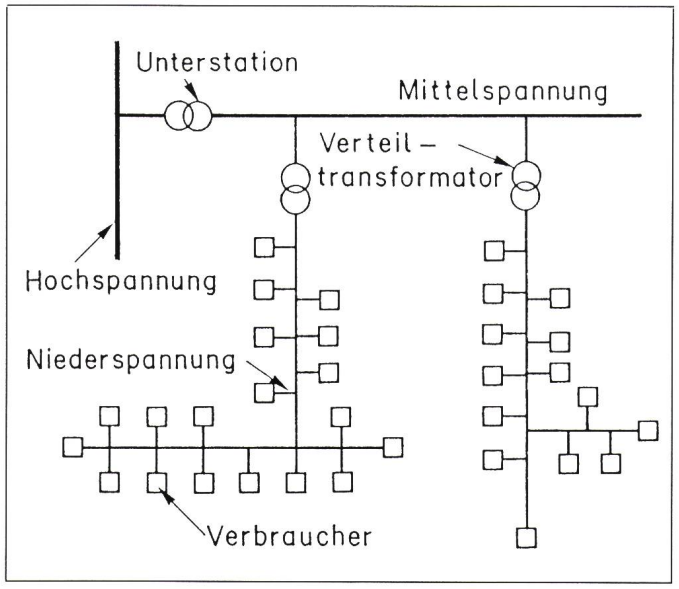
Die Struktur des elektrischen Mittel- und Niederspannungsnetzes ist in Figur 1 vereinfacht dargestellt. Normalerweise sind Datenkanäle von der Leitstelle bis zur Unterstation bereits vorhanden. Es ist deshalb sinnvoll, die Einspeisung der Befehle und die Auskopplung der Meldungen an diesem Punkt vorzunehmen. Die Gegenstationen können sich an beliebigen Punkten im Mittel- oder Niederspannungsnetz befinden, zum Beispiel bei den Verteiltransformatoren und bei den einzelnen Verbrauchern.

Die logische Struktur des Datennetzes wird durch den Frequenzbereich beeinflusst, in dem die Signale übertragen werden: Bei tiefen Frequenzen, unterhalb etwa 2 kHz, können die Signale durch den Verteiltransformator hindurch übertragen werden. Oberhalb von etwa 20 kHz kann dieser Transformator zur Isolation von Datennetzen gegeneinander verwendet werden. Im Bereich zwischen diesen beiden Grenzen nimmt die Dämpfung durch den Transformator kontinuierlich zu. Im unteren Frequenzbereich ist der Störpegel relativ hoch, so dass eine Datenübertragung mit kleiner Leistung nicht möglich ist. Der Zwischenbereich eignet sich schlecht für das Kommunikationsnetz, da die Transformatoren weder das Signal mit annehmbarer Dämpfung durchlassen, noch eine genügende Signaldämpfung garantieren, um separate Netze auf den beiden Spannungsebenen betreiben zu können. Damit drängt sich der Frequenzbereich über 20 kHz für dieses Übertragungssystem auf. Hier ist auch sicher genügend Bandbreite vorhanden, um ein Spreizbandsystem realisieren zu können. Es ergibt sich dann die in Figur 2 skizzierte Struktur für die Datenkommunikation: Die Stationen im Mittelspannungsnetz bilden ein erstes Datennetz mit einer Zentrale beim Unterwerk und Stationen bei allen Verteiltransformatoren und weiteren Punkten, an denen Messwerte anfallen oder Befehle empfangen werden müssen. Die Niederspannungsleitungen, welche an einem Verteiltransformator angeschlossen sind, bilden jeweils ein eigenes Datennetz mit der Zentrale beim Transformator und Stationen bei den Hausanschlüssen.

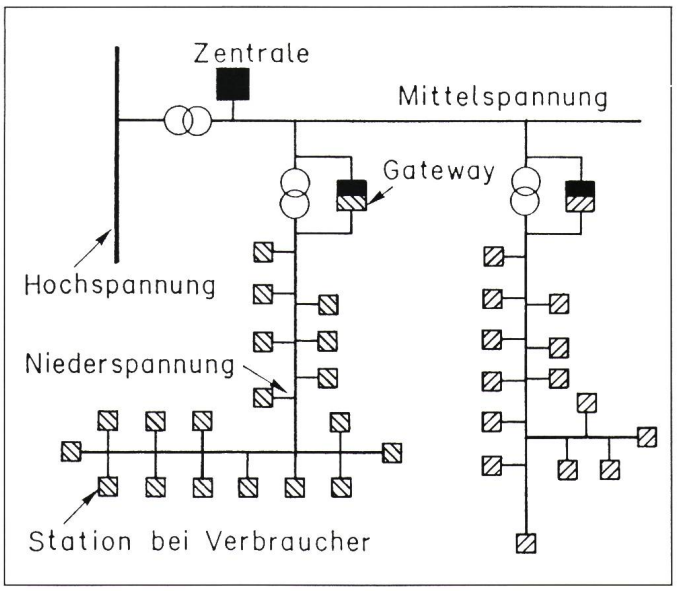
Die einzelnen Netze können parallel betrieben werden. Die Stationen bei den Verteiltransformatoren stellen den Datenfluss zwischen den zwei Ebenen des Kommunikationsnetzes sicher. Solche Knoten werden als Gateways bezeichnet. Sie verwalten die sekundärseitigen Netze, das heisst, sie stellen die Adressen aller angeschlossenen Stationen fest und teilen den Übertragungskanal nach Bedarf diesen Stationen zu. Die Gatewaystationen können zusätzlich noch leittechnische Funktionen übernehmen, um den Datenverkehr auf der Mittelspannungsebene zu reduzieren und eine begrenzte leittechnische Funktion bei Ausfall des zentralen Leitsystems aufrecht zu erhalten.

3. Kanaleigenschaften

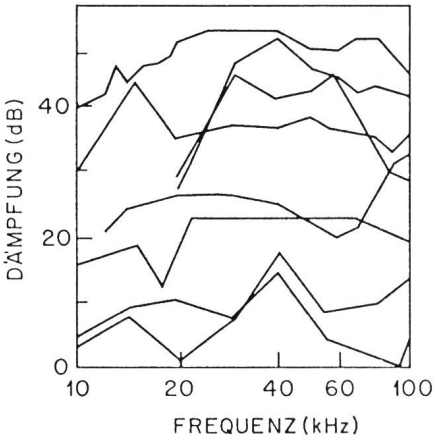
Ein Übertragungskanal wird durch die Signaldämpfung und durch die Art und Leistung der Störungen charakterisiert. Beim Stromnetz werden sowohl Dämpfung als auch Störung primär durch die eingeschalteten Lasten bestimmt. Da die Lasten zeitlich und örtlich variieren, sind auch die Kanaleigenschaften nicht konstant und nicht voraussagbar. Messungen in verschiedenen Netzen bestätigen dies: Die Signaldämpfung einer Verbindung variiert sehr stark über die Frequenz und kann mehrere Maxima und Minima



Figur 1 **Struktur des elektrischen Verteilnetzes**



Figur 2 **Struktur des Datennetzes**



Figur 3 Signaldämpfung auf verschiedenen Leitungsabschnitten des 220-V-Netzes

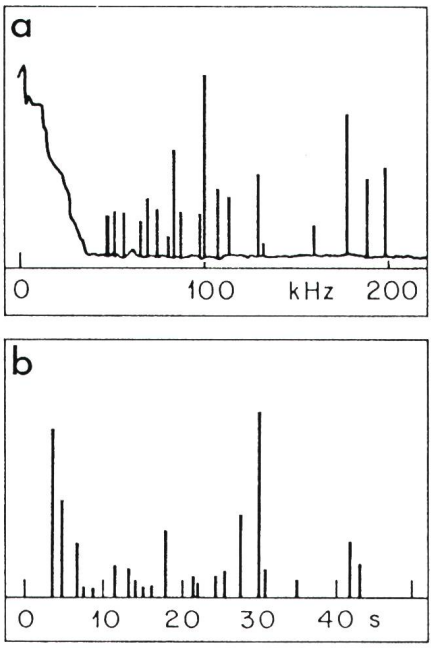
haben. Typische Verläufe sind in Figur 3 dargestellt. Als Störungen findet man einerseits kurze und entsprechend breitbandige Transienten und anderseits schmalbandige Störungen, die über längere Zeitabschnitte vorhanden sind. In Figur 4a ist ein gemessenes Spektrum von stationären Störungen und in Figur 4b sind am gleichen Punkt gemessene Transienten dargestellt. Die zwei Bilder wurden aus zwei unmittelbar hintereinander am gleichen Punkt gemessenen Spektren ermittelt: Die Anteile, die in beiden Spektren übereinstimmten, wurden den stationären Störungen zugeordnet, die anderen den Transienten.

Der Schlüsselparameter zur Charakterisierung einer Übertragungsstrecke ist der Geräuschabstand, d.h. das Verhältnis von Signal- zu Störleistung im Empfänger. Je höher dieser Geräuschabstand, desto zuverlässiger ist die Datenübertragung. Figur 5 illustriert den Zusammenhang zwischen Signalleistung, Störleistung und Geräuschabstand für eine Messung.

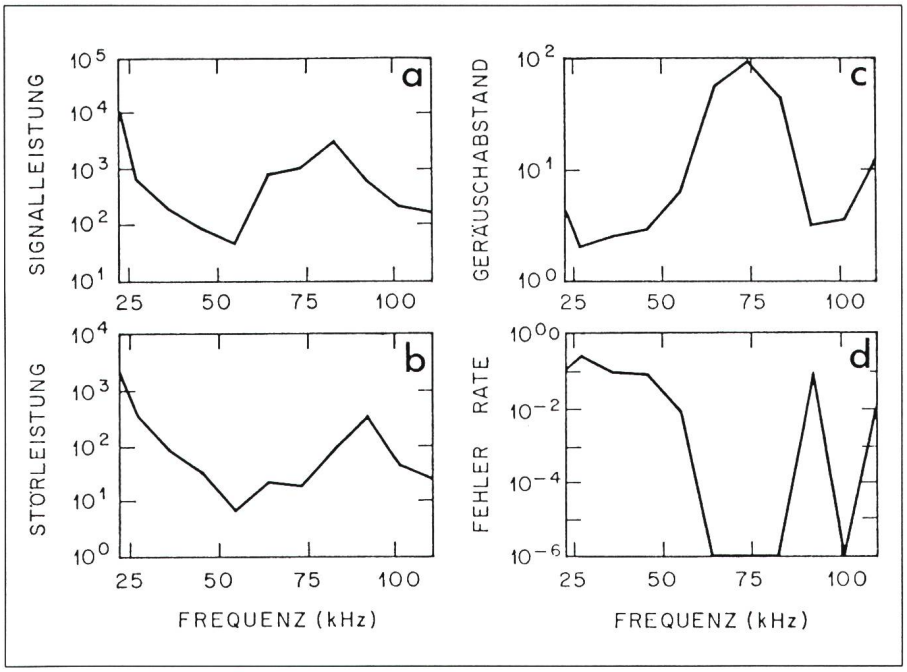
4. Das ROBCOM-Übertragungsprinzip

Aus den dargestellten Kanaleigenschaften lässt sich ableiten, dass ein konventionelles Kommunikationssystem, welches einen fest vorgegebenen Frequenzabschnitt verwendet, je nach momentanem Kanalzustand mit sehr verschiedener Zuverlässigkeit arbeiten wird: Wenn die benützte Frequenz einen guten Geräuschabstand hat, kann die Übertragung praktisch fehlerfrei sein, wenn jedoch die Lasten in der Nachbarschaft des Empfängers zu relativ grosser Signaldämpfung oder zu einem grossen Störpegel führen, kann eine Übertragung unmöglich sein, bis eine Änderung in der Belastung eintritt. Über ein ganzes Netz betrachtet, ergibt sich deshalb die Situation, dass gewisse Stationen sehr gut ansprechbar sind, bei anderen die Verbindung knapp brauchbar ist und ein gewisser Prozentsatz der Stationen für längere Zeit nicht erreichbar ist. Diese Voraussage wird bestätigt durch die Resultate von Versuchen, die vom amerikanischen Electric Power Research Institute (EPRI) durchgeführt wurden: Auch wenn drei Versuche zur Übertragung eines Telegramms zugelassen wurden, konnten im Durchschnitt nur 65% der Stationen angesprochen werden. Dies dürfte kaum den Anforderungen eines Netzleitsystems genügen.

Um die Sicherheit der Übertragung zu verbessern, sollte eine Übertragungsfrequenz ausgewählt werden können, welche beim angesprochenen Empfänger momentan auf den besten Geräuschabstand führt. Wegen der örtlichen und zeitlichen Variabilität der Kanaleigenschaften lässt sich diese Frequenz jedoch nicht bestimmen. Es liegt deshalb nahe, mehrere Frequenzen zur Übertragung zu benutzen, entweder durch parallele Übertragung oder durch periodische Frequenzwechsel während der sequentiellen Übertragung. Da die benützten Frequenzen möglichst weit auseinander liegen sollten, damit sie nicht durch dieselben Lasten beeinflusst werden, führt die erste Lösung zu relativ komplizierter Hardware. Der zweite Ansatz, der in der Funktechnik unter dem Namen «Frequenzhüpfen» bekannt ist, lässt sich jedoch ohne grossen Mehraufwand gegenüber einem Ein-



Figur 4 Typische Störungen
a) stationär b) transient

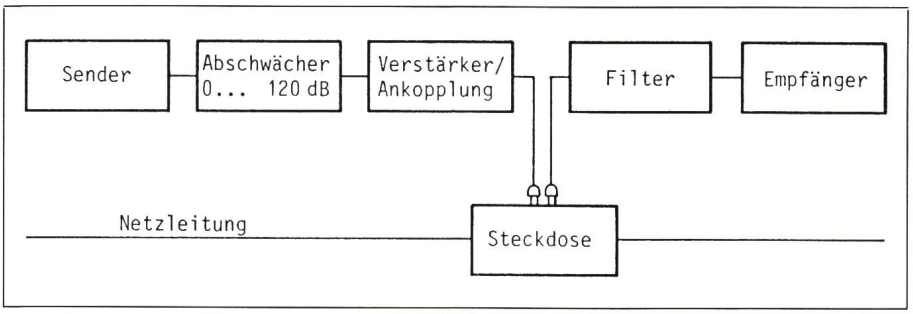


Figur 5 Gemessenes Systemverhalten

a Signalleistung
b Störleistung
c Geräuschabstand
d Fehlerrate

frequenzsystem realisieren. Figur 6 illustriert das Frequenzhüpferkonzept und zeigt, wie eine schmalbandige Störung das Signal beeinflusst: Dank dem Frequenzwechsel kann eine solche Störung immer nur einen kleinen Teil des Telegramms unbrauchbar machen. Anderseits ist die Wahrscheinlichkeit, dass ein Telegramm völlig ungestört empfangen wird, kleiner als bei einem konventionellen System. Mit anderen Worten, durch das Frequenzhüpfen wird die Streuung in der Qualität der empfangenen Telegramme wesentlich reduziert. Dies ist sehr wichtig für die weitere Verarbeitung, da mit entsprechenden Massnahmen vereinzelte Störstellen eliminiert werden können, während ein vollständig gestörtes Telegramm natürlich nicht auswertbar ist.

Die Korrektur von Übertragungsfehlern geschieht in zwei Stufen: durch eine Zweifachübertragung und einen fehlerkorrigierenden Code. Jedes Zeichen des Telegramms wird genau zwei Mal auf verschiedenen Frequenzen übertragen. Dies ist in Figur 6 durch die Symbolnummern angedeutet: Das erste Telegrammzeichen wird auf der ersten und zweiten Frequenz gesendet, das zweite auf der ersten und dritten usw. Der Empfänger beurteilt für jeden Abschnitt des Telegramms die Signalqualität. Er fügt dann jeweils die empfangenen Symbole, welche dasselbe Telegrammzeichen darstellen, wieder zusammen, wobei er die Symbole entsprechend ihrer Qualität gewichtet. Als fehlerkorrigierender Code wird ein sogenannter Faltungscode mit Rate ½ verwendet, das heisst, dieser Code verdoppelt die Zahl der Zeichen im Telegramm. Zusammen mit der Zweifachübertragung ergibt sich also eine vierfache Redundanz im übertragenen Datenstrom.



Figur 7 Aufbau des Experimentalsystems

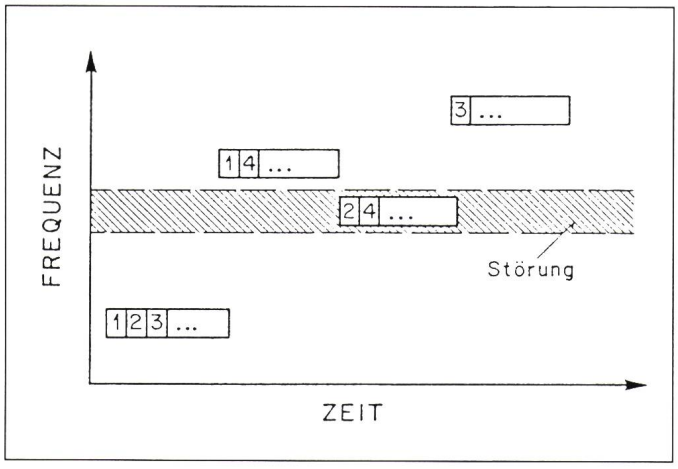
Diese Fehlerschutzmassnahmen können bereits gewisse Telegramme als verfälscht und nicht korrigierbar erkennen. Normalerweise wird man jedoch noch zusätzlich einen Code zur Fehlererkennung verwenden, womit die Wahrscheinlichkeit der Annahme eines verfälschten Telegramms auf beliebig kleine Werte reduziert werden kann.

5. Messresultate

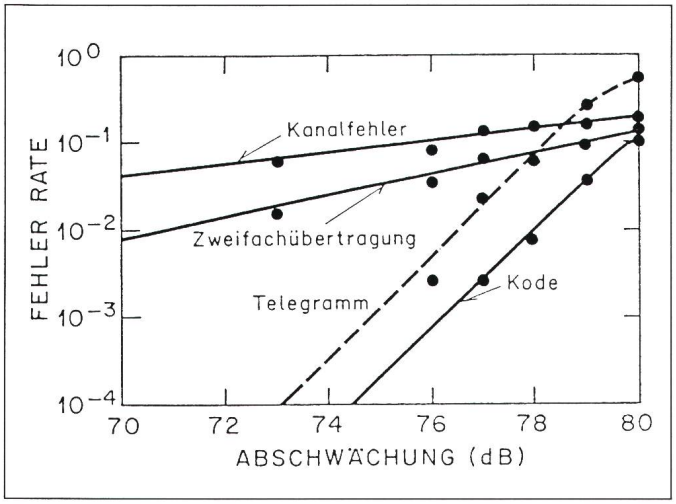
Das beschriebene Übertragungsprinzip wurde in Hardware realisiert und in Labor- und Feldversuchen im Niederspannungsnetz getestet. Die Nutzdatenrate dieses Versuchssystems beträgt 300 bit/s bei einer maximalen Sendeleistung von 400 mW.

Für die Labormessungen wurde die Signalverarbeitung des Empfängers in einem Kleinrechner (Micro-VAX II) realisiert, um Zugriff nach den verschiedenen Verarbeitungsschritten auf das Signal zu haben. Da die Übertragung nur über sehr kurze Strecken erfolgte, wurde das Signal vor der Einspeisung in die Netzleitung zusätzlich abgeschwächt. Die Hardwarestruktur ist in Figur 7 dargestellt. Figur 5 zeigt ein Beispiel des gemessenen Verlaufs von Signalleistung, Störleistung und Geräuschabstand über das benützte Frequenzband. Diese Kurven bestätigen das postulierte erratische Verhalten dieser Parameter über die Frequenz. In Figur 5 ist auch die Kanalfehlerrate als Funktion der Frequenz dargestellt (ohne Ausnützung der Zweifachübertragung und der Codierung). Der Verlauf dieser Kurve ist ungefähr invers zu jenem des Geräuschabstandes. Die höchste Fehlerrate beträgt fast ½, d.h. bei dieser Frequenz kann keine Nutzinformation übertragen werden. Die Fehlerrate bei einer bestimmten Frequenz charakterisiert das Verhalten eines konventionellen Systems: Je nachdem, welche Frequenz gewählt wird, kann die Fehlerquote zwischen Null und ½ variieren. Der Effekt der Zweifachübertragung und der Fehlerschutzcodierung ist aus Figur 8 ersichtlich: Die oberste Kurve zeigt die Kanalfehlerrate, die mittlere die Fehlerrate nach dem Zusammenführen der zusammengehörigen Symbole und die unterste nach dem Decodieren des Codes. Gestrichelt eingezeichnet ist die Fehlerwahrscheinlichkeit für ein Telegramm von 100 bit Nutzdaten. Die Dämpfungswerte beziehen sich auf eine maximale Sendeleistung von 400 mW.

Für die Feldversuche (Fig. 9) wurde der Empfänger mit einem Signalprozessor realisiert. Die in drei verschiedenen Niederspannungsnetzen durchgeführten Messungen zeigen übereinstimmend eine Reichweite von 500–700 m bei einer Sendeleistung von 400 mW. Damit lassen sich die meisten städtischen Niederspannungsnetze abdecken. In ländlichen Gebieten kommen oft längere Leitungen vor. Um auch hier die Kommunikation bis zum Ende der Leitung sicherzustellen, kann eine Station auf halber Distanz als Relais eingesetzt werden, das die Telegramme in beiden Richtungen empfängt und weitergibt. Beispielsweise konnte in einem typischen Niederspannungsnetz, im Gebiet der



Figur 6 Frequenzhüpferkonzept und schmalbandige Störung



Figur 8
Gemessene Fehlerraten

Figur 9
Messungen in einem 220-V-Netz. Fahrbare Messstation

Elektrizitätsgesellschaft Untersiggenthal (EGUS), mit einem ROBCOM-Sender beim Verteiltransformator das gesamte Versorgungsgebiet des Transformators mit Ausnahme einer Freileitung zu einer Pumpstation versorgt werden. Ein Relais am Anfang der Freileitung könnte auch diese Lücke noch schliessen.

6. Anwendungen

Die Notwendigkeit eines Datennetzes wurde mit den Bedürfnissen der Leittechnik begründet. Die Anwendungen eines solchen Netzes gehen jedoch sicher über diesen Bereich hinaus, da es zum ersten Mal die Möglichkeit schafft, von einem zentralen Punkt aus das ganze Verteilnetz in Echtzeit zu überwachen und sofort dort einzugreifen, wo dies nötig ist. Weitere Bedürfnisse werden sich herauskristallisieren, wenn erste Erfahrungen mit einem solchen System gesammelt werden. Hier soll der Rahmen abgesteckt werden, in welchem solche Anwendungen denkbar sind, ohne Anspruch auf Vollständigkeit und ohne Wertung bezüglich Wichtigkeit der einzelnen Funktionen.

Bei elektrischen Verteilnetzen verfolgt der Betrieb drei übergeordnete Ziele, nämlich:

- einen sicheren Prozessablauf
- eine gute Versorgungsqualität
- eine optimale längerfristige Gesamtwirtschaftlichkeit.

Unter sicherem Prozessablauf versteht man den Schutz von Personen und Anlagen. Gute Versorgungsqualität bedeutet Einhaltung enger Spannungstoleranzen und ein Minimum an Versorgungsunterbrüchen. Gute längerfristige Gesamtwirtschaftlichkeit kann verschieden weit gefasst werden, ist aber an Randbedingungen gebunden, wie beispielsweise Umweltverträglichkeit oder die vorzugsweise Verwendung von Primärenergien.

Den sicheren Prozessablauf gewährleistet heute vorwiegend die Schutztechnik. Diese Funktion wird durch automatische Einrichtungen wahrgenommen, die lokal eingreifen. Aus Sicherheitsgründen sollte diese Lösung beibehalten werden, so dass die Schutzfunktion auch weiterhin nicht auf ein Datennetz angewiesen ist. Im folgenden sollen deshalb nur die Ziele Versorgungsqualität und Gesamtwirtschaftlichkeit berücksichtigt werden.

6.1 Massnahmen zur Optimierung der Versorgungsqualität

Informationssysteme: Ein flächendeckendes Datennetz erlaubt es, Informationen über den momentanen Netzzustand in Echtzeit zentral anzuzeigen und mit Daten aus anderen Quellen zu verknüpfen. Damit kann zum Beispiel die Belastung an verschiedenen Netzpunkten angezeigt werden als Basis für die Planung des weiteren Netzausbaus. Wenn Schalter und Trenner mit Meldekontakten ausgerüstet sind, kann auch die Topologie in Echtzeit erfasst und dargestellt werden. Durch die Verknüpfung von Daten- und Strompfaden ist es auch möglich, aus der Struktur des Datennetzes auf die Topologie des Stromnetzes zu schliessen.

Freischaltung: Mittelspannungsnetze werden meist als offene Ringe realisiert, so dass bei Störungen die Möglichkeit besteht, die beschädigte Leitung vom Netz abzutrennen und den Rest des Netzes weiterhin zu versorgen. Über ein Datennetz könnte die Störung lokalisiert und dann die Umschaltung zentral vorgenommen werden.

Netzspannungshaltung: Im Mittel- und Niederspannungsnetz können an den Enden von langen Leitungen beträchtliche Spannungsabweichungen auftreten. Ein Zweiweg-Kommunikationsnetz erlaubt die Überwachung und Korrektur der Spannung an solchen Punkten.

Verlust der Versorgung: Über das Datennetz lässt sich Ort und Ausmass eines Versorgungsausfalls sehr rasch erfassen. Damit wird die Lokalisierung der Störung erleichtert, und es wird möglich, nach Behebung der Störung festzustellen, ob alle betroffenen Verbraucher wieder am Netz sind.

Einzel-Steuerbefehle: Mit Netzkommandoanlagen werden häufig auch ge-

wisse Verbraucher nach Bedarf oder Vereinbarung geschaltet, wie zum Beispiel Strassen- oder Schaufensterbeleuchtungen. Diese Dienstleistung lässt sich noch weiter ausbauen, wenn ein Datennetz mit höherer Übertragungsrate vorhanden ist.

6.2 Massnahmen zur Optimierung der Gesamtwirtschaftlichkeit

Tarifumschaltung: Ein Datennetz erlaubt grundsätzlich eine praktisch beliebig vielfältige Umschaltung nach einer Vielzahl verschiedener Tarife oder Abnehmerklassen und Gruppen, vorausgesetzt, die lokalen Zähleinrichtungen sind entsprechend ausgebaut. Diese Funktion benötigt nur Datenübertragung von der Zentrale aus, sie ist also auch mit Netzkommandoanlagen realisierbar.

Lastabwurf: Der Lastabwurf ist eine ausserordentliche Massnahme bei ungenügendem Leistungsangebot. Der Abwurf selbst braucht nur eine Datenübertragung von der Zentrale aus. Mit einem Zweiweg-Datennetz kann zusätzlich ein differenziertes Bild über die Aufteilung der Minderbelastung erhalten und die Wiederaufschaltung überwacht werden.

Reduktion der Spitzenlast: Zur Reduktion der Spitzenlast werden zum Beispiel Verbrauchssperren (Boiler, Waschmaschinen), periodische Kurzabschaltungen (Klimaanlagen) und gegenseitige Verriegelungen (entweder Waschen oder Kochen) eingesetzt. Durch eine Lastflussüberwachung lassen sich diese Massnahmen flexibler dosieren, als dies mit einem festen Zeitplan möglich ist.

Eine Umschaltung auf Alternativenergien, also zum Beispiel von elektrischer auf Öl- oder Gasheizung, kann ebenfalls zur Reduktion von Spitzenlasten dienen. Über die Zweiwegverbindung kann der Befehl quittiert und zusätzlich die Laständerung gemessen werden.

Blindleistungsregelung: Die Blindleistungsregelung längs Mittelspannungs-Freileitungen ist in europäischen Netzen weniger häufig als zum Beispiel in den USA. Dort wo sie eingesetzt wird, wäre es aber von grossem Interesse, die Kondensatoren nur bei Bedarf einzuschalten anstatt mit einer Schaltuhr, wie es heute oft geschieht.

Dezentrale Energieeinspeisung: Als dezentrale Energielieferanten kommen Wärme-Kraft-Kopplungen, Notstromgruppen, Ersatzstromanlagen und kleine Solar- und Windgeneratoren in Frage. Für eine gerechte Verrechnung dieser eingespeisten Energie sollte sowohl der Zeitpunkt als auch die Menge erfasst werden. Im übrigen dürfte es praktisch unmöglich sein, ein Netz mit vielen dezentralen Erzeugern ohne Datenkommunikation von einem zentralen Punkt aus zu führen.

Zählerstandsablesung: Die Zählerablesung kann entweder nur repräsentative Abonnenten für statistische Auswertungen betreffen, oder es können alle Abonnenten erfasst werden, womit die automatische Verrechnung möglich wird. In beiden Fällen lassen sich durch eine Echtzeitauswertung der Daten die Tagesprognosen laufend verbessern, um bei drohenden Lastspitzen rechtzeitig eingreifen zu können.

7. Schlussfolgerungen

Mit einem flächendeckenden Datennetz könnte die Führung elektrischer Verteilnetze effizienter und flexibler gestaltet werden. Die Ausnützung der Stromleitungen für die Datenkommunikation ist zwar schwierig, scheint aber möglich, wenn entsprechend optimierte Signalformate verwendet werden. Das ROBCOM-System basiert auf einer solchen Optimierung und zeigte in ersten Feldversuchen vielversprechende Resultate.

Literatur

[1] *R. A. Arrington:* Load management and automatic meter reading through the use of power line carrier. Electric Power Systems Research 4(1981)2, p. 85...104.

[2] *W. E. Blair* and *V. T. Rhyne:* Communication systems for distribution automation and load management. Results of Epri/Doe research. IEEE Trans. PAS 101(1982)7, p. 1888...1893.

[3] *A. R. Ausfeld:* Systeme de signalisation en retour utilisant le réseaux de distribution d'électricité comme canal de transmission. Rapport f-11, Cired 1983.

[4] *H. Ochsner:* Data transmission on low voltage power distribution lines using spread spectrum techniques. Proceedings of the Canadian Communications and Power Conference, Montreal, October 15...17, 1980; p. 236...239.