

Zeitschrift: Bulletin des Schweizerischen Elektrotechnischen Vereins, des Verbandes Schweizerischer Elektrizitätsunternehmen = Bulletin de l'Association Suisse des Electriciens, de l'Association des Entreprises électriques suisses

Band: 80 (1989)

Heft: 13

Artikel: Zweiweg-Kommunikation im elektrischen Verteilnetz : Erfahrungen und Grenzen

Autor: Schaub, T.

DOI: <https://doi.org/10.5169/seals-903692>

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: 15.10.2024

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

Zweiweg-Kommunikation im elektrischen Verteilnetz: Erfahrungen und Grenzen

Th. Schaub

Es wird die Gesamtproblematik der Zweiweg-Kommunikation über das Energieverteilnetz beleuchtet. Neben den nachrichtentechnischen werden auch die ökonomischen Aspekte berücksichtigt. Nur durch ein optimales Aufeinander-Abstimmen von Kommunikationseinheit, Endgerät und Anwendung lässt sich eine wirtschaftlich vertretbare Lösung erzielen.

L'ensemble du problème de la communication à deux voies par le réseau de distribution est traité. En plus des aspects techniques de la communication, les aspects économiques sont considérés. Une solution économique n'est obtenue que par une adaptation optimale des appareils à l'application spécifique.

Datenübertragung über das Energieverteilnetz ist nichts Neues. Die Rundsteuerung wird in zahlreichen Ländern seit Jahrzehnten mit Erfolg eingesetzt. Dabei werden von der Unterstation aus (Hochspannungs-/Mittelspannungs-Trafo) Telegramme mit grosser Leistung (bis 1200 kVA) und einer Geschwindigkeit von wenigen Bit pro Sekunde über das Mittelspannungs(MS)-Netz, den Mittelspannungs- / Niederspannungs (MS/NS)-Trafo und das Niederspannungs(NS)-Netz zum Verbraucher übertragen. Mit einem einzigen Sender werden meistens Tausende von Empfängern angesprochen. Die übertragenen Telegramme enthalten Informationen zum Steuern von Verbrauchern und für die Tarifumschaltung.

Es liegt nun auf der Hand, das Energieverteilnetz auch in der umgekehrten Richtung – vom Verbraucher zum Verteiler – für die Übertragung von Daten zu nutzen. Als wohl bedeutendste Anwendung eines solchen Rückmeldesystems gilt die Zählerfernablesung. Weitere Einsatzmöglichkeiten ergeben sich für die Übertragung von Alarmen, die Netzüberwachung, Netzautomatisierung, usw.

Eine erste Welle von Aktivitäten auf dem Gebiet der Rückmeldung liess sich Mitte bis Ende der 70er Jahre in den USA beobachten. Im Zeichen der Energiekrise wurden Zweiwegsysteme entwickelt, die sowohl Rundsteuerfunktionen wie auch die Rückmeldung beinhalteten. Zu einem kommerziellen Durchbruch des Rückmeldeteils kam es jedoch nie. Die meisten Zweiwegsysteme aus dieser Zeit werden heute bloss noch als Rundsteuersysteme genutzt. Ein Grund für die mangelnde Rentabilität der Rückmeldesysteme liegt sicher darin, dass in den USA meistens nur ein paar wenige Häuser von einem MS/NS-Trafo versorgt werden. Es macht dort deshalb wenig

Sinn, die Telegramme bereits beim Trafo wieder auszukoppeln. Das Rückmeldesignal muss vielmehr den Trafo als auch die z.T. langen Mittelspannungsfreileitungen bis zur Unterstation überwinden. Die damit gegebene starke Signaldämpfung erfordert aufwendige Sende- und Empfangsgeräte.

Ganz anders in Europa: Hier kann man damit rechnen, dass in Siedlungsgebieten mehrere hundert Haushalte auf einen MS/NS-Trafo entfallen. Es ist deshalb sinnvoll, die Rückmelde-Telegramme nur über das Niederspannungsnetz bis zur Trafostation zu übertragen. Die Daten werden dort vorverarbeitet und in konzentrierter Form zur Auswertestelle weitergeleitet. Als Übertragungsmedium kann dafür das Mittelspannungsnetz, das Telefonnetz oder ein tragbares Ableseterminal eingesetzt werden.

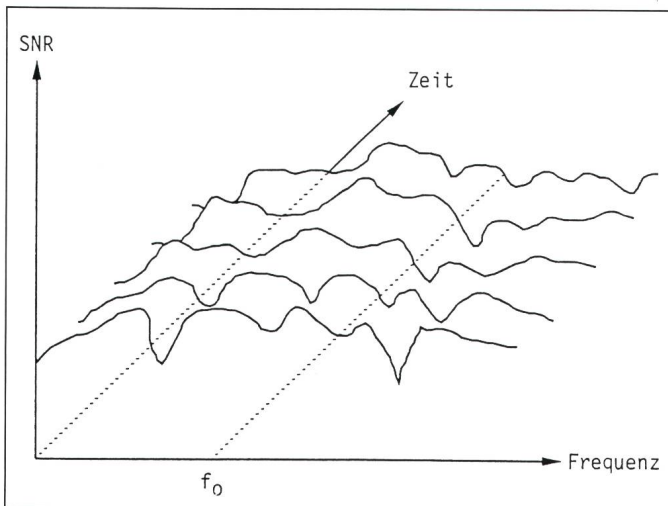
Der Kanal und die Modulationsverfahren

Umfangreiche Messungen der Übertragungsdämpfung und der Störpegel in europäischen und nordamerikanischen Netzen lassen folgenden Schluss zu: *Übertragungsdämpfung und Störpegel variieren stark mit dem Ort, der Zeit und der Frequenz.* Damit variiert auch die Qualität (Signal-zu-Geräusch-Verhältnis SNR) des empfangenen Signals mit dem Ort, der Zeit und der Frequenz. Die Figur 1 zeigt den Verlauf des SNR, wie es am Eingang des Empfängers zu verschiedenen Zeiten beobachtet werden kann. Betrachtet man das Verhalten des SNR bei einer bestimmten Frequenz f_0 über die Zeit, so lässt sich erkennen, wie sich die Empfangsqualität mit der Zeit stark verändert.

Für *schmalbandige Modulationsverfahren* und Datenraten von wenigen hundert Bit pro Sekunde bedeutet dies,

Adresse des Autors:

Dr. Thomas Schaub, Zentrale Forschung und Entwicklung, Landis & Gyr, 6301 Zug.



Figur 1
Frequenz- und
Zeitabhängigkeit der
Empfangsqualität
 SNR Signal-zu-Geräusch-Verhältnis
 f_0 Ort konstanter Frequenz

dass die ausgesendeten Telegramme zeitweise fehlerfrei, manchmal fehlerbehaftet und zum Teil auch gar nicht empfangen werden. Unter schmalbandigen Verfahren verstehen wir die klassischen, einfach implementierbaren Modulationsmethoden (FSK, ASK, PSK, DPSK usw.), bei denen die Übertragungsbandbreite im wesentlichen durch die anvisierte Datenrate bestimmt wird. Selbstverständlich hängt die Empfangsqualität auch von der Sendeleistung ab. Ist sie genügend gross, so kann auch unter schlechten Bedingungen fehlerfrei übertragen werden. Die für die Rückmeldung zugelassene Sendeleistung wird jedoch immer um einige Grössenordnungen kleiner sein müssen als die Leistung, die für die Rundsteuerung zur Verfügung steht.

Trotz mangelnder Übertragungsqualität gilt es sicherzustellen, dass unter keinen Umständen falsche Nachrichten weiterverarbeitet werden. Man verwendet für diese Aufgabe *fehlererkennende Codes*. Wählt man die Redundanz dieser Codes genügend gross, so lässt sich die Wahrscheinlichkeit für das Auftreten von undetektierbaren Fehlermustern beliebig klein halten. Fehlererkennende Verfahren lassen sich im Gegensatz zu den fehlerkorrigierenden Verfahren mit geringem Aufwand realisieren. Fehlerhaft empfangene Telegramme müssen aber vom Sender solange wiederholt werden, bis eine fehlerfreie Übertragung zustande kommt. Damit kann es zu mehr oder weniger grossen Verzögerungen zwischen dem Absenden und dem Empfang einer korrekten Nachricht kommen. Das System hat dann eine lange Reaktionszeit.

Verlangt man jedoch ein Übertragungssystem mit kurzen Reaktionszeit

ten, das eine Datenübertragung jederzeit ermöglichen soll, so genügt die Übertragung eines einzigen schmalbandigen Signals nicht. Es ist vielmehr nötig, die Nachricht mit mehreren schmalbandigen Signalen bei verschiedenen Frequenzen zu übertragen (Frequency Diversity) oder aber die Nachricht so zu spreizen, dass sie einen grösseren Frequenzbereich abdeckt. Man spricht dann von einem *Spread-Spectrum-Verfahren*. Die Übertragungsbandbreite ist bei solchen Systemen nicht nur von der Datenrate, sondern auch vom Spreizfaktor abhängig. Mit dem Abdecken eines grösseren Frequenzbandes erreicht man, dass jederzeit neben den schlechten Frequenzbereichen auch gute Frequenzbereiche für die Übertragung genutzt werden (vgl. Figur 1) und dass somit mit hoher Wahrscheinlichkeit ein fehlerfreier Empfang möglich ist. Durch die Vergrösserung der Übertragungsbandbreite lässt sich der eigentlichen Information aber auch noch zusätzlich Redundanz beifügen. Diese Redundanz kann im Empfänger für die Fehlerkorrektur genutzt werden. Spread-Spectrum-Systeme werden deshalb meistens in Kombination mit fehlerkorrigierenden Codes verwendet. Die Codes werden so ausgelegt, dass auch unter schlechtesten Bedingungen – wenn die Korrekturmöglichkeiten des

Decoders überschritten werden – noch eine zuverlässige Fehlererkennung möglich ist. In diesen Fällen wird eine Wiederholung der Telegramme unumgänglich sein. Aus der kurzen Beschreibung dieser Spread-Spectrum-Verfahren lässt sich unschwer erkennen, dass ein solches System bedeutend komplexer wird als ein schmalbandiges System. In Tabelle I werden die wichtigsten Eigenschaften der Schmalband-Systeme und der Spread-Spectrum-Systeme verglichen.

Bereits Ende der 70er Jahre entwickelte Landis & Gyr ein Rückmeldesystem, das auf der Spread-Spectrum-Technik basierte [1; 2]. Das System arbeitete in einem Frequenzbereich von 2...15 kHz und ermöglichte die Übertragung von Daten mit einer Geschwindigkeit von 100 bit/s vom Verbraucher über den MS/NS-Trafo zur Unterstation. Einzelne Testanlagen wurden in den USA verkauft und funktionierten einwandfrei. Kommerziell wurde das System jedoch nie ein Erfolg, da die abgedeckten Anwendungen zu dieser Zeit den Aufwand nicht rechtfertigten.

Heutige Spread-Spectrum-Systeme, wie Robcom von ABB oder das System von Thorn EMI, verwenden den Frequenzbereich bis 100 kHz und verzichten damit auf die Übertragung über den MS/NS-Trafo. Wie in der Einleitung dargelegt, ist diese Beschränkung auf das NS-Netz in Europa durchaus sinnvoll.

Das Kommunikationssystem

Das System als Ganzes

Die *System-Reaktionszeit* ist bestimmt durch die Zeit, die benötigt wird, um eine Nachricht fehlerfrei vom Sender zum Empfänger zu übertragen. Diese Reaktionszeit ist ein wichtiger Parameter, wenn es gilt, verschiedene Kommunikationssysteme zu vergleichen. Es wurde gezeigt, dass mit den aufwendigeren Spread-Spectrum-Verfahren kürzere Reaktionszeiten erreicht werden können als mit den einfacheren Schmalband-Verfahren.

	Schmalband	Spread-Spectrum
Aufwand	klein	gross
Zuverlässigkeit durch	fehlererkennende Codes + Wiederholung	Modulation + fehlerkorrigierende Codes
System-Reaktionszeit	kanal- und zeitabhängig	kurz

Tabelle I Vergleich Schmalband- mit Spread-Spectrum-Systemen

Nun stellt aber die Modulationseinheit bloss einen Teil des gesamten Kommunikationssystems dar. Alle andern Module wie Sender, Ankopplungsfilter, Synchronisationsverfahren, Verbindungsprotokolle usw. beeinflussen die Übertragungsqualität ebenso. Es zeigt sich, dass vielfach durch einfache Anpassungen dieser Module an die Besonderheiten des Kanals erstaunliche Verbesserungen erzielt werden können. Eine ausführliche Behandlung aller Subsysteme würde an dieser Stelle zu weit führen. Wir wollen uns deshalb auf zwei Aspekte beschränken: die Senderendstufe und das Protokoll für die Wiederholung fehlerhafter Telegramme (Automatic-Repeat-Request = ARQ).

Die Senderendstufe

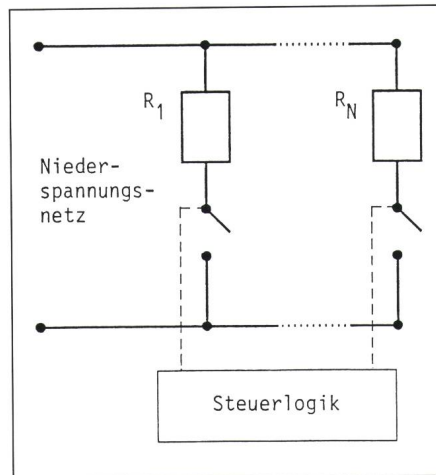
Die Bitfehlerrate – und damit die Reaktionszeit des Systems – hängt direkt von der Leistung ab, mit der die Telegramme ausgesendet werden. Bis heute bestehen noch keine verbindlichen Vorschriften, was die Sendeleistung für Frequenzen unterhalb 150 kHz anbelangt. Wie für die Rundsteuerung werden für tiefe Frequenzen wohl auch in Zukunft grosse Leistungen zugelassen sein. Neben den behördlichen Empfehlungen können aber auch zwei weitere Gründe gegen die Verwendung beliebig hoher Leistungen sprechen, nämlich der *Energieverbrauch* und die *Realisierungskosten* leistungsstarker Sender.

Hier ein Beispiel zum Energieverbrauch:

Sendeleistung	100 W
Datenrate	100 bit/s
Telegrammlänge	100 bit

Bei 10 Telegrammen pro Tag ergibt sich damit ein Energieverbrauch von 0,1 kWh pro Jahr. Dies entspricht einem Anteil von 1/50 000 des durchschnittlichen Verbrauchs an elektrischer Energie eines schweizerischen 4-Personen-Haushalts. Der Energieverbrauch eines 100-Watt-Senders ist also offensichtlich irrelevant.

Etwas problematischer wird die *Realisierung* von Senderendstufen und Netzankopplungseinrichtungen für Leistungen dieser Grössenordnung. Besonders eine breitbandige Ankopplung (Spread-Spectrum) bei tiefen Frequenzen (<15 kHz) lässt sich auf konventionelle Art (Bandpassfilter) nur mit beträchtlichem Aufwand erreichen. In der Patentschrift [3] wird ein Verfahren beschrieben, das es erlaubt,



Figur 2 Senderendstufe und Netzankopplung nach [3]

den Aufwand für die Endstufe sowie für die Netzankopplung selbst für Leistungen über 10 Watt erstaunlich gering zu halten. Es eignet sich sowohl für schmalbandige wie auch für Spread-Spectrum-Signale. Das Prinzip besteht darin, eine oder mehrere Lasten so ein- und auszuschalten, dass der Stromverlauf annäherungsweise der gewünschten Signalform entspricht (vgl. Fig. 2). Das auf diese Weise im Netz erzeugte Stromsignal wird durch das Ein/Aus-Schaltverhältnis, durch die Schaltfrequenz und, bei $N > 1$, durch die Anzahl und die Grösse der geschalteten Lasten beeinflusst. Von der Wahl dieser Parameter hängt es ab, wie stark das erzeugte vom gewünschten Signal abweicht – oder wie stark das Sendesignal mit Oberwellen behaftet ist. Diese Oberwellen können je nach Frequenz und Leistung zu Störungen im Langwellenbereich (>150 kHz) führen. Das Verfahren eignet sich, wegen des erzeugten hohen Oberwellengehalts, deshalb nur für die Erzeugung und Einkopplung tieffrequenter Signale bis etwa 15 kHz (hochfrequente Signale mit Frequenzen über 50 kHz lassen sich ohnehin mit konventionellen Bandpassfiltern problemlos einkoppeln).

Eine dem obigen Verfahren verblüffend ähnliche Methode wird auch in [4] beschrieben.

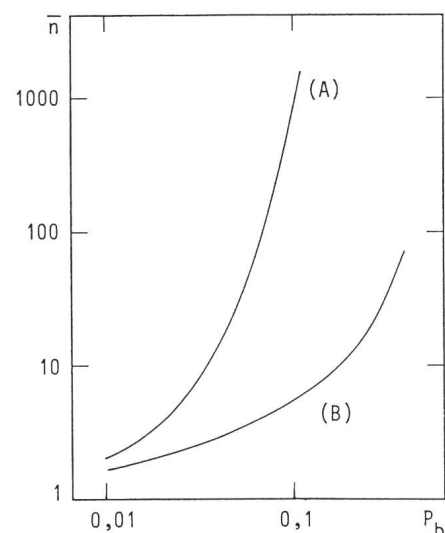
Das ARQ-Protokoll

Üblicherweise besteht das ARQ-Verfahren darin, dass der Sender dasselbe Telegramm so lange wiederholt, bis es den Empfangsort fehlerfrei erreicht. Bei einer Bitfehlerwahrscheinlichkeit von $P_b = 0,1$ und unter der An-

nahme, dass die Bitfehler unabhängig voneinander auftreten, werden bei einer Telegrammlänge von $N = 64$ bit im Mittel

$$\bar{n} = 1/(1 - P_b)^N = 848$$

Versuche für die fehlerfreie Übertragung eines Telegramms nötig sein. Die Figur 3, Kurve (A), zeigt den Verlauf der mittleren Anzahl nötiger Versuche \bar{n} in Abhängigkeit der Bitfehlerwahrscheinlichkeit P_b . Es zeigt sich, dass für $P_b > 3,5\%$ bereits mit mehr als 10 Übertragungen gerechnet werden muss. Das konventionelle ARQ-Verfahren ist deshalb nur für gute Kanäle mit kleinen Bitfehlerwahrscheinlichkeiten geeignet. Wird es für die Netzübertragung verwendet, so bedeutet das, dass für $P_b > 4\%$ mit langen Reaktionszeiten gerechnet werden muss. In Referenz [5] wird nun aber ein leicht modifiziertes Verfahren beschrieben, das auch bei höheren Bitfehlerwahrscheinlichkeiten effizient arbeitet. So ist aus Figur 3, Kurve (B), ersichtlich, dass mit dem neuen Verfahren selbst bei einer Bitfehlerwahrscheinlichkeit von 15% im Mittel weniger als 10 Wiederholungen nötig sind. Mit andern Worten: Das System kann öfters mit kurzen Reaktionszeiten betrieben werden. Das «Geheimnis» des neuen Verfahrens besteht darin, fehlerbehaftete Kopien des Telegramms im Empfänger



Figur 3 Anzahl nötiger Übertragungen in Abhängigkeit der Bitfehler-Wahrscheinlichkeit

- \bar{n} Mittlere Anzahl nötiger Übertragungen für $N = 64$
- N Telegrammlänge
- P_b Bitfehler-Wahrscheinlichkeit
- (A) konventionelles ARQ-Verfahren
- (B) modifiziertes ARQ-Verfahren

Zähler ablesen Verbrauchsstatistik erstellen Tarifumschaltung Laststeuerung Betrugsdetektion	Übertragung nicht zeitkritisch: Off-line-Betrieb möglich
Alarmübermittlung Schalten im Netz	Übertragung zeitkritisch: On-line-Betrieb nötig

Tabelle II
Anwendungen für ein
Zweiweg-Kommunikationssystem

Beschränkung scheint uns sinnvoll, weil der überwiegende Anteil möglicher Anwendungen nicht zeitkritisch ist (z.B. Zählerablesen, Laststeuerung u.a.) und weil ein Universalsystem, das auch die zeitkritischen Anwendungen abdeckt – mit heutiger Technologie realisiert – zu teuer wird, als dass mit einer grossen Verbreitung gerechnet werden kann.

Auf den ersten Blick mag es erstaunen, dass Funktionen wie Zählerablesen, Laststeuerung usw. mit einem Übertragungssystem mit langen Reaktionszeiten abgedeckt werden können. Der Schlüssel dazu ist das *Konzept der verteilten Intelligenz*. Man stattet die Endgeräte (Home-Units) mit genügend elektronischer Intelligenz aus, so dass sie in der Lage sind, ihre Aufgabe selbstständig zu erfüllen. Die Home-Units besitzen eine Echtzeituhr und arbeiten nach einem abgespeicherten Programm. Ein Datenaustausch mit der Zentrale ist nur dann nötig, wenn es darum geht, das Programm zu ändern oder um abgespeicherte Daten abzuholen.

Für die *Zählerablesung* und *Verbrauchsstatistik* werden den Home-Units die Ablesezeiten und -daten genügend früh über das Zweiweg-Kommunikationssystem mitgeteilt. Die

nicht zu ignorieren, sondern auch diese für die Auswertung beizuziehen (ARQ mit Gedächtnis). Entscheidend für das eine wie das andere ARQ-Protokoll ist natürlich, dass der Telegrammanfang korrekt erkannt wird. Für geeignete Bit- und Telegrammsynchronisationsverfahren sei ebenfalls auf [5] verwiesen.

Wir haben anhand von zwei ausgewählten Beispielen gezeigt, dass eine Verbesserung der System-Reaktionszeit nicht nur durch aufwendige Modulationsverfahren erreicht werden kann, sondern dass auch einfache Verfahren, von der Hardwareebene bis zur Protokollebene zu erstaunlichen Erfolgen führen können. Im nächsten Abschnitt werden nun auch die konkreten Anwendungen und das Betriebskonzept in unsere Systemüberlegungen einbezogen.

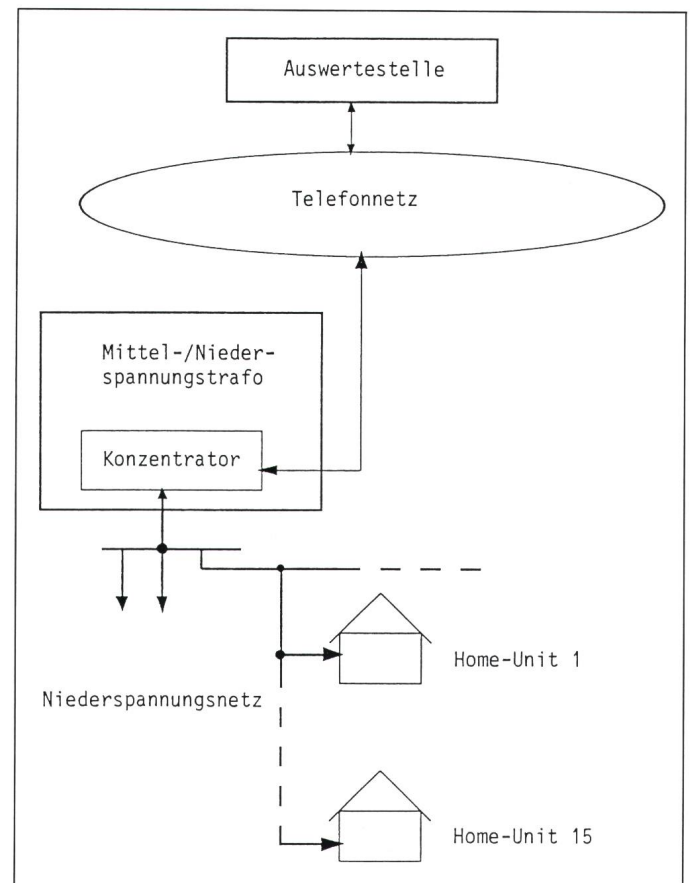
In Tabelle II werden die Anwendungen in zwei Kategorien unterteilt, nämlich in die Off-line-Anwendungen und in die On-line-Anwendungen. Anwendungen aus der ersten Gruppe bedingen grundsätzlich kein Übertragungssystem mit kurzen Reaktionszeiten, falls das Gesamtsystem und das dazugehörige Betriebskonzept entsprechend ausgelegt sind. Im Gegensatz dazu ist dies für die Anwendungen aus der zweiten Gruppe (On-line-Anwendungen) notwendig: Hier erfüllt ein Übertragungssystem nur dann seine Aufgabe, wenn es imstande ist, die Alarme und die Schaltbefehle verzögerungsfrei zu übertragen.

Im folgenden wird nun ein System beschrieben, das sich bewusst auf die *nicht-zeitkritischen Anwendungen* aus der ersten Gruppe konzentriert. Diese

Konkrete Anwendungen und Betriebskonzept

In den vorhergehenden Abschnitten haben wir uns vor allem auf die Kommunikationsprobleme konzentriert. Diese Betrachtungsweise kann leicht dazu führen, dass man mit einem Übertragungssystem endet, das nach einer Anwendung sucht. Denn – machen wir uns keine Illusionen – ein Netzbetreiber will nicht ein Datenübertragungssystem anschaffen, sondern er will ein Werkzeug, um u.a. die Zählerablesung und Rechnungstellung zu vereinfachen, um seine Lastkurve auszugleichen, um das Netz zu automatisieren usw. Das Kommunikationssystem ist nur Mittel zum Zweck. Letztlich muss sich die getätigte Investition auszahlen. Die Tabelle II enthält eine Liste möglicher Anwendungen eines Zweiweg-Kommunikationssystems. Natürlich variieren die Bedürfnisse von Land zu Land und von Netzbetreiber zu Netzbetreiber. Die in der Tabelle getroffene Auswahl beschränkt sich auf diejenigen Anwendungen, die in den meisten Fällen denkbar sind.

Figur 4
Das Testsystem



Home-Unit, die über eine Echtzeituhr verfügt, liest dann zu den gewünschten Zeiten den Zählerstand und speichert diesen ab (Freezing). Dieses Verfahren garantiert, dass alle Zähler eines Netzes zu genau demselben Zeitpunkt abgelesen werden. Die abgespeicherten Zählerstände werden jeweils dann zur zentralen Auswertestelle übertragen, wenn eine brauchbare Verbindung über das NS-Netz zustande kommt.

Für die *Tarifumschaltung* und für die *Laststeuerung* werden die Programme oder die Programmänderungen dann übertragen, wenn eine gute Verbindung möglich ist (Downloading). Die Home-Unit arbeitet selbstständig entsprechend dem geladenen Programm: Sie schaltet z.B. um 6 Uhr morgens den Zähler von Nachtтарif auf Tagтарif und wirft während der Mittagszeit Lasten wie z.B. die Waschmaschine ab. Sollte einmal eine unvorhergesehene, nicht programmgemässe Reduktion der Lasten nötig sein, so lässt sich ein entsprechender Befehl natürlich auch spontan übertragen. Es ist jedoch damit zu rechnen, dass nicht alle angesprochenen Verbraucher schon beim ersten Übertragungsversuch ansprechen. Mit dem im nächsten Abschnitt beschriebenen Testsystem wurden im Mittel etwa 90% der Verbraucher bei einer spontanen Übertragung erreicht.

Testsystem und Testresultate

Basierend auf dem oben beschriebenen Prinzip der verteilten Intelligenz wurde eine Testanlage für die Zweiweg-Kommunikation realisiert. Die Figur 4 gibt einen Überblick über das Gesamtsystem. Die eigentliche Netzübertragung beschränkt sich auf das NS-Netz. Die Zentrale (Konzentrator) für die Netzübertragung befindet sich beim MS/NS-Trafo. Das System arbeitet nach dem *Polling-Prinzip*: Die einzelnen Home-Units werden nacheinander zyklisch aufgerufen. Kommt eine Verbindung genügender Qualität zustande, so wird zuerst die Uhr der Home-Unit auf die Uhr der Zentrale nachsynchronisiert. Darauf werden allfällig vorhandene Daten in beiden Richtungen ausgetauscht. Kann eine bestimmte Home-Unit selbst nach mehreren Versuchen nicht erreicht werden, so wird von der Zentrale eine andere Home-Unit als Repeater eingesetzt. Die Aufgabe dieses Repeaters besteht darin, die Daten von der Zen-

Modulation	FSK um 90 kHz \pm 4%
Datenrate	300 bit/s
Übertragungsart	Halbduplex
Senderausgang	1 V _{eff}
Mittlere Telegrammlänge	250 bit
Anzahl möglicher Versuche pro Verbindungsaufnahme	3

Tabelle III Testsystem für Kommunikation über das Verteilnetz

trale entgegenzunehmen und an die nicht direkt erreichbare Home-Unit weiterzuleiten (und umgekehrt). Diese Repeaterfunktion kann von jeder Home-Unit wahrgenommen werden, sind sie doch alle mit einem Send- und Empfangsmodul ausgerüstet. Die in der Zentrale (Konzentrator) angekommenen Daten werden vorverarbeitet und über das öffentliche Telefonnetz zur Auswertestelle weitergeleitet. Entsprechend können auch Daten von der Auswerte- oder Leitstelle in die einzelnen Konzentratoren geladen werden.

Das Kommunikationssystem für die Netzübertragung wurde bewusst einfach gehalten. Wo immer möglich wurden kommerzielle Standardbauteile eingesetzt. In Tabelle III sind die wichtigsten Systemdaten zusammengefasst. Ausführlichere Angaben können in Referenz [6] gefunden werden. Mit Hilfe dieser Testanlage sollen die Möglichkeiten und Grenzen eines Low-Cost-Übertragungssystems im praktischen Einsatz gefunden werden. Ein erster Langzeitversuch in Neapel über eine Dauer von 10 Monaten wur-

de abgeschlossen [6]. Weitere Versuche in England, Spanien und in der Schweiz sind geplant.

Die Tabelle IV zeigt eine Zusammenfassung der in Neapel erzielten Resultate. Sie basieren auf einer Anlage mit 15 Home-Units und einer Messperiode von 10 Monaten. Die überbrückten Distanzen variieren zwischen etwa 100 und 300 Metern. Teil a) zeigt die Anteile der im ersten Versuch erreichten Home-Units. Diese Angaben sind vor allem für den Fall einer spontanen, unprogrammgemässen Lastreduktion von Interesse. Es zeigt sich, dass selbst im schlimmsten Fall (ohne Repeater) im Mittel mehr als 80% der Einheiten erreicht werden, was bedeutet, dass über 80% der dafür vorgesehenen Verbraucher spontan ausgeschaltet werden können. Im Teil b) wird nun die problematischste Verbindung genauer analysiert. Es handelt sich dabei erwartungsgemäss um die Strecke vom Konzentrator zu der am weitesten entfernten (etwa 300 m) Home-Unit. Hier fällt vor allem die starke Erhöhung des Anteils der richtig übertragenen Telegramme durch den Einsatz eines Repeaters auf. Zeitlich bedeutet dies, dass man ohne Repeater bis zu 3 Stunden warten musste, bis ein Datenaustausch zwischen dem Konzentrator und der besagten Unit zustande kam, während durch den Einsatz eines Repeaters diese Zeit auf 45 Minuten verkürzt werden konnte. Bedenkt man, dass dieses System bewusst nicht für den On-line-Einsatz konzipiert wurde, so scheint selbst eine Reaktionszeit von 3 Stunden mehr als genügend. Es wird wohl kaum nötig sein, alle 3 Stunden das Laststeuerungsprogramm oder die Zeiten für die Tarifumschaltung zu ändern.

a) Anteil der mit einem Versuch erreichten Home-Units	Repeaterfunktion:		
	ohne	mit	
	Mittelwert über die ganze Versuchsdauer	90%	98%
Minimum der täglichen Mittelwerte	82%	92%	
b) Anteil der richtig übermittelten Telegramme zwischen dem Konzentrator und der problematischsten Home-Unit	Repeaterfunktion:		
	ohne	mit	
	Mittelwert über die ganze Versuchsdauer	66%	93%
	Minimum der täglichen Mittelwerte	63%	84%
	Längstes Zeitintervall zwischen zwei richtig übermittelten Telegrammen	3 h	45 min

Tabelle IV Messresultate

Schlussfolgerungen und Ausblick

Wir haben gezeigt, dass nicht unbedingt das bezüglich Bitfehlerrate beste Modulationsverfahren auch das geeignetste Verfahren für die Datenübertragung über das Energieverteilnetz sein muss. Vielmehr gilt es, alle Subsysteme der Übertragungskette so aufeinander abzustimmen, dass mit minimalem Aufwand eine möglichst grosse Palette von Funktionen realisiert werden kann. Wo das Optimum bezüglich Aufwand und der Anzahl realisierter Funktionen liegt, wird letztlich allein der Markt entscheiden. Neben einem relativ aufwendigen, auf Spread-Spectrum-Modulation basierendem System aus den späten siebziger Jahren wurde ein neues System vorgestellt, das auf einem Low-cost-Modem aufbaut. Die Anwendungsgebiete dieses Low-cost-Systems beschränken sich auf nicht-zeitkritische Funktionen. In Kombination mit den intelligenten Home-Units lassen sich damit jedoch trotzdem eine Vielzahl von Anwendungen abdecken.

Heute scheint selbst dieses kostengünstige System noch unwirtschaftlich. Doch mit der Ablösung der me-

chanischen Zählergeneration durch intelligente elektronische Zähler wird auch die Integration von Zähl- und Rundsteuermodul in ein einziges Gerät aktuell. Es bedarf dann nur noch eines kleinen Schrittes, um in ein solches Universalgerät – die Home-Unit – auch ein Rückmeldemodul zu integrieren.

Die Entwicklung des *kommunizierenden Zählers* ist aber mit der Zweiweg-Kommunikation zum Energieverteilungsunternehmen nicht abgeschlossen. Der Zähler der Zukunft wird auch über eine Kommunikationsschnittstelle zum Konsumenten verfügen. Der Energiekonsument soll jederzeit feststellen können, wie hoch sein momentaner Energieverbrauch ist und zu welchem Tarif die Energie zurzeit angeboten wird. Dazu kommen Angaben über die nächsten Abschaltungen grosser Verbraucher wie z.B. der Waschmaschine, des Boilers usw. Erst mit dem Kommunikationskanal zwischen Home-Unit und Konsument lassen sich alle Möglichkeiten (variable Tarife, variable Rundsteuerprogramme usw.) des Zweiweg-Kommunikationssystems zwischen Energieverteiler und Home-Unit ausschöpfen.

Literatur

- [1] A. R. Ausfeld: Système de signalisation en retour utilisant le réseau de distribution d'électricité comme canal de transmission. Rapport Cired f 11, 1983.
- [2] T. Schaub: Performance of an error correcting scheme for data transmission over the power mains. Proceedings of the 1984 International Zurich Seminar on Digital Communications: Applications of source coding, channel coding and secrecy coding. March, 6. . . 8, 1984; p. 121. . . 126.
- [3] Verfahren zur Erzeugung, Einspeisung und Übertragung von Signalen in einem elektrischen Niederspannungs-Versorgungsnetz. Europäische Patentschrift 0 153 488 B1. (Patentinhaber: Landis & Gyr / Priorität; 29.2.84, CH 967/84).
- [4] Verfahren zum Senden von Daten über die Leitung eines Wechselstrom-Verteilungsnetzes und Sender zur Durchführung des Verfahrens. Europäische Patentanmeldung 0-175 863 A2. (Anmelder: Zellweger Uster AG / Priorität 27. 08.84, CH 4077/84; 03. 04. 85, CH 1445/85).
- [5] T. Schaub and J. Adame: A robust packet transmission scheme for indoor radio communication. Eurocon 88, 8th European Conference on Electronics: Area communications. Stockholm, June 13. . . 17, 1984; p. 334. . . 337.
- [6] G. Rossi and F. Ziglioli: Remote reading of electricity meters on the low-tension network: Results of the experiment carried out in Naples. Proceedings of the Annual Meeting of Anipla (Associazione Nazionale Italiana per l'Automazione): «Nuovi sviluppi dell'automazione», Bari, 4 October, 1988.