Zeitschrift: Bulletin des Schweizerischen Elektrotechnischen Vereins
Herausgeber: Schweizerischer Elektrotechnischer Verein ; Verband Schweizerischer Elektrizitätswerke
Band: 56 (1965)
Heft: 11

Artikel: Funkverbindungen im internen Werkverkehr
Autor: Glättli, W.
DOI: https://doi.org/10.5169/seals-916367

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: 13.07.2025

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

BULLETIN

DES SCHWEIZERISCHEN ELEKTROTECHNISCHEN VEREINS

Gemeinsames Publikationsorgan des Schweizerischen Elektrotechnischen Vereins (SEV)
und des Verbandes Schweizerischer Elektrizitätswerke (VSE)

Funkverbindungen im internen Werkverkehr

Von *W. Glättli*, Baden

654.165.2

Der Werkverkehr wird an Hand der Verhältnisse in einem schweizerischen Grossunternehmen im Lichte der heute zur Verfügung stehenden Funkverbindungen zwischen Disponentenzentrale und Fahrzeugen betrachtet. Ausgehend von einigen generellen Feststellungen der Organisation und Leitung des Werkverkehrs wird der Aufbau eines Werkfunknetzes beschrieben. Für den interessierten Leser ist alsdann ein Abschnitt über Funkplanung und Wellenausbreitung eingeschoben. Auf die verwendeten Funkgeräte wird ebenfalls eingetreten, wobei mögliche Betriebs- und Verkehrsarten erwähnt werden. In einem weiteren Abschnitt werden konzessionsrechtliche Fragen gestreift. Endlich wird versucht, den Nutzen von Werkfunknetzen an Hand von Beispielen zahlenmässig zu erfassen.

Le service des transports internes est considéré, en prenant comme exemple le cas d'une grande entreprise suisse, du point de vue des intercommunications sans fil, dont on peut actuellement disposer, entre le central de l'organisateur des transports et les véhicules. Après quelques considérations générales sur l'organisation et la direction d'un service des transports internes, l'auteur décrit l'aménagement d'un réseau d'intercommunication sans fil. A l'intention des lecteurs que cela peut intéresser, il donne ensuite des renseignements sur l'établissement d'un projet d'intercommunication et sur la propagation des ondes. Il décrit également les appareils utilisés, ainsi que les divers genres de services et de transports possibles. Les questions de législation en matière de concessions sont mentionnées, puis l'auteur tente de chiffrer, à l'aide d'exemples, l'utilité d'un réseau d'intercommunication sans fil dans une entreprise.

1. Einleitung

Wer die Entwicklung der Technik verfolgt, kann feststellen, dass die Begriffe Energie, Leistung und Kraft im Laufe der Zeit immer mehr dominierten. Das gewaltige Räderwerk der Technik bedarf im wörtlichen Sinne physisch wie geistig immer grösserer Energien, um in Gang gehalten zu werden. Die physische Energieproduktion steigt denn auch von Jahr zu Jahr. Ja, die Möglichkeit, neue ergiebigere Energiequellen auf lange Sicht zu finden, scheint zur Existenzfrage der Menschheit zu werden.

Auf dem geistigen Sektor erwuchsen mit der gewaltigen Zunahme der technischen Einrichtungen, der Betriebe und Unternehmungen grosse Probleme der Organisation. Es mussten ganz neue Mittel der Führung und Methoden der Rationalisierung gefunden werden, um das Ganze beherrschen und vernünftig leiten zu können. Im Zuge dieser Entwicklung hat die Nachrichtenübermittlung immer grössere Bedeutung erlangt. Neben dem gesprochenen Wort werden auch immer mehr blosse Zeichen zur Steuerung, Messung usw. übertragen. Man hat hiefür den Gesamtbegriff «Informationstechnik» geschaffen. Man kann füglich sagen, dass dieser Begriff, wenn nicht schon heute, so doch in naher Zukunft ebenso das gesamte technische Geschehen beherrschen wird wie der Begriff «Energie».

Das Bedürfnis, die Nachrichtenfäden vom leitenden Kopf bis zu den untersten und äussersten Elementen einer Organisation spannen zu können, wächst unaufhaltsam und erfasst bald jede Art von Organisation und Betrieb. Im Blickwinkel des modernen rationellen Denkens in allen Sparten ist es darum nur verständlich, wenn auch im internen Transportwesen jedes Industrie-Unternehmens ein gut ausgebautes Informationsnetz je länger je unentbehrlicher wird.

Transporte innerhalb des Werkareals oder von Werkareal zu Werkareal eines Unternehmens fallen unter den geläufigen Begriff «Werkverkehr». Meistens wird mit dieser Aufgabe eine eigens dafür geschaffene Arbeitsgruppe oder Abteilung mit eigener Verantwortung und Kompetenz betraut. Ihre Aufgabe besteht darin, mit vorhandenen Transportmitteln das anfallende Transportgut in kürzester Zeit an seinen Bestimmungsort zu bringen. Um diese Aufgabe auch rationell lösen zu können, ist die ständige Verbindung zwischen dem Disponenten in der Transportzentrale und mindestens einem Teil der Fahrzeuge unerlässlich. Als Verbindungsmittel stellt die Funkverbindung zweifellos die beste Lösung dar. (Es könnten auch andere Systeme zur Anwendung gelangen, wie z. B. der telephonische Rückruf durch den Fahrer von Telephonstationen aus.) Derartige drahtlose Nachrichtennetze fallen allgemein unter den Begriff «Werkfunk».

In diesem Aufsatz soll gezeigt werden, wie eine Werkverkehrsorganisation mit Funkbetrieb zweckmässig aufgebaut und in welcher Sparte der Funkverkehr mit Vorteil eingesetzt wird. Interessant ist die Feststellung, dass die Funkführung nicht nur direkte, sondern dank psychologischer Wirkungen auch indirekte, meist nicht zahlenmässig erfassbare Gewinne bringt.

Bis jetzt sind über dieses Gebiet wenig Publikationen erschienen. Das mag darin begündet sein, dass Werkfunknetze erst in den 50er Jahren Verbreitung fanden und auch heute erst in relativ wenigen, vorwiegend Grossbetrieben eingeführt sind. Zum andern geht es hier um einen Interessentenkreis, der an sich kaum in enger Beziehung zur Hochfrequenztechnik und modernen Elektronik steht. Es ist daher nur verständlich, wenn vor Einführung dieser modernen drahtlosen Nachrichtenmittel eine gewisse Dosis Skepsis

33'584-33'600/a

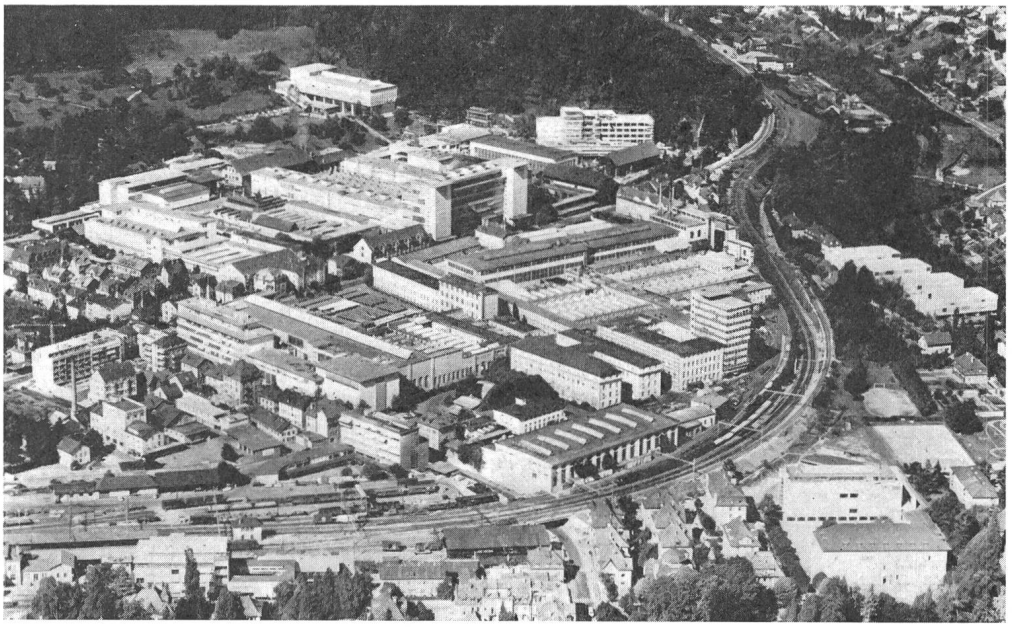


Fig. 1
Flugaufnahme des Werkareals der AG Brown, Boveri & Cie.

überwunden werden muss. Nicht zuletzt zählt die Tatsache, dass es schwer hält, über die detaillierten Kosten und die dank der Einführung einer rationelleren Führungsorganisation erzielbaren Gewinne exakte Zahlen zu erhalten.

Der Verfasser hofft, anhand der Verhältnisse in einem schweizerischen Grossunternehmen diese Lücke wenigstens teilweise schliessen zu können.

2. Die Organisation des Werkverkehrs

Das Areal der Badener Werke der AG Brown, Boveri & Cie. umfasst 180 000 m². Davon sind 101 000 m² überbaut, also rund 56 %. Fig. 1 vermittelt einen Blick auf das Werkgelände aus süd-östlicher Richtung. Man erkennt, dass das Gelände ausserordentlich stark mit Bauten, vorwiegend Werkhallen, überdeckt ist. Die Bauhöhe variiert von 10 bis 30 m.

Pro Jahr werden etwa 30 000 t Fertigprodukte über die Speditionsabteilung in alle Welt verschickt. Die zu transportierenden Güter sind ausserordentlich vielfältig.

An Hand dieser rohen Angaben über das Werk kann man sich einen Begriff über die werkintern zu transportierenden Materialmengen machen. Allerdings dürfte gewichtsmässig etwa die Hälfte der Güter auch werkintern an die Eisenbahnwagen gebunden sein. Rechnet man aber anderseits damit, dass das gleiche Material im Mittel 10mal von einer Arbeitsstelle zur andern befördert werden muss, bevor es sich vom rohen Anlieferungszustand in ein Fertigprodukt verwandelt hat, so ergeben sich für den Transportdienst mit Karren, Staplern etc. Gewichte in der Grössenordnung von 150 000 t/Jahr oder 500 t pro Tag.

Diese respektable Umschlagsmenge wird durch den folgenden Fahrzeugpark bewältigt:

- 10 Elektro-Plattformwagen, 2 t
- 4 Schleppfahrzeuge für Anhängerzüge (Fig. 2)
- 120 Anhänger je 2...20 t
- 40 Gabelstapler je 1...5 t
- 4 Krane je 3...9 t (Fig. 3)
- 15 Lieferwagen
- 8 Lastwagen

Ein Fahrzeugpark dieser Grösse verlangt eine gut durchdachte Führungsorganisation. Das Transportwesen in diesem Industriewerk ist natürlich aus bescheidenen Anfängen organisch emporgewachsen. Der Vielfältigkeit der Materialien und Produkte entsprechend zeigte sich schon früh eine Dreiteilung des Transportsystems als günstigste Lösung.

Die Basis des Transportsystems bildet die sog. *leichte Ringtour*. Hiefür stehen 4 Elektro-Plattformwagen zur Verfügung. Im dauernden, fahrplanmässigen Einsatz bedienen sie etwa 60 Bahnhöfe, die über das Werk verteilt sind. Fig. 4 zeigt den Situationsplan. Die Fahrroute stellt einen geschlossenen Ring dar, auf dem aber die Plätze beim Zentrallagergebäude und der Abt. Sped. (Spedition) eine Art Endstationen sind. Von hier aus starten jede halbe Stunde je 1 Wagen im Uhrzeigersinn und im Gegenuhrzeigersinn. Hilfsarbeiter oder Internfahrer der Fabriken und Abteilungen bringen ihr

Fig. 2
Schleppfahrzeug mit Anhänger bei der Ausführung eines Sondertransportes

Fig. 3
9-t-Kran beim Umladen eines grossen Kessels

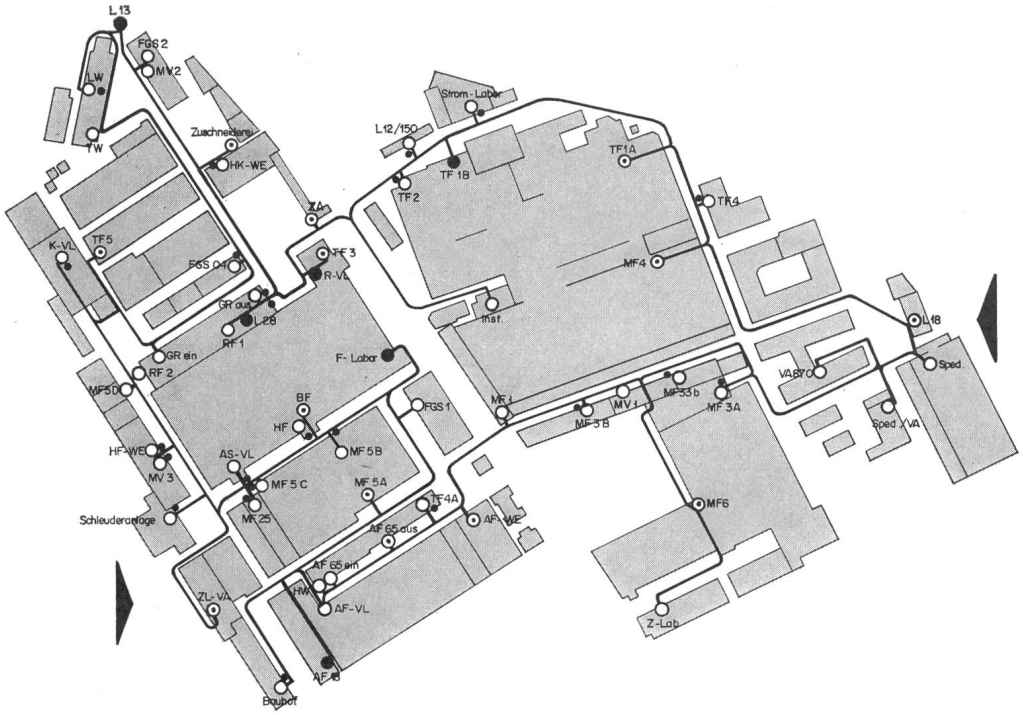


Fig. 4
Situationsplan der leichten Ringtour

⊙ 1. Klasse. Jedes Mal anlaufen
○ 2. Klasse. Nur anlaufen, wenn Material vorhanden oder Signaltafel (●) grün
● 3. Klasse. Auf 2., 5. und 9. Runde anlaufen

Transportgut zu den Bahnhöfen und holen dort das eingetroffene Material ab. Die einzelnen Lasten dürfen 30 kg nicht überschreiten, so dass der Fahrer das Material selbst auf seinen Plattformwagen laden kann. Wie aus Fig. 4 ersichtlich, wird nach Bahnhöfen verschiedener Umschlagsintensität unterschieden. Je nach Klasse werden sie jedesmal, nur auf bestimmten Touren oder nur bei Bedarf angelaufen.

Für schwere Güter bis 2 t wurde die sog. *mittlere Ringtour* organisiert. Auch hiefür besteht ein entsprechender Plan. Die Bahnhöfe existieren aber in geringerer Zahl und sind nicht durchwegs identisch mit denen der leichten Tour. Als Transportmittel gelangen hier 4 Gabelstapler mit je 4 Anhängern zum Einsatz, wovon 2 Kompositionen mit einem Stapler von 2 t und die andern mit solchen von 1,2 t Tragkraft ausgerüstet sind. Diese 4 Anhängerzüge zirkulieren ohne festen Zeitplan, da sich für das Be- und Entladen der Anhänger recht unterschiedliche Zeiten ergeben.

Nicht alle Güter können durch die Fahrzeuge der Ringtouren übernommen werden. Insbesondere sind die schweren Güter davon ausgenommen. Für solche Güter müssen *Sondertransporte* organisiert werden. Zu diesem Zwecke stehen etwa 120 Anhänger für 2 bis 20 t Ladegut zur Verfügung. 3 Schlepper sind für die Verschiebung notwendig. Für interne Transporte über kurze Distanzen und innerhalb einzelner Fabrikhallen werden bei genügend grosser Auslastung Gabelstapler, Plattformwagen und Krane fest der Fabrikationsabteilung zugeteilt, verbleiben aber sowohl maschinen- wie auch personalmässig unter der Kontrolle der Abt. Transportwesen. Die Kleinlieferwagen und Lastwagen dienen vorwiegend Transporten ausserhalb des Badener Werkareals. Sie bedienen die zahlreichen Lager und Werkstätten, die sich in der näheren und weiteren Umgebung des Werkes befinden.

Eine eigentliche Organisationssorge bilden nur die Sondertransporte. Hier besteht die Aufgabe, Transportaufträge rasch und rationell auszuführen. Rationell bedeutet dabei, die Transportaufgaben mit einem Minimum an Fahrzeugen zu lösen. Das ist aber nur möglich, wenn es gelingt, die Fahrzeuge mit Aufträgen dauernd auszulasten und Leerfahrten zu vermeiden. Besteht zwischen der Transportzentrale und dem auf der Fahrt befindlichen Fahrzeug keine Verbindung, so lassen sich die beiden Forderungen «rasch» und «rationell» kaum auf einen Nenner bringen. Will man die Aufträge sofort ausführen, so müssen dauernd mehrere leere Fahrzeuge bei der Zentrale bereitstehen, um ohne Verzug eine Transportaufgabe übernehmen zu können. Die Folge ist auch, dass die Fahrzeuge nach ausgeführtem Auftrag meist leer zur Transportzentrale zurückkehren müssen. Will man anderseits die Fahrzeuge bestmöglich auslasten, so müssen die Transportaufträge zuerst gesammelt werden. Einem zurückgekehrten Fahrzeug können dann mehrere Aufträge gleichzeitig erteilt werden, in der Weise, dass das Fahrzeug auf der ganzen Tour möglichst voll ausgelastet ist und Leerfahrt auf dem Rückweg vermieden wird. Beim zweiten Verfahren können zwar Fahrzeuge eingespart werden, die Aufträge kommen aber meist nicht genügend rasch zur Ausführung.

Der Wunsch nach ständiger Verbindungsmöglichkeit zwischen Transportzentrale und irgendeinem Fahrzeug ist offensichtlich. Besteht eine solche Verbindung, so können Fahrzeugen, die einen Transport ausgeführt haben, unverzüglich neue Aufträge überbunden werden. Dabei lässt sich noch dadurch Zeit gewinnen, dass für einen bestimmten Transport das nächst befindliche freie Fahrzeug beauftragt wird. Hier kommt der Sprechfunk in idealer Weise zu Hilfe.

3. Aufbau der Werkfunknetze

Das Sprechfunknetz wird meist als Sternnetz aufgebaut (Fig. 5). Das entspricht der Organisation des Transportsystems.

Die sog. Netzleitstation ist ortsfest an geeigneter Stelle des Werkareals aufgestellt und wird von der Transportzentrale aus besprochen. Oft handelt es sich um eine Duplex Sende/Empfangs-Station. Duplex bedeutet, dass Senden und Empfangen gleichzeitig möglich ist. Diese Verkehrsart bietet ferner den Vorteil, dass während eines Gespräches keinerlei

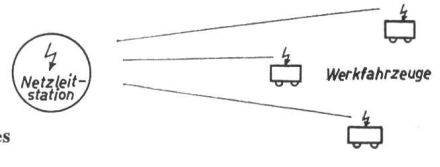


Fig. 5
Prinzip des Werkfunknetzes

Umschaltmanipulationen zwischen Sprechen und Hören erforderlich sind. Die Fahrzeugstationen können ebenfalls auf Duplexbasis oder aber auf Simplexbasis arbeiten. Simplex bedeutet, dass auf der Funkstation nicht gleichzeitig gehört und gesprochen werden kann. Dank dieser Verkehrsart — man nennt sie auch Wechselsprech-Verkehr — können billigere Funkgeräte verwendet werden. Für den Betrieb erwächst daraus kaum ein Nachteil. Zwischen Senden und Empfangen wird mittels einer sog. Sprechtaste am Mikrotelephon umgeschaltet. Drücken der Taste bewirkt dabei Senden. Die Erfahrung hat gezeigt, dass sich die Chauffeure rasch an die Bedienung der Geräte gewöhnen. Ein Funknetz, das in dieser Art aufgebaut ist, arbeitet auf 2 Frequenzen, und zwar wegen des Duplex-Charakters der ortsfesten Station. Die Betriebsart im Netz nennt man Simplex-Verkehr auf 2 Frequenzen. Wegen der begrenzten Selektivität der Empfänger müssen diese Frequenzen um einige MHz voneinander verschieden sein. Das System mit 2 Frequenzen charakterisiert die ortsfeste Station eindeutig als Leitstation in einem Sternnetz. Es ermöglicht auch, bei besonderen Verhältnissen eine Relaisstation ins Netz einzubeziehen.

Für Simplexverkehr genügt an sich eine einzige Frequenz, auf die alle Sender und Empfänger abgestimmt sind. Es kann folglich jede Station mit jeder verkehren. In der Regel ist aber diese Betriebsart gar nicht zweckmässig, da die Fahrzeuge ausschliesslich mit der zentralen Disponentenstelle zu verkehren haben und Querverbindungen eher unerwünscht sind.

Das Funknetz von Brown Boveri ist mit dem sog. *Selektivrufsystem* ausgerüstet. Dieses System erlaubt dem Disponenten in der Transportzentrale, jedes Fahrzeug einzeln aufzurufen. Auf dem Disponentenpult befindet sich ein Bedienungsgerät, das mit Mikrotelephon, Lautsprecher und einem Tastenfeld ausgerüstet ist. Die Tasten sind numeriert. Ein bestimmtes Fahrzeug wird durch Eintasten der zugeordneten 2ziffrigen Zahl aufgerufen. Der Ruf wird in Form von Tonfrequenzimpulsen ausgesendet. Jeder der 10 Ziffern auf dem Tastenfeld ist eine Frequenz zugeordnet. Mit 2 aufeinanderfolgenden Rufimpulsen können 90 Stationen gerufen werden. Die Fahrzeugstation ist mit einer geeigneten Tonfrequenzempfangsapparatur ausgerüstet, die bei eintreffenden Rufsignalen automatisch feststellt, ob der Ruf ihr gilt. Ist das der Fall, so leuchtet am Bedienungsgerät eine Signallampe auf. Eine sog. Rememberschaltung sorgt dafür, dass die Lampe weiterleuchtet, auch wenn der Ruf vom Sender her wieder abgeschaltet ist. Hat der Fahrer gerade im kritischen Augenblick das Fahrzeug verlassen, so stellt er bei der Rückkehr den Ruf dennoch fest und meldet sich unverzüglich durch Rückruf bei der Transportzentrale. Wo es wünschenswert erscheint, kann auch eine Hupe parallel zur Ruflampe geschaltet werden. Zur Vermeidung unnötigen Lärms ertönt die Hupe nur kurzzeitig, unabhängig von der Dauer des Rufkriteriums, das von der Leitstation ausgesendet wird. Bei einfacheren Netzen, in denen nur wenige Fahrzeuge beteiligt sind, können einfachere Systeme vorgesehen werden, z. B. der Lautsprecher-Tonruf. Hier werden alle Fahrzeugstationen mit Lautsprecher versehen und durch Drücken der einzigen Ruftaste auf dem Bedienungsgerät der Netzleitstation erreicht. Der gemeinsame Rufton schaltet bei allen Fahrzeugstationen den Lautsprecher während 3...5s ein. In dieser Zeit kann die gewünschte Station über das Mikrophon aufgerufen werden.

Endlich kann man auf eigentliche Rufsysteme verzichten. Die gewünschte Station wird einfach über das Mikrophon aufgefordert, sich zu melden. Alle Fahrzeugstationen können den Ruf über den für diesen Fall dort erforderlichen Lautsprecher hören.

Die Industrie baut seit etwa 2 Jahrzehnten Sprechfunkgeräte, die sich für den Einbau in Fahrzeugen eignen. Die modernen Geräte weisen nur noch geringe Abmessungen und Gewichte auf, so dass sich in jedem Transportfahrzeug sehr leicht ein geeigneter Montageplatz findet. Sie sind auch besonders widerstandsfähig gegen starke Erschütterungen und Vibrationen gebaut. Die Gerätetechnik hat eine hohe Qualität erreicht, so dass sich der Sprechverkehr über Funk hinsichtlich Klarheit und Störfreiheit kaum mehr von einem Gespräch über das allgemeine Telephon unterscheidet.

4. Die Planung

Der Bedarf an drahtlosen Verbindungen ist seit dem Aufkommen dieser Technik ausserordentlich rasch angewachsen. Schon früh mussten darum, zuerst auf nationaler, dann auf internationaler Ebene, Regelungen getroffen werden, um im «Äther» einen geordneten Verkehr zu garantieren. Heute ist die UIT (Union Internationale des Télécommunications) das koordinierende Organ für Frequenzzuteilungen. Die meisten Staaten sind Mitglieder dieser Union. An Konferenzen, so in Genf im Jahre 1959, wurden Frequenzverteilpläne aufgestellt, im Sinne von Empfehlungen an die Mitgliedstaaten. Im Rahmen dieser Empfehlungen erlassen die nationalen PTT-Verwaltungen verbindliche Vorschriften im betreffenden Land. Den verschiedenen Diensten, die auf Funkverkehr angewiesen sind, werden bestimmte Frequenzbänder zugeteilt.

Werkfunknetze fallen in die Kategorie «Fixe und Mobile» Verbindungen. Aus verschiedenen Gründen kommen von den im Plan vorhandenen Frequenzbändern in der Schweiz nur das 460-MHz-Band, und für Sonderfälle das 160-MHz-Band in Frage. Diese Frequenzbänder liegen im Ultrakurzwellenbereich. Das am meisten benützte Frequenzband ist gegenwärtig immer noch dasjenige um 160 MHz. Auch die hier beschriebene Anlage arbeitet in diesem 2-m-Band. Neue Anlagen werden aber in das 460-MHz-Band verwiesen und bestehende müssen innert angemessener Frist auf die neuen Frequenzen umgestellt werden. Die Wahl eines bestimmten Frequenzbandes hängt von verschiedenen Faktoren ab. Im Vordergrund steht das Ausbreitungsverhalten der elektrischen Wellen. Da es sich beim Werkfunk um ausgesprochene Kurzverbindungen handelt, sind Frequenzen vorteilhaft, die der Beugung wenig unterworfen sind, sich dafür aber leichter reflektieren lassen. Unser Beispiel zeigt ein dicht überbautes Werkgelände.

Dank auftretender Reflektionen dringen die Wellen zwischen alle Gebäude, ja, wie noch gezeigt wird, bis in die hintersten Winkel der Fabrikhallen und selbst in tiefe Keller. Je höher die Frequenz, desto wirksamer tritt das Phenomen der Reflexion in Erscheinung. Um das Ausbreitungsverhalten der elektrischen Wellen gut überblicken zu können, sei hier eine kurze physikalisch-rechnerische Betrachtung eingeschoben.

Die Problemstellung lautet: Wie ist die Empfangsspannung von der Senderleistung, der Distanz, und der Art der Antenne abhängig, und wie beeinflusst der Boden die Wellenausbreitung?

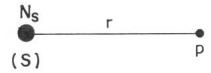


Fig. 6
Leistungsdichte im Raum

Die Wirkung der Antenne kann mathematisch dargestellt werden, indem man zunächst von einer hypothetischen, punktförmigen Antenne ausgeht, die nach allen Richtungen gleichmässig abstrahlt (isotroper Strahler). Wenn das Medium im Raum keine Energie absorbiert, so gilt offensichtlich das Gesetz (Fig. 6):

$$D_p = \frac{N_s}{4\,\pi\,r^2} \tag{1}$$

N_s abgestrahlte Sendeleistung
D_p Leistungsdichte im Punkte P des Raumes
S Sender
$4\,\pi\,r^2$ Kugeloberfläche im Abstand r vom Sender

Mit dieser Formel lässt sich nun leicht errechnen, wieviel W/cm² in irgendeiner Entfernung vom Sender eintreffen. Nützlich ist aber nur die Leistung, die mit einer Antenne effektiv empfangen wird und an den Empfänger weitergegeben werden kann. Da die Flächeneinheit von einem begrenzten, meist sehr kleinen Energiebetrag durchsetzt wird, muss die Antenne offensichtlich eine gewisse Absorptionsfläche aufweisen, um die notwendige Empfangsenergie aus dem Raum aufnehmen zu können.

Für den Dipol als Empfangsantenne kann die Wirkfläche mathematisch berechnet werden. Es ergibt sich:

$$F_{wd} = \frac{3}{8\,\pi}\,\lambda^2 \tag{2}$$

wobei die Formel nur für den sog. Elementardipol exakt stimmt und für den Halbwellendipol (totale Länge des Dipols $= \lambda/2$) nur annähernd richtig ist. Die so bestimmte Wirkfläche versteht sich für Richtungen maximaler Empfangsgüte, d. h. in der Ebene senkrecht zu den Dipolstäben. Die in der Antenne empfangene Energie ergibt sich aus dem Produkt Energiedichte am Aufstellungsort mal die Wirkfläche der Antenne. Somit erhält man zusammen mit den Gl. (1) und (2):

$$N_e = D_p\,F_w = \left(\frac{3\,\lambda}{8\,\pi\,r}\right)^2 N_s \tag{3}$$

Die Antenne ist so gebaut, dass an den Anschlussklemmen eine bestimmte Quellenimpedanz Z_0 erscheint. Die resultierende Spannung errechnet sich dann zu:

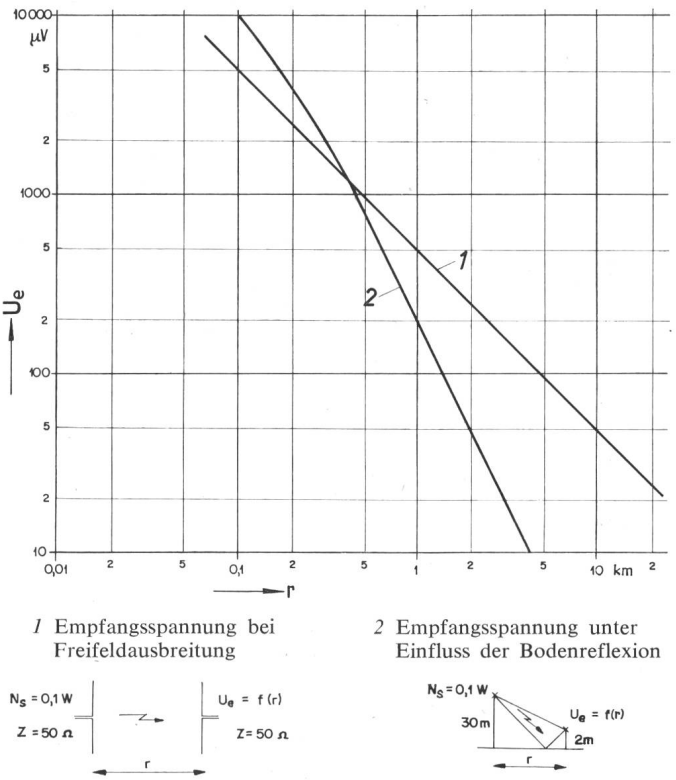
$$U_e = \sqrt{N_e\,Z_0} = \frac{3\,\lambda}{8\,\pi\,r}\sqrt{N_s\,Z_0} \tag{4}$$

Das Resultat sei an Hand eines praktischen Beispiels betrachtet:

Sendeleistung	N_s	= 0,1 W
Antennenimpedanz	Z_0	= 50 Ω
Wellenlänge	λ	= 1,876 m (160 MHz)

Es ergibt sich damit die Formel:

$$\frac{U_e}{[\mu V]} = 0{,}5 \cdot 10^3\,\frac{1}{r}\,[\text{km}] \tag{5}$$



1 Empfangsspannung bei Freifeldausbreitung

2 Empfangsspannung unter Einfluss der Bodenreflexion

Fig. 7
Empfangsspannung U_e in Abhängigkeit der Distanz r vom Sender gemäss Gl. (5) und (12)
Sendeleistung 0,1 W

In Fig. 7 ist die Abhängigkeit zwischen Empfangsspannung und Distanz graphisch dargestellt.

Die eben erhaltenen Ergebnisse setzen voraus, dass sich die Wellen nach allen Richtungen ungehindert ausbreiten können. Man spricht hier von der sog. Freifeldausbreitung. In praktischen Verhältnissen, wie z. B. beim Werkfunk, trifft diese Voraussetzung nicht zu. Hier findet die Übertragung stets in Bodennähe statt. Der Boden beeinflusst naturgemäss das Ausbreitungsverhalten. Um auch in diesem Fall einen Überblick gewinnen zu können, sei eine weitere kurze Betrachtung unter idealisierten Verhältnissen angestellt.

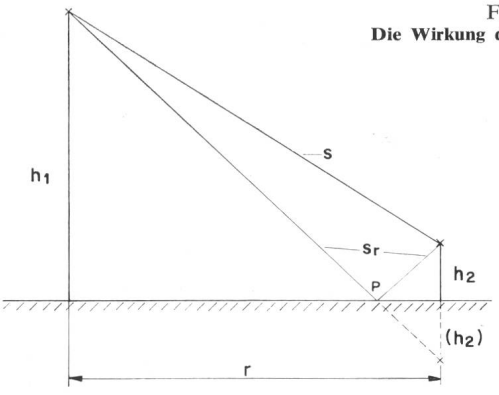


Fig. 8
Die Wirkung der Bodenreflexion

Bei einer Funkverbindung ortsfest-mobil trifft es zu, dass die Antenne der ortsfesten Station relativ hoch über Boden aufgestellt ist. Die mobile Station hingegen weist eine sehr niedrig plazierte Antenne auf. Der Boden kann in erster Annäherung als leitend und eben angenommen werden. Es ergibt sich die Situation nach Fig. 8.

Neben der direkt bei der Empfangsantenne eintreffenden Strahlung über den Weg s gelangt auch noch Energie über s_r zum Empfangsort. Die Wellen werden im Punkt P wie an einem Spiegel verlustfrei reflektiert. Zudem springt dort die Phase um 180°. Die resultierende Empfangsspannung ergibt sich aus der Summe der auf beiden Wegen einfallenden Strahlung.

Aus Fig. 8 lassen sich folgende Beziehungen herauslesen:

$$s = r^2 + (h_1 - h_2)^2$$
$$s_r = r^2 + (h_1 + h_2)^2$$

Für $(h_1 + h_2)^2 << r^2$ errechnet sich die Längendifferenz der beiden Übertragungswege zu:

$$\Delta s = s_r - s = 2\frac{h_1 h_2}{r} \tag{7}$$

Diese Wegdifferenz verursacht eine Phasenverschiebung zwischen direkt und indirekt einfallender Welle, nämlich:

$$\varphi = 2\pi\frac{\Delta s}{\lambda} = \frac{4\pi\ h_1 h_2}{r\ \lambda} \tag{8}$$

Die in der Antenne induzierten Spannungen addieren sich vektoriell gemäss Vektordiagramm in Fig. 9. Wegen des Phasensprungs an der Reflexionsstelle sind sie im wesentlichen einander entgegengesetzt. Zudem sind die durch direkte und reflektierte Strahlung hervorgerufenen Spannungen dem Betrage nach einander gleich:

$$U_{es} = U_{esr} = U_e \tag{9}$$

Aus Fig. 9 ergibt sich deshalb:

$$U_{eR} = U_e\,\varphi = U_e\,4\pi\frac{h_1 h_2}{r\,\lambda} \tag{10}$$

Zusammen mit Gl. (4) resultiert:

$$U_{eR} = 1{,}5\frac{h_1 h_2}{r^2}\sqrt{N_s Z_0} \tag{11}$$

Zugeschnitten auf die praktischen Verhältnisse kann gesetzt werden:

$$h_1 = 30\text{ m} \qquad h_2 = 2\text{ m}$$

Die Sendeleistung sei wie im ersten Beispiel:
$N_s = 0{,}1$ W und $Z_0 = 50\ \Omega$. Daraus ergibt sich die folgende Formel, gültig für $r > 0{,}2$:

$$\frac{U_{eR}}{[\mu V]} = 2{,}01 \cdot 10^2\frac{1}{r^2}\,[\text{km}^2] \tag{12}$$

Die zu dieser Gl. gehörende Kurve ist ebenfalls in Fig. 7 eingetragen.

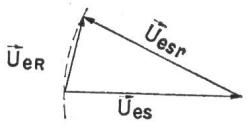


Fig. 9
Vektordiagramm der Empfangsspannungen
$\vec{U}_{es\,r}$ Empfangsspannung infolge indirekter Strahlung; $\vec{U}_{es}$ Empfangsspannung infolge direkter Strahlung; $\vec{U}_{er}$ resultierende Empfangsspannung

Bei einem Werkfunknetz werden meist bei den Wagenstationen wie auch bei der ortsfesten Leitstation senkrecht stehende Dipolantennen verwendet, da wegen der beliebigen Stellung der Fahrzeuge und deren Verteilung im ganzen Werkareal nur Rundstrahlcharakteristik in der Horizontalebene in Frage kommt. An sich können bei der ortsfesten

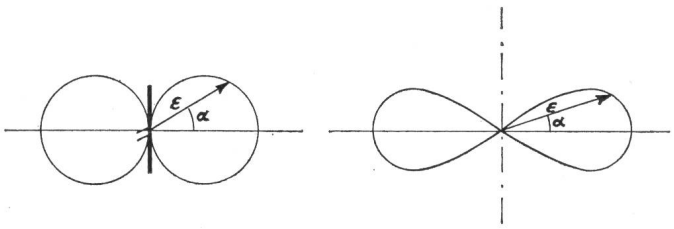


Fig. 10
Strahlungsdiagramme eines Halbwellendipols und eines Flachrundstrahlers
ε Feldstärke; α Winkel zur Horizontalebene

Station auch sog. Flachrundstrahler verwendet werden. Die Wirkung solcher Antennen sei an Hand Fig. 10 gezeigt. In der Horizontalebene haben beide Typen Rundstrahlcharakteristik. Die verstärkte Strahlung in der Horizontalen geht auf Kosten der Abstrahlung in den anderen Richtungen. Im allgemeinen sind die Dimensionen eines Werkareals aber so, dass die Feldstärke, verbreitet durch einfache Dipole, durchaus genügt.

Aus Fig. 7 geht hervor, dass bei 0,1 W abgestrahlter Leistung in einem Rayon um den Sender bis etwa 2 km die Empfangsspannung grösser als 50 μV ist, selbst wenn der Fall der idealen Reflexion am Boden zutreffen sollte. Moderne Empfänger haben eine Empfindlichkeit von ca. 0,5 μV, d. h. bei dieser Eingangsspannung öffnet die Rauschsperre. Der Empfänger kann arbeiten und die Rauschspannung im NF-Kanal erreicht etwa 10 % des Normalpegels. Wünschbar für guten Empfang ist aber die 10fache HF-Spannung, damit der Rauschpegel auf die Grössenordnung von Prozenten fällt. Theoretisch genügt also eine Sendeleistung von 0,1 W, um bis zu mehrere Kilometer entfernte Stationen einwandfrei zu erreichen. In der Praxis treten jedoch eine Reihe von Faktoren in Erscheinung, welche die Empfangsspannung schwächen. Auf der apparativen Seite treten Verluste in den Antennen, Kabeln, Steckern und allfällig vorhandenen Filtern auf. Weitere und meist grössere Verluste verursachen aber Gebäude und Einrichtungen, welche für die Wellenausbreitung Hindernisse sind. Räume hinter massiven Hindernissen wären überhaupt «funktot», wenn nicht Streustrah-

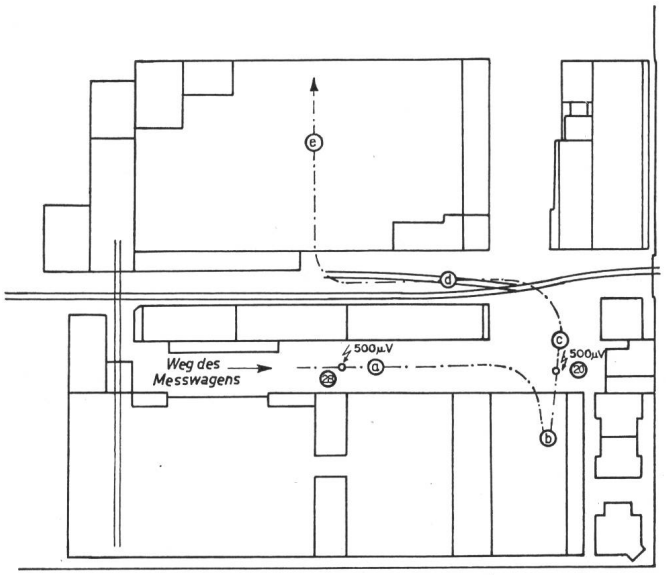


Fig. 11
Auszug aus dem Werkplan
Gebiet der Messpunkte 20 und 28 mit Fahrroute des Messwagens

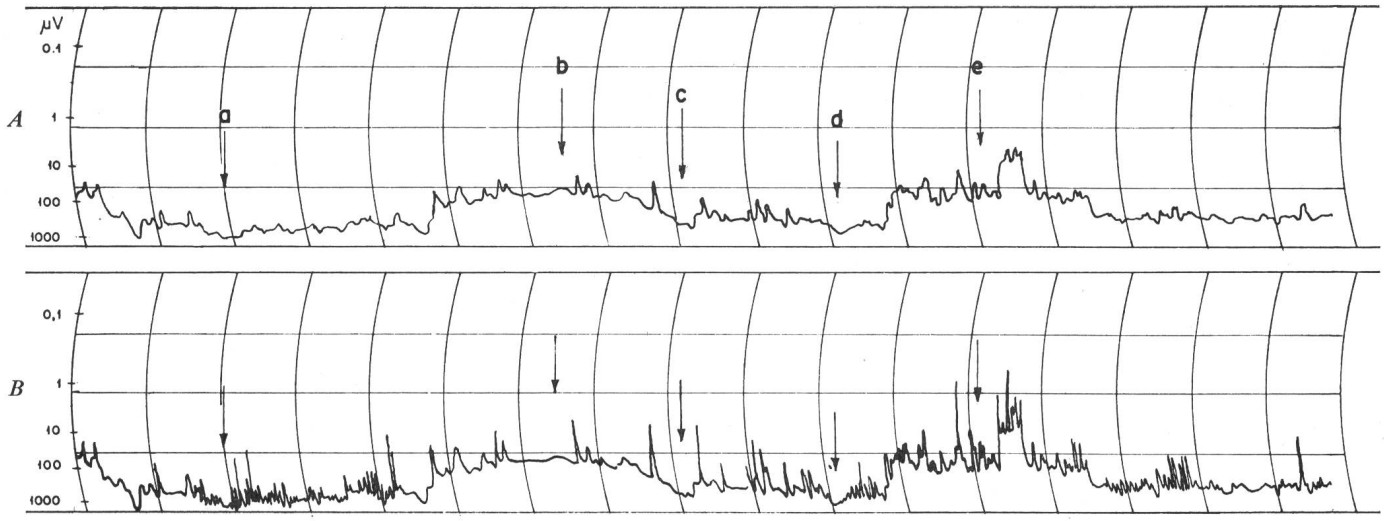


Fig. 12

Verlauf der Empfangsspannung, gemessen über dem in Fig. 11 eingezeichneten Weg

A Mittelwerte; *B* effektiver Verlauf

lung, hervorgerufen durch Reflexion an Wänden oder Beugung über Kanten usw., dorthin dringen würde. Die Dämpfung kann hier bald 20, 30 oder mehr dB erreichen. All diese Erscheinungen verlangen Sendeleistungen in der Grössenordnung von 10 W.

Man darf sich nun nicht vorstellen, dass während der Fahrt durch das Werkareal die Empfangsspannung gleichmässig ändere, oder etwa gar zwischen nahe beieinander liegenden Punkten gleicher Feldstärke konstant bleibe. Wenn man daran denkt, dass die resultierende Spannung an irgendeinem Punkt sich aus verschiedenen Komponenten, direkte Strahlung, Reflexions- und Beugungswellenzüge, bildet, so erkennt man, dass grössere Feldstärkeunterschiede in Abständen von Viertels-Wellenlängen auftreten müssen. Diese Erscheinung wird an Hand des Messdiagrammausschnittes [1]), Fig. 12, offenbar. Der Rhythmus der Schwankungen entspricht örtlich Abständen von ca. 0,9 m. Der Abstand zwischen 2 Maxima ist also gleich der halben Wellenlänge. Für die Feststellung der mittleren Feldstärke über einem gegebenen Weg ist ein gedämpft arbeitendes Registriergerät zweckmässig. Die hier benützte Messapparatur verfügt deshalb über einen Doppelschreiber, der ein System A für Mittelwertaufzeichnung besitzt und über ein System B Schwankungen entsprechend den Abständen von halben Wellenlängen aufzulösen vermag. Diese Kurven sind im Gebiet der Messpunkte 20 und 28 aufgenommen. Fig. 11 zeigt die durchfahrende Strecke, wobei an Hand der Buchstaben der jedem Ort zugeordnete momentane oder mittlere Messwert herausgelesen werden kann. Man erkennt aus dem Diagramm auch deutlich, dass an einzelnen Punkten effektive Feldstärkelücken auftreten, während nur selten scharfe Spitzen durch Feldstärkekumulation vorkommen. Die Richtigkeit dieser Feststellungen lässt sich an Hand statistischer Betrachtungen über die Summierung der zusammentreffenden Schwingungskomponenten nachweisen.

Das in den vorausgehenden Abschnitten beschriebene Ausbreitungsverhalten bezieht sich auf den Funkkanal vom ortsfesten Sender zum mobilen Empfänger. Von gleicher Wichtigkeit ist natürlich auch die Verbindung vom mobilen Sender zum ortsfesten Empfänger. Dazu ist zu sagen, dass das Übertragungsverhalten zwischen zwei unter gegebenen gleichbleibenden Ortsverhältnissen aufgestellten Antennen in beiden Richtungen gleich ist. Man kann also Sender und Empfänger vertauschen und erhält dabei dieselben Messresultate. Einschränkend muss beigefügt werden, dass natürlich fremde Störeffekte nicht in diese Reziprozität eingehen.

Aus praktischen, messtechnischen Überlegungen wurde in Wirklichkeit ein mobiler Sender eingesetzt, während die Empfangsmessapparatur im Dachstock des 9-stöckigen Bureauturmes aufgestellt wurde. Fig. 13 zeigt den Aufwand an Messgeräten. Der VHF-Empfänger befindet sich oben rechts auf dem Holztablar. Dem Empfänger sind ein speziell rauscharmer Verstärker und ein Antennenfilter vorgeschaltet. Dank dieser Anordnung liegt das Eigenrauschen, bezogen auf den Empfängereingang, bei ca. 0,1 μV. Links auf dem Holztablar steht das mit 2 Systemen ausgerüstete Registriergerät. Die notwendigen Registrier-Gleichspannungen werden in den in der Mitte befindlichen beiden hochstabilen Gleichstromverstärkern erzeugt. Den Messapparaten wird über den

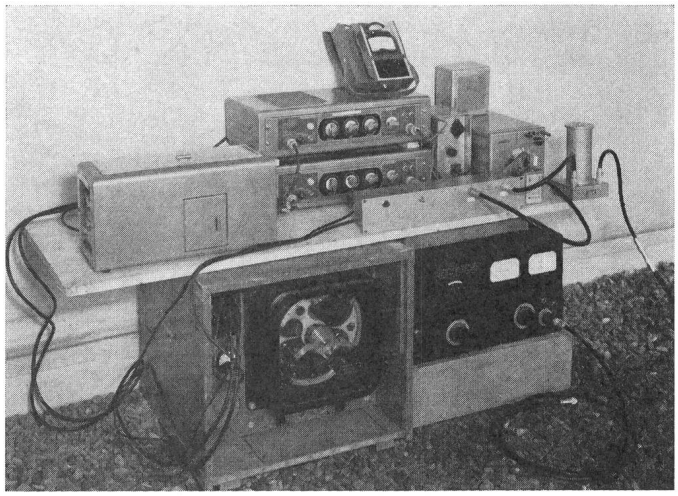


Fig. 13

Empfangsmessapparatur für die Untersuchung der Ausbreitungsverhältnisse im Werkareal

[1]) Die empirischen Zahlenwerte in diesem Aufsatz beruhen auf Messungen, die im ganzen Werkareal (siehe Fig. 1) vorgenommen wurden.

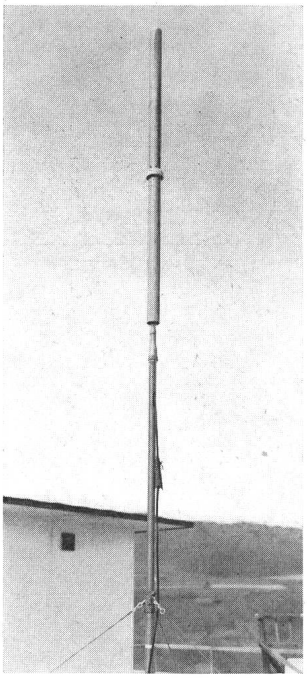


Fig. 14
Einfache Sperrtopfantenne, montiert zu Messzwecken auf dem 9stöckigen Bureautrakt im Werkareal

unter dem Holztablar befindlichen Spannungsregler stabilisierte Speisespannung zugeführt. Endlich wird vor und während den Messungen die Apparatur mittels eines Signalgenerators periodisch geeicht. Mit dieser Apparatur lassen sich Messungen mit einer Genauigkeit von ca. ± 0,5 dB ausführen. Es ist selbstverständlich, dass auch der Sender mittels eines Indikators auf gleichbleibende Sendeleistung kontrolliert wird.

Als Sender dient ein normales VHF-Funkgerät. Zwecks Einhaltung konstanter Sendeleistung wurde eine HF-Leistungs-Meßstufe mit Anzeigeinstrument zugefügt und ein Potentiometer für die Einstellung der Sendeleistung eingebaut. Die Antenne, ein $\lambda/4$ Strahler, wurde in der üblichen Weise auf dem Kabinendach des verwendeten Elektro-Plattformwagens befestigt.

Die Empfangsantenne, eine einfache Sperrtopfausführung, wurde auf dem Dach des 9stöckigen Bureautrakts aufgestellt. Für die Messungen wurde die Antenne auf einem Mast gemäss Fig. 14 fixiert. Zwecks Erfassung des Einflusses der Antennenhöhe über einem Gebäude wurde die Antenne später direkt auf das Dach gestellt.

Die Verminderung der Antennenhöhe ergibt keine gleichmässige Reduktion der Feldstärke über dem gesamten Areal. Beim Vergleich der Werte für beliebige Orte im Werkareal zeigen sich Abschwächungsfaktoren für die Feldstärke, die zwischen etwa 1 : 3 und 1 : 50 liegen. Etwa 60 % der Werte liegen im Bereich 1 : 6 bis 1 : 20. Eine Häufung der Werte innerhalb dieses Bereiches tritt kaum in Erscheinung. Einzig in den Kellergeschossen, wo zum vornherein nur kleine Feldstärken vorkommen, konnte ein einigermassen gleichbleibendes Verhältnis etwa von 1 : 10 festgestellt werden. Man darf aus diesen Resultaten immerhin schliessen, dass der Antennenhöhe doch erhebliche Bedeutung zukommt.

Ohne die in jedem einzelnen Fall erforderliche individuelle Beurteilung zu präjudizieren, kann gesagt werden, dass die Antenne der Netzleitstation so plaziert werden muss, dass:

1. Das Werkareal von diesem Punkt aus möglichst vollständig überblickbar ist;
2. Die Antennenhöhe über dem Gebäudedach wenigstens 4...5 Wellenlängen beträgt.

5. Die Funkgeräte

Für Werkfunknetze sind, wie bereits gezeigt wurde, nur Geräte kleiner Hochfrequenzleistung erforderlich. Ja, es muss gesagt werden, dass grössere Leistungen nicht erwünscht sind und auch von den konzessionserteilenden Behörden gar nicht bewilligt werden. In einem Werkfunkareal gibt es selten Distanzen von mehr als einigen Kilometern. Im Interesse einer möglichst vielfachen Wiederverwendung ein- und desselben Funkkanals soll darum die Leistung auf relativ kleine Werte beschränkt werden.

Im hier beschriebenen Netz besteht die ortsfeste Netzleitstation aus dem eigentlichen Funkgerät, einem Sende/Empfangsgerät Typ RT 7 und einem sog. Fernsteuerzusatz. Dieser ermöglicht, die Station aus grösserer Distanz über eine 2-Drahtleitung fernzusteuern und zu besprechen. Die Apparatur ist in einem kleinen Dachraum des 9-stöckigen Bureautrakts, nahe der Antenne montiert. Als Betriebsantenne wird eine Sperrtopfausführung verwendet (Fig. 14).

Die Bedienungsapparatur, ein pultförmiges kleines Bedienungsgerät, befindet sich auf dem Bureautisch im Disponentenraum. Das Bedienungsgerät enthält Signallampen und die erforderliche Tastatur, um die ortsfeste Funkstation zu steuern und die Nummern für den Aufruf der mobilen Station einzustellen. Eine besondere Taste gestattet, an Stelle der Hauptstation eine Ersatzstation einzuschalten. Dies wird notwendig, beispielsweise während Unterhaltsarbeiten an der Hauptstation oder bei Störungen.

Fig. 15 zeigt das Innere der Ersatzstation. Die Einheiten sind in einem Stehschrank untergebracht. Man erkennt von unten nach oben Netz-Speiseteil, Sende/Empfangsgerät RT 7, Speiseteil für Zusatzgeräte, Mehrtongeber des Selektivrufsystems und bedienungsseitige Fernsteuerzusätze für die Steuerung der Hauptstation.

Die Fahrzeuge sind mit sog. Mobilstationen ausgerüstet. Auch hier wird die gleiche Grundeinheit, das Sende/Empfangsgerät RT 7 verwendet. Sender und Empfänger sind in einem gemeinsamen Apparategehäuse untergebracht. Die in Fig. 16 dargestellte Ausrüstung ist komplett und braucht lediglich noch an die Fahrzeugbatterie angeschlossen zu werden, um betriebsbereit zu sein. Das Funkgerät ist nur für Simplexbetrieb gebaut, d. h. während des Sendens bleibt der Empfänger gesperrt. Werkfahrzeuge sind oft Staub, Feuchtigkeit und Schmutz ausgesetzt. Es ist daher empfehlenswert,

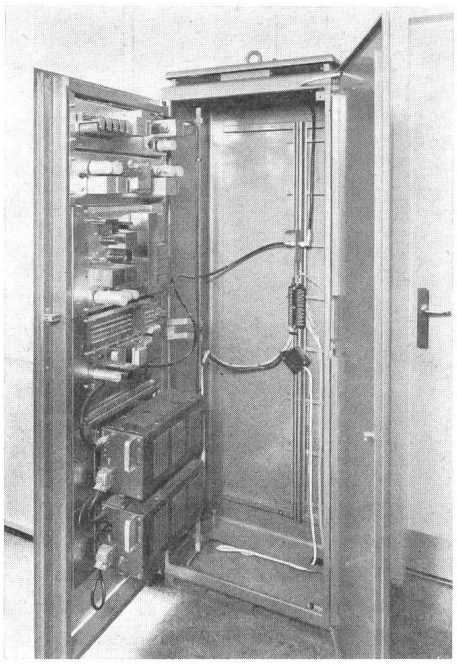


Fig. 15
Ersatzfunkstation Typ RT 7, eingebaut in Stehschrank

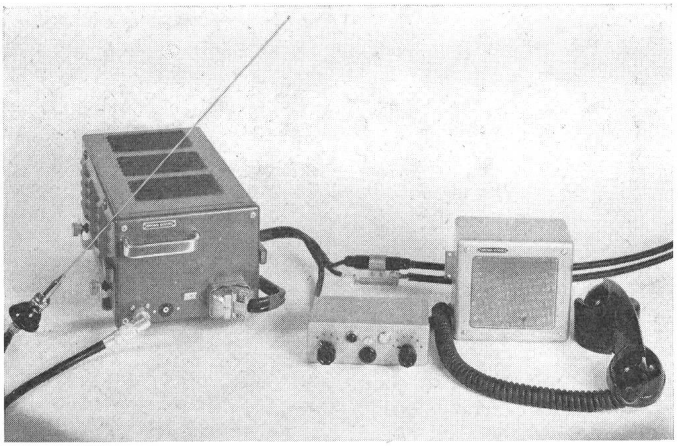


Fig. 16
Fahrzeug-Funkstation Typ RT 7, geeignet für den Einbau in geschlossene Fahrzeuge

das Gerät in ein staub- und feuchtigkeitsdichtes Gehäuse einzubauen. Die praktische Ausführung ist in Fig. 17 zu sehen. Um schädliche Erschütterungen zu vermeiden, wird dieser Leichmetallgusskasten federnd montiert. Für gewisse Sonderfälle ist es wünschenswert, auch tragbare Kleinstfunkgeräte im Werkverkehr einzusetzen. Tragbare Geräte weisen eine noch kleinere Sendeleistung auf, unterscheiden sich aber betrieblich kaum von Mobilstationen, die in Fahrzeuge eingebaut werden.

Die Kleinfunkgeräte neuester Konstruktion sind, was Stromversorgungsteil und Empfänger betrifft, voll transistorisiert. In den Sendern findet man nur noch in den End- und teilweise in den Treibstufen Röhren.

Bei Mobilstationen muss das Speiseproblem besonders beachtet werden. Die meisten Geräte sind für Gleichstromspeisung ausgelegt, derart, dass sie wahlweise an eine 6 oder 12 V Fahrzeug-Batterie angeschlossen werden können. Bei Röhrengeräten war aber der Stromkonsum derart gross, dass mit Vorteil eine zweite Batterie samt Ladedynamo oder zumindest ein Alternator in das Fahrzeug eingebaut wurde.

Fig. 17
Hubstapler beim Beladen eines Lieferungswagens
Rechts auf dem hinteren Teil des Staplers Funkstation Typ RT 7 in feuchtigkeitsdichtem Gusskasten

Dass eine solche Lösung mit beträchtlichen Kosten verbunden ist, versteht sich. Bei modernen Mobilfunkgeräten wird deshalb darauf geachtet, die aufgenommene Leistung der Empfangs- und Sendebereitschaft möglichst klein zu halten. Dies gelingt, indem die einzigen in der Sender-Endstufe vorhandenen Röhren ohne Vorheizung auskommen (Aufheizzeit noch wenige Zehntelsekunden) und im Transistorempfänger Sparschaltungen angewendet werden. Ein solches Gerät benötigt beispielsweise im Bereitschaftszustand nur noch 5 W oder 420 mA bei 12 V Speisung. Es kann also ohne weiteres an die Fahrzeugbatterie angeschlossen werden und bringt keine nennenswerte zusätzliche Belastung.

Um einen Begriff über die hauptsächlichsten Charakteristika von zeitgemässen Sprechfunkgeräten zu vermitteln, seien die wichtigsten Daten eines solchen neuzeitlichen Gerätes in Tabelle I zusammengestellt.

Technische Daten eines modernen Sprechfunkgerätes

Tabelle I

Eigenschaft	Einheit	Frequenzbereich	
		160 MHz	460 MHz
Frequenzbereich	MHz	156...174	450...470
Anzahl wählbare HF-Nebenfrequenzen . .		8	8
Min. HF-Kanalabstand . .	kHz	50/25 [1])	50
Modulationsart		FM [2])	FM [2])
Sendeleistung	W	5/20 [3])	4/16 [3])
Empfängerempfindlichkeit für 20 dB *S/R*	µV	0,5	1,2
Leistungsaufnahme bei Batteriespeisung			
a) Empfang	W	5	5
b) Senden	W	60/120 [3])	70/140 [3])

[1]) Je nach verwendetem Kristallfilter.
[2]) Frequenzmodulation, erzeugt aus Phasenmodulation mit 6 dB Hubanstieg pro Oktave.
[3]) Höhere Leistung wenn Leistungsstufe benützt wird.

Von grosser Bedeutung im Werkfunkverkehr ist selbstverständlich auch die *Zuverlässigkeit* der Geräte. Wer bei Werktransporten, sei es mit Karren, Staplern oder Kranen, schon anwesend war, kann ohne weiteres ermessen, dass die Funkgeräte dauernd starken Erschütterungen unterworfen sind. Es handelt sich hier um ausgesprochen rauhe Betriebsverhältnisse. Viele Fahrzeuge besitzen Vollgummi-Bereifung und sind zudem aus Stabilitätsgründen sehr hart oder gar nicht gefedert. Reinigungsprozeduren werden oft mit dem Wasserstrahl von bis zu 30 kg/cm² Druck vorgenommen. Unter solchen Verhältnissen können nur staub- und wasserdichte Gerätegehäuse in Frage kommen. Es darf auch nicht verschwiegen werden, dass die Bedienung der Funkgeräte meist in den Händen von fachfremdem Personal liegt, und die Manipulationen daher nicht immer mit der notwendigen Sorgfalt ausgeführt werden. Deswegen ergibt sich, dass schätzungsweise 50 % der auftretenden Störungen und Defekte auf rein äussere Ursachen bzw. unsachgemässe Behandlung zurückzuführen sind. Es werden Mikrotelephone fallen gelassen, Mikrotelephon-Schnüre zu stark gestreckt, Bedienungselemente überbeansprucht etc. Bei 6-V-Anlagen können zufolge mangelhafter Wartung Übergangskontakte bei den Batteriekabeln defekt werden. Die Folgen sind Unterspannung am Gerät und daraus resultierende Störungen in der Automatik.

Die Betriebserfahrungen mit Brown Boveri-röhrenbestückten Geräten auf eigenen Werkfahrzeugen haben gezeigt, dass die mittlere Zeit zwischen zwei Störungen, das MTBF [2]), 2 bis 3 Monate beträgt. Bei ortsfesten Stationen steigt der Gütewert auf ca. 1 Jahr. Es besteht kein Zweifel darüber, dass eine derart hohe Betriebssicherheit nur erreicht werden kann, wenn die Geräte eigens für diese hohe mechanische Beanspruchung gebaut sind und seriösen periodischen Kontrollen unterworfen werden.

6. Konzessionsrechtliche Fragen

Bekanntlich ist durch Bundesgesetz das Nachrichtenregal der Schweizerischen Post-, Telegraphen- und Telephonverwaltung übertragen. Die PTT-Verwaltung ist dadurch ausschliesslich befugt, elektrische Nachrichtenverbindungen zu errichten und zu betreiben oder an andere für die Errichtung und den Betrieb solcher Anlagen Konzessionen zu erteilen. Die Ausführungsbestimmungen hiezu sind in der Vollziehungsverordnung I zum betreffenden Bundesgesetz [3]) niedergelegt.

Die Konzessionsvorschriften für die radioelektrische Übertragung sind in den Art. 46 bis 55 enthalten und wurden durch einen Bundesratsbeschluss vom 20. Dezember 1963 neu geregelt.

Die Radiokonzessionen werden in verschiedene Benützerklassen eingeteilt. Werkfunkverbindungen gehören in die Klasse A, d. h. sie fallen unter den Begriff «Stationen zu betrieblichen Zwecken». Innerhalb der Klasse A gibt es Unterklassen. Diese differenzieren nach der Wichtigkeit der Funkdienste. Für zwingende Bedürfnisse, z. B. gewisse Dienste im öffentlichen Interesse, werden sog. Exklusivfrequenzen zugeteilt. Das bedeutet, dass das Funknetz auf Frequenzen betrieben werden kann, die durch keine andern Dienste belegt sind. Es gibt folgende Unterklassen (in der PTT-Verordnung ebenfalls «Klassen» genannt):

A_1 Anlagen auf Exklusivfrequenzen
A_2 Anlagen auf Gemeinschaftsfrequenzen
A_3 Anlagen auf Sammelfrequenzen

Exklusivfrequenzen sind hochfrequente Übertragungskanäle bestimmter Bandbreite, die die PTT-Betriebe innerhalb des bewilligten Bedienungsbereiches keinem andern Konzessionär zuteilen. Die Belegungsdichte ist beschränkt.

Gemeinschaftsfrequenzen sind hochfrequente Übertragungskanäle bestimmter Bandbreite, die die PTT-Betriebe innerhalb des bewilligten Bedienungsbereiches verschiedenen Konzessionären gleichartiger Betriebe zuteilen. Die Belegungsdichte ist beschränkt.

Sammelfrequenzen sind hochfrequente Übertragungskanäle bestimmter Bandbreite, die die PTT-Betriebe unterschiedslos ohne Rücksicht auf Belegungsdichte und gegenseitige Störmöglichkeit im ganzen Lande zuteilen.

Werkfunknetze erhalten in der Regel nur Konzessionen der Unterklassen A_2 oder A_3.

7. Die Wirtschaftlichkeit

Um über den etwas vagen, jedenfalls aber vielschichtigen Begriff «Wirtschaftlichkeit» etwas Verbindliches aussagen zu können, müssen die Betriebsverhältnisse hinreichend bekannt sein. Es gilt darum hier im besondern, dass eigentlich nur Beispiele herausgegriffen werden können. Die Resultate der Betrachtung lassen sich nicht allgemein ausdrücken und sind auch nur bedingt auf andere Verhältnisse übertragbar. Immerhin werden die nachfolgenden Angaben bei entsprechender Interpretation nützliche Rückschlüsse für andere bestehende oder geplante Werkfunknetze zulassen.

Über das Werk Baden von Brown Boveri wurden im Abschnitt 2 einige Angaben gemacht. Der dem Werkverkehr dienende Fahrzeugpark wurde ebenfalls vorgestellt.

Mit Funk sind ausgerüstet:

2 Elektro-Plattformwagen
2 Schleppfahrzeuge
3 Gabelstapler
3 Krane
3 Lieferwagen
2 Lastwagen
15 Fahrzeuge total

Personell ist der Werkverkehr für das Areal Baden wie folgt dotiert:

1 Betriebsleiter
2 Meister
3 Vorarbeiter
1 Disponent für den Last- und Lieferwagendienst
1 Funkdisponentin für den Werkverkehr
75 Mann Fahrpersonal
1 Garagechef
1 Kontrolleur und Vorarbeiter
17 Mann Unterhaltspersonal
1 Instruktor für das Fahrpersonal
2 Personen für die Administration

Neben den regulären, fahrplanmässigen Touren werden bei schönem Wetter ca. 160 Transportaufträge ausgeführt. Interessanterweise steigt diese Zahl an Schlechtwettertagen bis auf 240 Sonder-Transporte pro Tag. Ein Werkfahrzeug, sei es ein Elektro-Plattformwagen, ein Schleppfahrzeug oder ein Gabelstapler steht im Jahr während etwa 2000 h im Einsatz. Einige im Schichtbetrieb eingesetzte Fahrzeuge weisen Betriebszeiten bis zu 3000 h auf. Das bedeutet praktisch dauernden Einsatz. Die Einsatzzeit der übrigen Fahrzeuge dürfte im allgemeinen geringer sein. Der Nutzen des Funks ist bei den einzelnen Werkfahrzeugen und je nach Einsatz der letzteren verschieden. Es sei hier versucht, für zwei Fahrzeugtypen einen überschlägigen Betriebskostenvergleich für die Fälle mit Funk und ohne denselben aufzustellen. Der Ausnützungsgrad der Fahrzeuge in den folgenden Beispielen beruht lediglich auf vorsichtigen Schätzungen, da zurzeit kein betriebswissenschaftliches Zahlenmaterial vorliegt.

	(alle Kostenangaben in Franken)
a) Elektroplattformwagen	
Brutto-Betriebskosten für 1 Fahrzeug Fr. 6.—/h inkl. Unterhalt und Amortisation	
Jahreskosten (2000 h à Fr. 6.—)	12 000.—
Brutto-Entlöhnung des Fahrers	10 000.—
Total Bruttokosten für 1 Fahrzeug, jährlich	22 000.—
Bei gegebener benötigter totaler Nutzfahrzeit von 4000 h sind 2 Plattformwagen erforderlich, gemäss beschriebenem, gegenwärtigem Einsatz im Werk. Die Kosten inkl. Funk lassen sich wie folgt errechnen:	
Bruttokosten für 2 Plattformwagen	44 000.—
Brutto-Betriebskosten für das Funkgerät (inkl. Amortisation, Unterhalt, Konzessionsgebühren usw., 2 × 1500.—) . . .	3 000.—
Auf 2 Mobilstationen entfallender Kostenanteil für Betrieb, Unterhalt und Amortisation der ortsfesten Funkanlagen	2 000.—
Total Kosten für 2 Plattformwagen	49 000.—

[2]) MTBF = Meantime between failures.
[3]) Bundesgesetz betreffend den Telegraphen- und Telephonverkehr vom 14. Oktober 1922, Vollziehungsverordnung I vom 1. Juni 1942.

Falls kein Funk verfügbar ist, so darf gerechnet werden, dass das Verhältnis Netzfahrzeit/Leerfahrzeit von 0,85 auf 0,6 sinkt. Während im ersteren Fall $0{,}85 \cdot 2000 = 1700$ Nutzfahrstunden pro Fahrzeug resultieren, ergeben sich beim Verhältnis 0,6 nur noch 1200 h. Voraussetzungsgemäss müssen total 3400 Nutzfahrstunden geleistet werden, was ohne Funk knapp 3 Fahrzeuge benötigt.

Es resultiert folgende Rechnung:		
3 Plattformwagen à Fr. 22 000.—		66 000.—
Jährlicher Gewinn somit	66 000.—	
	— 49 000.—	17 000.—

Mit Funk werden also 26 % Kosten eingespart. Die Funkanlage amortisiert sich in ca. 3½ Monaten.

b) Gabelstapler

Brutto-Betriebskosten für 1 Fahrzeug Fr. 8.—/h inkl. Unterhalt und Amortisation	
Jahreskosten (2000 h à Fr. 8.—)	16 000.—
Brutto-Entlöhnung des Fahrers	10 000.—
Total Bruttokosten für 1 Fahrzeug, jährlich . . .	26 000.—

Bei gegebener benötigter totaler Nutzfahrzeit von 6000 h sind 3 Gabelstapler erforderlich, gemäss beschriebenem, gegenwärtigem Einsatz im Werk. Die Kosten inkl. Funk lassen sich wie folgt errechnen:

Bruttokosten für 3 Gabelstapler	78 000.—
Brutto-Betriebskosten für das Funkgerät (inkl. Amortisation, Unterhalt, Konzessionsgebühren usw.)	4 500.—
Auf 3 Mobilstationen entfallender Kostenanteil für Betrieb, Unterhalt und Amortisation der ortsfesten Funkanlage	3 000.—
Total Kosten für 3 Gabelstapler	85 500.—

Falls kein Funk verfügbar ist, so darf gerechnet werden, dass statt 3 Gabelstapler deren 6 notwendig wären, da nur dank Funk je Stapler etwa 6 Einsatzplätze bedient werden können. (Ohne Funk wäre je für 3 Plätze ein Stapler erforderlich.)

Ohne Funk ergibt sich folgende Rechnung		
6 Gabelstapler à Fr. 26 000.—		156 000.—
Jährlicher Gewinn somit	156 000.—	
	— 85 500.—	70 500.—

Mit Funk werden in diesem Fall also 45 % Kosten eingespart. Die Funkanlage amortisiert sich in weniger als 1,3 Monaten.

Ähnliche Rechnungen könnten für die übrigen Werkfahrzeuge aufgestellt werden. Aus den Zahlenbeispielen lässt sich unschwer herauslesen, dass der Funk, rein buchmässig erfasst, selbst in kleinen, mit wenig Fahrzeugen dotierten Betrieben augenfällige finanzielle Einsparungen ermöglicht. Es lohnt sich zweifellos, schon bei 2 bis 3 Werkfahrzeugen eine Rentabilitätsberechnung aufzustellen und wenigstens zu prüfen, welche Vorteile eine Funkanlage bietet.

Bei diesen Betrachtungen darf nie ausser acht gelassen werden, dass das Disponieren über Funk noch gewichtige psychologische Vorteile in sich birgt. Der Fahrer ist sich bewusst, dass der Disponent dauernd über seine Tätigkeit informiert ist. Durch den Funkkanal manifestiert sich ein persönlicher Kontakt, der über den Disponenten hinweg bis zum Betriebsleiter führt. Dieser kann denn auch bei Unregelmässigkeiten sofort durch ein persönliches Gespräch seine Autorität geltend machen.

Die Erfahrungen, die bei der Einführung des Funks im Werkverkehr in verschiedensten Betrieben gemacht wurden, decken sich weitgehend. Eine straffere, raschere und reibungslosere Abwicklung der Transportaufträge ist unverkennbar. Dabei empfindet der Fahrer die bessere Kontrolle über ihn kaum als Schikane. Vielmehr gewöhnt er sich bald an die wenigen notwendigen Bedienungshandgriffe und bedient das Funkgerät gern. Ja, er empfindet nicht selten einen gewissen Stolz, ein Werkfahrzeug mit Funk steuern zu dürfen, und fühlt sich sichtlich privilegiert gegenüber seinen Kameraden, die noch «stumme» Fahrzeuge führen müssen.

Adresse des Autors:
W. Glättli, Elektroingenieur, AG Brown, Boveri & Cie., 5400 Baden.

Verfahren zur Messung der Eigenfrequenz und des Überschwingfaktors der beim Ausschalten von Kurzschluss-Strömen auftretenden transitorischen wiederkehrenden Spannung

Von *P. Geng,* Baden

621.317.361 : 621.311.153.2.018.782.3

Die vorliegende Arbeit befasst sich mit einem neuen Verfahren zur Direktmessung des vom Schalter unbeeinflussten Verlaufes der transitorischen wiederkehrenden Spannung nach einer Kurzschlussunterbrechung, welches sich besonders im Falle von separaten Kraftwerken und Transformatorenstationen eignet. Aus den Messungen können die netzeigenen Werte der Eigenfrequenz und des Überschwingfaktors ermittelt werden. Das Messprinzip und einige ausgeführte Messungen werden beschrieben. Ein Vergleichsversuch wird angeführt, bei dem die nach dieser Methode ermittelte Eigenfrequenz und der Überschwingfaktor mit den entsprechenden Werten einer Leistungsausschaltung durch einen Druckluftschalter verglichen werden.

Description d'un nouveau procédé de mesure directe de l'évolution de la tension transitoire de rétablissement, qui n'est pas influencée par le disjoncteur, à la suite d'un déclenchement provoqué par un court-circuit, procédé qui convient particulièrement lorsque les usines génératrices et les postes de transformation sont séparés. Ces mesures permettent de déterminer les valeurs de la fréquence propre et du facteur d'amplitude. L'auteur en décrit le principe et quelques mesures effectuées. Il indique un essai permettant de comparer la fréquence propre et le facteur d'amplitude, déterminés selon cette méthode, avec les valeurs correspondantes d'une coupure de puissance par un disjoncteur pneumatique.

1. Einleitung

Es gibt bereits einige bekannte Methoden zur Bestimmung des transitorischen Spannungsverlaufes, z. B. Messungen bei direkten Kurzschlüssen, Current-Injector-Methode, Netzmodellmessungen und Berechnungsmethoden [1][1]). Auf die Vor- und Nachteile dieser Methoden wird hier nicht eingegangen; vielmehr wird eine neue Methode beschrieben, welche sich vor allem für die direkte Messung der transitorischen wiederkehrenden Spannung in Kraftwerken oder Transformatorstationen eignet, insbesondere wenn keine Hochspannungsleitungen mit störenden Einflüssen angeschlossen sind.

[1]) Siehe Literatur am Schluss des Aufsatzes.

2. Aufgabenstellung

Die nachstehenden Betrachtungen beziehen sich nur auf den netzeigenen, d. h. vom Schalter unbeeinflussten Verlauf