

Karl-Heinz Eigner*

VOM MENSCHEN GESCHAFFENE ERDELEKTRISCHE UND ERDMAGNETISCHE STÖRFELDER BEI METHODEN DER ELEKTROMAGNETISCHEN TIEFENFORSCHUNG (EIGENPOTENTIAL; TELLURIK; MAGNETOTELLURIK UND ERDMAGNETISCHE TIEFENSONDIERUNG IM VLF-, AUDIO-UND STANDARD-FREQUENZBEREICH; TRANSIENTES MAGNETFELD; GEOELEKTRISCHE TIEFENSONDIERUNG) UND IM OBSERVATORIUMSBETRIEB - STUDIE

Verschiedene Methoden der Elektromagnetischen Tiefenforschung verwenden verschiedene Nutzsignale. Dabei sind dem jeweiligen Nutzsignal überlagerte Störungen bei der Registrierung möglichst klein zu halten bzw. bei der Auswertung der Daten zu berücksichtigen.

Auch die künstlichen, von Menschen geschaffenen Störfelder verfälschen die Information der Nutzfelder (z. B. das natürliche erdelektrische und erdmagnetische Feld). Es scheint, daß - trotz Kenntnis der durch Stationsaufbau, Meßgerät, Datentransport, Datenlagerung sowie Datenverarbeitung bedingten Verfälschung der Ergebnisse, trotz Kenntnis der für störungsarme Aufzeichnungen notwendigen verfeinerten Meßtechnik und trotz theoretischer Fortschritte (siehe zu diesem Themenkreis bei den in der Überschrift zitierten Methoden z. B. VANYAN 1967; DEPPERMAN 1968; EBERLE 1977; NEURIEDER 1980 a, KRÖGER 1981, ROKITYANSKY 1982; CLARKE u. a. 1983, FISCHER 1982, SCHNEGG und FISCHER 1983) - der Ursache für die zum Teil schlechte Reproduzierbarkeit von Resultaten nicht im gewünschten Maße Rechnung getragen werden kann, da die Existenz von künstlichen Störungen nicht immer in den Registrierungen bemerkt wird oder nur selten intensiv untersucht ist. Insbesondere die Erdbebenvorhersage (LIENERT u. a. 1979, McPHERRON u. a. 1979) und der Observatoriumsbetrieb (siehe unten) werden in Zukunft diesbezüglich detailliertere Informationen benötigen.

Diese Studie beabsichtigt, weit verstreute Beiträge der geophysikalischen Literatur, welche sich mit den künstlichen, von Menschen geschaffenen, signalabhängigen elektromagnetischen Felder beschäftigen, für eine noch ausstehende Arbeit zusammenzutragen und zu sichten. Vollständigkeit konnte sicherlich nicht erzielt werden. Anlaß für diese Recherche waren die weiter unten beschriebenen Störungen im Erdmagnetischen Observatorium Fürstenfeldbruck, welche in Zukunft voraussichtlich noch häufiger vorkommen werden und den Betrieb einschränken. - Eine ausführliche Diskussion der im erstellten Literaturverzeichnis gesammelten Werke wird in dieser Studie nicht angestrebt. Einige Aspekte werden allerdings angeschnitten. - Die Aufsätze und Veröffentlichungen des Literaturverzeichnisses sind hauptsächlich "isolierte" oder mehr oder minder umfassende, "abschließende" Arbeiten. Unter "abschließen-

* Jetzt: Deutsches Geodätisches Forschungsinstitut (DGFI)
I. Abteilung: Theoretische Geodäsie
Marstallplatz 8, D-8000 München 22

Diese Studie wurde angefertigt am Institut für Allgemeine und Angewandte Geophysik der Ludwig-Maximilians-Universität, Theresienstraße 41/4, D-8000 München 2.

der" Arbeit soll hier eine Veröffentlichung verstanden werden, die frühere Veröffentlichungen mit verarbeitet. Auf diese zeitlich früheren Veröffentlichungen wird an dieser Stelle nicht konsequent eingegangen. Ausdrücklich sei deshalb auch auf die Literaturangaben im aufgelisteten Literaturverzeichnis hingewiesen. - Kurze Äußerungen in einer Reihe von geophysikalischen Veröffentlichungen fließen in den folgenden Text ein. Diese Veröffentlichungen wurden allerdings nicht in das Literaturverzeichnis aufgenommen. - Elektrotechnische Literatur mit einer Fülle von Informationen über Feld-Erzeugung, -Transport, -Charakteristiken und -"Verbrauch" wird - dies würde den vorgegebenen Rahmen sprengen! - an dieser Stelle i. a. nicht angegeben (siehe z. B. IEEE Transactions on Power, Apparatus and Systems oder on Electrical Insulations, IEE Proceedings oder ETZ - dort werden insbesondere auch Erdungsfragen intensiv behandelt). Es empfiehlt sich in jedem Fall, die elektrotechnische Literatur einzusehen, zumal die Grenze zwischen Geophysik und Elektrotechnik oft fließend ist!

Eine Durchsicht der vorhandenen Literatur ergibt, daß im englischsprachigen Raum - vielleicht im Gegensatz zum französisch- und deutschsprachigen Einzugsgebiet - eine Vielzahl von Synonymen für Störströme oder elektromagnetische Störfelder künstlicher (bzw. natürlicher) Art benutzt wird. Neben allgemeinen Formulierungen für von Menschen geschaffene, künstliche, technische, industrielle oder "kulturelle" Störungen und Verzerrungen verwendet die Geophysik und Elektrotechnik unter anderem folgende Begriffe, wobei häufigere Bezeichnungen unterstrichen sind, in der französischen Sprache: courants vagabonds, courants telluriques d'origine artificielle, courants (électriques) artificielles; in der englischen Sprache: stray (earth) currents, erratic currents, parasitic currents, ambient currents, leakage currents, electrical leakage, fault currents, eddy currents, artificial parasitics bzw. (industrial) interference, errant electric fields; in der deutschen Sprache: vagabundierende Ströme, parasitäre Ströme, Leckströme, Erdschlußströme, Rückströme. Diese Liste vermittelt einen Eindruck von der Namensvielfalt, aber auch Namensparallelität zwischen den Sprachen. Erörterungen von Störungen sind in der Literatur oftmals auch unter den Namen der Verursacher zu finden.

Wodurch werden Störströme bzw. elektromagnetische Störfelder hervorgerufen? Nach WARD (1983) sind aktive und passive Verursacher unterscheidbar. Aktive Störungsquellen sind hierbei insbesondere Spannungs- und Telephonleitungen sowie elektrifizierte Eisenbahnen. Die Quellen sind induktiv und galvanisch - über Leckstellen oder Erdungspunkte; also ungewollt oder gewollt - an die Umgebung angekoppelt. Im Audiomagnetotellurik- bzw. VLF-R-Frequenzbereich ist gegebenenfalls auch mit einer kapazitiven Kopplung zu rechnen (EBERLE 1977). Die aktiven Quellen verursachen in passiven Anlagen, d. h. in Zäunen, Rohrleitungen, Spannungs- und Telephonleitungen, Schienen oder anderen leitfähigen Konstruktionen, Störströme und somit auch Störmagnetfelder. Eine Zusammenfassung der in der Literatur genannten aktiven Störungsverursacher ergibt:

- Stromnetze allgemein (Kommunikation, technische Nutzung inklusive Korrosionsschutz) mit dazugehörigen Systemteilen (Elektrizitätswerke, Umspannungsanlagen)
ohne der wegen ihrer Bedeutung selbständigen Gruppen
- (elektrifizierte) Eisenbahnen

- Bergwerke und Produktionsstätten der Rohstoffveredelung (z. B. Raffinerien, Werke zur Aluminium-Herstellung durch Schmelzelektrolyse)
- Sender elektromagnetischer Wellen (Navigation, (Unterwasser-)Kommunikation).

Verwendet werden Gleichstrom und niederfrequenter Wechselstrom (in der Regel 16 2/3, 50 oder 60 Hz; Ausnahme siehe z. B. BEBLO 1974 - weitere Informationen zum kathodischen Korrosionsschutz siehe z. B. v. BAECKMANN und SCHENK (1980)). Strukturen des Erduntergrundes konnten nicht immer - vor allem in der "Nähe" (siehe unten) von komplizierten Integralquellen wie Städte oder Industriegebiete - zufriedenstellend untersucht werden; die Registrierung des elektrischen Feldes ist meistens sensitiver gegen Störungen als die Registrierung des Magnetfeldes.

Erweiteres Wissen über künstliche Störungen könnte eventuell nicht nur eine bessere Elimination derselben bei Registrierung und Datenanalyse herbeiführen, sondern auch Ansätze zu ihrer Nutzung unterstützen.

FRÖHLICH (1971) stellt eine Methode zur Trennung von vagabundierenden Strömen und natürlich induzierten Strömen bei der Registrierung vor.

Die Idee, vagabundierende Ströme bei der Erkundung des Erduntergrundes hinzuzuziehen, taucht erstmalig in der Literatur bei KISHINOUE (1951) auf, der - Ausgangspunkt waren Eigenpotential-Messungen - gewisse Zusammenhänge zwischen den Potentialgradienten der vagabundierenden Ströme und geologischen Gesteinsgrenzen vermutete (PORSTENDORFER 1961 a) (siehe auch HOOGERVORST 1979). PORSTENDORFER (1961 a, 1961 b) berichteten von der Gleichwertigkeit tellurischer und vagabundierender Ströme bei der Prospektion (siehe auch HOOGERVORST 1979). Das heißt auch, daß Störströme wie natürlich induzierte Ströme linear polarisiert sein können (PORSTENDORFER 1954, 1961 a, 1961 b; HOOGERVORST 1975; WAGENITZ u. a. 1978; BAYER 1981; BERKTOLD u. a. 1983). PORSTENDORFER (1961 a) weist auf andere, ihm bekannte Versuche zur Ausnutzung vagabundierender Ströme, welche im "Ostblock" stattfanden, hin (und zitiert eine zusammenfassende Darstellung der Quellen vagabundierender Ströme aus dem Jahre 1924 (GIROUSSE 1924)). KAMENETSKAYA und YAKUBOVSKIY (1957) (erwähnt in KOVALEVSKIY 1961) experimentierten ebenfalls mit durch elektrifizierte Eisenbahnen verursachten Störungen. In diesem Zusammenhang ist die Beobachtung von HOOGERVORST (1979) neben der von KOVALEVSKIY u. a. (1961) (und KISHINOUE 1951 ?) von Interesse, daß die bevorzugte Richtung der Störströme und somit die Störstrom-Einspeisung in den Erdboden kaum von der Bewegung des fahrenden Zuges abhängt, also örtlich (nicht zeitlich) konstant ist! Die Schienen scheinen allenfalls abschnittsweise als Linienelektrode zu fungieren (Linienelektrode-Theorie z. B. in PARASNIS 1965; OLLENDORF 1969). Ob veränderliche Wetterverhältnisse hierbei Berücksichtigung fanden, ist unklar. - EBERLE (1977) gebraucht durch leitfähige Kommunikations- und Versorgungseinrichtungen verursachte Anomalien zur Findung dieser Anlagen bei der ihrerseits mit künstlichen elektromagnetischen Längswellen arbeitenden VLF-Methode. - Die Methode, (Hoch-)Spannungsleitungen als Geoelektrik-Instrument zu verwenden, kann als erprobt angesehen werden (siehe z. B. BLOHM und HOMILIUS 1980); auf sie wurde in dieser Studie nicht weiter eingegangen. - Andere Beispiele zur Nutzung von Störungen, die somit zum Nutzsignal werden, sind weiter unten bei der Erörterung der induktiven Wirkung von Hochspannungsleitungen gegeben.

Die Größe der Fläche, auf der Störungen nachgewiesen werden, muß in Abhängigkeit von der lokalen und regionalen Geologie und dem spezifischen Widerstand der beteiligten Formationen gesehen werden. Nach OLLENDORF (1969) haben wechselstrombedingte Erdstrom-Störungen ferner eine gegenüber gleichstrombedingte Erdstrom-Störungen merklich kleinere Reichweite. Fast in allen gesammelten Werken sind zur Entfernung Störungsquelle - gestörter (bzw. störungsfreier) Meßort Hinweise gegeben (z. B. MICHALKE 1904; ARNOLD 1937; DUPOUY 1950; LENGNING 1958; PORSTENDORFER 1961 a; NOVYSH 1964; Briefverkehr LEATON - MEYER - ANGENHEISTER 1971 (mündliche Mitteilung Prof. ANGENHEISTER); HOOGERVORST 1979; CLARKE u. a. 1983; YANAGIHARA 1977; HEIKKA u. a. 1983 bzw. VELIKHOV u. a. 1983). Eine der weiteren Entfernungsangaben stammt von BERDICHEVSKIY (1965), der für ein hochohmiges Grundgebirge in geringen Tiefen Störströme in 70 - 100 km Distanz von der Leckstelle als oft berichtet erwähnt. HEIKKA u. a. 1983 bzw. VELIKHOV u. a. 1983 registrierten unter ähnlichen geologischen Bedingungen in 400 km Entfernung von einem starken künstlichen Generator Störströme. Spektren von gestörten elektrischen Feldern findet man bei HOOVER u. a. (1978) und MICHEEL und HENTE (1978). Störspannungen von 1 V/km scheinen nicht selten zu sein (z. B. PORSTENDORFER 1961 a). Zur Registrierung der Potentialdifferenz von Störungen reichen gewöhnlich nur wenige Meter lange Meßstrecken aus. BERDICHEVSKIY (1965) empfiehlt das Installieren der Potentialdifferenz-Meßstrecken 1 - 1,5 km von induktiv wirkenden Spannungsleitungen entfernt, um deren Einfluß auszuschalten (siehe auch HOOVER u. a. 1978; CLARKE u. a. 1983).

Bei (Hoch-)Spannungsleitungen ist sowohl mit galvanischen Strömen (Rückströme über (Mast/)Erdboden bzw. Schiene/Erdboden) als auch mit Störmagnetfeldern zu rechnen. Letztere wirken entweder direkt oder über induzierte Störströme auf Vorrichtungen zur Beobachtung des Magnetfeldes (CHAPMAN und BARTELS 1940; SAPYZHAK und VANYAN 1978; BILICHENKO u. a. 1979; SMITH u. a. 1981; McCOLLOR u. a. 1983; VOHRA u. a. 1983). OLLENDORF (1969), ein Referenzwerk für viele in dieser Studie angeschnittenen Probleme, gibt ausführlich berechnete Beispiele der galvanischen Kopplung. MACHCZYNSKI (1982) präsentiert galvanische und induktive Kopplung bei wechselstrombetriebenen Eisenbahnen unter vereinfachenden Annahmen.

SMITH u. a. (1981) und McCOLLOR u. a. (1983) nutzen die Oberschwingungen von Hochspannungsleitungen (Wechselfelder) bei Erdmagnetfeld-Beobachtungen zur Erkundung der Erdleitfähigkeit. SMITH u. a. registrierten hierbei noch bei 7 kHz Oberschwingungen. Nachweise von Oberschwingungen und Grundschwingungen sind auch in DUPIS u. a. (1974), MICHEEL und HENTE (1978), NEURIEDER (1980 b) und CLARKE u. a. (1983) dokumentiert. (Nach z. B. HOOVER u. a. (1978) oder CLARKE u. a. (1983) sind bei Wechselfeldern im Gegensatz zu Gleichfeldern die ungeradzahligen Oberschwingungen stärker ausgebildet als die geradzahligen. Der VDEW Arbeitskreis "PERTURBATION" (1979) und BRAUNER (1981) geben z. B. einen Überblick über die Erzeugung und Berechnung der Oberschwingungsverhältnisse in deutschen Stromversorgungsnetzen. Z. B. KIMBARK (1971) oder MARINO u. a. (1983) ist die Generierung von Harmonischen durch Konverter zu entnehmen.) - MICHEEL (1980) berichtet von der Ausnutzung der Netzfrequenz und dazugehöriger Oberwellen bei Audiomagnetotellurik-Messungen (siehe auch HOOVER u. a. 1978). Man läuft aber Gefahr, inhomogene Anregungen, also Störungen, zu benutzen (KRÖGER 1980 a, 1980 b, 1981).

Bei der Vierpunkt-Geoelektrik sind die Sondenspannungen des aufgeprägten Feldes von künstlichen (neben natürlichen) Störspannungen beeinflusst (z. B. HOOGERVORST 1975; DEPPERMAN 1968). DEPPERMAN (1968) (siehe auch FRÖHLICH 1965) beschreibt eine Prozedur, durch die diese Störspannungen merklich reduziert werden können. Da die Stromstärke der zugehörigen Störströme in der Regel nicht zeitlich konstant ist, gelingt die Elimination nicht gänzlich. DEPPERMAN gibt in derselben Veröffentlichung auch ein Verfahren an, mit dem es möglich ist, den Einfluß vagabundierender Ströme (neben natürlichen Störströmen) bei einer zeitlich linearen Änderung der Störspannung gänzlich zu beseitigen. Eine Kurzfassung der DEPPERMANschen Methodik ist in KOEFOED (1979) zu finden. GRÄSSL und JACOBS (1967) verweisen auf die Eliminierung von Stör-"Eigenpotentialen" durch Kompensation. FRÖHLICH (1971) veröffentlicht eine Methode, bei der die Beseitigung von Störströmen bei der Vierpunkt-Geoelektrik durch gleichzeitige Beobachtung der Störstrom-Potentiale auf einer Äquipotentiallinie des künstlich erzeugten Feldes erfolgt (siehe auch KOEFOED 1979). Das Verfahren sei insbesondere für Gebiete geeignet, die von vagabundierenden Strömen stark verseucht sind. HOOGERVORST (1979) teilt eine Technik mit, welche ebenfalls zwei Hilfssonden benötigt. Es wird vorausgesetzt, daß die Störungen sowohl am eigentlichen Meßort sowie am Hilfs-Meßort gleichermaßen vorhanden sind. BERKTOLD (Diskussionsbeitrag zu FRÖHLICH 1965) schlägt vor, die Elektrodenstrecke senkrecht zu einer eventuell vorhandenen Vorzugsrichtung des elektrischen Feldes aufzubauen, um Störeinflüsse zu vermindern. (Auf die Äquivalenz natürlicher und vagabundierender Ströme wurde in dieser Studie bereits hingewiesen.) Die geologischen und meßtechnischen Voraussetzungen hierzu dürften nicht immer gegeben sein.

Geophysikalische Observatorien beschäftigen sich unter anderem mit der Beobachtung natürlicher erdelektrischer und erdmagnetischer Felder. Bei deren Störung blieb oftmals nur das Ausweichen auf (noch) relativ störungsarme Areale. So mußten auch observatoriumsmäßige Registrierungen im Raume Münchens von München-Bogenhausen nach Maisach (Hilfsobservatorium) und schließlich nach Fürstenfeldbruck verlegt werden, wo nun seit 1939 natürliche erdmagnetische (bisweilen auch erdelektrische) Felder registriert werden (ANGENHEISTER u. a. 1966; "Jahrbuch", Serie A, Nr. 1 - 8 (1959 - 1966); "Jahrbuch", Serie A, Nr. 9 - 25 (1967 - 1983); Schriftverkehr "Bogenhausen" (1897 - 1926)). Den soeben genannten Veröffentlichungen sind eine Reihe von Hauptstörungseinflüssen entnehmbar. Sie werden kurz - in Ergänzung und Erweiterung der bisher genannten Beiträge - besprochen, da sie teilweise zu einer nicht unerheblichen Beeinflussung des laufenden Meßbetriebes führten bzw. noch führen. Neben der mit den Jahren zunehmenden allgemeinen Verseuchung durch vagabundierende Ströme wurde 1964 festgestellt, daß Störströme eine enge Korrelation zu den täglichen Leistungskurven der Versorgungsbetriebe der Stadtwerke Fürstenfeldbruck (Stromversorgungssystem der Stadt Fürstenfeldbruck und Umgebung) und somit zu Strom-Großabnehmern (Großverzinkerei Schörg, mündliche Mitteilung Dr. KORSCHUNOW) aufweisen (ANGENHEISTER u. a. 1966; "Jahrbuch" Nr. 7 - 8 (1965 - 1966)). Schaltstöße in den Umspannungsanlagen seien für die Störströme verantwortlich. Unter Hinzuziehung einer Mü-Metall-Apparatur, bei der die kurzperiodische Unruhe in der Amplitude klein ist, war es möglich, die Störungen vagabundierender Ströme von den natürlichen, induzierten Pulsationen und Variationen zu unterscheiden. September 1968 wurde eine neue Störungsquelle identifiziert ("Jahrbuch" Nr. 11 (1969)). In der Nähe des Obser-

vatoriums wurde der Fahrbetrieb einer Vorortstrecke der Bahn (heutige S-Bahn) begonnen, die mit $16 \frac{2}{3}$ Hz und 15 kV betrieben wurde und die 30 Jahre störungsfrei gebliebene Normalregistrierung des Observatoriums durch eine kurzzeitige Versetzung der Z-Spur bei vereisten, starke Funkenbildung verursachenden Oberleitungen der Bahn störte. Die empfindlichen Schnellregistrierungen erdmagnetischer Pulsationen und die Erdstromregistrierungen blieben nicht unverschont und waren durch Impulsfolgen von 0,5 - 3 Minuten Dauer gestört. Auch heute sind diese Registrierungen noch gestört (mündliche Mitteilung Dr. BEBLO). Die Verwendung von $16 \frac{2}{3}$ Hz liegt weit unterhalb der Auflösung und Resonanz der Apparaturen. (PORSTENDORFER (1961 a) erwähnt eine Arbeit, welche hochfrequente Galvanometer (400 Hz) verwendete.) Ein Gleichrichter-Effekt im Erdboden war folglich eine denkbare Erklärung für Erdstrom-Störungen. In Gemeinschaftsarbeit des Bundesbahn-Zentralamtes München, des Instituts für Angewandte Geophysik der Universität München und des Geophysikalischen Observatoriums Fürstenfeldbruck der Universität München wurden im Juni 1970 zwei Versuchsserien zur Untersuchung der Störungen durchgeführt ("Jahrbuch Nr. 13 (1971)). In einem Bericht an das Bundesbahn-Zentralamt München hatten Prof. ANGENHEISTER und Dr. HAAK vom Institut für Angewandte Geophysik die vorläufigen Ergebnisse der durchgeführten Experimente dargestellt. Eine Gleichrichter-Wirkung des Untergrundes konnte im Untersuchungsgebiet nicht in Verbindung mit dem Betrieb der Bahn bewiesen werden (mündliche Mitteilung Prof. ANGENHEISTER). Allerdings spricht das Resultat noch nicht grundsätzlich gegen eine mögliche Gleichrichter-Wirkung des Untergrundes bei anderen Verteilungen der elektrischen Leitfähigkeit als sie im Untersuchungsgebiet vorliegen. Im November 1971 mußte im Observatorium eine weitere markante Störung in der Erdstrom-Registrierung zur Kenntnis genommen werden. Eine neue Stromspeisung in das allgemeine Versorgungsnetz über eine neue Umspannanlage wurde als Verursacher vermutet. "Leider" konnte dies nicht bestätigt werden ("Jahrbuch" Nr. 14 - 15 (1972 - 1973)). Störungen im Jahr 1984 scheinen mit dem Flugbetrieb des nahen Fliegerhorstes korreliert zu sein (mündliche Mitteilung Dr. Beblo).

Ich danke den Herren Prof. Dr. N. Petersen, Dr. A. J. Berktold, Dipl.-Geophys. A. Junge, Dr. A. Korschunow, Dipl.-Ing. H. J. Micheel und Dr. P. Neurieder sowie insbesondere Prof. Dr. G. Angenheister und Dr. M. Beblo für Hinweise.

LITERATURVERZEICHNIS

Angenheister G., Wienert K., Korschunow A. und Förtsch O.: Zum 125jährigen Bestehen der Observatorien München-Maisach-Fürstenfeldbruck. Geophysikalisches Observatorium Fürstenfeldbruck der Ludwig-Maximilians-Universität München, München 1966.

Arnold G.: Fehlerquellen bei der Messung von Erdströmen in kurzen Leitungen, untersucht im Taunus-Observatorium. Gerlands Beiträge zur Geophysik 49, 140 - 164, 1937.

Baeckmann W. v. und Schenk W.: Handbuch des kathodischen Korrosionsschutzes. Verlag Chemie, Weinheim 1980.

Bayer F.: Die Verteilung der elektrischen Leitfähigkeit im Gebiet der geothermischen Anomalie von Travale-Radicondoli, Toskana, untersucht mit einer Methode der Vierpunkt-Geoelektrik und Auswertung technischer Störströme desselben Gebietes. Diplomarbeit am Institut für Allgemeine und Angewandte Geophysik der Ludwig-Maximilians-Universität München, München 1981.

Beblo M.: Die elektrische Leitfähigkeit unter den Ostalpen, abgeleitet aus magnetotellurischen Messungen längs eines Profils vom Alpen-nordrand bis zu den Hohen Tauern. Dissertation der Fakultät für Geowissenschaften der Ludwig-Maximilians-Universität München, München 1974.

Berdichevskiy M.N.: Electrical prospecting with the telluric current method (translated and edited by G.V. Keller). Quaterly of the Colorado School of Mines 60, 124 - 125, 1965.

Berktoold A.J., Dittus, H.J., Eigner K.-H., Teufel U.: Investigation of the geothermal anomaly of Travale/Tuscany by telluric, magnetotelluric and geomagnetic deep sounding measurements. Third International Seminar (Results of EC research and demonstration projects in the field of geothermal energy) of the Commission of the European Communities, 578 - 587, 1983.

Bilichenko S.V., Dreyzin Yu.A., Zotov A.V., Kozlov A.N., Murashov B.P., Pushchayev P.P., Sizov Yu.P., Turbin R.I., and Chmyrev V.M.: Observation of artificial geomagnetic disturbances at distances of 500 - 700 km from the source in the "Khibiny" geophysical experiment. Geomagnetism and Aeronomy 19, 514 - 515, 1979.

- Blohm E.-K. und Homilius J.: Stand der geoelektrischen Tiefensondierung. Protokoll über das Kolloquium "Elektromagnetische Tiefenforschung" in Berlin-Lichtenrade, 1.4. - 3.4.1980, 111 - 131. Herausgegeben von V. Haak (Institut für Geophysikalische Wissenschaften der Freien Universität Berlin) und J. Homilius (Niedersächsisches Landesamt für Bodenforschung).
- Brauner G.: Berechnung der Oberschwingungsverteilung in Netzen. Technische Mitteilungen AEG-Telefunken 71, 154 - 159, 1981.
- Chapman S. und Bartels J.: Geomagnetism. Clarendon Press, Oxford 1940.
- Clarke J., Gamble T.D., Goubau W.M., Koch R.H. and Miracky R.F.: Remote-reference magnetotellurics: equipment and procedures. Geophysical Prospecting 31, 149 - 170, 1983.
- Deppermann K.: Zur Eliminierung der Störspannungen bei geoelektrischen Widerstandsmessungen. Geologisches Jahrbuch 85, 901 - 918, 1968
- Dupis A., Iliceto V. and Norinelli A.: First magnetotelluric measurements on Larderello site. Bollettino di Geofisica Teorica ed Applicata XVI, 137 - 152, 1974.
- Dupouy G.: Perturbation du champ magnétique terrestre et des courants telluriques par les chemins de fer électrifiées. Annales de Géophysique 6, 18 - 50, 1950.
- Eberle D.: Die Induktion durch künstliche elektromagnetische Längswellen (15 - 25 kHz) - Anwendung in der Prospektionsgeophysik unter Berücksichtigung des Einflusses der Erdoberfläche und technischer Leitungsnetze. Dissertation der Fakultät für Geowissenschaften der Ludwig-Maximilian-Universität München, München 1977.
- Fischer G.: Magnetotelluric observational techniques on land. Geophysical Surveys 4, 373 - 393, 1982.
- Fröhlich R.: Potentialmessung eines künstlich aufgeprägten Feldes geringer Intensität bei Anwesenheit eines Störfeldes großer Intensität. Protokoll über das Symposium "Erdmagnetische Tiefensondierung" in Goslar, 30.9. - 2.10.1965, 81 - 92. Herausgegeben von H.-G. Scheube (Institut für Geophysik und Meteorologie der Technischen Hochschule Braunschweig).
- The influence of industrial stray currents on the measurements of earth potentials and their elimination. Geophysical Prospecting XIX, 118 - 132, 1971.

- Girousse G.: Courants telluriques d'origine artificielle, in: *Traité d'électricité atmosphérique et tellurique*, 499 - 526. Comité français de géodésie et de géophysique publications de la 6^e section (publié sous la direction de E. Mathias), Paris 1924.
- Grässl S. und Jacobs F.: Einige Probleme der geoelektrischen Erkundung in Braunkohlegebieten. *Geophysik und Geologie* 10, 84 - 93, 1967.
- Heikka J., Zhamaletdinov A., Demidova T. and Hjelt S.E.: MHD-test registrations in northern Finland (abstract). *IAGA Bulletin* No. 48, 125, Hamburg 1983.
- Hoogervorst G.H.T.C.: Fundamental noise affecting signal-to-noise ratio of resistivity surveys. *Geophysical Prospecting* 23, 380 - 390, 1975.
- Geological information from fluctuating earth-currents. *Geophysical Prospecting* 27, 214 - 232, 1979.
- Hoover D.B., Long C.L., and Senterfit R.M.: Some results from audiomagnetotelluric investigations in geothermal areas. *Geophysics* 43, 1501 - 1514, 1978.
- "Jahrbuch": Serie A, Nr. 1 - 8 (1959 - 1966); Geophysikalisches Observatorium der Universität München.
- Serie A, Nr. 9 - 25 (1967 - 1983); Münchner Universitätsschriften, Veröffentlichungen des Geophysikalischen Observatoriums der Ludwig-Maximilians-Universität München.
- Kimbark E.W.: *Direct current transmission*, vol. I. Wiley, New York 1971.
- Kishinouye F.: Notes on stray earth currents. *Bulletin of the Earthquake Research Institute Tokyo University* 29, 449 - 555, 1951.
- Koefoed O.: *Geosounding Principles*, 1. Elsevier Publishing Company, Amsterdam 1979.
- Kovalevskiy I.V., Mikerina N.V., Novysh V.V. and Gorodnicheva O.P.: Distribution of the earth currents from an electrified railroad in the southern Urals. *Geomagnetism and Aeronomy* I, 723 - 726, 1961.

Kröger P.: Zeitsynchrone Magnetotellurik auf einem 60-km-Profil zur Erkundung lokaler technischer Störfelder. Protokoll über das Kolloquium "Elektromagnetische Tiefenforschung" in Berlin-Lichtenrade, 1.4. - 3.4.1980 a, 185 - 194. Herausgegeben von V. Haak (Institut für Geophysikalische Wissenschaften der Freien Universität Berlin) und J. Homilius (Niedersächsisches Landesamt für Bodenforschung).

Korrelierte Störungen im elektrischen und magnetischen Feld als Ursache für Bias-Fehler im Magnetotellurik-Impedanztensor. Dito, außer 1980 b, 195 - 196 statt 1980 a, 185 - 194.

Der Magnetotellurik-Impedanztensor bei lokal gestörten Meßgrößen. Dissertation der Fakultät für Maschinenbau und Elektrotechnik der Technischen Universität Carolo-Wilhelmina zu Braunschweig, Braunschweig 1981.

Lengning K.: Die Erdstromapparatur am Observatorium in Niemeck, in: Jahrbuch 1955 des Adolf-Schmidt-Observatoriums für Erdmagnetismus in Niemeck, 160 - 165. Deutsche Akademie der Wissenschaften zu Berlin, Geomagnetisches Institut Potsdam, Akademie-Verlag, Berlin 1958.

Lienert B.R., Whitcomb J.H. and Phillips R.J.: Long term variations in magnetotelluric apparent resistivities near the San Andreas fault (abstract). IAGA Bulletin No. 43, 110, Canberra 1979.

Machczynski W.: Currents and potentials in earth return circuits exposed to alternating current electric railways. IEE Proc. 129, Pt. B, 279 - 288, 1982.

Marino P., Picardi C. and Russo A.: AC characteristics in AC/DC/DC conversion. IEE Proc. 130, Pt. B, 201 - 206, 1983.

McCollor D.C., Watanable T., Slawson W.F. and Shier R.M.: An e.m. method for earth resistivity measurements using power line harmonic fields. Journal of Geomagnetism and Geoelectricity 35, 221 - 244, 1983.

McPherron R.L., Searls C., Jackson D.D., Davis P.M. and Coleman P.J. jr.: Spectral characteristics of noise in proton magnetometer measurements for earthquake prediction (abstract). IAGA Bulletin No. 43, 107, Canberra 1979.

Michalke C.: Die vagabundierenden Ströme elektrischer Bahnen. Vieweg-Verlag, Braunschweig 1904.

- Micheel H.J.: Eine Audiomagnetotellurik-Meßapparatur (1 Hz - 20 kHz) und erste Ergebnisse der Datenanalyse. Protokoll über das Kolloquium "Elektromagnetische Tiefenforschung" in Berlin-Lichtenrade, 1.4. - 3.4.1980, 161 - 172. Herausgegeben von V. Haak (Institut für Geophysikalische Wissenschaften der Freien Universität Berlin) und J. Homilius (Niedersächsisches Landesamt für Bodenforschung).
- Micheel H.J. und Hente B.: Untersuchungen zur Audiomagnetotellurik. Protokoll über das Kolloquium "Elektromagnetische Tiefenforschung" in Neustadt/Weinstraße, 11.4 - 13.4.1978, 127 - 132. Herausgegeben von V. Haak (Institut für Geophysikalische Wissenschaften der Freien Universität Berlin) und J. Homilius (Niedersächsisches Landesamt für Bodenforschung).
- Neurieder P.: Digitale Datenverarbeitung in der Magnetotellurik und ihre Anwendung auf Geländemessungen. Diplomarbeit am Institut für Allgemeine und Angewandte Geophysik der Ludwig-Maximilians-Universität München, München 1980 a.
- Geräteeinflüsse bei der digitalen Meßwerterfassung in der MT und ihre Auswirkung auf die Morphologie der Rho-S- und Phasenkurven. Protokoll über das Kolloquium "Elektromagnetische Tiefenforschung" in Berlin-Lichtenrade, 1.4. - 3.4.1980, 149 - 155. Herausgegeben von V. Haak (Institut für Geophysikalische Wissenschaften der Freien Universität Berlin) und J. Homilius (Niedersächsisches Landesamt für Bodenforschung).
- Novysh V.V., Gorodnicheva O.P. and Mikerine N.V.: Observations of earth currents in Shatsk. Geomagnetism and Aeronomy IV, 150 - 155, 1964.
- Ollendorf F.: Erdströme. Birkhäuser Verlag, Stuttgart 1969.
- Parasnis D.S.: Theory and practice of electric potential and resistivity prospecting using linear current electrodes. Geoprospection 3, 1 - 69, 1965.
- Porstendorfer G.: Tellurik, Grundlagen und Anwendungen. Freiburger Forschungshefte C16, 1954.
- Tellurik, Grundlagen, Meßtechnik und neue Einsatzmöglichkeiten. Freiburger Forschungshefte C107, 1961 a.
- Versuche zur Ausnutzung vagabundierender Ströme in der geophysikalischen Prospektion. Geophysical Prospecting IX, 128 - 143, 1961 b.
- Rokityansky I.I.: Geoelectromagnetic investigation of the earth's crust and mantle. Springer, Berlin 1982.

Sapyzhak Ya.S. and Vanyan L.L.: On the deep EM-sounding using electro-transmission lines (abstract). Fourth workshop on electromagnetic induction in the earth and moon, Murnau, September 7 - 13, 1978.

Schnegg P.-A. and Fischer G.: A new pulsed audio magnetotelluric technique. IAGA Bulletin No. 48, 125, Hamburg 1983.

Schriftverkehr "Bogenhausen": Elektrische Straßenbahnen und erdmagnetisches Observatorium. Erdmagnetisches Observatorium in München-Bogenhausen, 1897 - 1926, unveröffentlicht.

Smith A.J., Yearby K.H. and Kaiser T.R.: Measurement of ELF/VLF wave-fields near to electrical power transmission lines in Newfoundland due to the flow of currents at harmonics of 60 Hz (abstract). IAGA-Konferenz, Edinburgh 1981.

Vanyan L.L.: Electromagnetic depth sounding (translated by G.V. Keller). A special research report, New York 1967.

VDEW-Arbeitskreis "PERTURBATION": Überblick über die Oberschwingungsverhältnisse in öffentlichen Stromversorgungsnetzen. Elektrizitätswirtschaft 78, 1008 - 1017, 1979.

Velikhov E.P., Gorbunov G.I., Volkov Yu.M., Vanyan L.L., Demidova T.A., Zhamaletdinov A.A., Hjelt S.E., Heikka J. and Piirainen R.: Deep electromagnetic sounding in Finland (abstract). IAGA Bulletin No. 48, 133, Hamburg 1983.

Vohra D.R., Hall D.H., Shafai L., Taranawecky M.Z., Abdul Atta O. and Woodford D.A.: Deep electromagnetic sounding in Manitoba (abstract). 45th Meeting of the European Association of Exploration Geophysicists in Oslo, 14. - 17.6.1983, 50.

Wagenitz V., Keil M., Schulte L. und Jödicke H.: Automatische Magnetotellurik-Meßstation EMF 772 μ P: Bisherige Erfahrungen. Protokoll über das Kolloquium "Elektromagnetische Tiefenforschung" in Neustadt/Weinstraße, 11.4. - 13.4.1978, 121 - 125. Herausgegeben von V. Haak (Institut für Geophysikalische Wissenschaften der Freien Universität Berlin) und J. Homilius (Niedersächsisches Landesamt für Bodenforschung).

Ward S.H.: Controlled source electrical methods for deep exploration. Geophysical Surveys 6, 137 - 152, 1983.

Yanagihara K.: Magnetic field disturbance produced by electric railway. Geophysical Magazine 38, 17 - 35, 1977.