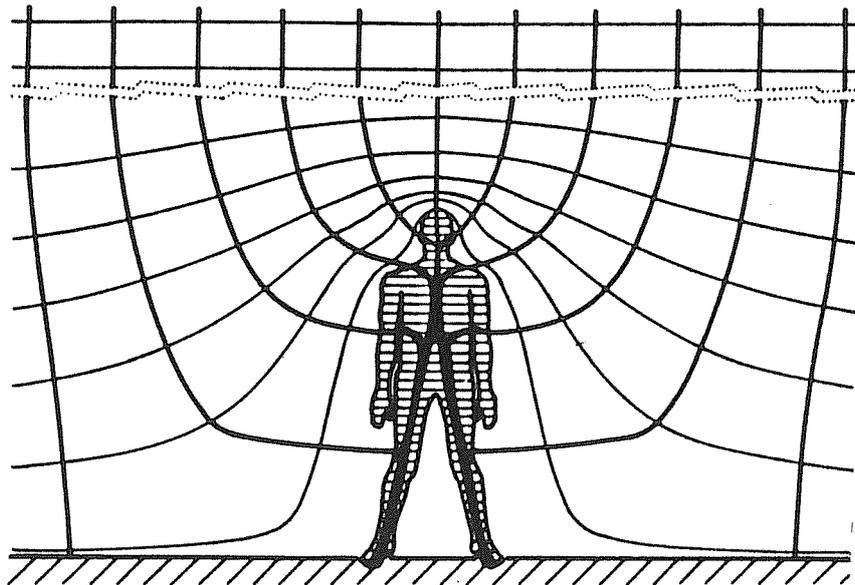


**FKH- / VSE-Fachtagung
21. September 1994
ETH Zürich**

NIEDERFREQUENTE ELEKTROMAGNETISCHE FELDER (EMF)

**Vorstellung, Erläuterung und Diskussion
des neuen BUWAL-Berichts**



*Verzerrung des homogenen elektrischen Feldes
durch eine frei stehende Person (nach Leitgeb 1990)*

VSE-Druckschrift 5.49 d/f

**FKH- / VSE-Fachtagung
21. September 1994
ETH Zürich**

**NIEDERFREQUENTE
ELEKTROMAGNETISCHE
FELDER (EMF)**

**Vorstellung, Erläuterung und Diskussion
des neuen BUWAL-Berichts**

Veranstalter:

*Fachkommission für Hochspannungsfragen, FKH
Voltastrasse 9
8044 Zürich*

*Verband Schweizerischer Elektrizitätswerke, VSE
Postfach 6140
8023 Zürich*

**FKH- / VSE-Fachtagung
21. September 1994**

NIEDERFREQUENTE ELEKTROMAGNETISCHE FELDER (EMF)

**Vorstellung, Erläuterung und Diskussion
des neuen BUWAL-Berichts**

Vorwort

Elektrische und magnetische Felder (EMF) sind mit der technischen Nutzung der Elektrizität untrennbar verbunden. Im Bereich der elektrischen Energieversorgung treten beim Verbraucher und auch bei der Erzeugung sowie bei der Übertragung von Energie niederfrequente EMF auf. Diese Felder werden heute beim Bau und Betrieb von energietechnischen Anlagen (z.B. Trafostationen, Übertragungsleitungen) in zunehmendem Masse in die Umweltdiskussion miteinbezogen.

Um die Kenntnisse über die biologischen Wirkungen niederfrequenter elektrischer und magnetischer Felder zu bewerten und um eine Empfehlung für Immissionsgrenzwerte abzugeben, hat das Bundesamt für Umwelt, Wald und Landschaft (BUWAL) eine Expertengruppe eingesetzt. Die Ergebnisse dieser Arbeiten sind in einem kürzlich erschienenen BUWAL-Bericht [1] zusammengefasst.

Die Tagung hat das Ziel, die Mitglieder der FKH und des VSE, die schweizerischen Elektrizitätswerke sowie weitere interessierte Kreise über den aktuellen Stand der Erkenntnisse bezüglich biologischer Wirkungen niederfrequenter EMF sachlich zu informieren. Die im BUWAL-Bericht enthaltenen Empfehlungen für Immissionsgrenzwerte und das darin formulierte "Vorsorgeprinzip" sollen erläutert und im Zusammenhang mit praktischen Aspekten und technischen Massnahmen zur Reduktion der Feldstärken diskutiert werden.

- [1] Schriftenreihe Umwelt Nr. 214: **"Biologische Wirkungen elektromagnetischer Felder, 2. Teil: Frequenzbereich 10 Hz bis 100 kHz"**. Herausgeber: Bundesamt für Umwelt, Wald und Landschaft (BUWAL), Bern, 1993.

TAGUNGSPROGRAMM

- ab 9.45 Empfang der Teilnehmer
Kaffee und Erfrischungen, Abgabe der Tagungsunterlagen
- 10.20 **Begrüssung**
Dr. F. Schwab, Präsident der FKH
- 10.30 **Auswirkungen niederfrequenter elektromagnetischer Felder auf die Umwelt (Einführungsreferat)**
Professor Dr. H. Krueger, Institut für Hygiene und Arbeitsphysiologie, ETH Zürich
- 11.00 **Epidemiologische Studien im Bereich der niederfrequenten EMF: Methodik, Zusammenfassung und Bewertung der vorliegenden Ergebnisse**
Herr D. Pfluger, Inst. für Sozial- und Präventivmedizin, Universität Bern
- 11.30 **Vorstellung und Erläuterung des neuen BUWAL-Berichts: Biologische Wirkungen elektromagnetischer Felder (10 Hz bis 100 kHz)**
Dr. J. Baumann, Bundesamt für Umwelt, Wald und Landschaft, BUWAL
- 12.00 Allgemeine Diskussion
- 12.30 Gemeinsames Mittagessen in der ETH-Mensa Polyterrasse
- 14.00 **Eigenschaften von niederfrequenten EMF und Berechnungsmethoden für Betriebsmittel der Elektrizitätsversorgung**
Dr. R. Bräunlich, Fachkommission für Hochspannungsfragen, FKH
- 14.30 **Elektrische und magnetische Felder von Hochspannungsleitungen: Berechnungs- und Messbeispiele aus der Praxis**
Dr. D. Reichelt, Nordostschweizerische Kraftwerke, NOK
- 15.00 **Mesures à prendre pour diminuer l'amplitude du champ magnétique dans les installations MT-BT**
Massnahmen zur Reduktion von magnetischen Feldern in Mittel- und Niederspannungsinstallationen
Herr B. Bugnon, Services Industriels Genève, SIG
- 15.30 **Sorgen der Kunden: Sachgerechte Antworten auf die häufigsten Fragen zu EMF**
Dr. G. Biasiutti, Bernische Kraftwerke, BKW
- 16.00 Schlussdiskussion
- ca. 16.30 Ende der Veranstaltung

Tagungsleitung: Dr. Th. Aschwanden, FKH

Tagungsort: Eidgenössische Technische Hochschule, ETH
Auditorium Maximum, Zürich.

Zusammenfassung der Referate

Inhaltsverzeichnis

Auswirkungen niederfrequenter elektromagnetischer Felder auf die Umwelt Prof. Dr. Helmut Krueger	1
Epidemiologische Studien im Bereich der niederfrequenten EMF: Methodik, Zusammenfassung und Bewertung der vorliegenden Ergebnisse Dominik Pfluger.....	2
Vorstellung und Erläuterung des neuen BUWAL-Berichts: Biologische Wirkung elektromagnetischer Felder (10 Hz bis 100 kHz) Dr. Jürg Baumann.....	4
Eigenschaften von niederfrequenten EMF und Berechnungsmethoden für Betriebsmittel der Elektrizitätsversorgung Dr. Reinhold Bräunlich	8
Elektrische und magnetische Felder von Hochspannungsleitungen Berechnungs- und Messbeispiele aus der Praxis Dr. Dieter Reichelt.....	19
Mesures à prendre pour diminuer l'amplitude du champ magnétique dans les installations MT/BT.....	22
Massnahmen zur Reduktion von magnetischen Feldern in Mittel- und Niederspannungsinstallationen Bernhard Bugnon.....	25
Sorgen der Kunden: Sachgerechte Antworten auf die häufigsten Fragen Dr. Gianni Biasiutti	30
Teilnehmerliste.....	34

Auswirkungen niederfrequenter elektromagnetischer Felder auf die Umwelt

Prof. Dr. Helmut Krueger
Institut für Hygiene und Arbeitsphysiologie, ETH-Zürich
Clausiusstrasse 21, 8092 Zürich

Zusammenfassung des Referats wird separat abgegeben.

Epidemiologische Studien im Bereich der niederfrequenten EMF: Methodik, Zusammenfassung und Bewertung der vorliegenden Ergebnisse

Dominik Pfluger

Institut für Sozial- und Präventivmedizin
Universität Bern, 3012 Bern

Seit den späten 70-er Jahren wird anhand von epidemiologischen Studien die Frage geprüft, ob niederfrequente magnetische Felder (B-Felder) zu einem erhöhten Krebsrisiko führen. Vereinfachend dargestellt sind epidemiologische Studien Vergleiche der Häufigkeit bestimmter Erkrankungen in unterschiedlich exponierten Bevölkerungsgruppen. Da die Epidemiologie in der Regel eine nichtexperimentell arbeitende Disziplin ist, sind verschiedene Kriterien formuliert worden, die erfüllt sein müssen, um von beobachteten, assoziativen Zusammenhängen auf Kausalität eines vermuteten Risikofaktors zu schliessen. Diese Kausalitätskriterien werden in Bezug auf die EMF-Studien einer kritischen Bewertung unterzogen.

Die durchgeführten EMF-Studien betreffen entweder Personengruppen wie Elektriker, Telefonmonteure, welche durch ihre Berufstätigkeit EMF ausgesetzt sind oder die Bevölkerung, welche in der Nähe von Hochspannungsleitungen bzw. anderen elektrischen Anlagen ihren Wohnsitz hat. Im Zentrum dieser Untersuchungen stehen die Krankheiten Leukämie (Blutkrebs) und Hirntumore. Die Berufsstudien basieren vor allem auf dem methodischen Ansatz der „Kohorten-Studie“, während den Wohnortstudien mehrheitlich die Methodik der sog. „Fall-Kontroll-Studien“ zugrunde liegt. Im Vortrag wird auf die wesentlichen Besonderheiten dieser beiden Methoden eingegangen.

Die B-Feld-Exposition wurde auf verschiedenen Wegen zu quantifizieren versucht. In einem kleinen Teil der Studien wurden lokale Messungen der Magnetfeldstärke durchgeführt. Daneben wurde die Exposition durch die Berufsbezeichnung (Elektriker etc., Telefonmonteure) charakterisiert. In den Studien des Wohnbereichs wurde versucht, die Feldstärke durch einen sogenannten „Leitungsindex“ (engl. „wiring code“) zweckmässig abzubilden, welcher sich aus der Anzahl nahegelegener Leitungen und aus den gemessenen Distanzen zu den Leiterseilen und der entsprechenden strommässigen Dimensionierung der jeweiligen Leitungen zusammensetzt. Schliesslich wurde auch versucht, die Exposition durch Berücksichtigung der Stromstärken direkt zu berechnen.

Bei den Berufsstudien ergibt sich im Überblick ein um etwa Faktor 1.2 erhöhtes Mortalitätsrisiko für Leukämie bei exponierten gegenüber nicht-exponierten Personen. Bei den Studien der Wohnhäuser ergibt sich gesamthaft ebenfalls ein Trend zu erhöhten Risiken für Leukämie insbesondere bei Kindern (relatives Risiko = 1.5). Bei den Erwachsenen ist diese Tendenz weniger ausgeprägt. Bemerkenswerterweise ergab sich für den Leitungsindex meist ein stärkerer Zusammenhang mit der Sterblichkeit als mit der am Wohnort gemessenen Feldstärke. Dieser Unterschied kann auf verschiedene Weise gedeutet werden:

Der Leitungsindex repräsentiert die langfristige Belastung besser als 24-h-Messwerte und widerspiegelt demnach ein effektives aetiologisches Risiko; die Messungen bilden nicht die biologisch relevanten Parameter (z.B. Transienten, Resonanzphänomene mit Erdmagnetfeld u.ä.) ab und verdecken deshalb eine reell vorhandene Wirkungsbeziehung; schliesslich ist denkbar, dass der Leitungsindex eine Art „Platzhalter“ für niedrigen sozioökonomischen

Status oder hohe Verkehrsdichte darstellt, welche in Zusammenhang mit Krebs stehen können. Allerdings wurden die Risiken auch bei Berücksichtigung der genannten Faktoren in der statistischen Analyse nicht wesentlich verändert.

Die gesamthaft über verschiedene Studienanlagen hinweg beobachtete relativ konsistente Erhöhung der Leukämiemortalität lässt den Schluss zu, dass B-Felder eine mitverursachende Rolle bei der Krebsentstehung spielen können. Die neueren, sehr sorgfältig durchgeführten skandinavischen Studien, welche erstmals ernsthafte Hinweise auf Dosis-Wirkungsbeziehungen ergaben, sprechen tatsächlich eher für als gegen die vermutete Rolle der B-Felder als Ursache für Leukämie-Erkrankungen.

Bis heute fehlt ein biophysikalisches Modell, welches die Kausalkette zwischen EMF und Krebsentstehung schliesst, weshalb gegenüber den assoziativen Zusammenhängen der epidemiologischen Studien Vorbehalte angebracht sind. Hinweise auf mögliche biologische Mechanismen geben indessen neuere Laboruntersuchungen über Melatonin, eines Hormons der Zirbeldrüse. Aufgrund des hemmenden Einflusses des Melatonins auf bestimmte Krebsformen und seiner Wirkung auf das Immunsystem bietet sich hier eine mögliche Erklärung zwischen Exposition und Krebsentstehung an: So ist eine Begünstigung eines bereits in Entwicklung begriffenen Tumors durch EMF-Exposition nicht auszuschliessen. Um das vermutete Gefährdungspotential von B-Feldern hinsichtlich Krebsverursachung schlüssig bewerten zu können, sind die Ergebnisse von laufenden Feldstudien und zellbiologischen Experimenten abzuwarten.

Vorstellung und Erläuterung des neuen BUWAL-Berichts: Biologische Wirkung elektromagnetischer Felder (10 Hz bis 100 kHz)

Dr. Jürg Baumann

Bundesamt für Umwelt, Wald und Landschaft, (BUWAL)
Hallwylstrasse 4, 3003 Bern

1. Ausgangslage

Mit dem Umweltschutzgesetz ist auch der Schutz von Mensch und Umwelt vor nichtionisierender elektromagnetischer Strahlung im Grundsatz geregelt worden. Für den Immissionschutz (Luft, Lärm, Erschütterungen, Strahlen) gilt demnach ein zweistufiges Vorgehen:

- In der ersten Stufe sollen die Emissionen unabhängig von der Höhe der Belastung so weit reduziert werden, als dies technisch und betrieblich möglich und wirtschaftlich tragbar ist. Dies ist die Vorsorgestufe.
- In der zweiten Stufe ist unabhängig von wirtschaftlichen Gesichtspunkten sicherzustellen, dass die Einwirkungen für Mensch und Umwelt nicht schädlich oder lästig werden. Dies ist die Stufe der Gefahrenabwehr. Die Schädlichkeitsgrenze wird durch sogenannte Immissionsgrenzwerte beschrieben, welche aufgrund der wissenschaftlichen Kenntnisse und der allgemeinen Erfahrung über die Auswirkungen abzuleiten sind. Der Bundesrat ist beauftragt, solche Immissionsgrenzwerte durch Verordnung festzulegen.

Als Vorbereitung hat das BUWAL eine Expertengruppe von Medizinerinnen und Naturwissenschaftlerinnen damit beauftragt, die Risiken zu bewerten und eine Empfehlung für Immissionsgrenzwerte und allfällig zu treffende Massnahmen abzugeben [1].

2. Bewertung durch die Expertengruppe des BUWAL

Die Expertengruppe hat für den Frequenzbereich unterhalb von 100 kHz die in den beiden vorangehenden Referaten dargestellten biologischen Wirkungen gesichtet, gruppiert und anschliessend folgendermassen bewertet (der Schwerpunkt lag dabei auf der Frequenz von 50 Hz und auf Wirkungen auf den Menschen):

- Der Mensch kann bei genügend hoher Intensität sowohl elektrische wie magnetische Felder direkt wahrnehmen und dadurch belästigt werden (Entladungserscheinungen an der Körperoberfläche; visuelle Täuschungen, sog. Magnetophosphene). Derartige Belästigungen müssen vermieden werden.
- Elektrische und magnetische Felder induzieren im menschlichen Körper elektrische Ströme, welche bei genügender Stärke erregbare Zellen (Nerven, Muskeln) stimulieren können. Es handelt sich um einen akuten Effekt, der unter allen Umständen vermieden werden muss.
- Aus einer Vielzahl von Untersuchungen geht hervor, dass verschiedene biologische Systeme, darunter das Zentralnerven- und das neuroendokrine System, das Blutbild, gewisse Immunfunktionen, die Aktivität von Enzymen, Zellwachstum und -stoffwechsel sowie Funktionen der Zellmembran durch elektrische und magnetische Felder beeinflusst

werden können, dies zum Teil bei sehr niedrigen Feldstärken und mit nichtlinearen Dosis-Wirkungsbeziehungen. Die Wirkungsmechanismen sind nicht geklärt und eine Risikoabschätzung derzeit nicht möglich. Einige dieser Wirkungen lassen sich mit Sicherheit nicht auf induzierte Ströme zurückführen. Sie geben somit Hinweise, dass auch andere Wechselwirkungen möglich sind, welche durch die Forschung noch zu klären sind.

- Epidemiologische Untersuchungen an Bevölkerungsgruppen in der Nähe von Stromleitungen oder an überdurchschnittlich exponierten Arbeitsplätzen haben statistisch erhöhte Risiken für gewisse Arten von Krebs ergeben, vor allem für Leukämie bei Kindern. Diese Untersuchungen begründen einen Verdacht, aber zurzeit keinen Beweis für eine kanzerogene Wirkung schwacher 50/60 Hz-Felder. Sie geben Anlass zur vorsorglichen Reduktion von Feldern. Falls das Magnetfeld tatsächlich ein kausaler Faktor ist, dann liegt der Schwellenwert deutlich unter $1 \mu\text{T}$.

3. Empfehlung von Immissionsgrenzwerten

Als Basis für die Ableitung von Immissionsgrenzwerten dienten die akuten gesundheitsgefährdenden, sowie die belästigenden Effekte. Den andersartigen Wirkungen, deren Risiko für den Organismus noch unklar ist, sowie dem Verdacht auf kanzerogene Wirkung konnte nur indirekt mit einem Sicherheitsfaktor Rechnung getragen werden.

Die empfohlenen Immissionsgrenzwerte basieren auf der Richtlinie von IRPA/ICNIRP von 1990 [2]. Für die Frequenz von 50 Hz betragen sie:

2 mA/m^2 für die im Körper induzierte Stromdichte,

5 kV/m für die elektrische Feldstärke im homogenen elektrischen Feld,

$100 \mu\text{T}$ für die magnetische Induktion im homogenen Magnetfeld.

Diese Werte sollen zu jedem Zeitpunkt und an jedem Ort eingehalten sein, wo sich Personen dauernd aufhalten können. Sind ein elektrisches und magnetisches Feld gleichzeitig vorhanden, dann gilt ein Summengrenzwert, weil beide Felder ihren Anteil am induzierten Körperstrom haben:

$$E(\text{kV/m})/5 + B(\mu\text{T})/100 \leq 1.$$

Für eine zweisträngige 380 kV-Leitung mit zyklisch vertauschter Phasenordnung ist dieser Summengrenzwert sicher eingehalten, wenn der unterste Leiter einen Bodenabstand von mindestens 13 m aufweist (siehe Figur S. 7).

Bei elektrischen Geräte, welche häufig ein sehr lokales und inhomogenes Feld erzeugen, sind die Grenzwerte für die elektrische Feldstärke und magnetische Induktion nicht anwendbar. In diesen Fällen ist durch rechnerische Methoden direkt die induzierte Stromdichte zu ermitteln. Geeignete Verfahren werden derzeit studiert.

4. Empfehlung für weitergehende vorsorgliche Massnahmen

Bei Einhaltung der Immissionsgrenzwerte sind akute Gefährdungen und Belästigungen nicht zu erwarten. Es verbleiben aber Unsicherheiten über allfällige schädliche Wirkungen schwacher Felder bei chronischer Exposition; falls die vermutete kanzerogene Wirkung von 50 Hz Magnetfeldern real ist, würde sie bereits bei einem Fünfhundertstel des jetzt empfohlenen Immissionsgrenzwerts einsetzen. Die Expertengruppe empfiehlt deshalb, im Sinne der

Vorsorge die Immissionen durch technische Massnahmen an der Quelle und durch geeignete Wahl des Standorts so weit zu reduzieren, wie dies technisch und betrieblich möglich und wirtschaftlich tragbar ist, auch im Bereich unter den empfohlenen Immissionsgrenzwerten. Diesen Grundsatz hat das Bundesgericht bereits im Zusammenhang mit einer Anlage im Hochfrequenzbereich festgehalten [3]. Die Expertengruppe ist der Ansicht, dass dieser Grundsatz in erster Linie auf neue Anlagen anzuwenden ist mit Schwergewicht auf denjenigen Situationen, wo Personen über längere Zeit exponiert sein können.

Wie weit soll man die Vorsorge treiben? Eine pragmatische Antwort könnte lauten, dass der Vorsorge dann Genüge getan ist, wenn die Felder einer Anlage im Mittel nicht stärker sind als die Durchschnittsbelastung in unserer heutigen Wohn- und Arbeitswelt. Diese Durchschnittsbelastung der Schweizer Bevölkerung hat das BUWAL ermitteln lassen: 552 Personen trugen während mindestens 24 Stunden ein kontinuierlich registrierendes Magnetfeld-Dosimeter und führten ein Protokoll über ihren jeweiligen Aufenthaltsort. Die durchschnittliche Exposition über den ganzen Tag betrug $0.21 \mu\text{T}$, im Wohnbereich $0.09 \mu\text{T}$, im Schlafzimmer $0.25 \mu\text{T}$, wobei dieser relativ hohe Wert durch elektrische Geräte in Bettnähe bedingt ist. Als Vergleich seien die Verhältnisse in der Nähe einer 380 kV-Leitung betrachtet: Eine solche Leitung erzeugt bei maximaler Strombelastung im horizontalen Abstand von ca. 110 m vom äussersten Leiter ein Feld von $0.2 \mu\text{T}$. Nimmt man eine durchschnittliche Auslastung der Leitung von 30 % an, dann beträgt der entsprechende horizontale Abstand 60-70 m vom äussersten Leiter. Bis zu diesem Abstand werden die 50 Hz-Magnetfelder im Mittel somit durch die Leitung dominiert.

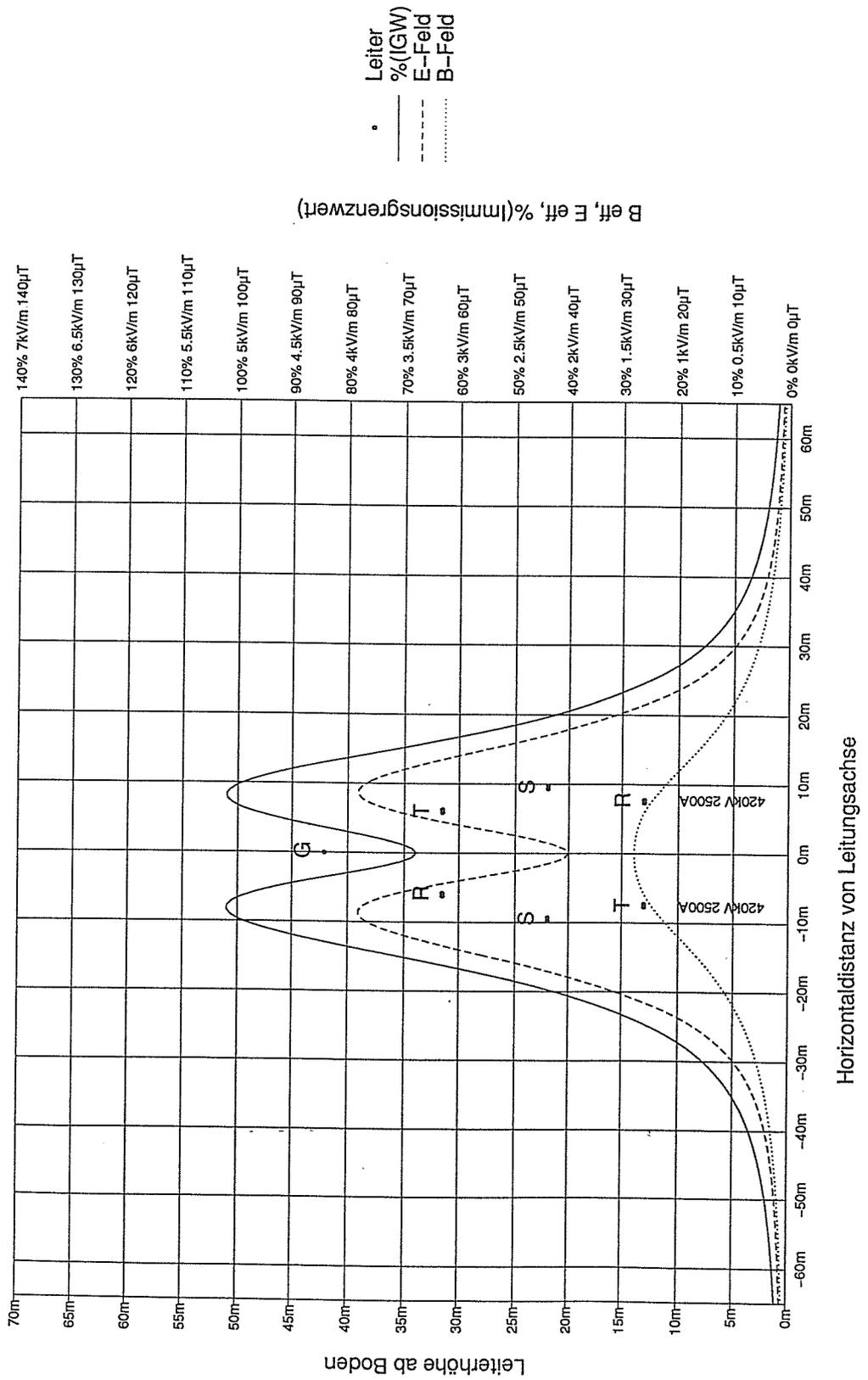
Das BUWAL erachtet es als notwendig, dass neue Leitungen so projektiert werden, dass die Langzeit-Exposition von Personen im Nahbereich minimiert wird. Soweit dies technisch und betrieblich möglich und wirtschaftlich tragbar ist, sollen sich innerhalb eines Korridors von 50 m vom äussersten Leiter keine Gebäude oder Grundstücke befinden, wo sich Personen längere Zeit aufhalten können (vor allem Wohngebäude, Schulen, Spitäler, Bauzonen oder Kinderspielplätze). Ist dies nicht möglich, soll diejenige Variante gewählt werden, bei der am wenigsten Personen im genannten Korridor betroffen sind. Als Entscheidungsgrundlage für die Variantenwahl müssen daher in den UVP-Berichten für jede Trasse-Variante die genannten Gebäude und Grundstücke ausgewiesen werden, die einen horizontalen Abstand von weniger als 50 m vom äussersten Leiter aufweisen.

Literatur

- [1] „Biologische Wirkungen elektromagnetischer Felder“. 2. Teil: Frequenzbereich 10 Hz bis 100 kHz, Schriftenreihe Umwelt Nr. 214, Bundesamt für Umwelt, Wald und Landschaft, Bern 1993.
- [2] „Interim Guidelines on Limits of Exposure to 50/60 Hz Electric and Magnetic Fields“ International Non-Ionizing Radiation Committee of the International Radiation Protection Association, Health Physes Vol.58, S. 113-122 (1990).
- [3] Bundesgerichtsentscheid BGE 117 Ib, S. 28 ff, vom 6.März 1991 i.S. Z. gegen Gemeinde Samnaun, Schweizerische PTT-Betriebe und Verwaltungsgericht des Kantons Graubünden.

Spannung: 420 kV
 Strom: 2500 A
 Leiterhöhe: 13 m über Boden

Elektrisches und magnetisches Feld 1 m über Boden



Eigenschaften von niederfrequenten EMF und Berechnungsmethoden für Betriebsmittel der Elektrizitätsversorgung

Dr. Reinhold Bräunlich

Fachkommission für Hochspannungsfragen (FKH)

Voltastrasse 9, 8044 Zürich

Niederfrequente elektrische und magnetische Felder gehen von praktisch allen in Betrieb stehenden elektrischen Einrichtungen aus. Ihre Intensität und Reichweite ist von vielen Faktoren abhängig. Elektrische Leitungen und Apparate im Wohnbereich und an Büro-Arbeitsplätzen erzeugen vor allem Magnetfelder in ihrer direkten Umgebung. Die Zonen wesentlicher Feldimmissionen liegen hier im Zentimeter- bis Meterbereich. Bei industriellen Anlagen mit elektrischen Antrieben, Elektrowärmeapparaten, Schweissanlagen, elektrochemischen Anlagen, aber auch bei medizinisch diagnostischen Apparaten ist die Variationsbreite der möglichen Feldstärken an Arbeitsplätzen am grössten. Die Feldimmissionen beschränken sich jedoch meistens auf innerbetriebliche Zonen, so dass nur in Ausnahmesituationen betriebsfremde Einrichtungen und Personen erhöhten niederfrequenten Feldern ausgesetzt werden.

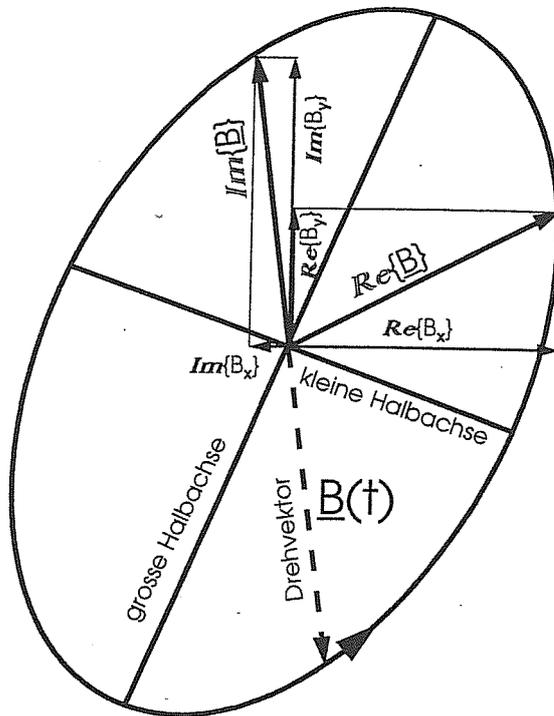
Die Felder von Installationen der elektrischen Energieversorgung und jene der elektrischen Bahnen besitzen zwar nicht höhere Intensitäten (Feldstärken) als andere Quellen; ihre Reichweite ist aber verhältnismässig gross. Die Zonen erhöhter Feldstärken können bei Hochspannungseinrichtungen bis zu Abständen von 100 m von der Quelle reichen. Deshalb können Einflüsse von Niederfrequenzfeldern grundsätzlich auch ausserhalb des Anlagenbereichs auftreten.

Da bei vielen Gebäuden der Abstand zu den Leitungstrasseen vor allem bei Kabelanlagen und Freileitungen nur wenige Meter beträgt (Minimalabstand), sind Beeinflussungsprobleme technischer Art (EMV-Probleme) in der Nähe von Starkstrom-Leitungen verhältnismässig häufig. Auch im Zusammenhang mit Spekulationen über mögliche gesundheitliche Auswirkungen von Niederfrequenzfeldern hat sich in jüngster Zeit das Interesse der Medien insbesondere auf Felder von grösseren Einrichtungen der elektrischen Energieversorgung konzentriert (z.B. Freileitungen). Dabei wird aber vielfach übersehen, dass allgemein innerhalb von Gebäuden die auftretenden elektrischen und magnetischen Felder von der Hausinstallation und vor allem von den im Haushalt eingesetzten Verbrauchern verursacht wird.

1. Darstellung und Beschreibung von Drehfeldern

Wie beim Wechselstrom und bei der Wechselspannung ändert sich auch die *elektrische Feldstärke* E und die *magnetische Flussdichte* \underline{B} mit der Zeit; d.h in einem Wechselfeld ändern in jedem Raumpunkt die *Feldvektoren* \underline{E} und \underline{B} laufend ihre Richtung und ihren Betrag.

Liegt ein **Zweiphasensystem** vor, so besitzen alle Spannungen bzw. alle Ströme nur zwei Phasenlagen die gegeneinander um 180° verschoben sind (beim Strom: Hin- und Rückstrom). Die Feldvektoren behalten ihre Ausrichtung im Raum, d.h. sie liegen je auf einer Geraden, die sie nicht verlassen. Sie wechseln ihre Richtung auf dieser Geraden zweimal pro Periode.



Figur 1
Drehfeldellipse in einem Raumpunkt

Beispiel anhand der magnetischen Flussdichte B eines Dreiphasensystems.

Zur kompletten Beschreibung eines monofrequenten Drehfelds (E-Feld oder B-Feld) in einem beliebigen Raumpunkt werden im allgemeinen Fall **sechs Parameter** benötigt: In allen drei Raumrichtungen je eine Phase und eine Amplitude beziehungsweise je ein Real- und ein Imaginärteil.

$$\vec{F} = \{\Re F_x, \Im F_x, \Re F_y, \Im F_y, \Re F_z, \Im F_z\}$$

Bei der Beschreibung eines Feldpunktes einer eindimensional ausgedehnten Feldquelle (Starkstromleitung) entfällt die Richtung der Leitungsachse, so dass nur noch vier Parameter nötig sind (siehe Figur 1).

Für die Schaffung eines ersten Überblicks über die möglichen Beeinflussungen von niederfrequenten Feldemittenten erweist sich in der Praxis die Angabe der Feldverteilung durch vier bzw. sechs Parameter pro Raumpunkt als zu kompliziert und nicht praktikabel. Folglich drängte sich die Frage nach einer vereinfachten Quantifizierung der Feldgrößen auf. Es hat sich deshalb eingebürgert, zunächst für jeden Raumpunkt nur den **Effektivwert** der Felder anzugeben.

Der Effektivwert ist der quadratische Mittelwert der Momentanfeldstärke über eine Netzperiode.

Felder in der Umgebung von **Drehstromeinrichtungen** verändern sich ebenfalls periodisch mit der Netzfrequenz (50 Hz). Dabei oszilliert aber nicht nur der resultierende Betrag des Feldstärke sondern es dreht sich auch die Feldrichtung pro Netzperiode (20 ms) einmal um 360° (**Drehfelder**). Werden elektrische oder magnetische Felder durch rotierende Pfeile dargestellt, so beschreiben die Pfeilspitzen im allgemeinen Fall Ellipsen. Bei gleichzeitigem Vorhandensein von Feldquellen verschiedener Frequenzen (z.B. gemischte Leitungen mit 50 Hz Drehstrom und $16\frac{2}{3}$ Hz Bahnstrom) beschreiben die Feldvektoren kompliziertere Raumkurven, die nicht zwingend in einer Ebene des Raums liegen.

Das elektrische- oder magnetische Drehfeld in einem Raumpunkt kann deshalb nicht mehr vollständig durch einen einzelnen Wert beschrieben werden.

Sind die sechs Parameter des Feldes F (Real- (\Re) und Imaginärteil (\Im) in den drei Raumrichtungen) in einem Punkt bekannt, so errechnet sich der Effektivwert aus der Wurzel der Quadratsumme wie folgt.

$$F_{eff} = |\underline{F}| = \sqrt{(\Re F_x)^2 + (\Im F_x)^2 + (\Re F_y)^2 + (\Im F_y)^2 + (\Re F_z)^2 + (\Im F_z)^2}$$

Oft werden Drehfelder auch durch Lage und Länge der grossen- und kleinen Halbachse der Drehfeldellipsen beschrieben. Diese Beschreibung ist jedoch bereits nicht mehr vollständig, da die Angabe über die Phasenlage fehlt.

Der Zusammenhang zwischen den komplexen Komponenten des Drehfeldvektors und den Halbachsen F_{gr} und F_{kl} der Drehfeldellipse ist gegeben durch die Beziehung:

$$F_{gr,kl} = \frac{1}{2} F_{eff}^2 \pm \frac{1}{2} \sqrt{(\Re F_x^2 + \Re F_y^2 + \Re F_z^2 - \Im F_x^2 - \Im F_y^2 - \Im F_z^2)^2 + 4(\Re F_x \cdot \Im F_x + \Re F_y \cdot \Im F_y + \Re F_z \cdot \Im F_z)^2}$$

Das Verhältnis der grossen Halbachse (des Feldmaximalwerts) zum Effektivwert von Drehfeldern nimmt Werte zwischen 1 und $\sqrt{2}$ an. Der Wert $\sqrt{2}$ gilt für das elektrische Feld stets an leitenden Oberflächen (z.B. an der Erdoberfläche) und für die magnetische Flussdichte stets an Oberflächen ferromagnetischer Stoffe. Der Wert 1 gilt für den Spezialfall, dass die Ellipse gleich lange Halbachsen besitzt und damit zu einem Kreis entartet.

Üblicherweise wird bei Drehstromfeldern unter den Begriffen "elektrische Feldstärke" und "magnetische Flussdichte" stets der Effektivwert verstanden.

Die Verwendung des Effektivwerts als massgebende Grösse für elektrische und magnetische Felder rechtfertigt sich damit, dass sich das Quadrat dieser Grösse direkt proportional zur **Energie** verhält, welche im Feld gespeichert ist. Das Quadrat des Effektivwerts ist auch proportional der umgesetzten Leistung in einem beeinflussten Objekt. Beim elektrischen Feld ist E_{eff}^2 ein Mass für die in einem verlustbehafteten Dielektrikum umgesetzte Leistung pro Zeiteinheit; in einem Flussdichtefeld ist B_{eff}^2 proportional zu der in einem leitfähigen Körper durch Wirbelströme umgesetzten Leistung.

Darstellungsmöglichkeiten von Feldverteilungen am Beispiel von elektrischen Energieübertragungsleitungen

Besonders einfach lassen sich Drehfelder von Mehrphasenleitungen darstellen, da die Vektoren bzw. Drehfeldellipsen in einer Ebene senkrecht zur Leitungssachse liegen. Die Feldverteilung in der Leitungsumgebung lässt sich deshalb mittels eines Querschnittsbilds durch das Leitungstrasseee vollständig abdecken.

Fig. 2 zeigt einen Ausschnitt aus einer Leiterseilkonfiguration, in welchem nachfolgend Beispiele von Feldverteilungen aufgezeigt werden. Fig. 3 enthält eine Pfeildarstellung für die Momentanwerte der elektrischen Feldstärke in diskreten Raumpunkten. Für dieselbe Leiterseilanordnung ist in Fig. 4 die Rotation der E-Feldvektoren für eine Netzspannungsperiode in Form von Drehfeldellipsen dargestellt.

Die Darstellungen mit Pfeilen oder Ellipsen geben zwar eine gute Übersicht über die Feldbeschaffenheit, sie erschweren aber das Herauslesen von Absolutwerten der Feldparameter. Deshalb werden in der Praxis oft auch Querschnittsbilder von **Linien gleichen Effektivwerts** der Feldstärke verwendet (Fig. 5).

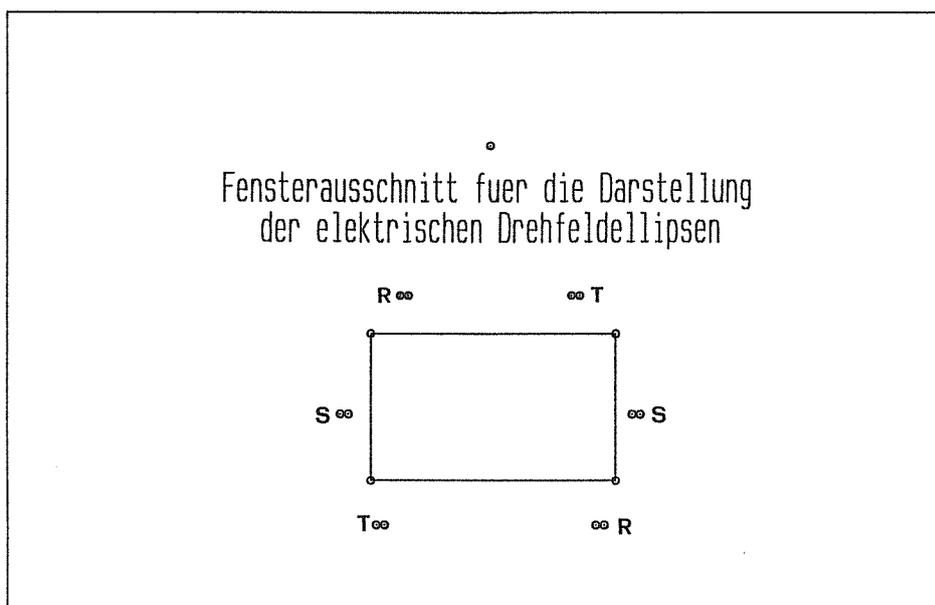


Fig. 2 **Bereichsausschnitt für E-Feld Modellrechnungen**
Schematische Darstellung der Leiterseile und des Erdseils einer 220 kV Freileitung mit eingezeichnetem Bereich für die Darstellungen von Feldverteilungen in den Figuren 3 und 4.

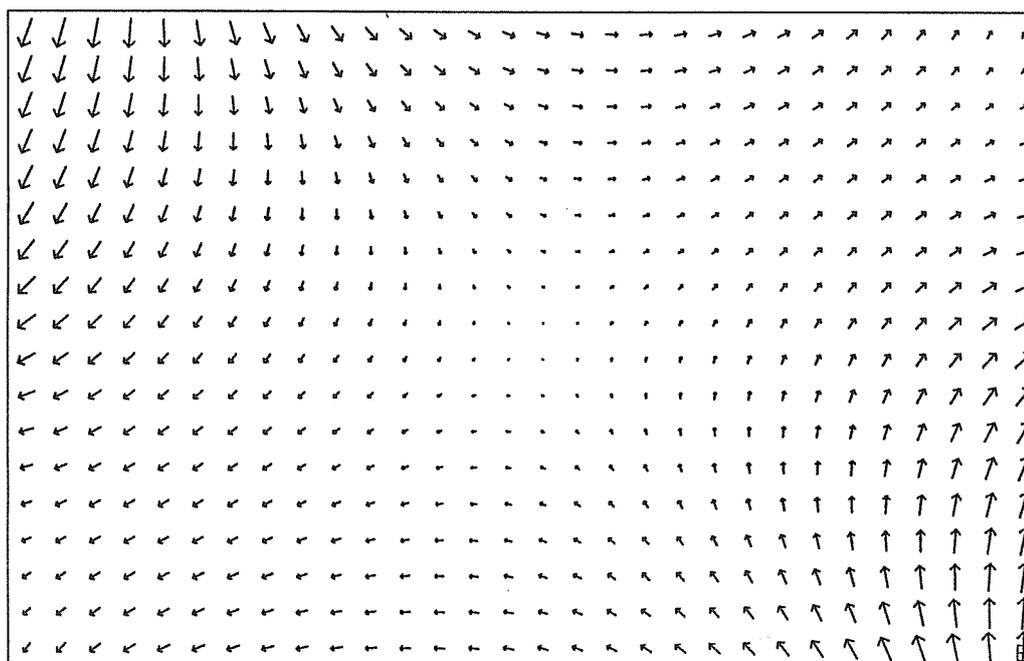


Fig. 3 **Pfeildarstellung eines elektrischen Drehfelds (Computerberechnung)**
Elektrisches Feld im Raum zwischen den in Fig. 2 dargestellten Leitern der 220 kV-Freileitung zum Zeitpunkt des Spannungsnulldurchgangs an der Phase R.

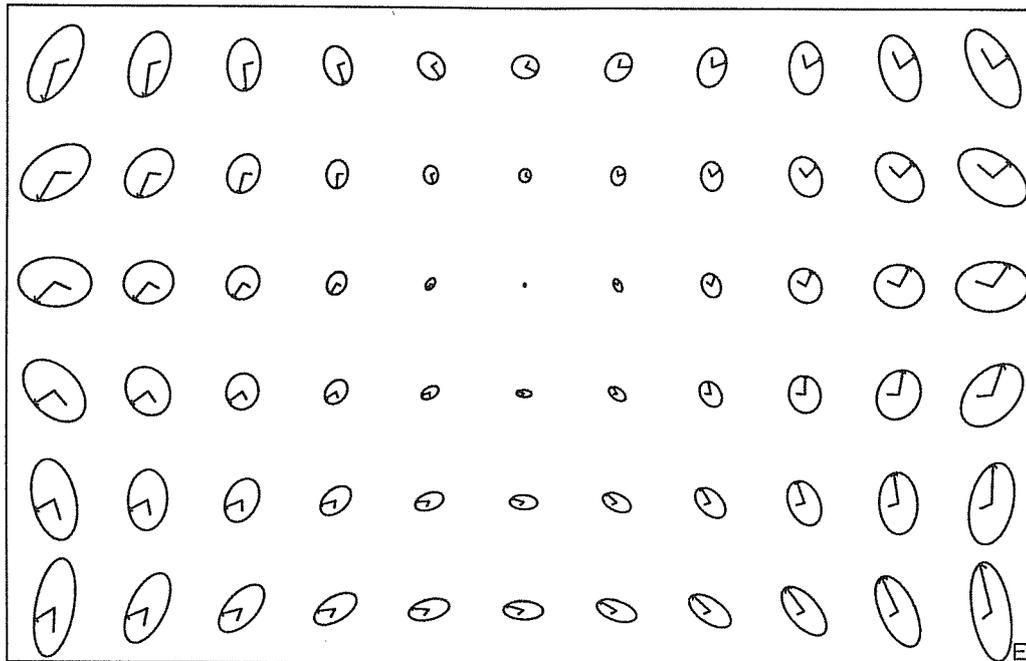


Fig. 4

Drehfeld-Ellipsendarstellung

Für denselben Feldausschnitt wie in Fig. 3 wurde mit dem Computer eine Darstellung generiert, welche die gesamte Information des elektrischen Wechselfelds in diskreten Raumpunkten enthält: Die dargestellten Ellipsen sind geometrische Ortskurven für den Feldvektor während einer Netzperiode. Die Pfeile zeigen Richtung und Betrag des Realteils; die kurzen Striche zeigen die Richtung des Imaginärteils (zeitliche Verschiebung um 90°). Der Imaginärteil ist zur besseren Sichtbarkeit verkürzt gezeichnet und müsste maßstäblich richtig wie der Realteil bis zum Ellipsenrand reichen.

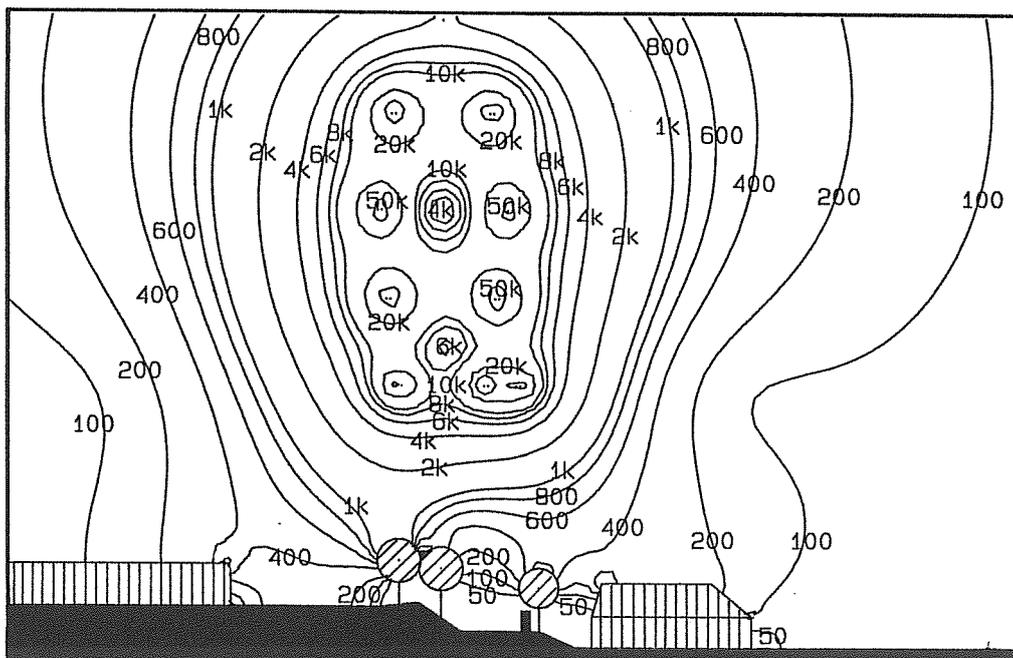


Fig. 5

Linien gleichen Effektivwerts der Feldstärke (Isfeldlinien)

Praktisches Beispiel eines Querschnitts durch ein Trasse einer 380 kV / 220 kV-Freileitung mit Darstellung des Effektivwerts der elektrischen Feldstärke. Das Gelände und die Gebäude wurden vereinfacht zweidimensional nachgebildet. Die Beschriftung der Linien (Isfeldlinien) wurde in der Einheit [V/m] vorgenommen.

In der Praxis besteht nur in Ausnahmefällen ein Bedarf, den ganzen Feldraum in der Umgebung einer Freileitung oder einer Kabelanlage darzustellen. Deshalb werden bei EMF-Studien die Feldstärken meistens entlang von *Profilen* berechnet bzw. ausgewertet.

Für die Quantifizierung der für Personen relevanten Feld-Emissionen einer Starkstromleitung ist die Betrachtung von *horizontalen Querprofilen zur Leitungsachse in einer Höhe von einem Meter über Boden* sehr verbreitet (vgl. Fig. 6 und 7).

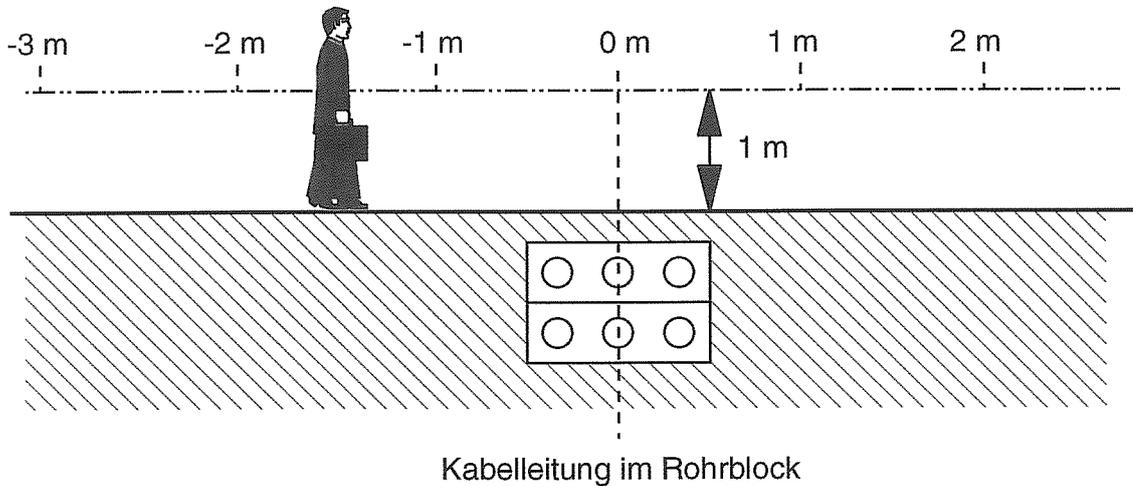


Fig. 6 Beispiel zur Lage eines Querprofils über einer Kabelanlage (vgl. Fig. 7)

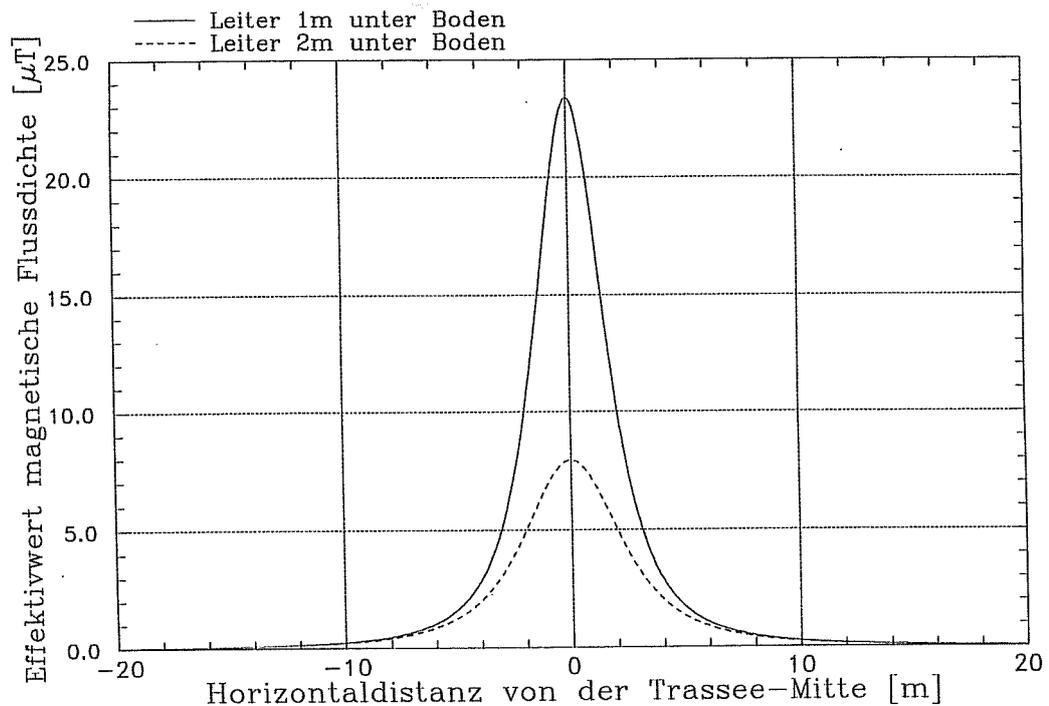


Fig. 7 **B-Feldprofil in der Umgebung eines Energiekabels**
 Profile des Effektivwerts der magnetischen Flussdichte 1 m über dem Erdboden für eine Kabelanlage mit zwei Strängen gemäss Fig. 6 mit optimierter Phasenbelegung bei Betriebsströmen von je 1000 A.

2. Berechnung elektrischer Felder

Für die Berechnung elektrischer Felder existieren eine Reihe von *numerischen Verfahren*:

- Methode der finiten Elemente
- Methode der finiten Differenzen
- Ladungssimulationsverfahren
 - Simulation von Punkt und Linienladungen
 - Oberflächenladungssimulation
- Multipolverfahren

Für diese Methoden sind geeignete Computerprogramme auf dem Markt, wobei auch einige Feldberechnungsprogramme für dreidimensionale Probleme verfügbar sind. Einige für Niederfrequenzprobleme geeignete Methoden werden in [3] besprochen.

Bei einfachen Anordnungen, wie bei Freileitungen, deren Seile in guter Näherung als unendlich lange zylindrische Leiter angesehen werden können, sind auch *analytische Näherungen* möglich. Dabei wird auf die einfachste Form der Ladungssimulationsmethode zurückgegriffen.

Bei dieser Methode [1], [2] werden Linienladungen in den Zentren der Leiterseile so bestimmt, dass das Potential an den Leiteroberflächen (bzw. an einem Kontrollpunkt oder Aufpunkt an der Leiterseiloberfläche) gleich der vom Betrieb her gegebenen Leiterspannung ist. Sind die Ladungen auf diese Weise bestimmt, so lässt sich das elektrische Feld in der Umgebung des Leiterseilsystems durch Superposition der Feldanteile jeder Linienladung in einem beliebigen Raumpunkt P berechnen (siehe Fig. 8). Da in jedem der Leiterseile auch Ladungen der anderen Leiterseile beeinflusst werden, ist die Beziehung zwischen Ladungen und Leiterseilspannungen durch eine Koeffizientenmatrix verknüpft.

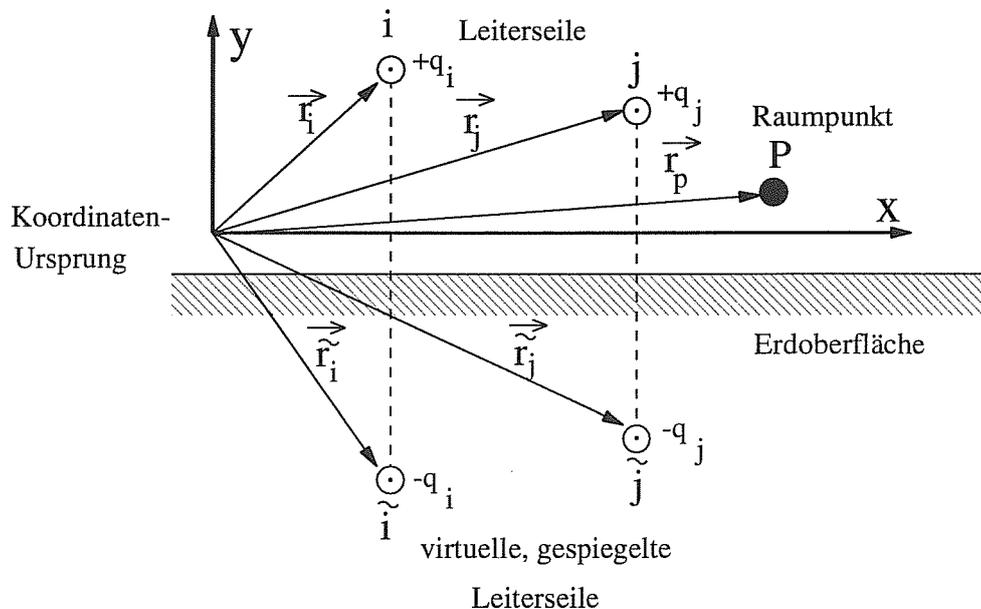


Fig. 8 Definition der Symbole für die E-Feldberechnung an Freileitungen

$$\underline{U} = \underline{K} \cdot \underline{q}$$

- \underline{U} : Vektor der Leiterspannungen [V]
 \underline{K} : Matrix der Einflussfaktoren [Vm/As]
 \underline{q} : Vektor der Linienladungen in den Leiterzentren pro Längeneinheit [As/m].

Setzt man die längenbezogene Linienladung q_i als bekannt voraus, so ergibt sich das elektrische Feld in der Umgebung des Leiters i im Punkt P (siehe Figur 8) unter Berücksichtigung der Spiegelladung im Erdboden wie folgt:

$$\vec{E}_{i,p} = q_i \cdot \frac{1}{2 \cdot \epsilon_0 \cdot \pi} \cdot \left(\frac{\vec{r}_i - \vec{r}_p}{(\vec{r}_i - \vec{r}_p)^2} - \frac{\vec{\tilde{r}}_i - \vec{r}_p}{(\vec{\tilde{r}}_i - \vec{r}_p)^2} \right)$$

- \vec{r}_i : Ortsvektor des Leiters i
 $\vec{\tilde{r}}_i$: Ortsvektor des virtuell gespiegelten Leiters i
 \vec{r}_p : Ortsvektor zum Raumpunkt P
 ϵ_0 : Permittivität des Vakuums [As/Vm]

Durch Integration der Feldstärke E_i von der Oberfläche des gespiegelten Leiterseils $\vec{\tilde{r}}$ zur Oberfläche des Leiterseils i erhält man die doppelte Leiterspannung U_i .

$$U_i = 1/2 q_i \cdot \frac{1}{2 \cdot \epsilon_0 \cdot \pi} \cdot \int_{\vec{\tilde{r}}_i}^{\vec{r}_i} \left(\frac{\vec{r}_i - \vec{r}_p}{(\vec{r}_i - \vec{r}_p)^2} - \frac{\vec{\tilde{r}}_i - \vec{r}_p}{(\vec{\tilde{r}}_i - \vec{r}_p)^2} \right) d\vec{r}_p = q_i \cdot \frac{1}{2 \cdot \epsilon_0 \cdot \pi} \cdot \ln \frac{|\vec{r}_i - \vec{\tilde{r}}_i|}{r_i}$$

- r_i : Radius des Leiters i

Daraus ergibt sich der Einflusskoeffizient k_{ii} für die Spannung des Leiters i von seiner eigenen Ladung q_i :

$$k_{ii} = \frac{1}{2 \cdot \epsilon_0 \cdot \pi} \cdot \ln \frac{|\vec{r}_i - \vec{\tilde{r}}_i|}{r_i}$$

Die Einflusskoeffizienten zwischen zwei verschiedenen Leitern untereinander ergeben sich auf ähnliche Weise zu:

$$k_{ij} = \frac{1}{2 \cdot \epsilon_0 \cdot \pi} \cdot \ln \frac{|\vec{r}_i - \vec{\tilde{r}}_j|}{|\vec{r}_i - \vec{r}_j|}$$

Durch Invertierung der Matrix \underline{K} erhält man aus den gegebenen Leiterspannungen die Linienladungen pro Längeneinheit:

$$\underline{q} = \underline{K}^{-1} \cdot \underline{U}$$

Die Feldstärken in der Umgebung der Mehrfachleitung (hier im Punkt P) erhält man durch vektorielle Addition der Feldanteile aller vorhandener Leiter (Anzahl n):

$$\vec{E}_p = \sum_{i=1}^n q_i \cdot \frac{1}{2 \cdot \epsilon \cdot \pi} \cdot \left(\frac{\vec{r}_i - \vec{r}_p}{(\vec{r}_i - \vec{r}_p)^2} - \frac{\vec{r}_i - \vec{r}_p}{(\vec{r}_i - \vec{r}_p)^2} \right)$$

Bei der Berechnung von Wechsel- und Drehfeldern können für die Leiterseilspannungen und die Linienladung komplexe Werte verwendet werden. Für das Ergebnis erhält man dann die komplexen Feldkomponenten in horizontaler und vertikaler Richtung, welche die Drehfeldellipse beschreiben.

3. Berechnung magnetischer Felder

Das magnetische Wirkungsfeld um stromdurchflossene Leiter kann grundsätzlich durch zwei physikalische Feldgrößen beschrieben werden: die magnetische Feldstärke \underline{H} in $[A/m]$ und die magnetische Flussdichte oder Induktion \underline{B} in Tesla $[1 T = 1 Vs/m^2]$ ¹⁾.

Der Zusammenhang zwischen der Flussdichte (auch B-Feld) und der Feldstärke (auch H-Feld) ist durch nachstehende Beziehung gegeben:

$$\vec{B} = \vec{H} \cdot \mu_0 \cdot \underline{\underline{\mu_r}} \quad (\mu_0 = 4 \cdot \pi \cdot 10^{-7} Vs/Am \cong 1.26 \cdot 10^{-6} Vs/Am)$$

Die Berechnung magnetischer Felder von gestreckten Leitern in einem elektrisch nicht leitfähigen Medium konstanter Permeabilität ($\mu = \mu_0 \cdot \mu_r$) kann leicht *analytisch* durchgeführt werden. Wird der Strom als Vektor eingeführt, so ergibt sich das B-Feld eines Leiters in einem beliebigen Raumpunkt aus der Beziehung

$$\vec{B} = \mu / (2\pi r^2) \cdot \vec{I} \times \vec{r} .$$

Dabei ist \vec{r} der Ortsvektor ausgehend von der Leiterachse zum betrachteten Punkt. Nach dem Feldüberlagerungsprinzip werden die Beiträge jedes Leiters vektoriell addiert. Sind die Ströme sinusförmig und besitzen sie die selbe Frequenz, dann können sie als komplexe Größen in obige Beziehung eingesetzt werden. Horizontal- und Vertikalkomponente des B-Felds erhalten damit je einen Real- (\Re) und Imaginärteil (\Im). Der Effektivwert des Felds ergibt sich zu

$$B_{eff} = |\underline{B}| = \sqrt{(\Re B_x)^2 + (\Im B_x)^2 + (\Re B_y)^2 + (\Im B_y)^2}.$$

Für komplexere Fälle können zur Berechnung von Magnetfeldern auch *numerische Verfahren* eingesetzt werden; entsprechende Computerprogramme sind kommerziell erhältlich. Müssen keine magnetischen Materialien in die Berechnungen einbezogen werden und können Wirbelströme vernachlässigt werden, so kann die numerische Berechnung mit dem Elementarsatz von Laplace erfolgen:

$$\vec{B}(\vec{r}) = \frac{\mu_0}{4\pi} \cdot \int \int \int_V \frac{1}{r^3} (\vec{j} \times \vec{r}) dV$$

1) Für das Magnetfeld H ist auch die Einheit Oersted ($1 Oe = 10^3/4\pi A/m$), für die magnetische Flussdichte B auch die Einheit Gauss ($1 G = 10^{-4} Vs/m^2$) üblich.

dabei ist: \vec{r} der Ortsvektor ausgehend vom stromdurchflossenen Volumenelement zum betrachteten Raumpunkt
 \vec{j} die Stromdichte im Volumenelement dV .

Die Integration der Feldanteile aus allen Volumenelementen erfolgt dann durch Summation der Beiträge von endlichen aber ausreichend kleinen Flächen- oder Volumenelementen.

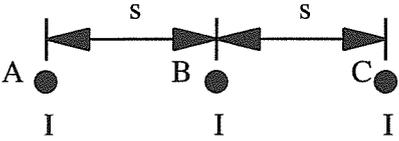
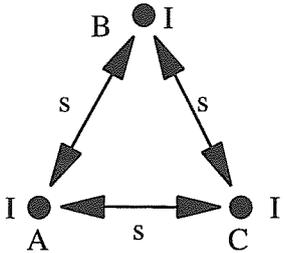
4. Analytische Näherungen für das Fernfeld der magnetischen Flussdichte B einiger einfacher Leiterseilanordnungen von Dreiphasensystemen

Da die magnetischen Felder (bzw. die magnetischen Flussdichtefelder) praktisch nicht durch die Umgebung beeinflusst werden, sondern ausschliesslich von den Leitungsströmen abhängen, besitzen B -Felder einfache und übersichtliche Eigenschaften. Es lassen sich deshalb auch praktische Gesetzmässigkeiten finden, die eine Abschätzung von magnetischen Flussdichten im Fernbereich von Freileitungen zulassen.

Die meisten Gesetzmässigkeiten gelten auch näherungsweise für die elektrischen Felder von Freileitungen. Unterschiede entstehen jedoch infolge der Influenzladungen auf Erdpotential und auch aufgrund der gegenseitig influenzierten Ladungen auf den Leiterseilen.

Im folgenden werden einige analytische Näherungsformeln für das Fernfeld ($R \gg s$) der magnetischen Flussdichte B für einfache Leiterseilanordnungen von Dreiphasensystemen angegeben. Die Beziehungen wurden der Literaturstelle [4] entnommen.

Dabei ist R der Abstand vom Zentrum der Leiteranordnung. Die Indizes gr und kl stehen für *grosse* und *kleine* Halbachse der Drehfeldellipse.

 <p>Dreiphasen-Linienanordnung (Jede Phase trägt den Strom I)</p>	$B_{rms} = B_{gr} = \frac{\mu_0 \cdot \sqrt{3} \cdot s \cdot I}{2\pi \cdot R^2}$ $B_{kl} = 0$
 <p>Dreiphasen-Linienanordnung (Jede Phase trägt den Strom I)</p>	$B_{rms} = \frac{\mu_0 \cdot \sqrt{6} \cdot s \cdot I}{4\pi \cdot R^2}$ $B_{kl} = B_{gr} = \frac{\mu_0 \cdot \sqrt{3} \cdot s \cdot I}{4\pi \cdot R^2}$

Elektrische und magnetische Felder von Hochspannungsleitungen Berechnungs- und Messbeispiele aus der Praxis

Dr. Dieter Reichelt

Nordostschweizerische Kraftwerke AG (NOK)
Parkstrasse 23, 5400 Baden

1. Einleitung

Im BUWAL Bericht Nr. 214 werden Grenzwerte für die Immission von elektrischen und magnetischen Feldern empfohlen. In Kapitel 3 dieses Berichts werden unter anderem auch Hoch- und Mittelspannungsleitungen als Quellen für Felder beschrieben.

Mit der Verwendung numerischer Feldberechnungsverfahren ist es möglich, realitätsgetreue Querprofile der elektrischen und magnetischen Felder von Leitungen zu erstellen. Die heute kommerziell erhältlichen Produkte erlauben komfortable Darstellungsarten: Einzelwerte für Felder an bestimmten Punkten, zeitlicher Verlauf des Feldvektors an einem Ort (Ellipsen bei Feldern von Dreiphasensystemen), Verlauf der Feldstärken entlang einer Linie, Flächen gleicher Feldstärke (s. Referat Dr. R. Bräunlich: Eigenschaften von niederfrequenten EMF und Berechnungsmethoden für Betriebsmittel der Elektrizitätsversorgung).

Berechnete Feldprofile für die Spannungsebenen von 50 kV bis 380 kV zeigen, dass die Felder im öffentlich zugänglichen Bereich unter den empfohlenen Grenzwerten liegen. In diesem Referat wird gezeigt, wie elektrische und magnetische Felder mit numerischen Methoden simuliert werden können, auch für komplexe Situationen. Die Optimierung der Phasen-anordnung und -gruppierung am Beispiel eines Portalmastes zeigt die Vorteile einer Simulation der Felder mit geeigneten Programmwerkzeugen.

Eine Messreihe über einen Zeitraum von 24 Stunden zeigt den zeitlichen Verlauf des magnetischen Feldes in der Umgebung einer Höchstspannungsleitung.

2. Berechnung elektrischer und magnetischer Felder

Für einfache Anordnungen können die Werte der Felder entlang einer Linie 1m über dem Erdboden noch mit Näherungsformeln berechnet werden. Liegen komplexere Situationen vor, so müssen numerische Methoden verwendet werden. Die heute kommerziell erhältlichen Softwareprodukte für die Berechnung elektrischer und magnetischer Felder beruhen auf der Methode der finiten Elemente (FEM Finite Elements Method) oder auf der Methode der Oberflächenladungssimulation (CSM: Charge Simulation Method, BEM: Boundary Element Method).

Die Anwendung numerischer Feldberechnungsmethoden wird an einem konkreten Beispiel einer Hochspannungsfreileitung mit zwei Strängen von unterschiedlicher Spannung gezeigt. Ein Strang wird mit 380 kV betrieben, der andere mit 220 kV. Die Leiter des 380 kV-Strangs sind als 3-er Bündel ausgeführt, diejenigen des 220 kV-Strangs als 2-er Bündel. Das Gelände unter der Leitung ist zudem geneigt. Die Felder dieser Leitung können nur mit numerischen Feldberechnungsmethoden simuliert werden. Die Resultate der Feldberechnungen werden präsentiert und ausgewertet. Eine zweidimensionale Darstellung des B-Fel-

des mit Flächen gleicher Feldstärke erlaubt auch eine Abschätzung der Feldstärken innerhalb von Gebäuden in der Nähe der Leitung.

3. Simulation und Optimierung der Phasenordnung

Am Beispiel eines Portalmastes wird gezeigt, wie durch eine optimale Anordnung der Phasen die Werte für das elektrische und magnetische Feld minimiert werden können. Durch eine einfache Simulation kann die optimale Phasenordnung ermittelt werden.

Neben der optimalen Anordnung der Phasen kann bei Portalmasten durch eine geschickte Gruppierung der Phasen eine weitere Reduktion des magnetischen Feldes erreicht werden.

Bei Portalmasten mit zwei Strängen können diese entweder horizontal übereinander oder im Dreieck nebeneinander angeordnet werden. Die elektrischen Felder dieser beiden Gruppierungen unterscheiden sich nicht wesentlich. Das gleiche gilt für die magnetischen Felder, falls als Ausgangslage für die Berechnung eine Belastung beider Stränge mit dem thermischen Grenzstrom angenommen wird. Falls die beiden Stränge jedoch, was der Realität im Betrieb näherkommt, verschieden belastet sind, sind die Werte des magnetischen Feldes bei einer Gruppierung im Dreieck niedriger als bei der horizontalen Gruppierung.

4. Zeitlicher Verlauf der Feldwerte

Während das elektrische Feld in Folge der Abhängigkeit von der Spannung zeitlich nahezu konstant bleibt, variiert das magnetische Feld stark. Die Grösse des Magnetfeldes hängt neben der Mastgeometrie und der Anordnung der Phasen von einer Reihe weiterer Faktoren ab: von der Belastung der einzelnen Stränge, von der Phasenlage des Stroms in den Strängen und von der Flussrichtung der Ströme bei Leitungen mit mehreren Strängen.

Bei Bewilligungsverfahren wird heute der thermische Grenzstrom für die Berechnung der magnetischen Felder von Hochspannungsleitungen eingesetzt. Feldstärken in der Höhe dieser berechneten Werte werden jedoch im Normalbetrieb nicht erreicht. Im zeitlichen Mittelwert sind die Feldstärken aus verschiedenen Gründen weit geringer.

Die Leitungen werden aus betrieblichen (Ausfallsicherheit) und wirtschaftlichen (Verluste) Überlegungen nicht mit dem thermischen Grenzstrom betrieben. Die Belastung variiert im Tagesverlauf über einen weiten Bereich, zudem ist sie bei mehrsträngigen, nicht parallel betriebenen Leitungen für die einzelnen Stränge unterschiedlich. Auch die Phasenlage des Stroms ist in den einzelnen Strängen unterschiedlich.

Eine Messung der magnetischen Felder über 24 Stunden eines willkürlich herausgegriffenen Tages bestätigt diesen Sachverhalt. Dabei stellt sich die Frage, ob weiterhin mit den thermischen Grenzströmen als schlimmstmöglichem Fall gerechnet werden soll, oder ob die Berechnung der magnetischen Felder auf der Basis eines Stromwerts erfolgen soll, der die betriebliche Realität über einen möglichst grossen Zeitbereich besser wiedergibt.

5. Literaturhinweise

H.-J. Haubrich: „Der Mensch im elektrischen und magnetischen Niederfrequenzfeld“, etz, Band 115, 1994, Heft 3, S. 128-133.

S. Michaud: „Berechnung und Messung elektromagnetischer Felder“, Bulletin SEV/VSE, Band 83, 1992, Heft 11, S. 45-49.

R. Bräunlich, G. Biasiutti: „Elektromagnetische Felder von Kabelanlagen“, ETG Kabelseminar für Spannungen > 20 kV, Zürich 1992, S. 149 - 167.

IEEE Magnetic Fields Task Force: „Magnetic Fields from Electric Power Lines - Theory and Comparison to Measurements“, IEEE Transactions on Power Delivery, Vol. 3, No. 4, 1988, S. 2127 - 2136.

Mesures à prendre pour diminuer l'amplitude du champ magnétique dans les installations MT/BT

Bernard Bugnon

Service industriels de Genève (SIG)

Rue du Stand 12, 1211 Genève 11

1. Problématique

En 1989 pour la première fois, nous avons été confronté avec un problème de perturbation par le champ magnétique basse fréquence. La téléphoniste d'une banque avait été placée avec son PC dans un local jouxtant le poste MT/BT. A la même époque, une société de publicité équipée de postes DAO est venue s'installer, dans un bâtiment artisanal, au-dessus d'un poste MT/BT en remplacement d'un atelier de mécanique. D'autres cas ont surgi les années suivantes.

Le symptôme révélateur est chaque fois la déformation des images des écrans des consoles informatiques. En effet, les champs magnétiques extérieurs provoquant une déflexion du faisceau électronique des tubes cathodiques, entraînent ainsi une distorsion voire un mouvement des images, qui peut être extrêmement désagréable pour l'opérateur et qui peut aller jusqu'à l'illisibilité complète. Ce phénomène peut intervenir dès la présence d'un champ basse fréquence de 1 A/m (1.3 μ T). Aucun autre système électronique ou informatique n'est perturbé dans l'environnement immédiat de nos installations MT et BT. Par contre, avec la mise en évidence des effets du champ magnétique sur les écrans nous sommes confrontés aux questions de nos clients concernant son effet sur le corps humain.

Nous suivons les recommandations de l'IRPA qui donnent 80 A/m (100 μ T) 24h/24 et 800 A/m (1000 μ T) quelques heures par jour comme valeurs limites pour le grand public. A un mètre de distance de nos installations, on peut mesurer au maximum 50 A/m (63 μ T) sauf pour un jeu de barres BT parcouru par un courant de 1500 A où l'on mesure plus de 100 A/m (130 μ T).

2. Essais de laboratoire

2.1 Essais comparatifs de jeux de barres et de transformateurs

Dès 1990, SIG a lancé une campagne de mesures pour connaître le champ magnétique rayonné par le jeu de barres 1500 A de leurs postes MT/BT.

La société EMC Fribourg a été mandatée pour élaborer un modèle théorique, effectuer les mesures et suggérer des améliorations.

Nous avons comparé le rayonnement de différents types de jeux de barres et nappes de câbles d'une longueur de 5 m.

- 5 jeux de barres blindés de 4 fabricants
- 1 jeu de barres SIG sans blindage, avec blindage Fer, avec blindage mu métal, avec blindage Fer et mu métal.
- 1 nappe de 4 x 4 câbles de 150 mm² arrangés de 4 manières différentes.

Nous avons, par ailleurs, mesuré et comparé le rayonnement de 2 transformateurs de 630 kVA de deux constructeurs différents. Nous avons aussi modifié les bornes d'un transformateur et mesuré le rayonnement pour 3 dispositions différentes des bornes.

Conclusions:

- a) Avec tous les jeux de barres compacts de différents fournisseurs, on obtient un champ inférieur à 2 A/m (2.5 μ T) à 1.5 m de distance pour un courant de 1500 A.
- b) Avec une nappe de câbles compact et dont les phases sont judicieusement arrangées on peut obtenir moins de 2 A/m (2.5 μ T) à 2 mètres de distance pour un courant de 1500 A.
- c) A une distance de 1 mètre de l'axe d'un transformateur de 1000 kVA, on mesure un champ approximatif de 40 A/m (50 μ T). L'arrangement judicieux des connexions internes peut réduire ce chiffre de moitié.

2.2 Essai d'un poste 1000 kVA avec jeu de barres blindé

En 1993, SIG a entrepris une deuxième campagne de mesures pour évaluer le rayonnement d'un ensemble transformateur, jeu de barres compact et tableau BT. L'objectif principal était de tester cette solution avant de l'installer chez un client. Cet essai permettait aussi de connaître le rayonnement de notre tableau BT.

Nous avons aussi pu tester l'atténuation produite par une paroi constituée de tôles en mu métal de 1.5 mm d'épaisseur placée devant le transformateur ou le tableau BT. Ce matériau coûte environ Fr. 1'000.-/m² et doit subir un traitement thermique après usinage.

Conclusions:

- a) Le jeu de barres blindé est efficace. On retrouve 2 A/m (2.5 μ T) à une distance de 1.5 m environ.
- b) Le transformateur reste l'élément le plus polluant avec 15 à 20 A/m (19 à 24 μ T) à 1 m de distance.
- c) La présence d'écrans en mu métal abaisse le niveau du champ magnétique d'un facteur de deux à trois. L'écran doit être placé le plus près possible du perturbateur et dépasser d'au moins 0.5 m de chaque côté.

3. Solutions chez des clients

La plupart des cas de perturbation par le champ magnétique ont été résolus par le déplacement des écrans perturbés vers d'autres locaux. A notre connaissance, l'excellente solution de placer les écrans dans des caissons en mu métal n'a jamais été appliquée certainement à cause de son coût. Pour un poste-réseau et un poste-client nous avons effectué un changement du jeu de barres. Dans le premier cas, la modification a été faite avec une nappe de câble tandis que pour le second un jeu de barres blindé du commerce a été utilisé (fig. 1 à 4).

4. Développements futurs

Il y a quelques années, on évitait de parler de ce type de perturbations. Aujourd'hui, les architectes, les installateurs et nos clients viennent nous poser des questions à ce sujet. Il nous faut donc connaître le niveau de rayonnement de nos installations afin de pouvoir les rassurer et leur donner des conseils pour leurs propres installations.

Les écrans à tubes cathodiques sont amenés à disparaître au profit d'écrans plats insensibles au champ magnétique. Il reste l'homme qui, pour son confort sinon pour sa santé, exigera de vivre dans un champ magnétique toujours plus faible.

Nos installations courant fort ayant une durée de vie de 30 ans au moins, il nous faut, dès à présent, les construire en prenant un certain nombre de précautions élémentaires pour limiter au maximum le champ magnétique surtout à proximité des lieux de présence de l'homme.

Massnahmen zur Reduktion von magnetischen Feldern in Mittel- und Niederspannungsinstallationen

Bernard Bugnon

Services industriels de Genève (SIG)

Rue du Stand 12, 1211 Genève 11

1. Problemstellung

Erstmals wurden die SIG 1989 mit dem Problem einer durch niederfrequente, magnetische Felder verursachte Störung konfrontiert. Der Arbeitsplatz der Telefonistin einer Bank, der mit einem PC ausgerüstet war, wurde an die Wand verlegt, hinter der sich die Transformatorstation befand. Im gleichen Zeitraum installierte sich eine Werbeagentur, ausgerüstet mit verschiedenen Bildschirm-Arbeitsplätzen, in einem Gewerbebau direkt über der Transformatorstation, wo früher eine mechanische Werkstatt eingerichtet war. Weitere ähnliche Störungsmeldungen mussten wir in den folgenden Jahren entgegennehmen.

Die Störungssymptome waren immer Bildstörungen an Computer-Monitoren. Die externen Magnetfelder verursachten eine Ablenkung des Elektronenstrahls in der Bildröhre, die entweder zu einer Bildverzerrung oder zu Bildbewegungen führten, was für den Bildschirmbenützer sehr unangenehm ist oder aber den Bildschirm völlig unlesbar macht. Dieses Phänomen kann bereits durch ein magnetisches Feld niedriger Frequenz von 1 A/m (1.3 μ T) verursacht werden. Andere Komponenten von Rechneranlagen und von elektronischen Systemen werden durch solche schwachen Felder, die in der Umgebung unserer MS- und NS-Installationen auftreten können, nicht beeinflusst. Diese sichtbaren Auswirkungen von Magnetfeldern führten zur Frage unserer Kunden, welchen Einfluss diese Felder auf den menschlichen Körper haben können.

Bei der Planung unserer Anlagen befolgen wir die Empfehlungen der IRPA, welche 80 A/m (100 μ T) bei einer dauernden Exposition und 800 A/m (1000 μ T) für eine Exposition von einigen Stunden im Tag als Limite für die Allgemeinheit postuliert. In einem Abstand von einem Meter von unseren stromführenden Installationen misst man im Maximum 50 A/m (63 μ T), für ein Stromschienensystem, das mit einem Strom von 1500 A belastet ist, misst man mehr als 100 A/m (130 μ T). Diese Belastung tritt allerdings höchstens für kurzzeitige Spitzen auf.

2. Laborversuch

2.1 Vergleichende Versuche an Stromschienensystemen und Transformatoren

Um 1990 startete die SIG eine Reihe von Versuchen um das magnetische Feld der 1500 A-Sammelschienensysteme in ihren MS/NS-Transformatorstationen kennen zu lernen.

EMC Freiburg wurde beauftragt, ein rechnerisches Modell zu entwickeln, um Messungen an Versuchsanlagen auszuführen und um Verbesserungen vorzuschlagen.

Es wurden die Emissionen von verschiedenen Typen von Sammelschienensystemen und Kabelanlagen mit einer Länge von 5 m gemessen und verglichen:

- Fünf abgeschirmte 3-phasige Stromschienensysteme von 4 Herstellern
- Ein unabgeschirmtes 3-phasiges Stromschienensystem der SIG mit Blechkapselung und mit Mu-Metall-Kapselung.
- Eine Kabelpritsche mit 4 x 4 Kabeln von 150 mm², die auf 4 verschiedene Arten auf der Pritsche angeordnet waren.

Im weiteren wurden die Emissionen von zwei 630 kVA-Transformatoren unterschiedlicher Bauart gemessen, wobei versucht wurde durch die Veränderung der Klemmenanordnung die Emission zu verändern.

Resultat der Versuche:

- a) Bei allen Stromschienensystemen der verschiedenen Hersteller beträgt das magnetische Feld bei einer Belastung von 1500 A, gemessen im Abstand von 1.5 Meter, weniger als 2 A/m ($< 2.5 \mu\text{T}$).
- b) Bei auf einer Kabelpritsche kompakt angeordneten Kabeln, ohne dass die Phasen optimiert angeordnet sind, misst man bei einem totalen Strom von 1500 A in einem Abstand von 2 Meter ein magnetisches Feld kleiner als 2 A/m ($< 2.5 \mu\text{T}$).
- c) Im Abstand von einem Meter von der Achse eines 1000 kVA-Transformators misst man ein Feld von ca. 40 A/m ($50 \mu\text{T}$). Mit einer optimalen Klemmenanordnung kann dieser Wert um die Hälfte reduziert werden.

2.2 Versuch mit einer 1000 kVA-Anlage mit abgeschirmten NS-Sammelschienen

1993 unternahm die SIG eine zweite Reihe von Laborversuchen, um die Emission einer Transformatorenstation mit Transformator, kompakter Sammelschienenanordnung und den Niederspannungs-Sicherungsabgängen zu messen. Das Ziel war, die neue Anlagendisposition zu testen, bevor sie im Gebäude eines Kunden installiert wurde. Dieser Versuch gestattete die Emissionen unseres Anlagenkonzeptes zu messen.

Durch den Einsatz eines Schutzschirmes aus Mu-Metallblech von 1.5 mm Dicke vor dem Transformator oder vor den NS-Sicherungsabgängen konnte dessen Wirkung gemessen werden. Das Material dieses Schutzschirmes kostet ca. Fr. 1'000.-/m² und muss nach der mechanischen Bearbeitung einer thermischen Behandlung unterzogen werden.

Resultat der Versuche:

- a) Das abgeschirmte Sammelschienensystem ist wirkungsvoll. Man misst in einem Abstand von ca. 1.5 m 2 A/m ($2.5 \mu\text{T}$).
- b) Der Transformator bleibt, gemessen in einem Abstand von 1 Meter, mit 15 bis 20 A/m ($19 \text{ bis } 25 \mu\text{T}$) die Anlagenkomponente mit der grössten Emission.
- c) Das Anbringen von Schutzwänden aus Mu-Metall vermindert das magnetische Feld um den Faktor 2 bis 3. Der Schutzschirm sollte möglichst nahe an der Störquelle plziert werden und diese auf jede Seite um mindestens 0.5 m überragen.

3. Lösungen bei den Kunden

Die meisten Störfälle durch magnetische Felder wurden durch Umplatzieren des gestörten Bildschirms gelöst. Nach unserem Wissen wurde die beste Lösung, den Bildschirm in eine Abschirmbox aus Mu-Metall zu stellen, sicher aus Kostengründen nie vollzogen.

In einer Netzstation und bei einem Hochspannungsbezüger haben wir das Sammelschienensystem ausgewechselt. Im ersten Fall wurden die Kabel auf einer Kabelpritsche verlegt. Im zweiten Fall wurde ein im Handel erhältliches, abgeschirmtes Sammelschienensystem eingesetzt. (Fig. 1 bis 4)

4. Zukünftige Entwicklung

Vor einigen Jahren suchte man die Diskussion über diese Art von Störungen zu vermeiden. Heute stellen uns Architekten, Installateure und unsere Kunden konkrete Fragen. Es ist wichtig, dass wir das Ausmass der Feld-Emission unserer Installationen kennen und dass wir in der Lage sind, unsere Kunden richtig zu orientieren. Wir können die Kunden damit beruhigen und ihnen Ratschläge für eine zweckmässige Installation ihrer Einrichtungen geben.

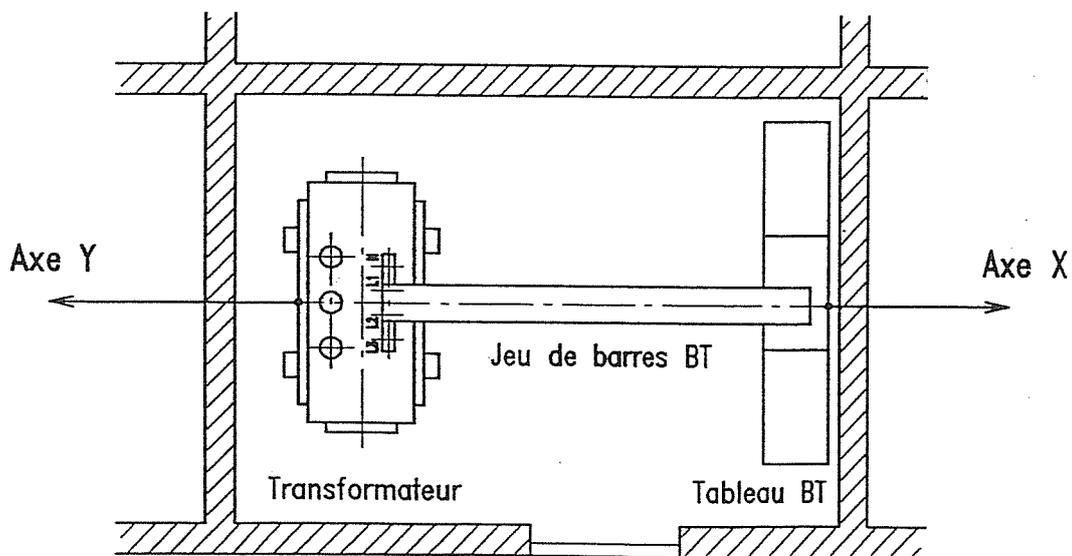
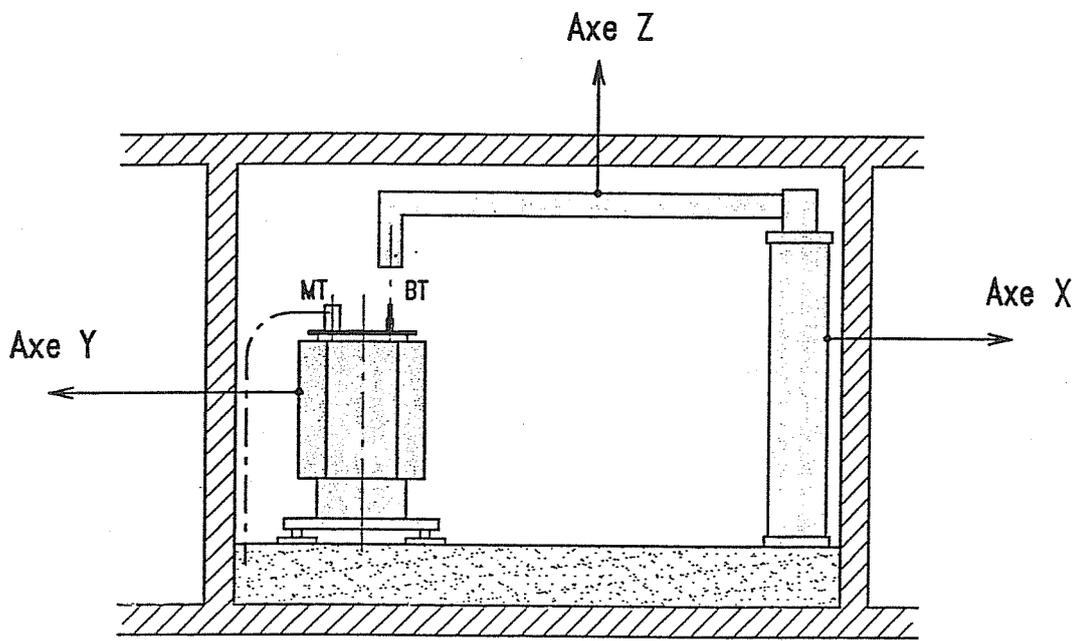
Die Bildschirme mit Kathodenstrahlröhren werden mit der Zeit verschwinden und solchen Platz machen, die bezüglich magnetischen Feldern unempfindlich sind. Was bleibt ist der Mensch, der zu seiner Beruhigung und aus Sorge für seine Gesundheit fordert, nur einem sehr schwachen Feld ausgesetzt zu werden.

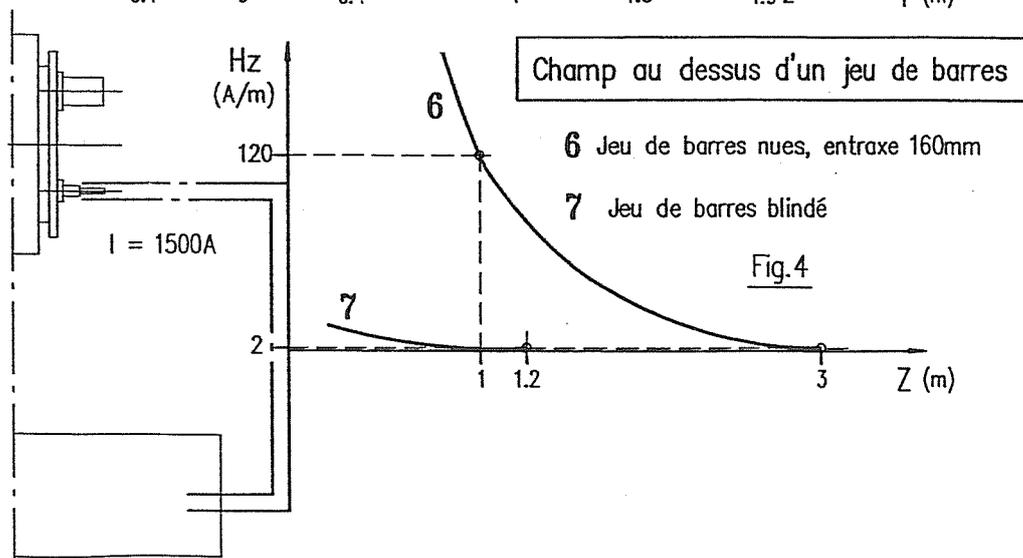
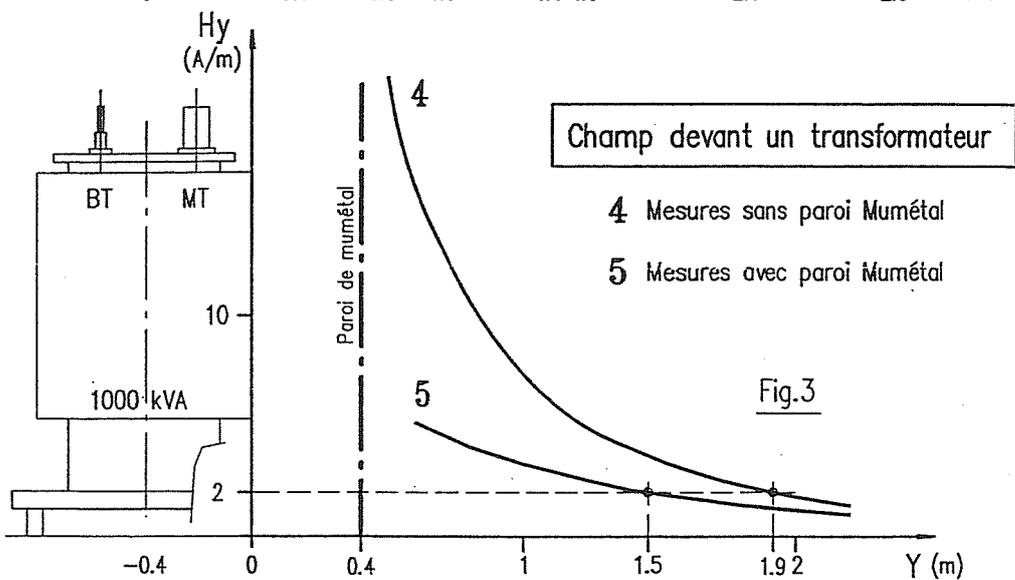
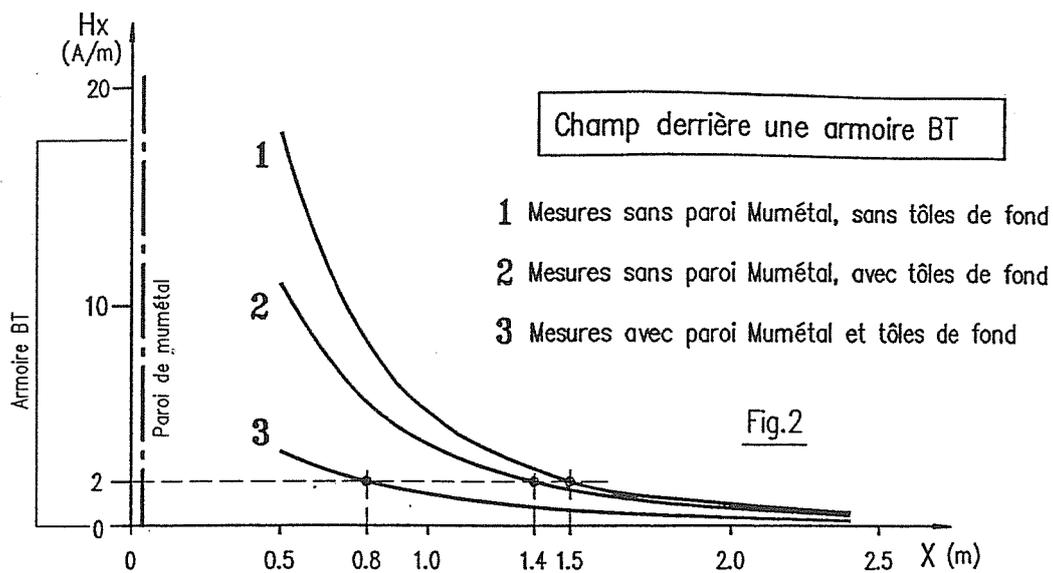
Da unsere Starkstrominstallationen eine Lebensdauer von 30 Jahren oder mehr haben, ist es notwendig, dass wir schon jetzt eine möglichst grosse Zahl von Massnahmen bei der Konstruktion dieser Anlagen berücksichtigen, welche die Emission des magnetischen Feldes begrenzen, insbesondere in der Nähe von Orten, wo sich Menschen lange Zeit aufhalten.

POSTE MT-BT

1000 kVA, IBT = 1500A

FIG. 1





Sorgen der Kunden: Sachgerechte Antworten auf die häufigsten Fragen

Dr. Gianni Biasiutti
Bernische Kraftwerke AG (BKW)
Viktoriaplatz 2, 3000 Bern

Die öffentliche Wahrnehmung der Fragen zu biologischen Wirkungen von Feldern ist heute vergleichbar mit jener prioritärer Umweltaspekte. Eine Entspannung ist zurzeit nicht abzusehen.

In den Berichterstattungen der Medien entfernen sich die Meinungen oft weit von den gesicherten Fakten. In breiten Kreisen der Bevölkerung ist deshalb Verunsicherung oder gar Verängstigung entstanden, und es herrscht der Eindruck vor, die Wissenschaft sehe sich unvermittelt mit einem bisher verkannten Umweltproblem konfrontiert.

Auf der Suche nach Hilfe treffen viele Bürger auf die Dienste von Radiästhesisten und sogenannten Elektrobiologen, welche das Gefühl der Betroffenheit meist zusätzlich verstärken. Einzelne Bürger wenden sich auch an ihr Elektrizitätswerk, dies nicht selten aus einem erheblichen Leidensdruck heraus.

Das grösste Problem im Zusammenhang mit den Feldern ist ohne Zweifel die Angst. Die Angst derjenigen, die sich unmittelbar betroffen fühlen. - Ihre Zahl wird in unserer Branche vermutlich unterschätzt. Das primäre Ziel der diesbezüglichen Öffentlichkeitsarbeit sowie insbesondere der persönlichen Gespräche mit besorgten Kunden muss deshalb die Aufklärung sein.

Nachhaltige Beruhigung herbeizuführen stellt hohe Ansprüche an die Sachlichkeit, Ausgewogenheit und Verständlichkeit der Information. Pauschale Negierungen sind ebenso ungeeignet wie wissenschaftliche Exkurse. Es ist zweckmässig, gewisse Grundstrukturen für die Antworten auf häufig gestellte Fragen bereitzuhalten. Das vorliegende Referat möchte dazu Anregungen geben.

1. Können Felder Krebs erzeugen ?

Zu dieser primär interessierenden Frage wurden umfangreiche Forschungsarbeiten in zahlreichen Ländern durchgeführt. Diese Arbeiten sind abschliessend zur Erkenntnis gelangt, dass man eine **Erzeugung** von Krebs durch Felder nicht befürchten muss. Im Gegensatz zu den radioaktiven Strahlen sind die Energien der niederfrequenten Felder viel zu schwach, um die Zellen schädigen zu können.

Noch nicht endgültig abgeklärt ist die Vermutung, wonach Felder den **Fortschritt** einer Krebserkrankung **fördern** könnten. Die Wissenschaft versucht hier vor allem mittels epidemiologischer Studien eine Antwort zu finden - dies sind Studien, die die Häufigkeit bestimmter Erkrankungen in unterschiedlich exponierten Bevölkerungsgruppen untersuchen. Weltweit wurden bereits über 100 solcher Studien durchgeführt, die sich mit Feldwirkungen befassen. Einige dieser Studien haben ein leicht erhöhtes Risiko für Leukämie, Hirntumor oder für andere seltene Krebsarten hervorgebracht. Die gefundenen Zusammenhänge sind aber in keinem Fall statistisch gesichert, und die Studien sind insgesamt sehr widersprüchlich.

Die vorliegenden Ergebnisse können das Risiko einer Wirkung auf gewisse Krebserkrankungen nicht ausschliessen, noch viel weniger können sie aber ein solches belegen. Sicher ist hingegen, dass das Risiko, wenn es überhaupt besteht, nur äusserst gering sein kann.

2. Können Felder das Wohlbefinden beeinträchtigen ?

Die Befürchtung, Felder könnten das Wohlbefinden beeinträchtigen, wird häufig geäussert. Man denkt dabei an allgemeine Symptome wie z.B. Schlafstörungen oder Hautbeschwerden. Für solche Wirkungen von Feldern gibt es bis heute keine stichhaltigen Nachweise. Gleichwohl ist aber denkbar, dass einzelne Personen über eine besondere Empfindlichkeit gegenüber Feldern verfügen - analog der Situation bezüglich Erdstrahlen. Auf jeden Fall kann es sich aber nur um Einzelfälle handeln. Die zahlreichen veröffentlichten Fallberichte geben hierzu kein objektives Bild, weil sie das ohne Zweifel sehr wichtige psychologische Moment nicht berücksichtigen.

3. Wie ist das Gesundheitsrisiko von Feldern insgesamt zu bewerten ?

Die Forschung befasst sich nun schon seit rund 20 Jahren mit den Wirkungen von Feldern. Aufgrund der umfangreichen Erkenntnisse, die dabei gewonnen wurden, haben sich die meisten der geäusserten Vermutungen über gesundheitliche Einflüsse von Feldern als nicht haltbar erwiesen. Es liegen heute zwar immer noch ernstzunehmende Gründe vor, um sich wissenschaftlich mit den Wirkungen der Felder zu befassen und für die Einhaltung von Grenzwerten zu sorgen. Es besteht jedoch kein Grund, um von einer Gefahr für die Gesundheit der Bevölkerung zu sprechen.

4. Welche Feldstärken sind zulässig ?

Die internationale Strahlenschutzvereinigung (IRPA) hat 1990 Grenzwerte vorgeschlagen, nämlich 5 kV/m für das elektrische Feld und 100 μ T für das magnetische Feld. Diese Grenzwerte stehen auf einer gesicherten wissenschaftlichen Grundlage und sind deshalb in den meisten Ländern akzeptiert. Auch das schweizerische Bundesamt für Umwelt, Wald und Landschaft (BUWAL) hat diese Grenzwertfestlegung übernommen.

5. Erzeugen Freileitungen starke Felder ?

Die häufigsten Quellen von Feldern sind die elektrischen Einrichtungen im Wohnbereich und am Arbeitsplatz, Ströme im Erdreich, Bahnanlagen sowie Starkstromeinrichtungen, d.h. Leitungen und Trafostationen. Entgegen einer weit verbreiteten Ansicht sind die Starkstromeinrichtungen keineswegs dominierend.

Hochspannungsleitungen sind zwar die bedeutendste Quelle für **elektrische** Felder, doch im Hinblick auf allfällige biologische Wirkungen ist hauptsächlich das **magnetische** Feld von Interesse. Bei dieser Feldkomponente sind in der Praxis aber die Abstände zu den Grenzwerten gross, wird doch 1 μ T, also 1/100 des Grenzwertes, selbst in Wohnräumen, die nahe an Leitungen liegen nur selten überschritten.

Unabhängig vom Vorhandensein einer Hochspannungsleitung liegen die üblichen Feldstärken in Wohnräumen zwischen 0,05 und 0,5 μ T. Sogenannte Elektrobiologen streben oft

Felder unter $0,05 \mu\text{T}$ an. Einem solchen Grenzwert fehlt aber jede sachliche Grundlage; abgesehen davon lässt er sich ohnehin nur in Ausnahmefällen einhalten.

6. Womit kann man die Felder abschirmen ?

Die elektrischen Felder werden durch alle mehr oder weniger leitfähigen Materialien weitgehend abgeschirmt. Für Magnetfelder, welche hier primär interessieren, sind jedoch fast alle Materialien durchlässig. Eine grossräumige Abschirmung ist deshalb nicht möglich. Die einzige universelle Massnahme zur Minderung der Feldstärken ist die Vergrösserung der Distanz zur Quelle.

7. Ich möchte ein Haus kaufen. Es befindet sich direkt neben einer Trafostation / Freileitung. Ist dieser Kauf zu verantworten ?

Grundsätzlich ist es sicher richtig, diese Frage aufzuwerfen, noch bevor man in ein solches Haus einzieht. Wenn man sich erst später damit auseinandersetzt und dann in hartnäckige Sorge verfällt, ist die Gefahr eines gestörten Wohlbefindens gross.

Die Stärke der Felder von Hochspannungseinrichtungen liegt selbst in nahen Häusern wesentlich unter den Grenzwerten. Das Wohnen in einer solchen Lage stellt deshalb kein objektives Risiko dar. Dennoch sind die Feldstärken natürlich höher als an einer Lage fernab von derartigen Einrichtungen. - Wenn man diesen Umstand gefühlsmässig akzeptieren kann und folglich die Starkstromeinrichtung gelassen betrachtet, ist der Kauf des Hauses ohne weiteres zu verantworten.

Zur Wahrung der Verhältnismässigkeit muss man sich auch vor Augen führen, dass andere Einrichtungen wie Kabelanlagen in Städten oder Bahnanlagen und nicht zuletzt auch hausinterne Geräte und Einrichtungen in sehr vielen Wohnhäusern erhöhte Felder verursachen - von einer verbreiteten Feld-Problematik kann aber sicher nicht die Rede sein.

8. Ich bin an X erkrankt. Die Ärzte können keine Ursache finden. Bevor ich in dieses Haus einzog, war ich ein gesunder Mensch - es muss an der nahen Freileitung liegen !

Beim Auftreten eines gesundheitlichen Problems entsteht meist ein starkes Bedürfnis die konkrete Ursache zu kennen. Diesbezügliche Klarheit kann das Akzeptieren einer Krankheit erleichtern und eventuell auch Ansatzpunkte für Massnahmen aufzeigen. Wenn nun in einem bestimmten Fall die Medizin keine Angaben zur Ursache machen kann, liegt es natürlich nahe, den Kreis der in Betracht gezogenen Möglichkeiten zu erweitern und dabei u.U. auch eine nahe Freileitung miteinzubeziehen. Objektiv betrachtet darf aber der Ausschluss anderer möglich erscheinenden Ursachen sicher nicht dazu führen, das Problem nun zwingend im Zusammenhang mit einer Freileitung zu sehen. Eine angstvolle Konzentration auf die Leitung würde die Situation bestimmt zusätzlich belasten oder gar die Initiative für weitere medizinische Abklärungen bremsen.

Letztlich ist auch zu bedenken, dass die Medizin für viele Krankheiten tatsächlich die genauen Ursachen noch nicht kennt.

9. Der Elektrobiologe hat empfohlen, einen Netzfreischalter zu installieren. Ist diese Massnahme zweckmässig ?

Die Funktion des Netzfreischalters besteht darin, die Spannung zu unterbrechen, nachdem sämtliche Verbraucher der betreffenden Leitung abgeschaltet wurden. Der Netzfreischalter beeinflusst also nur das elektrische Feld, welches hinsichtlich biologischer Wirkungen von untergeordneter Bedeutung ist. Das magnetische Feld der Hausinstallation wird durch das Abschalten der Geräte beseitigt, und letzteres lässt sich auch ohne Netzfreischalter tun. Abgesehen davon kann das Hintergrundfeld (Ströme in der Erde, andere Leitungen) ohnehin nicht beeinflusst werden.

Wenn jemand den Netzfreischalter aus persönlicher Überzeugung für wichtig erachtet, ist nichts gegen dessen Installation einzuwenden. Rein sachlich betrachtet ist er aber nicht angezeigt.

10. Die Experten sind sich ja nicht einig - wem soll ich glauben ?

Einen Expertenstreit gibt es in allen wissenschaftlichen Gebieten. Das ist ganz normal, denn dies ist ein wichtiger Motor der Forschung. Im Falle der Felder wird die Auseinandersetzung jedoch in die Öffentlichkeit getragen und findet dort ein Echo - nicht selten aus dem Munde von vermeintlichen, selbsternannten Fachleuten.

In der wesentlichen Interpretation der Fakten sind sich die Wissenschaftler einig. Einen umfassenden Überblick über den aktuellen Erkenntnisstand gibt der unter der Führung des BUWAL entstandene Expertenbericht. Wenn zweifelhafte Fachleute, die vielerorts ihre Dienstleistungen anbieten, von grossen Gefahren und ausgeklügelten Schutzmassnahmen berichten, dann hat dies oft mit wirtschaftlichen Interessen zu tun.

Teilnehmerliste

Name	Vorname	Firma	Adresse
Abächerli	Peter	Städtische Werke Baden	5401 Baden
Achermann	Hans	EGL	4335 Laufenburg
Acklin	Reinhard	Elektra Wölflinswil	5266 Wölflinswil
Ammann Dr.	Conrad	Elektra Birseck	4142 Münchenstein
Ammeter	Ueli	CKW	6002 Luzern
Ari Dr.	Niyazi	ABB Verkehrssysteme	5300 Turgi
Arnold	Franz	BKW	2560 Nidau
Arnold	Martin	Arnold Engineering und Beratung	8152 Opfikon
Arnold	Walter	EW Altdorf	6460 Altdorf
Aschwanden Dr.	Thomas	FKH	8044 Zürich
Bärtschi	Roland	EW der Stadt Bern	3001 Bern
Baumann Dr.	Jürg	BUWAL	3003 Bern
Baumann	Walter		5000 Aarau
Belser	Heinz	Elektra Wölflinswil	5266 Wölflinswil
Bernet	Guido	EWZ	8050 Zürich
Bernhard	Heiner	Städtische Werke Winterthur	8402 Winterthur
Bettens	Philippe	ENSA	2035 Corcelles
Biasiutti Dr.	Gianni	BKW	3000 Bern
Biehler	Josef	AEW	5001 Aarau
Bieler Dr.	Kaspar	ATEL	4601 Olten
Bigler	Fritz	Industrielle Betriebe Interlaken	3800 Interlaken
Bisang	Josef	EW Elgg	8353 Elgg
Blank	Alfred	SEV	8320 Fehraltorf
Bleiker	Ueli	KW Zervreila AG	7405 Rothenbrunnen
Bless	Hans	WEW Walenstadt	8880 Walenstadt
Borsari	Claudio	SUVA	6002 Luzern
Boss	Pierre	ABB Sécheron SA	1211 Genève
Bouvard	Jules	NOK	5401 Baden
Bräm	Albert	EW Rümlang	8153 Rümlang
Brantschen	Florian	Grande Dixence SA	1950 Sion
Braun	Hans	Gemeindewerke Rüti	8630 Rüti
Bräunlich Dr.	Reinhold	FKH	8044 Zürich
Brettschneider	Josef	EKZ	8022 Zürich
Brüniger	Roland	R. Brüniger AG	8913 Ottenbach
Bucher	Paul	EW Obwalden	6064 Kerns
Bugnon	Bernard	SIG	1211 Genève
Büsch Dr.	Werner	GEC ALSTHOM T+D AG	5036 Oberentfelden
Chatelain	Michel	ESTI	8320 Fehraltorf
Coion	Robert	Telecom PTT	3030 Bern
Crameri	Dario	EGL	4335 Laufenburg
Dallèves	Pierre	EOS	1001 Lausanne
Dietrich	Heinz	EKZ	8022 Zürich
Dietschi	Paul	ATEL	4601 Olten

Dobler	Paul	EW Kanton Thurgau	9320 Arbon
Doessegger	Hugo	Stationenbau AG	5612 Villmergen
Domenig	Max	AG Bündner Kraftwerke	7250 Klosters
Düblin	Hanspeter	Industrielle Werke Basel	4008 Basel
Egloff	Adolf	SBB	3030 Bern
Ender	Peter	Kehrichtverwertungsanlage	5300 Turgi
Fessler	Peter	EWZ	8050 Zürich
Fink	Otto	Dorfkorporation Ebnet-Kappel	9642 Ebnet-Kappel
Fischbacher	Christian	CFW EMV Consulting	9443 Widnau
Fischer	Kari	Elektroing.büro K. Fischer	6207 Nottwil
Flückiger	Rudolf	ATEL	4600 Olten
Flury	Ernst	ESTI	8320 Fehraltorf
Frei	Hans	Rheinkraftwerk Neuhausen AG	8436 Rekingen
Frick	Bruno	AG EW Bad Ragaz	7310 Bad Ragaz
Fromentin	Michel	SEL	1000 Lausanne 9
Frutiger	Werner	Elektrowerke Reichenbach	3860 Meiringen
Fuhr Dr.	Jitka	ABB-Forschungszentrum	5405 Baden-Dättwil
Fux	Willy	Alusuisse-Lonza Energie AG	3930 Visp
Gantenbein	Fritz	BKW	3000 Bern
Gerhard	Paul	EW Kölliken	5742 Kölliken
Girehn	Ulrich	GEC ALSTHOM	5036 Oberentfelden
Glavitsch Prof. Dr.	Hans	ETH Zürich	8092 Zürich
Gomringer	Eugen	EKZ	8022 Zürich
Gsell	Bernard	Electricité d'Emosson SA	1920 Martigny
Guérig	Adrien	NOK	5401 Baden
Guidon	Andri	Gemeindewerke Wallisellen	8304 Wallisellen
Günther Dr.	Werner A.		8702 Zollikon
Gut Prof. Dr.	Jakob	ETH Zürich	8001 Zürich
Hablützel	Rudolf	Industrielle Werke Basel	4008 Basel
Haerri	Franz	Elektra Birseck	4142 Münchenstein
Hafner	Hans-Peter	Elektra Birseck	4142 Münchenstein
Hagmann	Hans Rudolf	AEW	5001 Aarau
Haldimann	Rolf	Gemeindewerke Rüti	8630 Rüti
Hälg	Robert	Engadiner Kraftwerke AG	7530 Zerne
Hässig	Martin	FKH	8044 Zürich
Hauri	Robert	SYSTRON	8340 Hinwil
Hauser	Claude	LEBAG	5430 Wettingen
Häutle	Karl	Gemeindeverb. für Kehrichtbes.	5033 Buchs
Hediger	Josef	EW des Bezirks Schwyz	6430 Schwyz
Heer	Alfred	Wasserwerke Zug AG	6300 Zug
Heimberg	Erich	Industrielle Werke Basel	4008 Basel
Heinemann	Thomas	GEC ALSTHOM T+D AG	5036 Oberentfelden
Heizmann	Thomas	ETH Zürich	8092 Zürich
Herbert	Georg	EWZ	8050 Zürich
Herbst Dr.	Ingo	ABB Hochspannungstechnik AG	8050 Zürich
Herren	Jürg	EWZ	8050 Zürich
Hew	Florian	Engadiner Kraftwerke AG	7530 Zerne

Hirsch	Fritz	FGH Mannheim	D-68201 Mannheim
Hochstrasser	Peter	Camille Bauer AG	5610 Wohlen
Holenweger	René	Eurodis Werkstoffe AG	8105 Regensdorf
Hollenstein	Rainer	Technische Betriebe Wil	9500 Wil
Hosp	Hubert	Colenco Power Consulting AG	5405 Baden
Huber	Stefan	Technische Betriebe Wil	9500 Wil
Huber	Urs	SEV	8320 Fehraltorf
Hübner Dr.	Kurt		3086 Zimmerwald
Hüssy	Kurt	EKZ	8022 Zürich
Imhof	Eduard	LEBAG	5430 Wettingen
Imhof	Ulrich	EKZ	8022 Zürich
Jäger	Manfred	EKZ	8022 Zürich
Jäggi jun.	Alexander	Seitz AG	8280 Kreuzlingen
Jäggi sen.	Alexander	Seitz AG	8280 Kreuzlingen
Jauch	Walter	EW Altdorf	6460 Altdorf
Jeggli	Bruno	LEBAG	5430 Wettingen
Jehle	Armand	Lichtensteinische Kraftwerke	9494 Schaan
Jenny	Dieter	SACAC	5600 Lenzburg
Joss	Peter	ATEL	4601 Olten
Joss Dr.	Stefan	BUWAL	3003 Bern
Jossen	Hermann	SUVA	6002 Luzern
Jucker	Armin	Bundesamt für Verkehr	3003 Bern
Kaczkowski Dr.	André	ABB Hochspannungstechnik AG	8050 Zürich
Käppeli	Rudolf	SYSTRON	8340 Hinwil
Keller	Bruno	Elektrowatt	8008 Zürich
Kern	Hanspeter	GEC ALSTHOM T+D AG	5034 Suhr
Knaak	Jürgen	EW Kanton Thurgau	9320 Arbon
Knoth	Walter	ABB Hochspannungstechnik AG	8055 Zürich
Köchli	Hans-Jörg	EW Herzogenbuchsee	3360 Herzogenbuchsee
Koller	Hanspeter	EW Appenzell	9050 Appenzell
Köppel	Georg	Koeppl Power Experts	5242 Lupfig
Krauss	Helmut	FKH	8044 Zürich
Kriech	Hermann	EV Wittenbach	9303 Wittenbach
Krueger Prof. Dr.	Helmut	ETH Zürich	8092 Zürich
Krumm	Bruno	EWZ	8050 Zürich
Kull	Ulrich	Moser-Glaser & Co AG	4132 Muttenz
Kündig	Rudolf	Industrielle Betriebe Wohlen	5610 Wohlen
Kuster Prof. Dr.	Niels	ETH Zürich	8092 Zürich
L'Eplattenier	Robert	Gasenzer AG	8340 Hinwil
Langhard	Jacques	Elektrowatt	8008 Zürich
Lanz	Werner	ABB Hochspannungstechnik AG	8050 Zürich
Lazzarini	Heinz	EW Samedan	7503 Samedan
Lehner	Giorgio	EKZ	8022 Zürich
Lehner	Markus	EWZ	8050 Zürich
Leuzinger	Jörg	Rauscher & Stoecklin AG	4450 Sissach
Lienhard	Beat	EKZ	8022 Zürich
Linder	Peter	Gemeindebetriebe Brienz	3855 Brienz
Lips	Hans Rudolf	SEV	8320 Fehraltorf

Looser	Werner	Elektrizitätswerk Wald	8626 Wald
Loosli	Pierre	SBB	3052 Zollikofen
Lüthi	Peter	GD PTT	3030 Bern
Lutz	Martin	Emil Haefely & Cie AG	4153 Reinach
Marti	Roland	FKH	8044 Zürich
Marty	Stephan	EW Altdorf	6460 Altdorf
Massüger	Andreas	Gemeindewerke Zollikon	8702 Zollikon
Mathis	Peter	SBB	3052 Zollikofen
Meek	Geerart	EGL	4335 Laufenburg
Meier	Bernhard	ATEL	4601 Olten
Meile	Fredy	Technische Betriebe Wil	9500 Wil
Meili	Max	EKZ	8022 Zürich
Metzger	Fridolin	EGL	4335 Laufenburg
Meyer	Roland	EKZ	8022 Zürich
Meyer	Theo	El.-Ing.-Büro Th. Meyer AG	8712 Stäfa
Meyer jun.	Theo	El.-Ing.-Büro Th. Meyer AG	8712 Stäfa
Minkner Dr.	Ruthard	Emil Haefely & Cie AG	4028 Basel
Molinari	Peter	Engadiner Kraftwerke AG	7530 Zernez
Morf	Balz	SEV	8320 Fehraltorf
Mösching	Reto	AFIF	8005 Zürich
Müller	Bruno	EWZ	8050 Zürich
Müller	Georg	ATEL	4601 Olten
Müller	Rolf	Stationenbau AG	5612 Villmergen
Müller	Thomas	Gemeindeverb. Abw. u. Kehr.	4665 Oftringen
Muntwiler	Toni	ATEL	4601 Olten
Munzinger	Karl		8156 Oberhasli
Narayan	Venkat	ETG/SEV	8320 Fehraltorf
Neher	Georges	BKW	3000 Bern
Novak	Ivan	Städtische Betriebe Olten	4603 Olten
Nussberger	Huldreich	SBB	8021 Zürich
Oberholzer	Franz	EKZ	8022 Zürich
Palmy	Hans	EW Samedan	7503 Samedan
Pfander	Jean-Pierre	SBB	3058 Zollikofen
Pfister	Franz	EW Altdorf	6460 Altdorf
Pflugger	Dominik	Universität Bern	3012 Bern
Pflüger	Dietmar	EW Kanton Thurgau	9320 Arbon
Pikali	Jules	INFEL	8021 Zürich
Pulver	Rudolf	Elektra Birseck	4142 Münchenstein
de Raemy	Emmanuel	EMC Fribourg	1728 Rossens
Rais	Gustav	VSE	8023 Zürich
Ravay	Georges	SEL	1000 Lausanne
Reber	Heinz	EW Nidwalden	6370 Oberdorf
Reber	Peter	Alusuisse-Lonza Energie AG	3930 Visp
Rebsamen	Rolf	EGL	4335 Laufenburg
Reichelt Dr.	Dieter	NOK	5401 Baden
Reichen	Heinz	SAK	9001 St. Gallen

Reutemann	Fintan	Reutemann Elektro-Planung AG	8462 Rheinau
Ried	Kurt	Elektra Baselland	4410 Liestal
Rieger	Roman	ESTI	9402 Mörschwil
Rodewald Dr.	Arnold	Ingenieurschule beider Basel	4132 Muttenz
Rollier	Yves	EOS	1001 Lausanne
Romer	Arturo	Soc. Elettrica Sopracenerina	6600 Locarno
Rönzani	Rico	KW Zervreila AG	7405 Rothenbrunnen
Röthlisberger	Roman	Colenco Power Consulting AG	5405 Baden
Rubin	Rolf	GD PTT	3000 Bern
Rüdin	Richard	Alusuisse-Lonza Energie AG	3930 Visp
Rüetschi Dr.	Andreas	AFIF	8005 Zürich
Ruf	Hans	EW Opfikon	8152 Glattbrugg
Rütschi	Heidi	FKH	8044 Zürich
Sala	Alessandro	ATEL	6743 Bodio
Sanders	Mathias	ABB Hochspannungstechnik AG	8050 Zürich
Sarbach	Ewald	Studer Draht- u. Kabelwerke AG	4658 Däniken
Saxer	Peter	SAK	9001 St. Gallen
Scheidegger	Marcel	Paul Keller Ing.-Büro AG	8600 Dübendorf
Scherer	Rudolf	NOK	5400 Baden
Schett	George	ABB Hochspannungstechnik AG	8050 Zürich
Scheuber	Beat	EW Rümlang	8153 Rümlang
Schibli	Josef	KWL	4335 Laufenburg
Schiess	Reinhold	EKZ	8022 Zürich
Schleipen	Michael	TRASFOR SA	6903 Lugano
Schmid	Adrian	Städtische Werke Baden	5401 Baden
Schmid Dr.	Roland	ABB Mittelspannungstechnik AG	8050 Zürich
Schnyder	Hermann	AG Kraftwerke Wägital	8854 Siebnen
Schönenberger	Hans	Gemeindewerke Zollikon	8702 Zollikon
Schönenberger	Mario	NOK	5401 Baden
Schöni	Fritz	BKW	3000 Bern
Schuler	Hans-Rudolf	EW Obwalden	6064 Kerns
Schwab Dr.	Fred	ATEL	4601 Olten
Schwarzenbach	Hans	EWZ	8050 Zürich
Schweizer	Viktor	Viktor Schweizer Elektro-Untern.	3000 Bern
Seitz	Anton	EKZ	8022 Zürich
Sigg	Max	SBB	3052 Zollikofen
Solenthaler	Jürg	SAK	9001 St. Gallen
Staudenmann	Robert	EW Würenlos	8116 Würenlos
Steiner	Ernst	EKZ	8022 Zürich
Stettler Dr.	Anton	BUWAL	3003 Bern
Stiefel	Rolf	Stiefel Elektroplanung	8180 Bülach
Storf	Günther	FKH	8044 Zürich
Strässle	Felix	Industrielle Betriebe Aarau	5001 Aarau
Strub	Helmut	NOK	5400 Baden
Stutz	Edwin	Ingenieurbüro Stutz	8542 Wiesendangen
Suremann	Max	GD PTT	3030 Bern
Suter	Francis	Bundesamt für Verkehr	3003 Bern
Suter	Hans	Gemeindeverb. für Kehrrechtbes.	5033 Buchs
Suter	Rolf	SBB	3052 Zollikofen

Thalmann	Karl	EWZ	8050 Zürich
Treiber Dr.	Andreas	Moser-Glaser & Co. AG	4132 Muttenz
Treuthardt	Paul	NOK	5401 Baden
Uberto	Yvan	Uberto AG	5242 Lupfig
Ullrich Dr.	Ludger	Condis SA	1728 Rossens
Umbricht	Christoph	Stationenbau AG	5612 Villmergen
Visentin	Gianni	LEBAG	5430 Wettingen
Vogel	Georg	Symann Trebbau GbR	D-44227 Dortmund
Vogelsanger	Ernst		8304 Wallisellen
Vontobel	Felix	KW Brusio AG	7742 Poschiavo
Vontobel Dr.	Jürg	KWL	4335 Laufenburg
Wagner	Armin	Elektra Wölflinswil	5266 Wölflinswil
Walde	Beat	EGL	4335 Laufenburg
Wangler	Werner	EW Stadt Schaffhausen	8201 Schaffhausen
Weber	Hans-Jürg	ETH Zürich	8092 Zürich
Wegmann	Jakob	SEV	8320 Fehraltorf
Weibel	Martin	ATEL	4601 Olten
Welte	Urs	Amstein + Walthert AG	8050 Zürich
Wernli	Christian	PSI	5232 Villigen
Wernli	Heinz	PES Programma Electric AG	5032 Rohr
Wettach	Emil	Elektro Wettach	8810 Horgen
Widmer	Alfred	Städtische Werke Winterthur	8402 Winterthur
Wiggenhauser	Martin	St. Galler Stadtwerke	9001 St. Gallen
Wouters	Bert	QUINEL	6300 Zug
Wyss	Daniel	Azeinde Municip. Bellinzona	6500 Bellinzona
Wyss	Hans	EKZ	8022 Zürich
Zaengl Prof. Dr.	Walter	ETH Zürich	8092 Zürich
Zantop	Arnold	EWZ	8050 Zürich
Ziegler	Richard	Planungsbüro f. EW-Verteilnetze	9556 Affeltrangen
Zimmermann Dr.	Heinrich	Brugg Kabel AG	5200 Brugg
Zingg	Robert	SAK	9001 St. Gallen
Zollinger	Jürg	ALTRONA AG	8105 Regensdorf
Zueger	Harry	ABB Sécheron SA	1211 Genève
Zufferey	Jacques	Rhonewerke AG	3965 Chippis
Zumbrunn	Werner	Industrielle Werke Basel	4008 Basel