Franz Peter Zantis

Erfassung und Auswertung von schwachen, niederfrequenten, magnetischen Wechselfeldern in unserer Umwelt

Forschungsarbeit

GRIN

BEI GRIN MACHT SICH IHR
WISSEN BEZAHLT

- Wir veröffentlichen Ihre Hausarbeit,
  Bachelor- und Masterarbeit

- Ihr eigenes eBook und Buch -
  weltweit in allen wichtigen Shops

- Verdienen Sie an jedem Verkauf

Jetzt bei www.GRIN.com hochladen
und kostenlos publizieren

GRIN

Bibliografische Information der Deutschen Nationalbibliothek:

Die Deutsche Bibliothek verzeichnet diese Publikation in der Deutschen Nationalbibliografie; detaillierte bibliografische Daten sind im Internet über http://dnb.d-nb.de/ abrufbar.

Dieses Werk sowie alle darin enthaltenen einzelnen Beiträge und Abbildungen sind urheberrechtlich geschützt. Jede Verwertung, die nicht ausdrücklich vom Urheberrechtsschutz zugelassen ist, bedarf der vorherigen Zustimmung des Verlages. Das gilt insbesondere für Vervielfältigungen, Bearbeitungen, Übersetzungen, Mikroverfilmungen, Auswertungen durch Datenbanken und für die Einspeicherung und Verarbeitung in elektronische Systeme. Alle Rechte, auch die des auszugsweisen Nachdrucks, der fotomechanischen Wiedergabe (einschließlich Mikrokopie) sowie der Auswertung durch Datenbanken oder ähnliche Einrichtungen, vorbehalten.

Impressum:

Copyright © 2010 GRIN Verlag
ISBN: 9783640659821

Dieses Buch bei GRIN:

https://www.grin.com/document/153829

Franz Peter Zantis

Erfassung und Auswertung von schwachen, niederfrequenten, magnetischen Wechselfeldern in unserer Umwelt

GRIN Verlag

GRIN - Your knowledge has value

Der GRIN Verlag publiziert seit 1998 wissenschaftliche Arbeiten von Studenten, Hochschullehrern und anderen Akademikern als eBook und gedrucktes Buch. Die Verlagswebsite www.grin.com ist die ideale Plattform zur Veröffentlichung von Hausarbeiten, Abschlussarbeiten, wissenschaftlichen Aufsätzen, Dissertationen und Fachbüchern.

Besuchen Sie uns im Internet:

http://www.grin.com/

http://www.facebook.com/grincom

http://www.twitter.com/grin_com

Erfassung und Auswertung von schwachen, niederfrequenten, magnetischen Wechselfeldern in unserer Umwelt

vorgelegt von

Dipl.-Ing. Franz Peter Zantis

Diese Arbeit entstand zwischen Oktober 2008 und Juli 2010.

Vorwort

Diese Arbeit ist aus Neugier und Interesse an Technik entstanden. Zunächst war es eine zufällige Entdeckung im Jahre 2002. Daraus entstand der Wunsch mehr über ELF-Signale zu erfahren. Dazu musste eine möglichst preiswerte und überall verfügbare Technik entwickelt werden. Das Ergebnis ist eine ELF-Empfangstechnologie, die aus Hard- und Software besteht und ohne jede Spezialteile auskommt. Jeder Standard-PC mit einer Soundkarte ist für die Erfassung einsetzbar.
Die Forschung und Entwicklung wurde von mir nebenberuflich betrieben und sie erstreckt sich nunmehr über mehr als 7 Jahre. Mit dem Verfassen dieser Dissertation habe ich im Oktober 2008 begonnen.

Vielen Dank an meinem kleinen Söhnchen Fabio, der mich auf einigen Messungen begleitet hat und mit viel Begeisterung zusammen mit mir viele Auswertungen angeschaut hat.
Vielen Dank auch an Frau Anong und Jasmin Krath für ihre Geduld und dafür, dass sie mir den Rücken freigehalten haben.
Darüber hinaus danke ich Herrn Dr.-Ing. Wolfgang Jägersberg (Baesweiler) für Tipps zum Exposé und Herrn Prof.-Ing. Jaromir Pistora, CSc. für die Unterstützung des Vortrages an der Universität Ostrava im Oktober 2006.

Ganz besonders möchte ich mich aber bei Herrn Dipl.-Geologe Kurt Diedrich (Alsdorf) bedanken. Herr Diedrich hat mich auf die Thematik aufmerksam gemacht, das Grundkonzept und viele Anregungen geliefert und war aktiv an vielen Messungen und Auswertungen beteiligt.

Franz Peter Zantis

Inhaltsverzeichnis

1. Einleitung

1.1 Quellen für niederfrequente magnetische Wechselfelder
1.2 Wellenlängen
1.3 Magnetische Feldstärken
1.3.1 Feld um einen langen elektrischen Leiter
1.3.2 Feld des magnetischen Dipols
1.3.3 Feldstärken
1.4 Beispiel für ELF-Signale

2. ELF-Signalerfassungs-Technologie

2.1 Hardware zur ELF-Signalaufnahme
2.1.1 Einsatz von Hallsensoren
2.1.2 SQUIDs (Josephson-Effekt)
2.1.3 Luftspulen als Sensoren
2.1.3.1 Induktivität der eingesetzten eisenlosen Niederfrequenzspulen
2.1.3.1.1 Strom-Spannungs-Messverfahren
2.1.3.1.2 Resonanz-Messverfahren
2.1.3.1.3 "Stromabfall"-Methode
2.1.3.1.4 Zusammenfassung der Induktivitätsmessung
2.1.3.1.5 Abgleich durch Induktivitätsberechnung
2.1.3.1.6 Konsequenzen der Induktivität
2.1.3.2 Linearisierung
2.1.3.2.1 Linearisierung durch Parallelwiderstand
2.1.3.2.2 Linearisierung mit Integrator
2.1.4 Analoger Tiefpassfilter 6. Ordnung
2.1.4.1 Tiefpasstypen
2.1.4.2 Entwicklung von Butterworth-Tiefpassfiltern
2.1.4.3 Butterworth-Tiefpass 6. Ordnung, praktisch aufgebaut
2.1.4.4 Messwerte
2.1.5 Aufnahme von Messwerten über die Soundkarte
2.1.5.1 Amplitudenmodulation
2.1.5.2 Erzeugen des Trägers
2.1.5.3 AM-Modulation mit OTA
2.1.5.4 Spannungsgesteuerte Stromquelle
2.1.5.5 Gesamtschaltung

2.2 Digitale Signalverarbeitung
2.2.1 Digitale Demodulation von AM-Signalen
2.2.1.1 Scheitelwertverfolgung
2.2.1.1.1 Dreipunktverfahren
2.2.1.1.2 Sukzessive Maximalwertsuche
2.2.1.1.3 Auswertung der Steigung
2.2.1.1.4 Fehlerabschätzung
2.2.1.1.5 Ergebnisse bei einer real durchgeführten Demodulation
2.2.1.1.6 Zusammenfasssung
2.2.2 Empfangssoftware und Frequenzshifting
2.2.2.1 Programmcode des ELF-Empfangs- und Demodulationsprogramm
2.2.2.1.1 Code in Visual Basic 6.0
2.2.2.1.2 Code in Visual Basic 2005 (.NET-Technologie)

2.3 Auswertesoftware

2.4 Hard- und Software-Setup

3. Praktische Messungen

3.1 Empfangsort und Aufstellung

3.2 Recording

3.3 Kausalität

3.4 Peilung
3.4.1 Praktisch durchgeführte Peilungen

4. Analyse erfaßter ELF-Signale

4.1 ELF-Immission in Wohngebieten
4.1.1 Örtlich begrenzte Signale
4.1.1.1 Pfeifer
4.1.1.2 Kuh
4.1.1.3 Nebelhorn
4.1.1.4 Kauz
4.1.1.5 Lokomotive
4.1.1.6 Voice
4.1.1.7 Nadeldrucker
4.1.1.8 Panflöte
4.1.1.9 Keyshift
4.1.1.10 Fernschreiber
4.1.2 Signale mit großer örtlicher Ausdehnung
4.1.2.1 Goose-Signal
4.1.2.1.1 Goose-Zeitsignale
4.1.2.2 Heartbeat-Signal
4.1.2.2.1 Messung der Signalparameter
4.2.2.2.2 Regionales Auftreten
4.1.3 Messungen im Dorf Horm (Stadtteil von Hürtgenwald)

4.2 ELF-Immission außerhalb von Wohngebieten

4.3 Braunkohleabbaugebiete als ELF-Emittenten

4.4 Haushaltsgeräte als ELF-Emittenten
4.4.1 ELF-Signal einer Spülmaschine
4.4.2 ELF-Signal einer Waschmaschine
4.4.3 ELF-Signal einer Quarzuhr
4.4.4 Typische Feldstärken vor Haushaltsgeräten bei Netzfrequenz
4.4.5 Konsequenz aus den Messungen vor Haushaltsgeräten

4.5 Sonstige Signale
4.5.1 Unregelmässige Frequenzverläufe
4.5.2 Spontan einsetzende Spektrallinien

5. Artifizielle ELF-Signale
5.1 Abschätzung der magnetischen Flussdichte
5.2 Abschätzung der Quelleneigenschaften
5.2.1 Messaufbau
5.2.2 Messung mit Leiterschleife
5.2.3 Messung mit Erdspieß
5.3 Vergleich mit "natürlich" vorkommenden Signalen

6. Überlegungen und Hypothesen zur Signalherkunft
6.1 Antropogene Quellen
6.1.1 Haushaltsgeräte
6.1.2 Industrielle Anlagen / Bahnen
6.1.3 Hochfrequente Wellen
6.2 Natürliche Quellen

7. ELF-Signale und Elektrosmog

8. Schlusswort

Anhang: Literaturverzeichnis, verwendete Formelzeichen

1. Einleitung

Technische Geräte und Einrichtungen werden in Europa überwiegend mit 50 Hz Wechselspannung betrieben. Eine bekannte Tatsache ist, dass dies in unserer Umwelt elektrische und magnetische Wechselfelder mit Frequenzen von 50 Hz und – verursacht durch Oberschwingungen – auch oberhalb dieser Frequenz hervorruft. Diese Schwingungen verursachen, ebenso wie die von zahlreichen anderen Sendern, die weit über 50 Hz emittieren, den so genannten Elektrosmog.
Unsere Umwelt ist von diesen Schwingungen und Wellen durchsetzt. Im Frequenzbereich oberhalb der Netzwechselspannung von 50 Hz wird diesen große Beachtung zuteil. Über Verursacher und Auswirkungen wird angeregt diskutiert. Durch zahlreiche Untersuchungen und Publikationen ist weitgehend bekannt, welche Art von Schwingungen und Wellen auftreten, woher diese stammen und welche Auswirkungen sie haben.

Gegenstand der vorliegenden Arbeit sind hingegen magnetische Schwingungen und Wellen im untersten Frequenzbereich und zwar im Bereich

$$0Hz < f < 50Hz\,.$$

Zur Vereinfachung wird dieser Frequenzbereich im Folgenden ELF - Bereich (ELF = Extremely Low Frequency) genannt. Für die betrachteten Schwingungen und Wellen wird der Begriff "ELF-Signale" eingeführt. ELF-Signalen wurde bisher wenig Aufmerksamkeit zuteil, da sie weitestgehend vom weit stärkeren 50 Hz-Netzbrummen überdeckt werden.

Grundlage dieser Arbeit sind ELF-Signale, die im Jahre 2000 zunächst eher zufällig von Dipl.-Geol. Kurt Diedrich erfasst wurden. Es zeigt sich, dass auch unterhalb von 50 Hz Schwingungen und Wellen (also ELF-Signale), wenn auch mit sehr schwacher Amplitude, nachweisbar, analysierbar und katalogisierbar sind.

Recherchen ergaben, dass der beschriebene Signalbereich bis dato kaum oder gar nicht untersucht wurde. Diskussionen mit Bergbaukundlern und Geologen sowie die Veröffentlichungen [7], [8], [4], [34] ergaben, dass die betreffenden Schwingungen unbekannt sind und weder umfassend noch zufriedenstellend erklärt werden konnten.
In der Geologie werden bestimmte Wellen für die Untersuchung der Erdkruste gezielt eingesetzt. Damit ist es möglich z.B. Hohlräume oder Lagerstätten für Rohstoffe in den oberen Erdschichten zu detektieren [24]. Über Messungen der beschriebenen Signale ist hingegen keine Information zu finden.
Die genannten ELF-Signale könnten auch im Zusammenhang mit dem "Brummtonphänomen" stehen. Zu diesem Thema wurden verschiedene Untersuchungen und Messungen gemacht, die z.B. auch in [6] und [7] beschrieben sind.

Primäres Ziel dieser Arbeit ist der Nachweis der Existenz der ELF-Signale im angegebenen Frequenzbereich und deren Aufbau und Struktur. Sekundär geht es um den Ursprung der Signale. Dazu wurden die Signale mit einer selbstentwickelten Hardware akquiriert, gespeichert, analysiert und katalogisiert. Die Arbeit hat interdisziplinaren Charakter. Die Lösung der Aufgabe erfordert Kenntnisse und Verfahren aus der Physik, der Geologie und der Nachrichtentechnik.

Die vorliegende Arbeit basiert auf privater Intitiative. Sie wurde vom Autor selbst finanziert. Wirtschaftlichkeit hatte deshalb nicht nur einen hohen Stellenwert, sondern war eine zwingende Notwendigkeit.

1.1 Quellen für niederfrequente magnetische Wechselfelder

Es gibt zahlreiche, denkbare Ursachen für die Entstehung niederfrequenter magnetischer Wechselfelder. Bild 1.1 gibt dazu eine Übersicht. Tatsächlich erzeugen natürlich auch die ursächlich durch Magnete erzeugten Wechselfelder elektrische Felder, die wiederum Ströme verursachen, die wiederum Magnetfelder erzeugen.

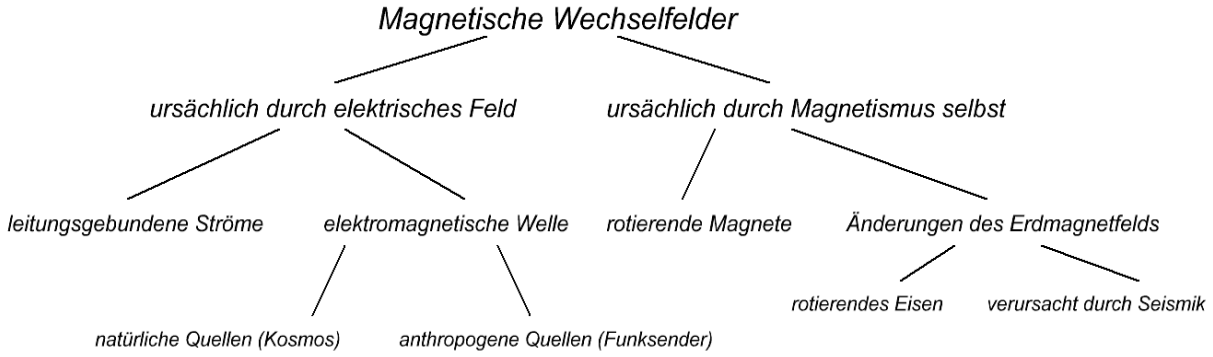


Bild 1.1: Mögliche Quellen für niederfrequente magnetische Wechselfelder (siehe Text).

Zunächst ist zu unterscheiden, ob die magnetischen Felder gemeinsam mit einem elektrischen Feld auftreten. In diesem Falle ist die Ursache ein fließender Strom oder eine elektromagnetische Welle (also quasi eine Fortsetzung des fließenden Stromes im Raum).

Leitungsgebundene elektromagnetische Wechselfelder entstehen immer dann, wenn elektrische Ladungen bewegt werden. Dies ist zum Beispiel beim Fließen eines Wechselstromes in einem Leiter der Fall. Dabei entsteht neben dem elektrischen Feld auch immer ein magnetisches Feld. Dieser Zusammenhang ist in der ersten Maxwellsche Gleichung allgemeingültig fixiert. Es besagt, dass ein sich änderndes elektrisches Feld von ringförmig geschlossenen magnetischen Feldlinien umgeben ist:

$$rotH = \dot{D} + j$$

oder

$$\oint H \cdot ds = \int \frac{dD}{dt} dA$$

magnetisches Wirbelfeld

sich änderndes elektrisches Feld (Stromfluss)

Details hierzu können z.B. [32] entnommen werden.

Eine hohe elektrische Spannung bewirkt dabei ein relativ starkes elektrisches Feld bei relativ schwachem Magnetfeld. Ein hoher Strom bewirkt hingegen ein relativ starkes Magnetfeld bei relativ schwachem elektrischen Feld.

Als weiterer Verursacher kommt der magnetische Anteil von im Raum sich ausbreitenden elektromagnetischen Wellen in Betracht. Unter Berücksichtigung der immensen Wellenlängen beginnend mit 6000 km (siehe Abschnitt 1.2) und der Annahme, dass sich die Signalquellen auf der Erde befinden, ist bei der Untersuchung dieser Felder stets von einem Nahfeld auszugehen. Allerdings ist es auch denkbar, dass sich die Quelle in großer Entfernung zur Erde im Weltraum befindet. Dann sind Fernfeld-Verhältnisse anzunehmen, bei der das elektrische und das magnetische Feld phasengleich sind aber senkrecht aufeinander stehen.

Nur wenn das Signal sowohl als magnetisches als auch als elektrisches Feld gemessen werden kann, ist davon auszugehen, dass es sich um eine elektromagnetische Welle handelt.

Mit "ursächlich durch Magnetismus selbst" im Bild 1.1 ist gemeint, das die Magnetfelder nicht durch ein elektrisches Feld erzeugt werden, sondern selbst eines erzeugen. Diese Magnetfelder entstehen entweder durch rotierende Magnete – dann bewegt sich das Magnetfeld selbst – oder z.B. durch alternierende Störungen in einem statischen magnetischen Feld.
Letzteres tritt auf, wenn beispielsweise rotierende ferromagnetische Teile (Eisenteile) das Erdmagnetfeld beeinflussen. Seismische Vorgänge können z.B. durch Verändern des Abstandes zwischen Magnetpol und Standort oder durch veränderliche abschirmende oder bündelnde Werte im Erdinnern im Zusammenhang mit dem Erdmagnetfeld ein magnetisches Wechselfeld verursachen.
In allen Fällen des alternierenden Magnetismus wird natürlich in der Umgebung ein elektrische Feld (Strom) erzeugt.

1.2 Wellenlängen

Da sich Magnetismus mit Lichtgeschwindigkeit ausbreitet, ergeben sich für die untersuchten Wechselfelder sehr große Wellenlängen. Genau wie für elektromagnetische Wellen gilt auch für rein magnetische Wellen:

$$\lambda = \frac{c}{f} \qquad \text{Gleichung } \{1.1\}$$

Dabei bedeutet:
c = Lichtgeschwindigkeit $\approx 3 \cdot 10^8$ m/s
f = Frequenz in Hz
λ = Wellenlänge

Die obere Grenze des betrachteten Frequenzbereiches ist 50 Hz. Im betrachteten Frequenzbereich ist dort die Wellenlänge am kleinsten. Sie ergibt sich aus obiger Gleichung zu

$$\lambda = \frac{3 \cdot 10^8 \frac{m}{s}}{50 \frac{1}{s}} = 6000000m = 6000km$$

Die Wellen durchdringen fast alles. Eine Abschirmung ist - wenn überhaupt - nur mit großem Aufwand möglich.

1.3 Magnetische Feldstärken

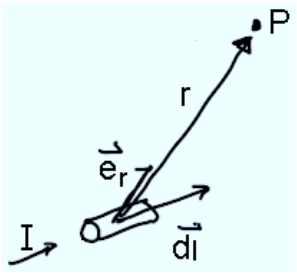
Klassisch wurde die Stärke des magnetischen Feld mit B als Induktion und H als magnetische Feldstärke beschrieben.
In der neueren Literatur wird das Formelzeichen B für die magnetische Feldstärke verwendet. H wird magnetische Erregung genannt. Dieses Bezeichnung wird deshalb hier auch verwendet.

	bisher	**neuerdings**
B in Tesla [T]	magnetische Induktion	magnetische Feldstärke
H in [A/m]	magnetische Feldstärke	magnetische Erregung

1.3.1 Feld um einen langen elektrischen Leiter

Wird ein langer elektrischer Leiter von einem Strom der Größe *I* durchflossen, so bildet sich konzentrisch um den Leiter ein magnetisches Feld aus (Bild 1.2). Handelt es sich bei dem Strom I um einen Wechselstrom, dann erzeugt dieser auch ein magnetisches Wechselfeld. Die Stärke des magnetischen Feldes *B* fällt linear mit zunehmender Entfernung vom Leiter. Ausgehend vom Gesetz nach Biot-Savart gilt (die Herleitung kann z.B. [1] entnommen werden):

$$\vec{B} = \frac{\mu_0}{4\pi} \int_{dl} \frac{I \cdot d\vec{l} \times \vec{e}_r}{r^2} \qquad \text{Gleichung } \{1.2\}$$



mit μ_0 als magnetische Feldkonstante ($\mu_0 = 4\pi \cdot 10^{-7}\ Vs/Am$)

$$B(r) = \frac{\mu_0 \cdot I}{2\pi \cdot r} \qquad \text{Gleichung } \{1.3\}$$

$$B(r) = \frac{I \cdot 2 \cdot 10^{-7} \cdot \frac{Vs}{Am}}{r} \qquad \text{Gleichung } \{1.4\}$$

mit

B: magnetische Feldstärke in Tesla ($1T = 1\frac{Vs}{m^2}$)

I: Stromstärke in A

r: Abstand vom Leiter in m

Aus der magnetischen Feldstärke *B* läßt sich die magnetische Erregung *H* berechnen. Es besteht der Zusammenhang

$$H = \frac{B}{\mu_0} \qquad \text{Gleichung } \{1.5\}$$

Dabei ist

H: magnetische Feldstärke in $\frac{A}{m}$

μ_0: magnetische Feldkonstante in Luft = $4 \cdot \pi \cdot 10^{-7} \frac{Vs}{Am}$

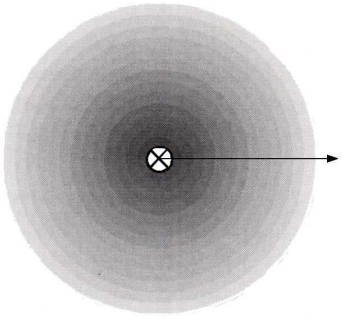


Bild 1.2: Konzentrisches Magnetfeld um einen stromdurchflossenen Leiter. Die Stärke des Magnetfeldes nimmt hier mit 1/r ab.

1.3.2 Feld des magnetischen Dipols

Im Bild 1.3 ist eine in der x-z-Ebene liegende Leiterschleife dargestellt. Das Magnetfeld wird in Richtung der y-Achse abgestrahlt. Es gilt für das Feldsegment dB:

$$d\vec{B} = \frac{\mu_0}{4\pi} I \cdot \frac{d\vec{l} \times \vec{e}_r}{r^2} \qquad \text{Gleichung } \{1.6\}$$

$$d\vec{B} \perp d\vec{l} \qquad d\vec{B} \perp \vec{e}_r \qquad d\vec{l} \perp \vec{e}_r$$

dabei besteht dB aus den Komponenten dB_x und dB_y.

$$dB = \frac{\mu_0}{4\pi} I \cdot \frac{\left|d\vec{l} \times \vec{e}_r\right|}{r^2} = \frac{\mu_0}{4\pi} I \cdot \frac{dl}{r^2}$$

$$\sin \upsilon = \frac{AK}{H} = \frac{a}{\sqrt{y^2 + a^2}}$$

$$dB_y = dB \cdot \sin \upsilon = \frac{\mu_0}{4\pi} I \cdot \frac{dl}{r^2} \cdot \frac{a}{\left(y^2 + a^2\right)^{\frac{1}{2}}} = \frac{\mu_0 \cdot I \cdot dl}{4\pi} \cdot \frac{a}{\left(y^2 + a^2\right)^{\frac{3}{2}}}$$

$$B_y = \int dB_y = \frac{\mu_0 \cdot I \cdot a}{4\pi \cdot (y^2 + a^2)^{\frac{3}{2}}} \cdot \int dl$$

mit $\int dl = 2\pi \cdot a$

$$B_y = \int dB_y = \frac{\mu_0 \cdot I \cdot a}{4\pi \cdot (y^2 + a^2)^{\frac{3}{2}}} \cdot \int dl = \frac{\mu_0 \cdot I}{2} \frac{a^2}{(y^2 + a^2)^{\frac{3}{2}}}$$

$$B_y(y = 0) = \frac{\mu_0 \cdot I}{2a}$$

$$B(y) = \frac{\mu_0 \cdot I \cdot a^2}{2(y^2 + a^2)^{\frac{3}{2}}} \cdot N \qquad \text{Gleichung } \{1.7\}$$

Mit N als Windungszahl und der magnetischen Feldkonstanten $\mu_0 = 4\pi \cdot 10^{-7}$ Vs/Am.

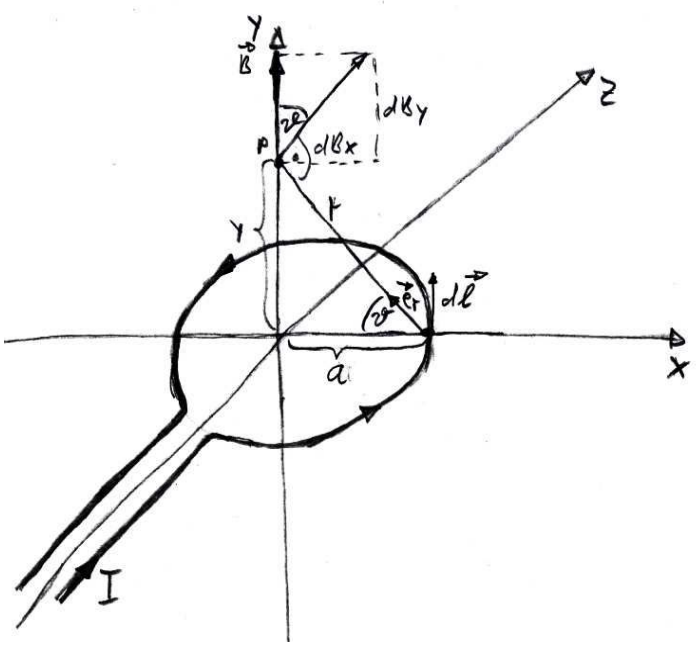


Bild 1.3: Leiterschleife in der x-z-Ebene

In großem Abstand von der magnetischen Quelle gilt (ohne Herleitung) unter Berücksichtigung von Bild 1.3 und Bild 1.4 in Luft:

$$B_r = \frac{\mu_0 \cdot (I \cdot \pi \cdot a^2 \cdot N) \cdot \cos \upsilon}{2\pi \cdot r^3} \quad \text{Gleichung } \{1.8\}$$

$$B_\upsilon = \frac{\mu_0 \cdot (I \cdot \pi \cdot a^2 \cdot N) \cdot \sin \upsilon}{4\pi \cdot r^3} \quad \text{Gleichung } \{1.9\}$$

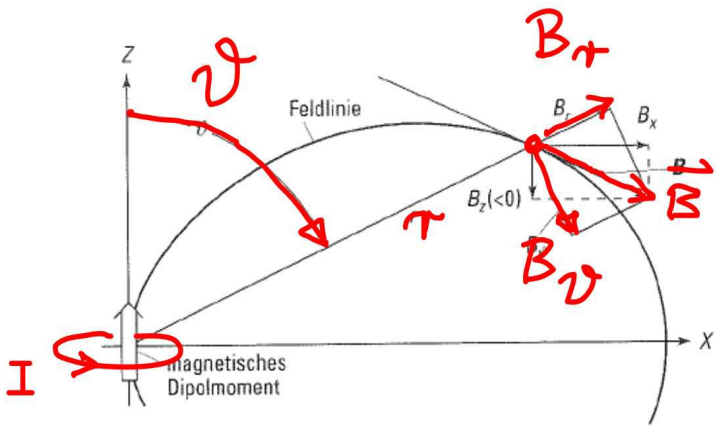


Bild 1.4: Verhältnisse bei großem Abstand zu einem magnetischen Dipol-Strahler (Hot Spot).

1.3.3 Feldstärken

Es fällt auf, dass das magnetische Feld einer langen Leitung abfällt mit

$H \sim 1/r$

wobei mit r der Abstand von der Quelle gemeint ist.

Hingegen fällt das Feld bei einem magnetischen Pol ab mit

$H \sim 1/r^3$.

Probleme beim Messen magnetischer Felder treten dann auf, wenn sehr schwache Felder aus einem breitbandigen Gemisch herausselektiert und gemessen werden sollen. Im vorliegenden Fall beginnen die Magnetfeldstärken in der Größenordnung von einigen nT. Quellen mit verschiedenen Magnetfeldstärken sind im Bild 1.5 dargestellt.

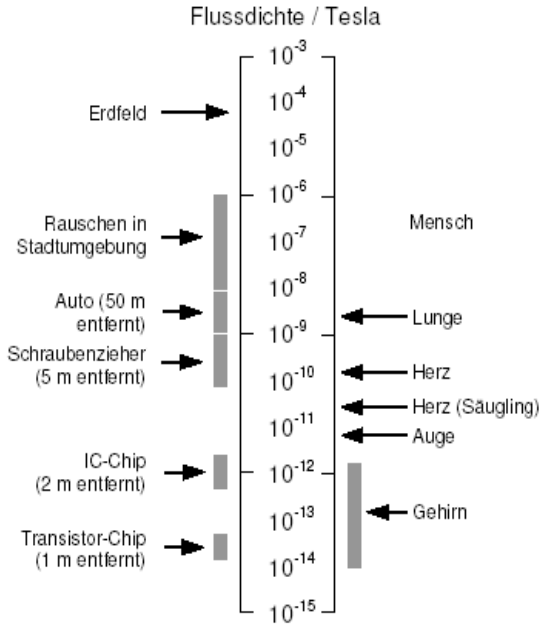


Bild 1.5: Verschiedene Magnetfeldstärken in der Umwelt und beim Menschen.

1.4 Beispiel für ELF-Signale

Im Bild 1.6 ist beispielhaft das Frequenzspektrum eines aufgenommenen ELF-Signals abgebildet. Es wurde am späten Nachmittag des 4. März 2007 in meiner Küche in Alsdorf-Mariadorf bei Aachen aufgenommen. Die Aufnahmedauer betrug 3 Stunden.
Die im Diagramm deutlich zu erkennende Linie bei 16,7 Hz stammt vermutlich von der Stromversorgung der Bahn. Im Kasten rechts sind Strukturen und intermittierende Signale zu erkennen.

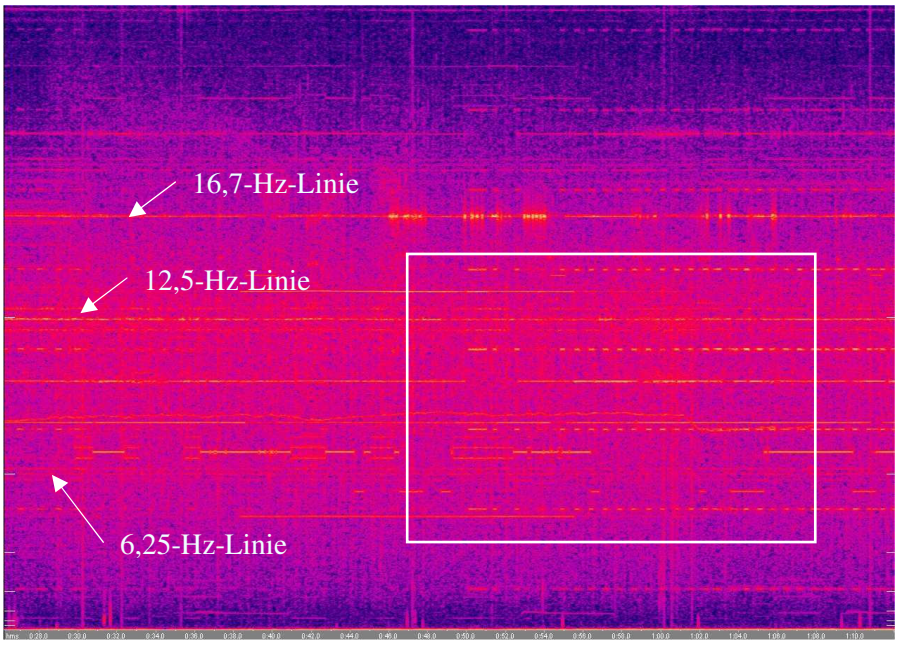


Bild 1.6: Beispiel für aufgenommene ELF-Signale.