

Zeitschrift: Helvetica Physica Acta

Band: 55 (1982)

Heft: 6

Artikel: Magnetokardiographische Beobachtungen am menschlichen Herz

Autor: Palmy, C. / Heinrich, U.

DOI: <https://doi.org/10.5169/seals-115308>

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften auf E-Periodica. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Zeitschriften und ist nicht verantwortlich für deren Inhalte. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern beziehungsweise den externen Rechteinhabern. Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen sowie auf Social Media-Kanälen oder Webseiten ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. [Mehr erfahren](#)

Conditions d'utilisation

L'ETH Library est le fournisseur des revues numérisées. Elle ne détient aucun droit d'auteur sur les revues et n'est pas responsable de leur contenu. En règle générale, les droits sont détenus par les éditeurs ou les détenteurs de droits externes. La reproduction d'images dans des publications imprimées ou en ligne ainsi que sur des canaux de médias sociaux ou des sites web n'est autorisée qu'avec l'accord préalable des détenteurs des droits. [En savoir plus](#)

Terms of use

The ETH Library is the provider of the digitised journals. It does not own any copyrights to the journals and is not responsible for their content. The rights usually lie with the publishers or the external rights holders. Publishing images in print and online publications, as well as on social media channels or websites, is only permitted with the prior consent of the rights holders. [Find out more](#)

Download PDF: 05.04.2026

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

Magnetokardiographische Beobachtungen am menschlichen Herz

Von C. Palmy, Neu-Technikum Buchs und
U. Heinrich, Kantonsspital Winterthur

(16. XII. 1982)

Zusammenfassung. Magnetische Flussdichten eines normalen und eines kranken menschlichen Herzens wurden mit einem SQUID-Gradiometer zweiter Ordnung gemessen. Weiter wurde das magnetische Signal sowie das Stör- und Rauschspektrum am Messort aufgenommen.

1. Einleitung

Die empfindlichen, als SQUIDs (Superconducting Quantum Interference Devices) bezeichneten, supraleitenden Differential-Magnetometer, ermöglichen die Messung von magnetischen Flussdichten biologischen Ursprungs in genügender Qualität, um sie klinisch auszuwerten. Der Betrag der magnetischen Flussdichten biomagnetischer Signale liegt im Bereich von 5×10^{-11} T für die QRS-Spitze des Herzens und bei ca. 1pT für die spontane und evozierte Aktivität des menschlichen Gehirns [1].

Im Jahre 1970 wurde erstmals von Cohen, Edelsack und Zimmermann [2] mit einem SQUID ein Magnetokardiogramm (MKG) gemessen. Inzwischen ist der Biomagnetismus zu einem sich rasch entwickelnden interdisziplinären Forschungsgebiet geworden [3]. Ziel dieser Arbeit ist es, den Tieftemperaturphysiker für ein faszinierendes Anwendungsgebiet der Supraleitung zu sensibilisieren, einige experimentelle Erfahrungen zur Messtechnik festzuhalten, sowie Magnetokardiogramme (MKG) mit Elektrokardiogrammen (EKG) zu vergleichen. Schliesslich soll in einem Fall eine Ventrikel-Hypertrophie (krankhafte Zunahme der Herzmuskelmasse) anhand eines MKGs diskutiert werden.

2. Experimentelle Hinweise

Das benützte SQUID-System ist kommerziell erhältlich (S.H.E., San Diego, Californien), sein Funktionsprinzip wird in einschlägigen Publikationen ausführlich dargelegt [1]. Die supraleitenden Systemteile sind in einem aus Fiberglas gefertigten, superisolierten Helium-Dewar untergebracht. Dieses steht seinerseits in einem kardanisch aufgehängten Holzrahmen, der es ermöglicht, verschiedene Messpositionen einzustellen (Bild 1).

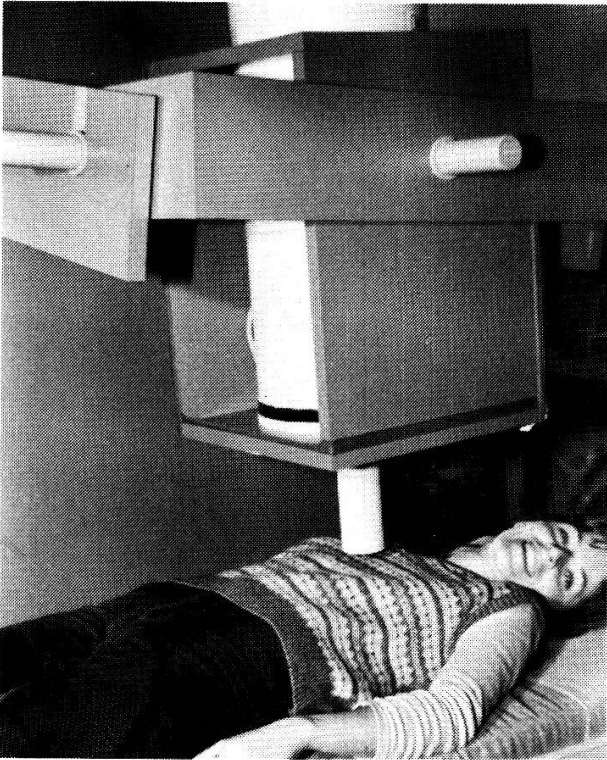


Bild 1

Kardanisch aufgehängtes Helium-Dewar für die Messung biomagnetischer Flussdichten.

Weil die biomagnetischen Signale 4 bis 6 Größenordnungen kleiner sind als die magnetischen Störungen in einem gewöhnlichen Laboratorium, sind einige Vorkehrungen für ein brauchbares Signal/Rauschverhältnis zu treffen. Darin besteht die eigentliche Crux aller biomagnetischen Messungen.

Zunächst kompensieren die gegenläufig gewickelten Windungen einer Gradiometerspule zweiter Ordnung Störfelder, die innerhalb von ca. 6 cm homogen sind [4]. Die grössten magnetischen Störungen in den Laboratorien des Neu-Technikum Buchs stammen von der nur 250 m entfernten SBB-Linie, die ein

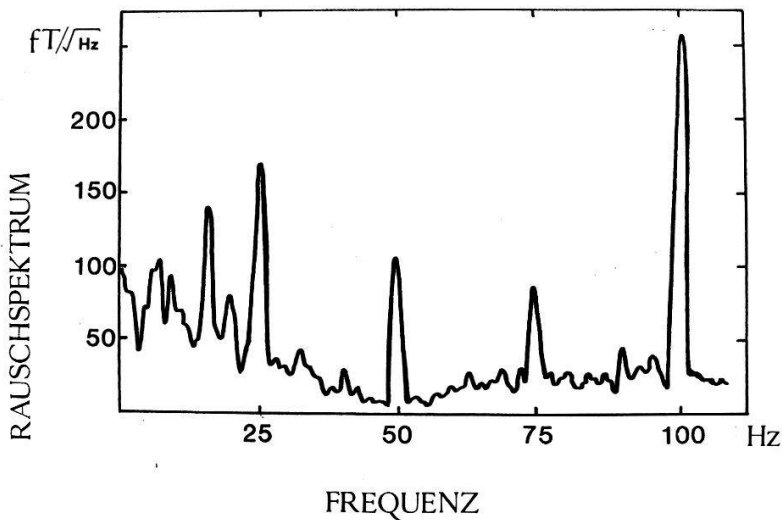


Bild 2

Magnetisches Rauschspektrum bei Tag im Raum Wildhaus.

Signal konstanter Frequenz von 16.6 Hz, aber veränderlicher zeitlicher und räumlicher Amplitude erzeugt. Der Feinabgleich mit den eingebauten, mechanisch verschiebbaren supraleitenden Niobzylindern bringt kein befriedigendes Ergebnis. Eine Filterung mit einem Notch-Filter bei 16.6 Hz vermag zwar das Störsignal zu unterdrücken, es filtert aber auch gleichzeitig entscheidende Frequenzanteile des MKGs heraus, wodurch die Herzrhythmus-signale in unzulässiger Weise verfälscht werden.

Für eine erste Messerie wurde daher die Anlage an einen magnetisch ruhigen Ort in Wildhaus, Koordinaten 742 350/229 500, ca. 12 km von der Bahnlinie entfernt, aufgestellt. Das magnetische Rauschspektrum im Bereich 0–100 Hz wird im Bild 2 wiedergegeben. Deutlich erkennbar sind die Störsignale der Bahn und der Netzfrequenz bei 16.6-, 25-, 50-, und 100 Hz. Der übrige magnetische Rauschpegel liegt bei 50–100 ft/ $\sqrt{\text{Hz}}$, was in etwa den Ergebnissen aus anderen Laboratorien entspricht [3].

3. Ergebnisse und Diskussion

Damit auch der Physiker ein MKG beurteilen kann, muss er mit den Grundvorstellungen der Elektrophysiologie des Herzens und des EKGs vertraut sein. Die elektrische Erregung des Herzens beruht auf einem biochemischen Prozess, der sich an den Herzzellen abspielt. Die elektrische Erregung, sie kann als Polarisationsfront betrachtet werden, entsteht normalerweise im oberen Teil des Herzens (Sinusknoten) und breitet sich von dort auf verschiedenen Bahnen über den ganzen Herzmuskel aus. Infolge der hohen Leitfähigkeit von Blut und Gewebe fließt ein 'Kreisstrom' vom Herzen durch den Körper zum Herz zurück. Deshalb kann eine Potentialdifferenz zwischen zwei Stellen an der Hautoberfläche registriert werden, die ihrerseits die elektrische Aktivität des Herzens wiedergibt und in der Form des EKGs seit einigen Jahrzehnten klinisch ausgewertet wird. Die elektrische Erregung (Depolarisation) führt bei den Herzmuskelzellen zu einer schlagartigen Kontraktion. Das normale EKG (Bild 3) umfasst die P-Welle, welche die Depolarisation des rechten- und linken Vorhofs signalisiert, den QRS-Komplex, der die Depolarisation der Herzkammern wiedergibt, sowie die T-Welle, die von der Repolarisation der Herzkammern stammt.

Der von der elektrischen Herzaktivität entstehende magnetische Flussdichtevektor ist natürlich orts- und richtungsabhängig. Um zumindest die senkrecht

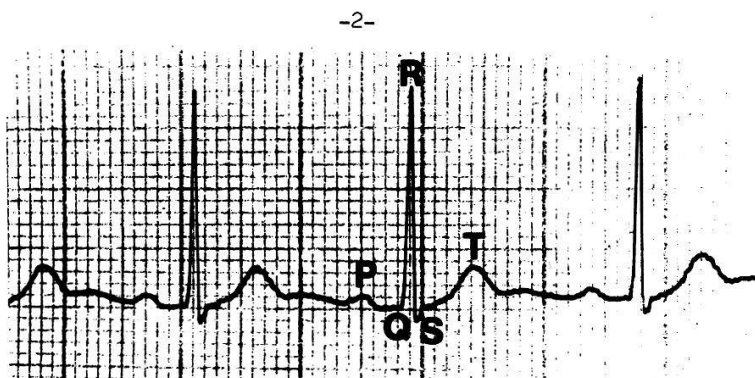


Bild 3
Normales Elektrokardiogramm (EKG).

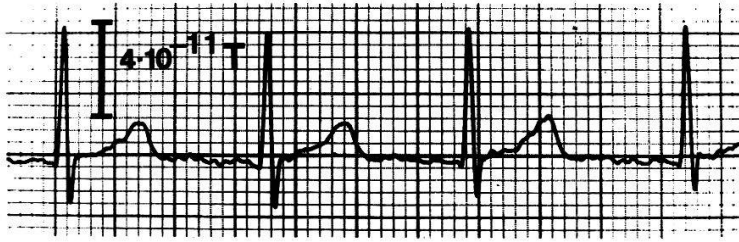


Bild 4

Normales Magnetokardiogramm (MKG).

zur Brustoberfläche verlaufenden Feldvektoren vergleichen zu können, wird eine normierte Einteilung der Brustoberfläche in 36 gleichgrosse, individuell angepasste, rechteckige Segmente benützt [3]. Im Bild 4 wird das MKG eines gesunden Herzens wiedergegeben, es umfasst frequenzmässig einen Bereich von 0–90 Hz, die Höhe der QRS-Spitze beträgt etwa 50 pT. Das entsprechende Fourierspektrum ist im Bild 5 aufgezeichnet, es zeigt, dass Frequenzanteile bis mindestens 40 Hz mit signifikanten Amplituden auftreten.

Der Vergleich zwischen EKG und MKG zeigt offensichtlich einen ähnlichen Signalverlauf. Wie bereits Cohen und Lepeschkin [5] gezeigt haben, ist dies nicht überraschend, da die Maxwell'schen Gleichungen Ströme, Potentiale und Felder miteinander verbinden. Die relativen Signalamplituden brauchen aber im EKG und MKG keineswegs dieselben zu sein. Als Indiz dafür kann das Fehlen der P-Welle im MKG des Bildes 4 dienen. Zwei Ursachen können dafür verantwortlich sein: Die räumliche Auflösung und damit die Lokalisierung der 'Stromquelle' ist im MKG besser als im EKG oder/und der Stromdipol besitzt eine Richtung, die von der Empfängerspule in der eingenommenen Position nicht wahrgenommen werden kann.

Das Bild 6 zeigt ein rechts vom Brustbein aufgenommenes MKG eines Patienten mit cor pulmonale (Schwere Hypertrophie und Erweiterung des rechten Vorhofs und der rechten Kammer als Folge einer Lungenerkrankung). Der Vergleich mit einem an der gleichen Stelle bei einer gesunden Versuchsperson aufgenommenen MKG (Bild 7) zeigt vor allem eine ungewöhnlich grosse P-Amplitude. Auch die QRS-Spitze, die an dieser Stelle das andere Vorzeichen trägt, ist im Bild 6 deutlich grösser. Nebenbei zeigt das Bild 6 noch eine Rhythmusstörung. Erwartungsgemäss konnte bei diesem Patienten auch eine extrem hohe QRS-Amplitude in den näher am rechten Ventrikel liegenden Messtellen beobachtet werden (hier nicht dargestellt).

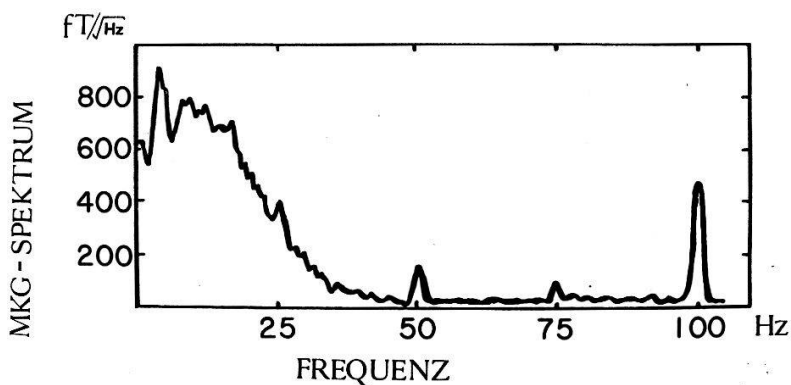


Bild 5

Fourierspektrum des MKGs.

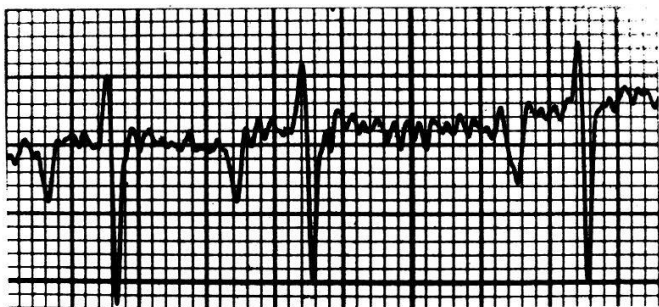


Bild 6
MKG eines Patienten mit "cor pulmonale" (siehe Text).

Der Versuch, ein detailliertes Modell der elektrischen Herzaktivität zu entwerfen, das qualitative Berechnungen zulässt, ist ein komplexes Problem, an dem verschiedenen Forschergruppen arbeiten [3]. Schlüssige Ergebnisse fehlen noch zur Zeit, insbesondere ist nicht geklärt, ob das MKG Informationen enthält, die durch das EKG nicht erhältlich sind.

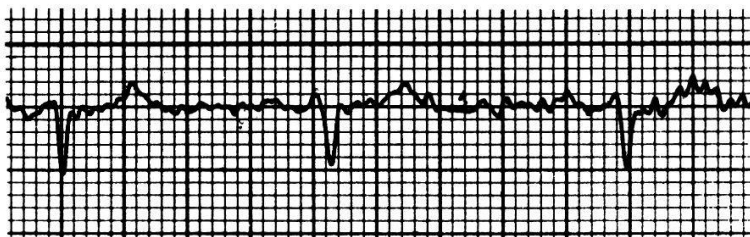


Bild 7
MKG eines gesunden Probanden an der gleichen Messtelle wie beim Patienten von Bild 6.

4. Schlussfolgerungen

Mit einem SQUID-Gradiometer zweiter Ordnung können Magnetokardiogramme in einer den Elektrokardiogrammen vergleichbaren Signalqualität ohne zusätzliche magnetische Abschirmung gewonnen werden. Allerdings sind die Probleme der Kompensation magnetischer Störfelder, insbesondere derjenigen der SBB-Linien bei 16.6 Hz noch nicht befriedigend gelöst. Demzufolge könnten in den meisten Kliniken der Schweiz infolge des dichten Eisenbahnnetzes Magnetokardiometer heute noch nicht ohne zusätzliche elektronische Massnahmen eingesetzt werden.

In jedem Fall aber hat die nicht-invasive Methode zur Beobachtung der Herztätigkeit grundsätzliche Vorteile; sie könnte für eine rasche, routinemässige Untersuchung einer grossen Patientenzahl mit Vorteil angewendet werden. Als nachteilig für einen klinischen Einsatz des Instrumentes wirkt sich zweifelsohne die als kostspielig und anspruchsvoll empfundene Technik des Umgangs mit flüssigem Helium aus. Eine Entwicklung kleiner, einfacher Heliumverflüssiger könnte diesen Nachteil beseitigen.

Trotz alledem verfügt heute der interessierte Kardiologe erstmals über ein Instrument, mit dem er berührungslos die elektrische Herzaktivität untersuchen kann. Die Informationen, die das MKG gibt, stimmen weitgehend mit jenen des

EKGs überein. Das MKG scheint darüber hinaus noch zusätzliche Ergebnisse zu bringen, deren klinischer Stellenwert im einzelnen erst noch festzulegen sein wird.

Wir möchten nicht verfehlen, allen zu danken, die an der vorliegenden Arbeit mitgewirkt haben. Dazu gehört die NTB-Studienstiftung mit der Teilfinanzierung eines Weiterbildungsaufenthaltes, dann aber auch die tatkräftige Mitarbeit der Assistenten F. Schnüriger, R. Baumgartner und M. Hefti. Für wertvolle Diskussionen und Anregungen zu Dank verpflichtet sind wir den Herren D. Cohen vom MIT, F. Fenici aus Rom, J. F. Zimmermann vom NBS in Boulder sowie C. Bösch, aus Zürich.

LITERATUR

- [1] S. J. WILLIAMSON and L. KAUFMAN, *Journal of Magnetism and Magnetic Materials* 22, (1981), 129.
- [2] D. COHEN, E. EDELSACK and J. E. ZIMMERMANN, *Appl. Phys. Lett.* 16, (1970), 278.
- [3] *Biomagnetism*, Proceedings of the third International Workshop on Biomagnetism, Berlin (West), May 1980. Editors S. N. Ern , H. D. Hahlbohm and H. L big. Published by W. de Gruyter, Berlin, New York (1981).
- [4] D. BRENNER, L. KAUFMANN and S. J. WILLIAMSON. *IEEE Trans. Magnetics* MAG-13, (1977), 365.
- [5] D. COHEN and D. MCCAUGHAN, *Amer. J. Card.*, 29, (1972), 678-685.