**Zeitschrift:** Bulletin des Schweizerischen Elektrotechnischen Vereins

**Herausgeber:** Schweizerischer Elektrotechnischer Verein ; Verband Schweizerischer Elektrizitätswerke

**Band:** 60 (1969)

**Heft:** 3

**Artikel:** Terminologie und Begriffserklärungen

**Autor:** Poretti, G.G.

**DOI:** https://doi.org/10.5169/seals-916117

**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:** 14.07.2025

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

# BULLETIN

DES SCHWEIZERISCHEN ELEKTROTECHNISCHEN VEREINS

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

## Elektronik in der Medizin

**31. Hochfrequenztagung des SEV vom 14. November 1968 in Bern**

## Terminologie und Begriffserklärungen

Vortrag, gehalten an der 31. Hochfrequenztagung des SEV vom 14. November 1968 in Bern,
von *G. G. Poretti,* Bern

621.38:615.475

Seit Jahrzehnten trägt die Physik in nicht unwesentlichem Masse zum medizinischen Fortschritt bei. Als schon beinahe historisch gewordene Beispiele seien hier die sich auf rein physikalische Vorgänge stützenden Temperatur- und Blutdruckmessungen oder auch die stethoskopischen und mikroskopischen Untersuchungen genannt. Dank der theoretischen und experimentellen physikalischen Kenntnisse konnten viele medizinische Vorgänge entscheidend abgeklärt werden. Nur einige Beispiele seien erwähnt: die Analyse bioelektrischer Signale, d. h. die genaue Erfassung und Analyse bestimmter physikalisch messbarer Signale des Organismus, ein besserer Überblick über die Elastizität der Arterienwand und folglich über die Fortpflanzungsgeschwindigkeit der arteriellen Pulswelle, die Neutronenaktivierungsanalyse biologisch wichtiger Atome, sowie die Berechnung der Strahlendosis in bestimmten Organen bei strahlentherapeutischen Behandlungen, welche bekanntlich Kenntnisse über die Wechselwirkung der verschiedenen Strahlenarten mit der Materie voraussetzen.

Schon *Galileo Galilei* erkannte die Bedeutung der Physik für die Medizin. In den berühmten «Discorsi intorno a due nuove scienze» machte er auf die Einschränkungen, die die Materialien unseres Körpers unserer Lebensweise auferlegen, aufmerksam. Einen Klassiker der medizinischen Physik, «De motu animalium», veröffentlichte 1676 *Borelli* in Rom. An Hand von wunderbaren künstlichen Diagrammen beschreibt er die Bewegungstechnik des Systems Knochen—Muskel. Bis in die moderne Zeit wiesen Mediziner immer wieder darauf hin, dass Physik und Mathematik für die vollwertige Ausübung des medizinischen Berufes unentbehrlich sind. *Richard Mead,* Arzt von *Newton,* sagte sogar schon um 1700 über die Medizin: «...since of late Mathematicians have set themselves to the study of It, Men do already begin to Talk so Intelligibly and Comprehensively...». Das erste moderne Buch über «medizinische Physik» wurde von einem deutschen Physiologen, A. Fick, welcher auch an der Universität Zürich lehrte, im Jahre 1856 geschrieben [1] [1]). *Fick* sagte ausdrücklich:

> «Seit einiger Zeit baut sich eine neue wissenschaftliche Disziplin auf, genannt Physiologische Chemie, gelegen zwischen Chemie und Physiologie. In diesem Buch ist ein erster Versuch unternommen worden, einen Keil, den wir medizinische Physik nennen wollen, zwischen Physik und allgemeine Medicin zu treiben.»

An ausländischen Universitäten haben diese Disziplinen stark zugenommen, und zwar hauptsächlich dank den Anstrengungen von Prof. *O. Glasser* (Cleveland Clinic Foundation), welcher schon im Jahre 1943 in seinem enzyklopädischen Buch «Medical Physics» [2] «the fundamental need for an unified demonstration of the place of physics in medical practice» erkannte. Die beste Definition des Begriffes der medizinischen Physik stammt von *W. V. Mayneord* [3], nämlich «the scientific discipline concerned with the application of the concepts and techniques of Physics to Medicine». Eine eindeutige Verbesserung vieler klinischer Untersuchungen und Behandlungen konnte aber vor allem durch den Fortschritt auf elektronischem Gebiet erzielt werden.

Bei der Vielfalt von Bezeichnungen, die heute schon auf diesem Gebiet gebräuchlich sind, mag es nützlich sein, kurz folgendes festzustellen:

Der Begriff medizinische Physik darf z. B. nicht mit demjenigen der «physikalischen Medizin» verwechselt werden. Hier wird das Wort «physikalisch» mehr im Sinne von Bewegung (Mechanotherapie) oder Wärmeabgabe benützt. Durch Rehabilitation von Körperbehinderten erfüllt bekanntlich die physikalische Medizin wichtige soziale Aufgaben.

Durch Anwendung der Methoden der Physik auf bestimmte biologische Fragen ist die sog. «Biophysik» entstanden [2]), wobei aber, historisch gesehen, die medizinische Physik als deren Vorläufer angesehen werden darf. Die physikalische (und chemische) Charakterisierung von bestimmten Typen von Makromolekeln zwecks Abklärung der komplexen Eigenschaften der Zellmembranen ist z. B. eines der wich-

[1]) Siehe Literatur am Schluss des Aufsatzes.

[2]) Das Wort wurde von *K. Pearson* in seinem Buch «Grammar of Science», 1892, geprägt.

tigsten Kapitel der Biophysik. Auch die Bioenergetik, die sich auf die Gesetze der Thermodynamik und auf die Begriffe von Enthalpie, freie Energie und Entropie stützt, wird von den Biophysikern als ihre eigene Domäne betrachtet.

Getrennt von der Biophysik ist die «Bionik» anzusehen, welche als die Kunst bezeichnet wird, die Kenntnis lebender Systeme praktisch auf die Lösung technischer Probleme anzuwenden. Das Wort Bionik ist relativ neu, es wurde von *J. E. Steele* von der medizinischen Abteilung der US Air Force erst 1958 geprägt. Pionierarbeit hatte aber schon *Leonardo da Vinci* im Jahre 1505 geleistet, als er als Muster für die Herstellung einer fliegenden Maschine nicht die Flügel der normalen Vögel empfahl, sondern diejenigen der Fledermäuse, welche eine die innere Knochenstruktur verstärkende Haut besitzen. Bekannt sind auch die Studien über die Beschaffenheit der Körperoberfläche der sehr schnell schwimmenden Delphine und die daraus gewonnenen Erfahrungen beim Bau von Unterseebooten.

Die Forschungsgebiete im Bereiche der medizinischen Physik sind naturgemäss nicht scharf abgrenzbar, insbesondere nicht, was die Physiologie betrifft. Das wichtigste Gebiet der medizinischen Physik ist in der Tat eindeutig die Elektromedizin, die sich auf den Grundlagen der Elektrophysiologie aufgebaut hat. Bekanntlich weisen die Zellen, Gewebe und Organe des Körpers sog. passiv-elektrische Erscheinungen auf, wie z. B. dielektrische Eigenschaften oder wie der Leitfähigkeit des Blutplasmas und der an KCl und NaCl reichen Körperflüssigkeiten. Sie können aber auch Elektrizität produzieren, d. h. aktiv-elektrisch sein. Bei biologischen Systemen ist die Quelle einer Spannungsdifferenz immer in einem Ionen-Konzentrationsgradienten zwischen zwei Gewebestellen zu suchen. Die physiologische Polarisation der Zellenmembranen ist z. B. ein Vorgang, aus welchem lokale und fortgepflanzte Erregungen hervorgehen, d. h. elektrische Erscheinungen bei der Muskeltätigkeit oder Erregungsleitung in den Nerven. Diese Eigenschaften führen unter anderem zu den medizinisch-praktischen Entwicklungen im Gebiete der Elektrocardio- und Elektroencephalographie.

Für diagnostische und therapeutische Zwecke kann auch die Einwirkung des elektrischen Stromes auf den Körper und auf gewisse Organe von Nutzen sein, wobei hier die verschiedenen Parameter, wie Frequenz, Form, Spannung und Intensität, eine grosse Rolle spielen. Man unterscheidet z. B. zwischen niedrigen ($<$3000 Hz), mittleren (zwischen 3000 und 200 kHz) und hohen Frequenzen ($>$200 kHz).

Vom diagnostischen Standpunkt aus gesehen benützt man z. B. die niedrigen und mittleren Frequenzen als Reizströme für die Untersuchung der Nerventätigkeit (Reizschwellenbestimmung). Die applizierten physiologischen Reize (Stimulation) weisen Elektrizitätsmengen in der Grössenordnung von 0,2 µC pro Impuls auf. Therapeutisch werden sie für die Behandlung von Neuralgien und Myalgien (z. B. Lumbago) benützt. Schädigende Lesionsreize entstehen bei 20...25 µC pro Impuls. Die hochfrequenten Ströme finden bekanntlich wegen ihrem starken Durchdringungsvermögen als Wärmequelle für tiefliegende Gewebe Anwendung (z. B. Diathermie). In der praktischen Medizin sind aber die heutigen elektrophysiologischen Kenntnisse bei weitem noch nicht alle zur Anwendung gelangt. So wird z. B. ein vernünftiger Einsatz von Wechselströmen mittlerer Frequenz erst noch kommen *(O. A. M. Wyss).*

Durch Einwirkung des elektrischen Stromes können auch Effekte erreicht werden, die für den Patienten oft lebenswichtig sind, so z. B. Einsatz der Pacemaker, d. h. kleine Impulsgeneratoren, die im Falle eines Herzblockes die Herztätigkeit aufrechterhalten. Auch Elektroschockbehandlungen in der Psychiatrie sind hier zu nennen. Besonders für die Entwicklung solcher Geräte hat sich eine Zusammenarbeit zwischen Ärzten, Physikern und Ingenieuren als notwendig erwiesen. Diese Form von «angewandter Physik», die in den USA stark vertreten ist, erhielt dort den Namen «biomedical engineering». *J. A. Shannon,* Direktor der amerikanischen National Institutes of Health (NIH), definiert sie folgendermassen:

«Arts and sciences connected with the theory, design manufacture and use of instruments in the service of health.»

Für die Förderung dieser Zusammenarbeit haben diese amerikanischen Institute 1967 Kredite im Betrag von zirka 35 Mill. $ zur Verfügung gestellt. Massgebende Kreise in den USA hoffen, dass diese jährliche Summe im Laufe der nächsten Jahre verdoppelt wird [4].

Entwicklung und Bau der vielen Elektrogeräte für diagnostische und therapeutische Zwecke, denen die Medizin die enormen Fortschritte der letzten Jahrzehnte verdankt, gehören mehr in das Arbeitsgebiet des biomedical engineering als in dasjenige der Elektromedizin im engeren Sinne. Die Elektrizität hat hier im allgemeinen nicht mehr mit dem Körper direkt zu tun, die Anwendung der Geräte kann aber zu wichtigen physikalisch-medizinischen Studien Anlass geben. Man denke z. B. an die ausgedehnten Untersuchungen über die Wechselwirkung zwischen den von den Röntgenanlagen produzierten Strahlungen und den Geweben. Die von Physikern und Ingenieuren im engen Kontakt mit Medizinern noch zu lösenden Probleme sind mannigfaltig. Die Techniker müssen sich mit einem System, dem biologischen, befassen, welches komplex und zeitlich variabel ist — nur die Körpertemperatur bleibt konstant — und das sich reaktionsmässig nicht linear verhält. Um einige Beispiele zu nennen: Die pacemaker, die kleinen Sperroszillatoren, welche z. B. während ca. 2 ms dem Herzventrikel 4...8 V Impulse liefern, werden im allgemeinen im Körperinnern eingebaut, d. h. in einer für arbeitende elektrische und mechanische Teile recht ungünstigen Umgebung. Da die für die elektrische Versorgung durch die Haut eingeführten Verbindungen vom menschlichen Körper früher oder später abgestossen werden, wird der Oszillator mit Batterien betrieben, die nach 30...36 Monaten durch chirurgischen Eingriff zu ersetzen sind. Physiker und Ingenieure bemühen sich gegenwärtig, langlebige Batterien (5 Jahre und mehr) herzustellen oder die verbrauchten Batterien von aussen her aufzuladen. Die Herstellung von langlebigen Batterien ist mit Hilfe von radioaktiven Isotopen, wie Plutonium-238, denkbar. Die Toxizität dieser Substanz ist aber ausserordentlich gross ($<$0,5 µg wirken schon toxisch), und dazu sind die für die praktischen medizinischen Anwendungen zu erfüllenden Bedingungen sehr streng. Zum Beispiel das Volumen der Batterie muss kleiner sein als 5 $cm^3$ und die Leistung bis 500 µW betragen. Der Preis sollte 200 $ nicht überschreiten.

Die Übertragung und Filterung der elektrisch messbaren Signale des Organismus stellt für die moderne Elektromedizin ebenfalls eine wichtige Aufgabe dar. Die Entwicklung

der Analog-Digital-Converter, d. h. die Digitalisierung der Kurven, wie diejenigen eines Elektrocardiogrammes, eröffnet sicher bedeutende differentialgnostische Möglichkeiten für die Medizin. Das Strombild des einzelnen Herzschlages wird z. B. in 250...1000 Einzelpunkte (Spannungshöhe) zerlegt, was verfeinerte und präzisere Vergleiche von Kurvenabweichungen gegenüber der Norm erlaubt.

Der Informationsinhalt jeder Hirnwelle, die von einem Elektroencephalographen (EEG) registriert wird, ist im allgemeinen bescheiden. Informationstheoretisch ist ein EEG in grossem Masse «noise». Die Filterung und Analyse solcher Signale («retrieval of time-logged data from noise») stellt die biomedizinischen Ingenieure vor sehr wichtige künftige Aufgaben.

Die weitere Entwicklung von zentralisierten Monitoranlagen in den Spitälern, mit kurzzeitigen Kontrollen von verschiedenen Körpersignalen, kann ebenfalls als eine dankbare Zielsetzung betrachtet werden. Eine ständige automatische Kontrolle der Herztätigkeit («watch-and-warn monitoring») in den Krankenhäusern kann sicher die Sterblichkeitsrate von Patienten mit Herzstörungen (30...40 % z. B. der in den USA jährlich hospitalisierten 2,5 Mill. Herzkranken) bedeutend herabsetzen.

Wesentliche Verbesserungen in Analyse und Auswertung von Röntgenaufnahmen würden zweifellos von den Ärzten sehr geschätzt werden. Es ist bekannt, dass es der NASA (National Aeronautics and Space Administration — USA) gelungen ist, Mond- und Marsaufnahmen in ihrer Qualität wesentlich zu verfeinern. Ein gleichartiges Verfahren ist ohne weiteres auch für Röntgenaufnahmen denkbar und auch bereits im Entstehen begriffen. Die Röntgenfilme werden abgetastet und die Helligkeitswerte der einzelnen Punkte in digitaler Form übersetzt. Die Grauskala wird z. B. in 100 Werte eingeteilt, wobei 00 als tiefschwarz und 99 als weiss bezeichnet wird. Dadurch besteht die Möglichkeit, durch programmierte Änderung der Grauwerte den Kontrast der Aufnahme verbessern zu können. Nicht nur im erwähnten Falle werden Physiker und Ingenieure somit auf die Erfahrung eines Computermathematikers angewiesen sein. Die Computertechnik kann praktisch in jeder Abteilung eines Großspitals Anwendung finden. Als Beispiel sei hier der Computereinsatz in der Strahlentherapie erwähnt. Mit der Zunahme der Strahlenenergien, mit welchen bösartige Geschwülste zum Verschwinden gebracht werden sollten, und den entsprechenden Abgrenzungen des Strahlenbündels im Körper hat sich eine bessere Kenntnis der Verteilung der Strahlendosis im Körper als notwendig erwiesen. Der Strahlentherapeut soll die Möglichkeit haben, anhand der sog. Isodosenkurven eine genaue Zentrierung der zu bestrahlenden Geschwülste zu erreichen. Eine Optimalisierung aller Bestrahlungsparameter wie z. B. Strahlenenergie, Strahleneintrittswinkel, Feldgrösse usw. kann nur durch die Aufstellung von Behandlungsplänen erreicht werden. Die Berechnung der Isodosen ist relativ einfach für implantierte Radiumquellen, sowie für die Gammastrahlung des Kobalts (Fernbestrahlungsanlage). Viel komplizierter erweist sie sich für die Bremsstrahlung und hochenergetischen Elektronen der Betatrone (bis 35 MeV), hauptsächlich wegen der Inhomogenität der Gewebe und entsprechend verschiedenen Absorptionsverhältnisse für die Strahlen und Teilchen. Um dem Therapeuten die verschiedenen Behandlungsarten rasch vorlegen zu können, müsste die Berechnung der Strahlendosis an möglichst vielen Körperpunkten mit einem Computer erfolgen.

In der allgemeinen medizinischen Diagnostik erstrecken sich die Anwendungen der Computer von der Dokumentation klinischer Daten und Befunde bis zur Automation eines Untersuchungslabors oder zur Simulation biologischer Vorgänge.

Die rapide Zunahme der Produktion von medizinischen Geräten in den USA, die von ca. 100 Mill. $ in 1960 auf voraussichtlich 1000 Mill. $ für das Jahr 1970 steigen wird, wird von vielen Industrien als Grund für eine Diversifikation betrachtet. Verschiedene Faktoren müssen aber sorgfältig abgewogen werden. Nicht zuletzt diejenigen der Zusammenarbeit zwischen Spezialisten verschiedener Richtung (beispielsweise Ärzte, Physiker und Ingenieure), welche, wenn auch für eine gemeinsame Aufgabe vereinigt, durch ihre Ausbildung die zu lösenden Probleme von unterschiedlichen Gesichtspunkten aus zu beurteilen und zu erfassen imstande sein werden.

## Literatur


[1] *A. Fick:* Die medicinische Physik. 2. Auflage, Braunschweig, Vieweg, 1866.

[2] *O. Gasser:* Medical Physics. Vol. I/III. Chicago, Year Book Publisher Inc., 1943...1960.

[3] *W. V. Mayneord:* Medical Physics. Opening Address. In: Aspects of medical physics. Review papers presented at the first international conference on medical physics, Harrogate, UK, september 1965. London, Taylor and Francis Ltd., 1966, S. 3...11.

[4] *J. A. Shannon* and *S. M. Seesoms:* Bioengineering aspects of medical research programms of the NIH. Keynote address at the 22nd annual conference and exhibits of the Instrument Society of America, Chicago, september 1967. Bethesda/Maryland, National Institutes of Health, 1967.



**Adresse des Autors:**

Dr. *G. G. Poretti,* dipl. Physiker ETH, Spitalphysiker, Universität und Inselspital, 3008 Bern.