Zeitschrift: Bulletin des Schweizerischen Elektrotechnischen Vereins, des Verbandes Schweizerischer Elektrizitätsunternehmen = Bulletin de l'Association suisse des électriciens, de l'Association des entreprises électriques suisses

Herausgeber: Schweizerischer Elektrotechnischer Verein ; Verband Schweizerischer Elektrizitätsunternehmen

Band: 70 (1979)

Heft: 17

Artikel: 20 Jahre implantierbare Herzschrittmacher

Autor: Babotai, I.

DOI: https://doi.org/10.5169/seals-905428

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

20 Jahre implantierbare Herzschrittmacher

Von I. Babotai

615.817

Der implantierbare Herzschrittmacher ist ein batteriebetriebener Impulsgenerator, welcher ca. 70mal in der Minute kurze elektrische Impulse auf den Herzmuskel abgibt und dadurch die Herzkontraktion auslöst. Ein Schrittmacher besteht aus dem elektronischen Teil (Impulsgeber) und aus der Energiequelle (Primärzelle oder wiederaufladbarer Akkumulator), welche gemeinsam in einem Gehäuse untergebracht sind. Die Reizimpulse werden über eine flexible, isolierte Zuleitung mit einer Platinspitze (Elektrode) dem Herzen zugeführt. Die hochentwickelte Elektronik und die neuen chemischen Batterien ermöglichen heute eine Funktionsdauer des Schrittmachers von mehr als 10 Jahren bei einer erheblichen Reduktion an Gewicht und Volumen.

Le stimulateur cardiaque implanté est un générateur d'impulsions alimenté par batterie et qui transmet de brèves impulsions électriques au myocarde, environ 70 fois par minute, ce qui provoque les contractions du cœur. Il consiste en une partie électronique (transmetteur d'impulsions) et en une source d'énergie (pile ou accumulateur), logés dans un boîtier. Les impulsions d'excitation sont transmises au cœur par une ligne souple, isolée, avec pointe en platine (électrode). L'électronique très développée et les nouvelles batteries chimiques permettent maintenant un fonctionnement du stimulateur cardiaque pendant plus de 10 ans, avec une nette réduction du poids et du volume.

1. Physiologische Grundlagen

Das Herz besitzt die Fähigkeit, sich selbständig periodisch zu kontrahieren und so den Körper mit Blut zu versorgen. Das auslösende Zentrum für diese automatische Tätigkeit liegt im rechten Herzvorhof, im Sinusknoten. Die hier entstehenden elektrischen Reize werden über das Reizleitungssystem auf den Herzkammermuskel übertragen, wodurch eine Kontraktion der beiden Herkammern zustande kommt. Im Ruhezustand schlägt das Herz bei einem gesunden Menschen etwa 70mal in der Minute. Bei Anstrengung steigt die Herzfrequenz an, weil der vermehrte Blutbedarf des Körpers gedeckt werden muss. Die Pumpleistung des Herzens kann auch durch die Erhöhung des Hubvolumens, also der ausgeworfenen Blutmenge gesteigert werden. Dies kann man am besten bei trainierten Sportlern beobachten, welche hohe Leistungen ohne Herzfrequenzsteigerung erbringen können.

Durch Erkrankung der Herzkranzgefässe kann das Reizleitungssystem des Herzens so geschädigt werden, dass die im Sinusknoten periodisch gebildeten elektrischen Reize das übrige Herz nur teilweise oder überhaupt nicht erreichen. Man spricht in diesem Fall von einem Herzblock. Das Herz schlägt dabei nur mit einer Frequenz von 30...40 Schlägen in der Minute, und zeitweise kann es sogar zu vollständigem Aussetzen der Herztätigkeit kommen. Das Aussetzen der Herztätigkeit führt bei einem Stillstand von 4...8 s zum Bewusstseinsverlust. Die langsame Herztätigkeit führt anderseits zu ungenügender Blutversorgung des Körpers, was Schwächegefühl, Müdigkeit und Leistungsabfall hervorruft. Früher wurde eine Steigerung der Herzfrequenz mittels Medikamenten versucht. Durch die Anwendung des elektrischen Herzschrittmachers wurde ein neuer, wesentlich effektiverer Weg gefunden, um herzkranke Patienten zu behandeln. Der erste implantierte Herzschrittmacher wurde 1958 von *Senning* und Mitarbeitern [1] bei einem Menschen erfolgreich eingesetzt, womit der Grundstein für eine der wirksamsten Therapieformen in der Kardiologie gelegt wurde (Fig. 1).

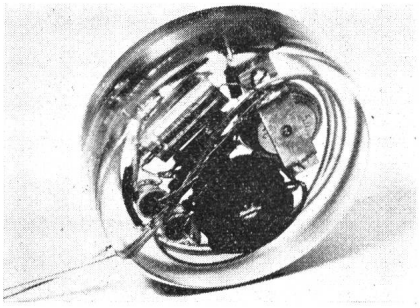

Fig. 1
Der erste implantierbare Schrittmacher (1958)
Als Energiequelle diente ein NiCd-Akkumulator, der auf induktivem Weg durch die Haut aufgeladen wurde

Ein Herzschrittmacher ist ein batteriebetriebener Impulsgenerator, welcher ca. 70mal in der Minute kurze elektrische Impulse auf den Herzmuskel abgibt und dadurch die Herzkontraktionen auslöst. Um hier gleich ein populäres Missverständnis zu klären: Der Schrittmacher übt nur eine Triggerfunktion auf das Herz aus. Die Stärke des Schrittmacherimpulses kann keineswegs die Leistung des Herzens beeinflussen, und daher kann ein Schrittmacher einen geschwächten oder erkrankten Herzmuskel nicht stärken. Es wird nur eine dauernde oder zeitweilig auftretende Verlangsamung des Pulsschlages durch elektrische Stimulation behoben.

Der Herzschrittmacher wird in Narkose oder in Lokalanästhesie im rechten Oberbauch zwischen die Bauchmuskulatur oder in die Brustmuskulatur eingepflanzt. Eine isolierte hochflexible Elektrode wird durch eine Halsvene in die rechte Herzkammer eingeschoben und dort zwischen den Muskelfasern verankert. Das Ende des Drahtes wird unter der Haut zum Schrittmacher geleitet und an diesen angeschlossen. Damit ist das ganze System vollständig im Körper eingeschlossen, und nach Ausheilung der Wunde merkt der Patient bald nicht mehr, dass er einen Schrittmacher trägt.

Je nach Art der Herzerkrankung können unterschiedliche Schrittmachertypen verwendet werden. Ein fixfrequenter Schrittmacher gibt regelmässig, ca. 70mal in der Minute, einen Reizimpuls auf das Herz und löst eine Kammerkontraktion aus. Die Bedarfsschrittmacher geben nur dann Reizimpulse auf das Herz, wenn keine eigene Herzaktivität vorhanden ist. Ist die Herzfrequenz höher als die Schrittmacherfrequenz, wird die Herzaktivität mit dem im Schrittmacher eingebauten EKG (Elektrokardiogramm)-Verstärker registriert und der Schrittmacher blockiert. Mit dem vorhofgesteuerten Schrittmacher wird das ausgefallene Reizleitungssystem überbrückt. Die im Sinusknoten gebildeten Reize werden vom Schrittmacher verstärkt und nach der natürlichen Verzögerung der Herzkammer zugeführt. Auf diese Weise wird der natürliche Herzfrequenzanstieg bei vermehrtem Blutbedarf wieder ermöglicht.

2. Die Energiequelle

Die Lebensdauer des Schrittmachers wird zum grössten Teil durch die Batteriekapazität bestimmt. Nach 1959 dienen in den meisten Geräten Quecksilberoxyd-Zink-Zellen als Energiequelle. Vier in Serie geschaltete Zellen ergeben eine

Batterie mit ca. 5 V Spannung. Die nominelle Kapazität der verwendeten Batterien betrug ca. 1000 mAh, doch konnte wegen der hohen Selbstentladung nur ca. 60 % der Kapazität der Zellen genutzt werden. Dies ergab für die Schrittmacher eine mittlere Betriebsdauer von ca. 30 Monaten.

In den 70er Jahren versuchte man die Lebensdauer des Schrittmachers durch Verwendung von Isotopenbatterien zu verlängern. Diese Batterien erwiesen sich jedoch aus rechtlichen und auch aus medizinischen Gründen als ungünstig und umständlich (Strahlenbelastung für den Patienten, komplizierte Grenzabfertigung bei Auslandreisen, administrative Schwierigkeiten in der Klinik usw.). Sie wurden sehr bald wieder von verbesserten chemischen Batterien, den Lithium-Batterien (Fig. 2), abgelöst.

Die neuen Festkörperbatterien mit Lithium-Anode haben im Vergleich zu den Quecksilberoxyd-Zink-Zellen ein um einen Faktor 2 besseres Energie/Gewicht-Verhältnis, sowie eine vernachlässigbar geringe Selbstentladung [2]. Ein weiterer Vorteil gegenüber den Quecksilberzellen ist ihre Entladecharakteristik. Die stetig abfallende Spannung erlaubt eine bessere Überwachung und Festlegung des Austauschzeitpunktes (Fig. 3). Lithium-Batterien werden bis zu einer Kapazität von 3,5 Ah in Schrittmacher eingebaut. Bei einem Strombedarf der Elektronik von 250 mAh/Jahr ergibt dies eine theoretische Betriebsdauer von 14 Jahren. Ob diese Betriebszeiten tatsächlich erreicht werden, wird sich erst in der Zukunft zeigen. Lithium-Batterien werden erst seit 6 Jahren in Schrittmachern verwendet. Ein vorzeitiger Ausfall ist bisher noch nicht bekannt.

3. Elektronische Schaltung

Der elektrisch und funktionell einfachste, der *festfrequente Schrittmacher* besteht aus einem Impulsgenerator und der Ausgangsstufe (Fig. 4). Der Ausgangstransistor wird vom Impulsgenerator periodisch während 0,5...1 ms durchgeschaltet und während 850 ms gesperrt. Ist der Transistor gesperrt, wird der Ausgangskondensator (C) über dem Kollektorwiderstand R und über dem Herzen auf die Batteriespannung U_B aufgeladen. Wird der Transistor leitend, entlädt sich der Kondensator durch die Kollektor-Emitter-Strecke des Transistors über das Herz (Reizimpuls). Da Lade- und Entladestrom entgegengesetzte Richtung aufweisen, wird eine Elektrolyse in der Umgebung der Elektrode weitgehend vermieden.

Die zurzeit meistgebrauchten *Bedarfsschrittmacher* arbeiten nur, wenn die Herzfrequenz des Patienten kleiner ist als diejenige des Schrittmachers (Fig. 5). Die vom Impulsgenerator erzeugten Signale steuern die Ausgangsstufe wie beim fest-

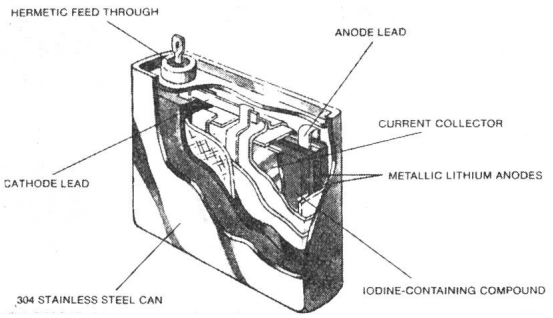

Fig. 2 Aufbau einer Lithiumjodid-Festkörperbatterie für Herzschrittmacher mit einer Kapazität von ca. 3,5 Ah

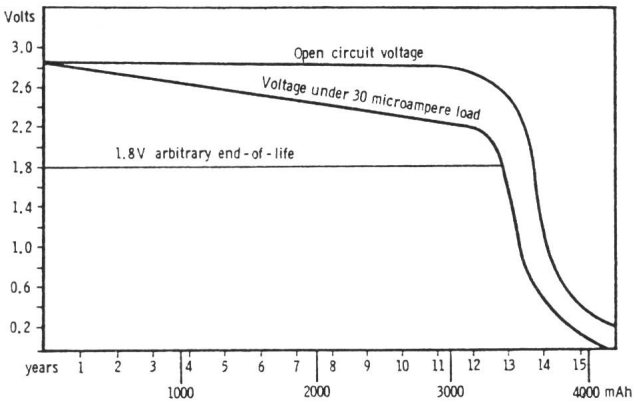

Fig. 3 Entladecharakteristik der Lithiumjodid-Batterie
Die stetig abfallende Batteriespannung erlaubt eine genaue Überwachung des Ladezustandes der Batterie

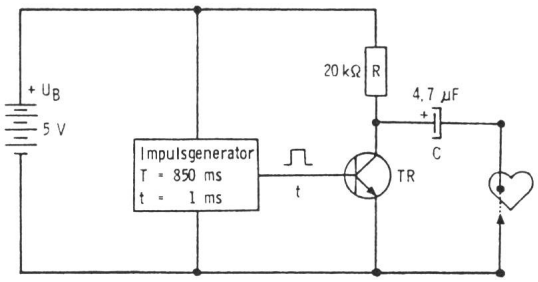

Fig. 4 Funktionsprinzip eines festfrequenten Schrittmachers

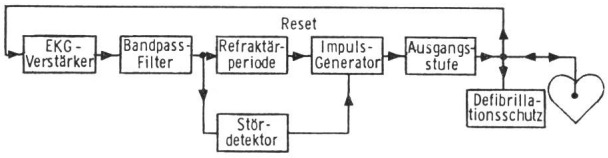

Fig. 5 Blockschaltbild eines Bedarfsschrittmachers

frequenten Gerät an. Die Reizimpulse gelangen über die Elektrode an das Herz. Über die gleiche Elektrode werden die intrakardialen Potentiale zum EKG-Verstärker geleitet, verstärkt und dem Impulsgenerator zugeführt. Wird eine Herzaktion während der Impulspause in Form von einer sog. R-Welle registriert, wird der Impulsgenerator auf null gesetzt, so dass der nächste Impuls erst wieder nach 850 ms abgegeben wird. Die Refraktär-Einheit (Monoflop) verhindert, dass innerhalb von 300 ms nach der vorausgegangenen Stimulation eine erneute Rücksetzung des Impulsgenerators erfolgt. Mit Hilfe des Stördetektors wird der Schrittmacher beim Einwirken von externen periodischen Störsignalen (z.B. 50 Hz) auf fixfrequente Stimulation umgeschaltet.

Der typische Ruhestrom der Schaltung liegt bei ca. 4...8 µA, bei Stimulation beträgt die Stromaufnahme ca. 18...20 µA. Die Frequenz des Impulsgenerators ist batteriespannungsabhängig. Ein Absinken der Stimulationsfrequenz um 6...8 Impulse/min zeigt dem Patienten den Zeitpunkt für den Schrittmacheraustausch an.

Der Aufbau der elektronischen Schaltung erfolgte bis zu den 70er Jahren fast ausschliesslich in *diskreter Bauweise* (Fig. 6, 7). Dabei wurden auf eine meist mit Glasfasern verstärkte Epoxydharz-Trägerplatte die Leiterbahnen aufge-

druckt, auf welche die einzelnen Bauelemente aufgelötet wurden. Diskrete Schaltungen eignen sich gut für die Herzschrittmacher, da alle Bauelemente einzeln geprüft werden können, wodurch eine hohe Zuverlässigkeit erreicht wird. Ihr Nachteil ist der relativ grosse Platzbedarf, was den Bau komplexer Schaltungen nicht erlaubt.

Die *Hybridschaltungen* sind mit der beschriebenen Technik eng verwandt. Die Leiterbahnen werden in Dünnfilmtechnik, Widerstände und kleinere Kondensatoren im Druckverfahren hergestellt. Transistoren und Dioden werden durch Aufbonden (Schweissen) mit den Leiterbahnen verbunden. Auch hier können die Bauelemente einzeln geprüft werden. Durch Verwendung von Hybridschaltungen in den Herzschrittmachern konnten die mechanischen Dimensionen des Schrittmachers erheblich reduziert werden (Fig. 8).

Die Verwendung von *monolithisch integrierten Schaltungen* machte die Entwicklung einer neuen Schrittmachergeneration möglich, die programmierbaren Schrittmacher (Fig. 9). Bei diesen können die einzelnen Parameter, wie z. B. Stimulationsfrequenz, Amplitude, Dauer des Reizimpulses oder Empfindlichkeit des eingebauten EKG-Verstärkers usw. nach der Implantation neu eingestellt, d. h. dem Patienten angepasst werden. Dazu wird mit Hilfe eines externen Programmiergerätes die Information in Form von einem digitalen Kode, z. B. auf einer Trägerfrequenz zum Schrittmacher übertragen. Durch eine Antennenspule oder einen Magnetschalter im Schrittmacher wird die Information empfangen, mit Hilfe einer Logik dekodiert und die notwendige Umstellung der Schrittmacherparameter vorgenommen.

Anfänglich wurden nur Frequenz und Impulsamplitude programmiert. Heute existieren bereits Systeme, die bei 6 Schrittmacher-Parametern 448 Kombinationen erlauben. Bei einem weiteren System, bei welchem im Schrittmacher ein Mikroprozessor eingebaut ist, wird das Programmieren in Dialogform zwischen Programmiergerät und implantiertem Schrittmacher vorgenommen.

4. Gehäuse und Elektrode

Bei den Schrittmachern mit Quecksilberoxyd-Batterien, bei einer Betriebszeit von 2...3 Jahren, wurden Elektronik und Batterien mit Epoxydharz umgossen, welches damit auch das Gehäuse des Schrittmachers bildete. Epoxydharz wird vom Körper gut vertragen und ist ausserdem für Wasserstoff gut durchlässig. Dies ist deswegen wichtig, weil die Quecksilberbatterien während der Entladung Wasserstoff bilden, welcher durch das Epoxydharz herausdiffundieren kann. Der Nachteil des Epoxydharzvergusses besteht im Eindringen der Körperflüssigkeit bis zur Elektronik, wodurch die Funktion der hochohmigen Schaltung beeinträchtigt wird. Die neuen Lithium-Batterien bilden während der Entladung keine Gase; dadurch wurde es möglich, Elektronik und Batterie in einem hermetisch verschweissten Metallgehäuse einzukapseln. Der Gehäusewerkstoff muss dabei gut körperverträglich, korrosionsfest, gut verformbar und schweissbar sein. Einige rostfreie Stähle und Titan haben sich als geeignet erwiesen.

Durch das Metallgehäuse sind Elektronik und Batterie vor dem Einfluss der Körperflüssigkeiten geschützt, was bei der erwarteten Funktionsdauer von grösster Wichtigkeit ist. Die Impulse werden aus dem hermetisch verschweissten Metallgehäuse mit Hilfe einer Glas- oder Keramikdurchführung zum Elektrodenanschluss geführt. Die Elektrode wird bei der Implantation an dem Anschluss so angeschraubt, dass bei einer

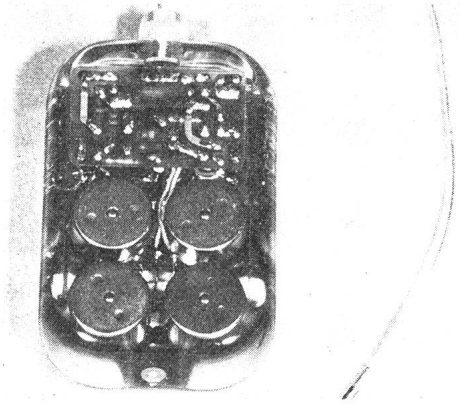

Fig. 6 Bedarfsschrittmacher mit Quecksilberbatterien und diskreter Elekronik
Elektronik und Batterie sind im Epoxydharz vergossen, welches das Gehäuse des Schrittmachers bildet

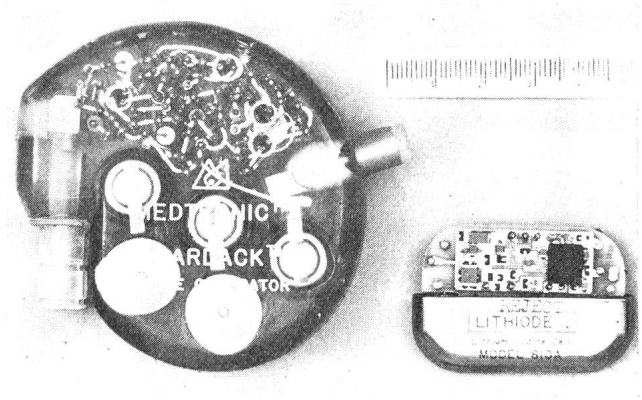

Fig. 8 Grössenvergleich (cm-Skala) eines Bedarfsschrittmachers mit diskreter Schaltung mit einem modernen Schrittmacher in Hybridschaltung sowie mit einer Lithiumjodid-Batterie

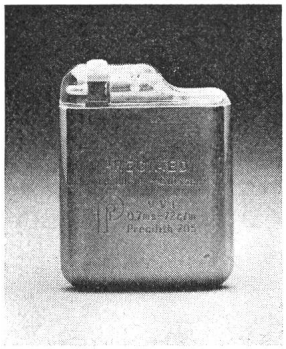

Fig. 7
Der Schweizer Schrittmacher «Precilith» ist nur 61 × 47 × 15 mm gross und wiegt 72 g
Diskrete Schaltung und Lithium-Batterie

Fig. 9
Moderner multiprogrammierbarer Schrittmacher
Dieser Schrittmacher kann für 41 Parameter-Kombinationen programmiert werden, um eine für den einzelnen Patienten optimale Funktion zu erzielen

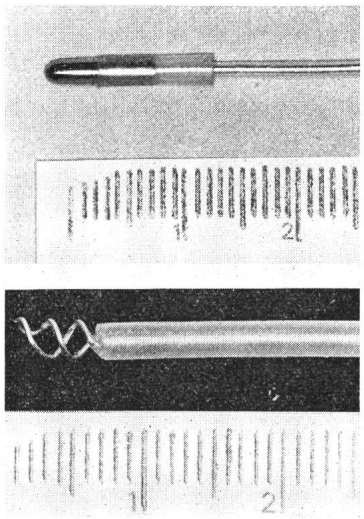

Fig. 10
Elektroden zur Übertragung der Reizimpulse vom Herzschrittmacher zum Herzmuskel
cm-Skala

Oben:
Elektrode mit Platinkopf

Unten:
Elektronenkopf als Spirale ausgebildet, zur besseren Fixierung in der Herzkammer
cm-Skala

Erschöpfung der Batterie die Verbindung wieder gelöst werden kann [4].

Die Elektrode verbindet den Schrittmacher mit dem Herz und überträgt die Reizimpulse auf den Herzmuskel. Der Elektrodenkopf aus einer Platin-Iridium-Legierung muss dabei direkten Kontakt mit dem Herzmuskel haben. Dazu kann die Elektrode von aussen an das Herz angenäht (Epikardiale-Elektrode) oder durch eine Vene in die rechte Herzkammer geführt und dort zwischen den Herzmuskelfasern verankert werden (Intrakardiale-Elektrode). Die Zuleitung zum Elektrodenkopf wird durch die Kontraktion des Herzens einer sehr starken mechanischen Belastung ausgesetzt: In 10 Jahren muss sie an die 400 Millionen Lastwechsel aufnehmen ohne zu brechen. Als Elektrodenzuleitung haben sich flexible ein- oder mehrwendlige Stahlspiralen mit Silikongummiüberzug als Isolation gut bewährt (Fig. 10).

5. Zukunftsaussichten

In der nächsten Zukunft werden programmierbare Schrittmacher vermehrt Anwendung finden. Sie haben nicht nur den Vorteil, dass die Schrittmacherparameter nach der Implantation dem Patienten optimal angepasst werden können, sondern auch, dass gewisse Störungen im System durch einfaches Umprogrammieren behoben werden können, womit eine erneute Operation vermieden wird.

Die Anwendung von Mikroprozessoren im Schrittmacher macht den Bau von sog. Diagnostikschrittmachern möglich. Diese dienen nicht nur zur Therapie, sondern geben dem Arzt die Möglichkeit, den Schrittmacher über gewisse Ereignisse, wie z. B. Rhythmusstörungen seit der letzten Kontrolle abzufragen. Ferner kann ein solcher Schrittmacher über den Ladezustand der Batterie, über die Stimulationsschwelle des Herzens, oder über eingestellte Parameter Auskunft geben.

Die Anwendung von monolithisch integrierten Schaltungen mit geringem Platzbedarf wird ausserdem eine Redundanz erlauben, womit die Zuverlässigkeit des Systems noch weiter erhöht wird.

Durch weitere Verbesserung der noch relativ neuen Lithium-Batterien wird die Lebensdauer verlängert und/oder Volumen und Gewicht des Schrittmachers reduziert.

Literatur

[1] *A. Senning:* Discussion to S.E. Stephenson, Physiologic p-wave cardiac stimulator. Journal of Thoracic and Cardiovascular Surgery 38(1959)5, p. 639.
[2] *H.P. Siebert*: Lithium-Batterie. Elektronik 25(1976)4, S. 479...489.
[3] *R.C. Lillehei* a.o.: A new solid-state, long-life, lithium-powered pulse generator. Annals of Thoracic Surgery 18(1974)5, p. 479...489.
[4] *R. Thull* und *M. Schaldach:* Langzeitschrittmacher – nicht nur ein Energieproblem. Biotechnische Umschau 1(1977)5, S. 134...142.

Adresse des Autors

Dr. *I. Babotai*, Universitätsspital Zürich, Chirurgische Klinik A
(Dir : Prof. Dr. A. Senning), Rämistrasse 100, 8091 Zürich.

Literatur – Bibliographie

DK: 534.322.3 SEV-Nr. A 748

Noise in physical systems. Proceedings of the fifth international conference on noise, Bad Nauheim, Fed. Rep. of Germany, march 13...16, 1978. By *Dieter Wolf*. Berlin/Heidelberg/New York, Springer Verlag, 1978; 8°, X/337 p. 182 fig, 5 tab. Price: cloth DM 59.–.

«Eine Analyse des Rauschens fördert nicht nur das Verständnis für das von der korpuskularen Natur der Materie herrührende makroskopische Verhalten physikalischer Systeme, sondern gibt auch Einsicht in die natürlichen Grenzen der Empfindlichkeit von physikalischen Informationsübertragungskanälen und Bauelementen.» So etwa ist in der Einleitung dieses Buches nachzulesen, das die Vorträge der fünften internationalen Konferenz über Rauschen, vom 13. bis 16. März 1978 in Bad Nauheim (BRD), enthält. Die 52 Beiträge reflektieren das rege Interesse, das den verschiedensten Aspekten des Rauschens in Halbleiterbauelementen, magnetischen Materialien, Supraleitern, supraleitenden Bauelementen, der Rauschtheorie, der Messtechnik und speziellen Rauschursachen wie dem 1/*f*-Rauschen und dem Rauschen heisser Ladungsträger entgegengebracht wird. Aus der Fülle von Beiträgen, die oft recht weit ins Detail gehen, ist es nicht immer leicht, das Wichtigste herauszuschälen; doch helfen einführende Beiträge teilweise über diese Schwierigkeiten hinweg. Neben ausgezeichneten Beiträgen sind auch fragwürdige eingeschlossen worden. So scheint z. B. *Lecoys* Beitrag auf Seite 38–41 vollständig an der Hauptursache für das wellenlängenabhängige Rauschen seiner Avalanche-Photodioden, nämlich an den von der Wellenlänge abhängigen Anteilen der primären Photoelektronen und Löcherströme und deren Einfluss auf das Rauschverhalten, hinwegzusehen. Einige interessante Beiträge mögen auf die Qualität des Buches und die Vielfalt der Rauschphänomene hinweisen: «Übersicht über 1/*f*-Rauschen», *D. Wolf;* «Burst-Noise in p-n-Dioden»; «Statistische Effekte in modenkontrollierten Lasern», *H. A. Haus*; «Noise Thermometry using Josephson Junctions» erlaubt Temperaturmessungen bis 2 K.

Es ist dem Herausgeber und Verlag hoch anzurechnen, dass dieses Buch schon 4 Monate nach der Konferenz erschienen ist. So kann es seinem Zwecke dienen, nämlich der Information über die aktuellen Probleme und den Stand der Untersuchungen im Bereich des Rauschens. Das Buch enthält eine Fülle von Information für den Forscher, etliche nützliche Auskünfte und Hinweise für den Anwender und erlaubt mit seiner Vielfalt und den guten Quellennachweisen einen Einstieg in das Gebiet der Rauschphänomene. *H. Melchior*