

**Zeitschrift:** Bulletin der Schweizerischen Akademie der Medizinischen Wissenschaften = Bulletin de l'Académie suisse des sciences médicales = Bollettino dell' Accademia svizzera delle scienze mediche

**Herausgeber:** Schweizerische Akademie der Medizinischen Wissenschaften

**Band:** 31 (1975)

**Artikel:** Aktionspotential und Ionenströme

**Autor:** Reuter, H.

**DOI:** <https://doi.org/10.5169/seals-307996>

### **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:** 30.04.2026

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

Pharmakologisches Institut der Universität Bern

## **Aktionspotential und Ionenströme**

*H. Reuter*

Unsere Kenntnisse über die elektrischen Vorgänge und die zugehörigen Ionenbewegungen an erregbaren Membranen sind in den letzten 25 Jahren wesentlich erweitert worden. Als Ausgangspunkt dieser Entwicklung darf wohl die Analyse der Ionenströme am Riesenaxon des Tintenfisches durch HODGKIN und HUXLEY angesehen werden (s. HODGKIN, 1964). In diesen Untersuchungen konnte gezeigt werden, dass der schnellen Depolarisation des Aktionspotentials eine spannungs- und zeitabhängige Zunahme der Natriumionen-Permeabilität zugrundeliegt. Mit einer Verzögerung nimmt anschliessend auch die Kaliumionen-Permeabilität der Membran zu, wodurch das Membranpotential wieder auf den Ruhewert zurückkehrt. In zahlreichen Untersuchungen konnte im Prinzip der gleiche Mechanismus der Erregungsbildung auch für andere erregbare Membranen von Nerven und Skelettmuskeln gezeigt werden.

Das Aktionspotential des Herzens unterscheidet sich vom Nerven- oder Skelettmuskelaktionspotential durch seine wesentlich längere Dauer. Dieser Unterschied ist bedingt durch das sogenannte Plateau des Herzaktionspotentials. Die Analyse der Ionenströme, die dem Herzaktionspotential zugrundeliegen, ergab einige wesentliche Unterschiede zu den Ionenströmen am Nerven. Die Analyse der Ionenströme an isolierten Herzmuskelfasern erfolgte, wie beim Nerven und Skelettmuskel, mit der Methode der Spannungsklemme (voltage clamp; s. Abb. 1). Diese Methode erlaubt es, das Membranpotential sprunghaft für eine beliebige Zeit auf einen beliebigen Wert konstant einzustellen. Der Strom, der zur Aufrechterhaltung dieser plötzlichen Änderung des Membranpotentials benötigt wird, ist gleich dem Strom, der in diesem Potentialbereich und während dieser Zeit durch die Membran fliesst. Durch Änderung des äusseren Ionenmilieus und durch spezifisch wirkende Pharmaka können die einzelnen Komponenten des Membranstroms und ihre Ladungsträger identifiziert werden. Ausführliche Übersichten über die Ionenströme an Herzmuskelfasermembranen sind in den letzten Jahren publiziert worden (NOBLE, 1965, 1974; REUTER, 1973, 1974; TRAUTWEIN, 1973; WEIDMANN 1974). Deshalb sollen hier nur einige wesentliche Ergebnisse kurz zusammengefasst werden.

1. Der Membranstrom der Herzmuskelfaser während der Erregung besteht hauptsächlich aus 3 Komponenten (Abb. 1):

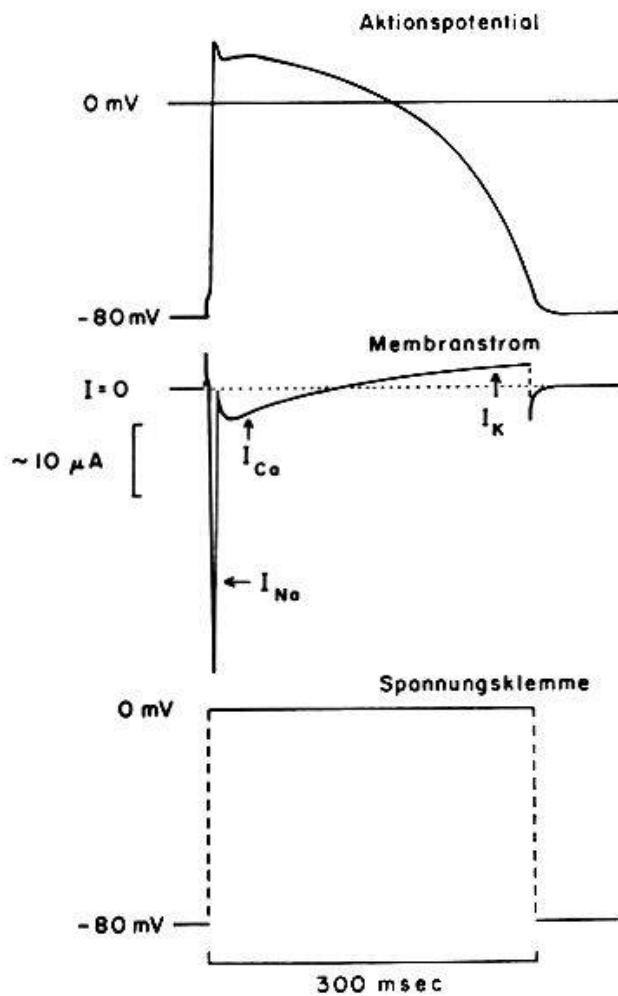


Abb. 1. Schematische Darstellung eines Herzaktionspotentials von Ventrikelmuskulatur (oben) sowie des während einer Spannungsklemme (unten) von  $-80$  auf  $0$  mV fließenden Membranstrom (Mitte), der in drei Komponenten, zwei Einwärtsströme,  $I_{Na}$  und  $I_{Ca}$  (Aufzeichnung nach unten von  $I = 0$ ) und einen Auswärtsstrom,  $I_K$  (oberhalb von  $I = 0$ ), zerlegt werden kann.

a) Während der schnellen Depolarisation des Aktionspotentials erfolgt ein Einstrom von Natriumionen ( $I_{Na}$ ), der sehr schnell «aktiviert» und «inaktiviert» wird.  $I_{Na}$  kann mit den heute zur Verfügung stehenden Methoden der Spannungsklemme am Herzen aus technischen Gründen nur unvollkommen charakterisiert werden, scheint in seiner Kinetik aber sehr ähnlich zu sein wie an Nervenfasern.

b) Auf den Natriumeinstrom folgt ein wesentlich kleinerer und langsamere zweiter Einwärtsstrom, der hauptsächlich durch Ca-Ionen und zu einem kleineren Teil durch Na-Ionen getragen wird ( $I_{Ca}$ ). Dieser zweite Einwärtsstrom ist entscheidend für die Aufrechterhaltung des Plateaus des Herzaktionspotentials. Wenn  $I_{Ca}$  mit der Zeit langsam kleiner (inaktiviert) wird, kehrt sich der Membranstrom zu einem Auswärtsstrom um.

c) Der Auswärtsstrom der Herzmuskelfasermembran wird, wie beim Nerven, hauptsächlich durch Kaliumionen getragen. Ein Charakteristikum des

Kaliumstroms ( $I_K$ ) ist, dass er nicht gleichmässig mit der Depolarisation zunimmt, sondern eher abnimmt (Gleichrichtereigenschaften der Membran). Wenn jedoch der Auswärtsstrom,  $I_K$ , grösser wird als der Einwärtsstrom,  $I_{Ca}$ , repolarisiert die Herzmuskelfasermembran auf ihren Ruhewert.

2. In verschiedenen Herzgeweben (Sinusknoten, Vorhof, Purkinje-Fasern, Ventrikelmuskulatur) finden sich überall diese 3 Membranstromkomponenten. Jedoch ist entweder die Kinetik der einzelnen Ströme etwas unterschiedlich oder es kommen noch weitere spezifische Stromkomponenten hinzu. Diese Modifikationen erklären die verschiedenen Aktionspotentialformen und das Schrittmacherpotential in Sinusknoten und Purkinje-Fasern.

3. Verschiedene Pharmaka können die einzelnen Membranströme recht spezifisch beeinflussen, z. B.:

a) Tetrodotoxin und Lokalanästhetika vermindern hauptsächlich  $I_{Na}$ .

b) Katecholamine vergrössern hauptsächlich  $I_{Ca}$ , Verapamil dagegen vermindert diesen Einwärtsstrom.

c) Acetylcholin erhöht und Tetraäthylammonium vermindert  $I_K$ .

### **Zusammenfassung**

Unsere Kenntnisse über die dem Herzaktionspotential zugrundeliegenden Ionenströme hat in den letzten Jahren erheblich zugenommen. Hauptsächlich wurden 3 Membranstromkomponenten charakterisiert, deren Ladungsträger Natriumionen, Calciumionen und Kaliumionen sind. Verschiedene Pharmaka beeinflussen diese Stromkomponenten in unterschiedlicher Weise. Auf ausführliche Darstellungen der Ionenströme im Herzen wird im Literaturverzeichnis hingewiesen.

### **Résumé**

Au cours de ces dernières années nos connaissances sur les courants ioniques responsables des potentiels d'action du muscle cardiaque se sont largement développées. On distingue surtout 3 composants des courants de la membrane, dont les porteurs de charge sont les ions de sodium, de calcium et de potassium. De nombreuses préparations pharmaceutiques influencent ces éléments porteurs de charge de multiples manières. La description détaillée des courants ioniques dans le muscle cardiaque peut être consultée dans les listes de travaux scientifiques, à la fin du travail.

### **Riassunto**

Le nostre conoscenze sui movimenti di ioni che sono alla base del potenziale d'azione della cellula miocardica si sono notevolmente arricchite negli ultimi anni. A livello della membrana, sono state differenziate soprattutto tre

componenti di corrente ed il trasporto di cariche elettriche è assicurato da ioni di sodio, calcio e potassio. Diversi farmaci influenzano in modo diverso tali componenti. Vieni fatto un elenco dettagliato dei lavori scientifici pubblicati sul soggetto.

### Summary

Our knowledge of the ionic currents underlying the cardiac action potential has much increased in recent years. Principally three membrane current components are characterised, of which the charge carriers are sodium ions, calcium ions and potassium ions. Different drugs influence the current components in various ways. For an extensive description of the ionic currents in the heart, the bibliography is given.

Hodgkin, A. L.: The conduction of nervous impulse. Liverpool University Press, Liverpool 1964.

Noble, D.: *Physiol. Rev.* 46, 1–50 (1966).

Noble, D.: Cardiac action potentials and pacemaker activity. *In* Recent advances in physiology (ed. R. J. Linden). Churchill Livingstone, Edinburgh and London, 1974.

Reuter, H.: *Progr. Biophys. Mol. Biol.* 26, 1–43 (1973).

Reuter, H.: *Circulation Res.* 34, 599–605 (1974).

Trautwein, W.: *Physiol. Rev.* 53, 793–835 (1973).

Weidmann, S.: *Ann. Rev. Physiol.* 36, 155–169 (1974).

Adresse des Autors: Prof. Dr. H. Reuter, Pharmakologisches Institut der Universität, Friedbühlstrasse 49, CH–3008 Bern