

Projekt: Elektrokardiogram (EKG)

Henri Menke* und Jan Trautwein†
Gruppe 1-11 — Platz k
(Datum: 27. Januar 2014)

INHALT

I. Grundlagen	1
A. Herzzyklus	1
B. Technik	1
1. Operationsverstärker	1
2. Der Differenzverstärker	2
II. Versuchsaufbau	2
III. Durchführung	2
IV. Auswertung	2
Literatur	3

I. GRUNDLAGEN

A. Herzzyklus

Das EKG ist ein medizinisches Diagnoseverfahren, welches die elektrischen Aktivitäten der Herzmuskelzellen (Myokard) sichtbar macht.

Die Erregungsbildung beginnt im Sinusknoten, der sich im rechten Atrium befindet. Von dort aus depolarisiert der Reiz die Myokardzellen der beiden Atria (P-Welle), was zur Myokard-Kontraktion führt und das Blut in die beiden Ventrikel pumpt. Der Reiz erreicht nun den AV-Knoten, wo er wenige Millisekunden verzögert wird (PQ-Strecke) und schließlich über das His-Bündel an die Ventrikel weitergeleitet, wo er über die Tawara-Schenkel auf die Purkinje-Fasern verteilt wird, wo er das Ventrikel-Myokard depolarisiert (QRS-Zacke), was zur Kontraktion und somit zum Ausströmen des Blutes aus den Kammern führt. Danach bildet sich die Erregung der Herzmuskelzellen wieder zurück (ST-Strecke und T-Welle).

Der beschriebene Herzzyklus ist schematisch in Abbildung 1 dargestellt.

Die Form der Zacken und Wellen gibt Auskunft über die elektrische Aktivität des Herzens, *nicht* jedoch über die motorische Aktivität. Das EKG kann also nicht anzeigen, „wie gut“ das Herz schlägt.

Anhand der verschiedenen Erregungsausbreitungsmuster lassen sich jedoch Aussagen über die Gesundheit des Myokards treffen. Für das Krankheitsbild *Akutes Koronarsyndrom* (im Volksmund *Herzinfarkt*)

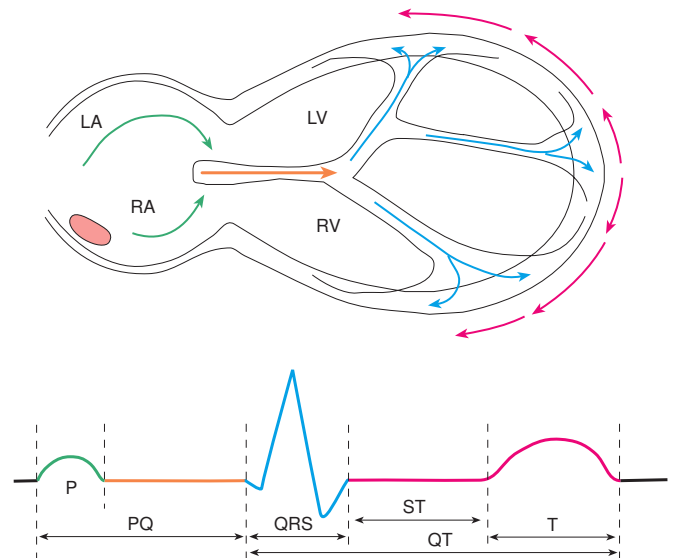


ABB. 1. Schematische Darstellung der Reizausbreitung und -rückbildung, in Relation zu den „Zacken“ im EKG, aus [1, S. 4, Abb. 2].

stellt das EKG eines der wichtigsten Diagnoseverfahren dar.

B. Technik

1. Operationsverstärker

Als Operationsverstärker (engl.: *operational amplifier*, OpAmp) wird ein integrierter Schaltkreis bezeichnet, der beliebige Eingangsspannungen verstärken kann. Das Schaltbild eines Operationsverstärkers ist in Abbildung 2 dargestellt.

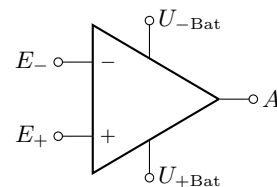


ABB. 2. Schaltbild eines idealen Operationsverstärkers.

Der Operationsverstärker in Abbildung 2 besitzt einen invertierenden Eingang E_- , einen nichtinvertierenden Eingang E_+ und einen Ausgang A . Zudem besitzt er die Versorgungsleitungen U_{-Bat} und U_{+Bat} .

* henrimenke@gmail.com

† jan.manuel.trautwein@web.de

Die Differenz der an E_- und E_+ anliegenden Spannungen wird vom Operationsverstärker nach dem Muster verstärkt, dass

$$\begin{pmatrix} E_+ \\ E_- \end{pmatrix} \rightarrow U_A = \begin{cases} U_{+Bat} & \text{für } E_+ > E_- \\ \frac{1}{2}(U_{+Bat} + U_{-Bat}) & \text{für } E_+ = E_- \\ U_{-Bat} & \text{für } E_+ < E_- \end{cases}$$

Für einen idealen Operationsverstärker gilt dabei, dass $U_{\pm Bat} = \pm\infty$. Zudem gelten zwei weitere Bedingungen:

1. Der Widerstand beider Eingänge ist unendlich, d. h. es fließt kein Strom in den Eingängen.
2. Der Widerstand des Ausgangs ist null, d. h. die Ausgangsspannung ist unabhängig vom Lastwiderstand.

Bei einem invertierenden Operationsverstärker liegt E_+ auf Masse und E_- bildet aufgrund von $E_+ = E_- = 0$ einen *virtuellen Massepunkt*.

2. Der Differenzverstärker

Im Schaltbild in Abbildung 3 ist ein Subtrahierer oder Differenzverstärker abgebildet.

Um mit einem Operationsverstärker zwei Spannungen voneinander zu subtrahieren muss zur Eingangsspannung am invertierenden Eingang E_- zusätzlich eine Spannung am nichtinvertierenden Eingang E_+ angelegt werden. Da immer noch gilt $E_+ = E_-$ verliert E_- seine Eigenschaft als virtueller Massepunkt.

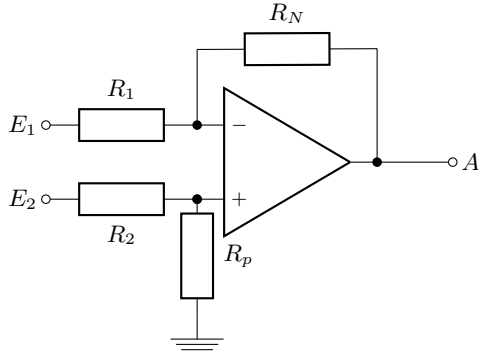


ABB. 3. Schaltbild eines Operationsverstärkers als Differenzverstärker.

Für seine Ausgangsspannung gilt

$$U_A = -U_{E_1} \cdot \frac{R_N}{R_1} + U_{E_2} \cdot \frac{R_p \cdot (R_N + R_1)}{R_1 \cdot (R_p + R_2)}$$

II. VERSUCHSAUFBAU

Das Prinzip eines EKGs ist recht einfach. Es handelt sich lediglich um einen Differenzverstärker mit symmetrischer Versorgungsspannung und Glättungskondensatoren.

Die Schaltung wird folgendermaßen dimensioniert:

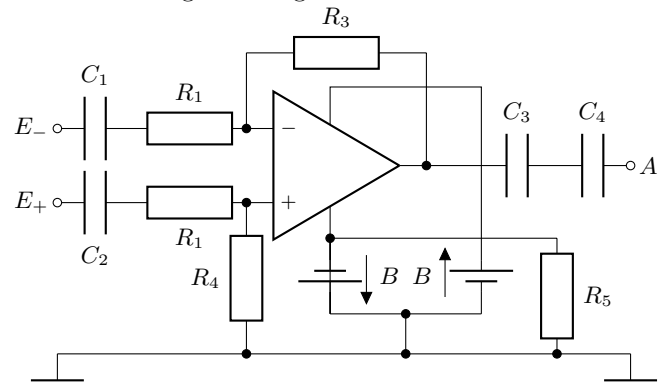


ABB. 4. EKG auf Basis eines Differenzverstärkers.

Widerstände:

$$\begin{aligned} R_1 &= R_2 = 10 \text{ k}\Omega \\ R_3 &= R_4 = 10 \text{ M}\Omega \\ R_5 &= 10 \text{ k}\Omega \end{aligned}$$

Kondensatoren:

$$C_1 = C_2 = C_3 = C_4 = 10 \text{ }\mu\text{F}$$

Batterien: Es werden zwei in Reihe geschaltete 9 V Batterien verwendet.

$$B \hat{=} 9 \text{ V Batterie}$$

Operationsverstärker: Als Operationsverstärker kommt OP177G zum Einsatz.

III. DURCHFÜHRUNG

Nun wird die Elektrode, die auf Masse liegt (E_+) an die linke Hand angeschlossen, die andere Elektrode (E_-) wird an die rechte Hand und das linke Bein angeschlossen.

Die Signalleitungen vom Körper zur Schaltung erfolgen mittels Koaxialkabeln um Störungen zu vermeiden.

Der Ausgang A wird mit dem Oszilloskop beobachtet.

IV. AUSWERTUNG

Die Aufnahme eines EKGs war nicht möglich, da das Signal in der 50 Hz-Netz-Überlagerung unterging.

-
- [1] H.-J. Trappe and H.-P. Schuster, *EKG-Kurs für Isabel*,
4. überarb. u. erw. Aufl. ed. (Thieme, 2005).