

Skriptum EKG

von Jochen Seegers
 © 2001 www.j-seegers.de
 Kont@kt: mail@j-seegers.de

EKG bedeutet Elektrokardiogramm und zeichnet die elektrische Herzaktion auf.

Das Elektrokardiogramm kommt in sehr vielen Bereichen der Medizin zum Einsatz: Es gibt Auskunft über Herzfrequenz, Herzlagetyp, Erregungsrhythmus, -ursprung, -ausbreitung und -rückbildung sowie deren **Störungen**. Über die Kontraktion und die Pumpleistung sagt es direkt *nichts* aus.

Im folgenden möchte ich darauf eingehen, was mit dem EKG eigentlich aufgezeichnet wird. So läßt sich der "Rest" viel leichter verstehen.

1. Eine **elektrische Potentialdifferenz** entsteht immer dann, wenn elektrische Ladung nicht gleichmäßig verteilt ist (also irgendwo überwiegt): Verglichen mit Berg und Tal (die Erdmassen sind nicht gleichmäßig verteilt!) liegt also zwischen dem Berg und dem Tal eine Höhendifferenz vor, während die Höhendifferenz im Flachland null ist.
2. Diese Potentialdifferenz hat eine *Größe* (Hügel-Tal-Differenz, Zugspitze-Tal-Differenz) und eine *Richtung* (im Falle von Berg und Tal von oben nach unten), also darf man sie **Vektor** nennen. Die Größe (=Länge des Vektors) der Potentialdifferenz nennt man Spannung (gemessen in Milli-Volt, mV).

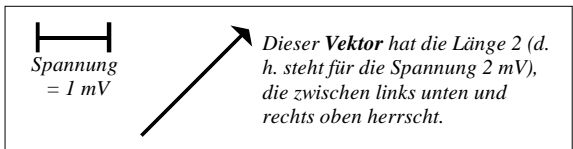


Abb. 1: Vektor

Ein Vektor zeigt *definitionsgemäß* immer **von minus nach plus**, in Abb. 1 ist der Minuspol also unten links, der Pluspol oben rechts.

3. Potentialdifferenzen gibt es auch am Herzen: Von erregten zu unerregten Teilen des Herzmuskels kann man sich auch so einen Pfeil (Vektor) denken. Ist das Herz komplett erregt oder komplett unerregt, gibt es keine Potentialdifferenz, also: Der Pfeil hat die Länge null und ist somit nicht vorhanden.

Diese Potentialdifferenz kann man mit "Fühlern" (sogenannten Elektroden) "ableiten" und *Größe* und *Richtung* bestimmen. Ableiten heißt eigentlich nur, daß die Fühler mit einem Meßgerät verbunden sind. Es erweist sich aber als wenig zweckmäßig, für jedes EKG den Thorax zu eröffnen und die Fühler am Herzen anzubringen :-)
 Also hilft man sich mit Trick 17! Grundlage von Trick 17 ist das Verständnis für das Wort Projektion:

Projektion ist die Grundlage für das Verständnis des EKG.

Wer genau weiß, was eine Projektion ist, sollte diesen Absatz getrost überspringen...
 Projektion heißt soviel wie Abbilden, in unserem Fall könnte man auch Schattenbild sagen. Stell Dir folgendes Experiment vor: Ein kleines Stück Pappe, eine Lampe und eine Wand, auf der wir das Schattenbild betrachten wollen.

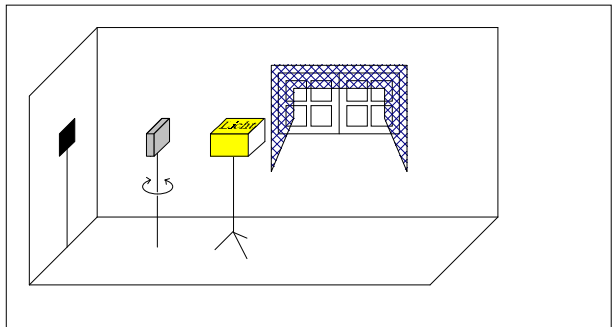


Abb. 2: Experiment im Zimmer (die Pappe ist um die Longitudinalachse drehbar)

Wir schauen jetzt **von oben** auf das Zimmer:

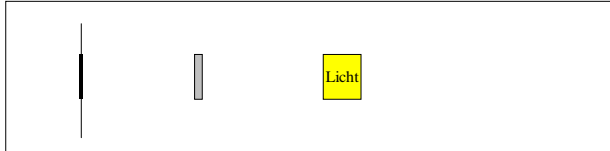


Abb. 3: Experiment im Zimmer, der von oben nicht sichtbare Schatten ist durch eine dicke Linie dargestellt

Und drehen die Pappe zur Seite...

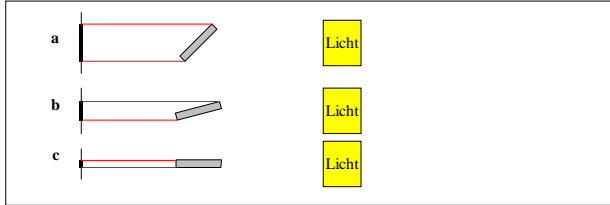


Abb. 4: Die Pappe wird bis zum rechten Winkel gedreht. *Beachte:* Die Breite der Pappe ändert sich nicht

Achtung: Wir gehen hierbei immer von parallelen Lichtstrahlen aus, d. h. unsere Lichtstrahlen treffen die Wand **immer rechtwinklig** (90° Winkel).

Zusammenfassend läßt sich folgendes feststellen:

Steht die Pappe parallel zur Wand, ist der Schatten maximal, steht sie im rechten Winkel zur Wand, ist der Schatten (nahezu) null.

Mit dieser banalen Erkenntnis, die für das Verständnis des EKG jedoch unverzichtbar ist, kehren wir zurück zu unserer Potentialdifferenz und unserem Vektor.

Unser elektrischer Vektor im Herzen ist nichts anderes als die Pappe aus Abb. 4, allerdings etwas komplizierter: Die Pappe hat nur eine *Größe* (ihre Breite), keine *Richtung*, unser Herzvektor liegt dagegen im dreidimensionalen Raum: Die Pappe können wir einfach mit einem Lineal ausmessen, den Vektor nicht.

Und jetzt kommt Trick 17: Die Potentialdifferenzen am Herzen lassen sich (→ Äquipotentiallinien: Siehe Lehrbücher der Physiologie; Vorlesung) ebenfalls projizieren. Ein Herr EINTHOVEN hat dieses Projektionsverfahren **standardisiert**:

Man "legt" ein *gleichseitiges* Dreieck auf den Oberkörper und der Beginn des Herzvektors liegt im **Mittelpunkt** des Dreiecks. Auf **jede Seite** dieses Dreiecks bildet sich der Schatten des Herzvektor ab. Größe und Richtung des Herzvektors kennt man *nicht*, da wir aber wissen, wie das Dreieck liegt, können wir die drei projizierten Vektoren ("Schatten") jetzt ausmessen. Den "Schatten" mißt man nicht wie in Abb.4 mit einem Lineal, sondern hier mit Hilfe zweier Elektroden: Es wird eine Spannung gemessen.

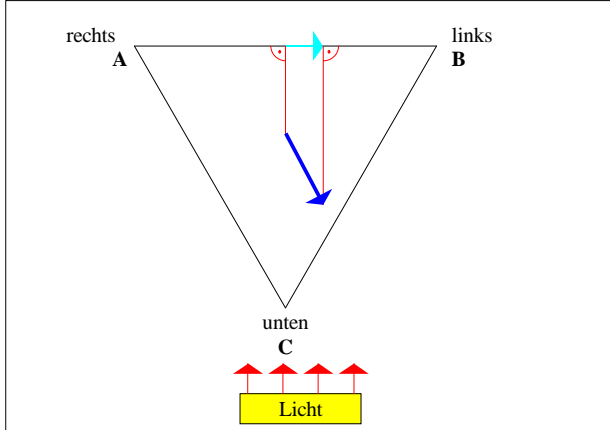


Abb. 5: Einthovendreieck mit Projektion des Herzvektors auf Strecke AB. *Beachte* die rechten Winkel (rot), unten zum Vergleich: Lichtquelle, siehe Text

Um die Projektion (den "Schatten") des Herzvektors (blau) auf die Strecke AB meines Dreiecks auszumessen, klebe ich also eine Elektrode an die Stelle A und eine an die Stelle B und verbinde sie mit einem

Voltmeter (= "ich leite die Strecke AB ab"). Die Spannung, die ich ablese, entspricht der Projektion des Vektors (blau) auf die Strecke AB. Verglichen mit den Schattenbildern von Abb. 4: Mein Licht steht bei C, wenn ich den Schatten auf die Strecke AB projizieren möchte. Genau das gleiche macht man jetzt für die Strecken AC und BC (Abb. 6)

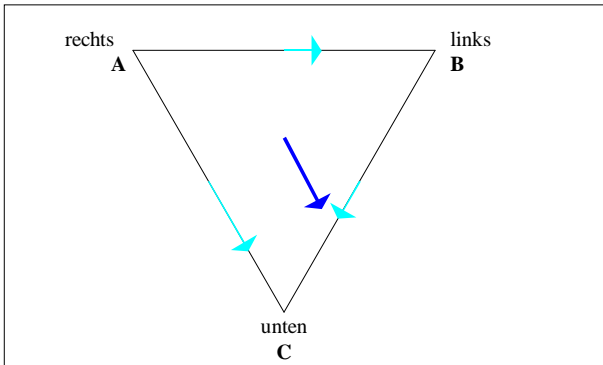


Abb. 6: Einthovendreieck mit Vektorprojektion

In der **Realität** leiten wir also nicht direkt den Herzvektor ab, sondern dessen Projektionen auf die Strecke zwischen den Elektroden. Diese Strecken können völlig beliebig sein, es erweist sich (damit man vergleichen kann!) sich jedoch als zweckmäßig, sich auf gewisse Projektionen zu einigen (→ EINTHOVEN, GOLDBERGER, WILSON).

Aufgrund dieser Projektionen können wir dann **Rückschlüsse** auf den tatsächlichen Herzvektor (blau) ziehen. (Anders gesagt: Wir haben Schattenbilder aus verschiedenen Richtungen aufgenommen und wollen jetzt den Gegenstand, der den Schatten verursachte, rekonstruieren). Auf die Rekonstruktion möchte ich weiter unten eingehen.

Eine Ableitung des EKG registriert die Projektion des sich ständig ändernden Herzvektors auf die Strecke, die abgeleitet wird.

Das, was wir bisher gemacht haben, ist eine "Momentaufnahme" einer elektrischen Herzaktion. Natürlich ändert sich der Herzvektor laufend. Beim EKG werden diese laufenden Änderungen auf Papier festgehalten. Die typische EKG-Kurve, die wir für die Projektion auf die Strecke AB erhalten, ist nichts anderes, als wenn wir laufend die Länge des Pfeils (=die Potentialdifferenz mit einem Voltmeter) messen würden und die Ergebnisse in ein Diagramm gegen die Zeit auftragen würden (= die Zeit auf der x-Achse, die Potentialdifferenzen auf der y-Achse, Abb. 7).

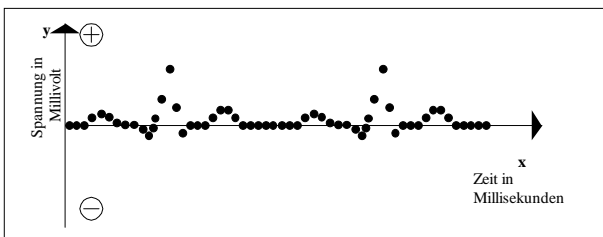


Abb. 7: gemessene Potentialdifferenzen gegen die Zeit aufgetragen

Wichtig: Ausschläge nach "oben" (also *Richtung +*) bedeuten, daß die Spitze des (projizierten) Vektors auf die Elektrode zeigt, die mit dem *Pluspol* des Spannungsmessgerätes verbunden ist, Ausschläge nach "unten" (also in *Richtung -*) zeigen an, daß die Spitze des (projizierten) Vektors auf die Elektrode zeigt, die mit dem *Minuspol* des Spannungsmessgerätes verbunden ist.

Die EKG-Elektroden der Extremitätenableitungen werden im "Ampel-System" aufgeklebt.

Für die Extremitätenableitungen (s. u.) werden 4 Kabel benötigt: rot, gelb, grün, schwarz:
Die Elektrode auf dem rechten Unterarm (Handgelenk) wird mit dem roten, die auf dem linken Unterarm mit dem gelben, die am linken Fußgelenk mit dem grünen Kabel verbunden. Die vierte Elektrode ist die "Erde", sie sitzt am rechten Fußgelenk und wird mit dem schwarzen Kabel verbunden. Im Uhrzeigersinn startet man also mit rot am rechten Handgelenk und endet mit schwarz am rechten Fußgelenk. Die Extremitäten dürfen als Verlängerung des Rumpfes angesehen werden, d. h. das Dreieck, das wir auf den Rumpf gelegt haben (siehe Seite 1) bleibt das gleiche (vgl. Abb. 8)

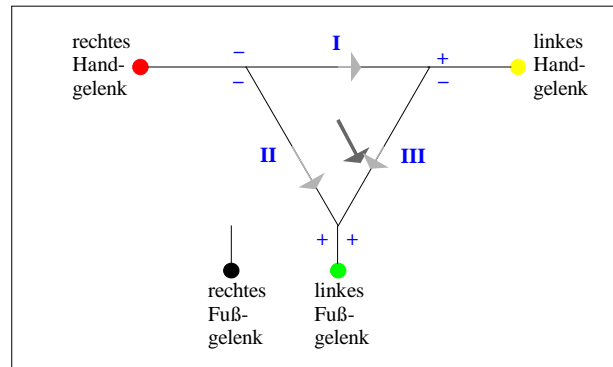


Abb. 8: Einthovendreieck mit Ableitungen

Im Einthovendreieck ist das rechte Handgelenk immer mit dem Minuspol, das linke Fußgelenk immer mit dem Pluspol des Spannungsregistrierers verbunden.

I. EINTHOVEN

Die Strecke zwischen dem **rechten Handgelenk** und **linken Handgelenk** nennen wir **Ableitung I** (nach Einthoven), die Strecke zwischen **rechtem Handgelenk** und **linkem Fußgelenk** **Ableitung II** und die Strecke zwischen **linkem Handgelenk** und **linkem Fußgelenk** **Ableitung III** (auswendig!!!).
Für Ableitung I ist das rechte Handgelenk mit dem *Minuspol*, das linke Handgelenk mit dem *Pluspol* des Spannungsregistrierers verbunden (der Registrierer ist der EKG-Schreiber...)
Für Ableitung II ist das rechte Handgelenk mit dem *Minuspol*, das linke Fußgelenk mit dem *Pluspol* des Spannungsregistrierers verbunden.
Für Ableitung III ist das linke Handgelenk mit dem *Minuspol*, das linke Fußgelenk mit dem *Pluspol* des Spannungsregistrierers verbunden. Zeigt der projizierte Vektor auf den Pluspol, wird ein Ausschlag nach oben aufgezeichnet und umgekehrt (vgl. Abb. 7).

Diese Art der Ableitung nennt man auch **bipolare** (zwei Pole) Ableitung.

II. GOLDBERGER

Die Elektroden werden wie bei EINTHOVEN aufgeklebt. Zwei Elektroden werden über Widerstände (das macht das EKG-Gerät von allein!) zusammengeschaltet (= *Bezugselektrode*), und zwischen dieser zusammengeschalteten Bezugselektrode und der dritten (= *differente Elektrode*) wird das EKG abgeleitet. Die unterschiedlichen Elektroden werden benannt: **aVR**, **aVL**, **aVF**.

Die Strecken, auf die der Herzvektor projiziert wird, sind in Abb. 9 dargestellt.

Diese Art der Ableitung nennt man auch **unipolare** Ableitung ("ein" Pol, gemeint: eine differente Elektrode).

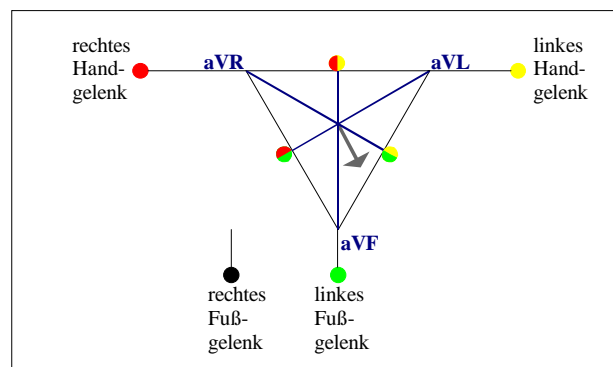


Abb. 9: Unipolare Goldberger-Ableitungen

Die unterschiedlichen Elektroden sind stets mit dem *Pluspol* verbunden, die Bezugselektrode (also die über Widerstände zusammengeschalteten anderen beiden Elektroden) stets mit dem *Minuspol*.

Anhand Abb. 9 kann man noch einmal schön die Projektion nachvollziehen: Der (graue) Herzvektor projiziert sich in unserem Beispiel fast **vollständig** auf Ableitung II (re. Hand – li. Fuß) und fast **überhaupt nicht** auf die Ableitung aVL. (Vergleiche Abschnitt über Projektion, Seite 1).

Eine etwas andere Darstellung derselben Ableitungen ist der **Cabrera-Kreis**. Hierzu (so kann man sich das vorstellen!) schneidet man die Ecken des Dreiecks kaputt, so daß man die Ableitungen I, II

und III "frei bewegen" kann. Man verschiebt diese Strecken jetzt so, daß sich alle im Mittelpunkt (des ehemaligen Dreiecks) schneiden:

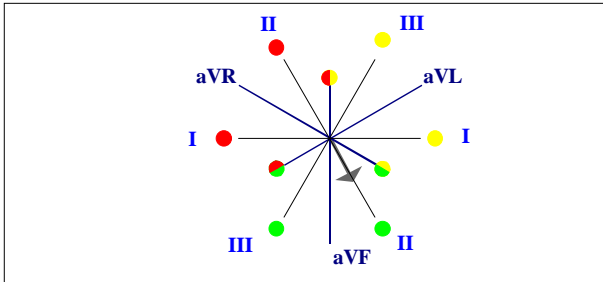


Abb. 10: Vorstufe des Cabrerakreises

Jetzt ordnet man das Ganze nur noch sinnvoll an (=die Linien sollen sich in ihrem Mittelpunkt schneiden) und beschriftet die einzelnen Strecken neben den Ableitungsamen (die schreibt man jetzt immer an den Pluspol) mit Gradzahlen.

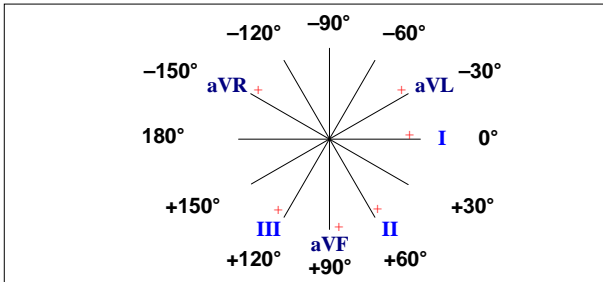


Abb. 11: Cabrerakreis (Beachte: Teilweise wird auch -aVR abgeleitet, dann liegt der Pluspol bei +30°, also auf der gegenüberliegenden Seite)

Die Darstellung eines Herzvektors im Cabrerakreis hat den Vorteil, daß sich der sogenannte *Lagetyt* (s. u.) einfacher bestimmen läßt. Außerdem erkennt man hier in puncto Projektion folgendes: Je zwei Ableitungen bilden einen rechten Winkel.

I und aVF, II und aVL, III und aVR stehen jeweils rechtwinklig zueinander.

Das bedeutet: Wenn sich der Herzvektor maximal z. B. auf Ableitung II projiziert, dann projiziert er sich minimal auf aVL. Maximal und minimal stehen hier nicht für 100% bzw. 0%, denn der Herzvektor muß ja nur in eine sehr ähnliche Richtung verlaufen wie Ableitung II, um sich (verglichen mit allen anderen Ableitungen) am stärksten auf sie zu projizieren.



Auf dem EKG-Papier werden gleichzeitig 6 Extremitätenableitungen registriert.

Welche Ableitung wo aufgezeichnet ist, schreibt das Gerät i. a. an die Ableitung dran, weiterhin ist wichtig, wie groß der **Papiervorschub** ist (Standardwerte 50 mm/s oder 25 mm/s) und die **Auslenkung** nach oben/unten (Standardwert: 1 mV/10 mm). Deswegen wird zu Beginn jeder Registrierung ein Eichwert (meist 1 mV) aufgezeichnet.

Zu guter Letzt wird Aufzeichnungsdatum und Name des Patienten notiert.

Die einzelnen Abschnitte des EKG werden benannt.

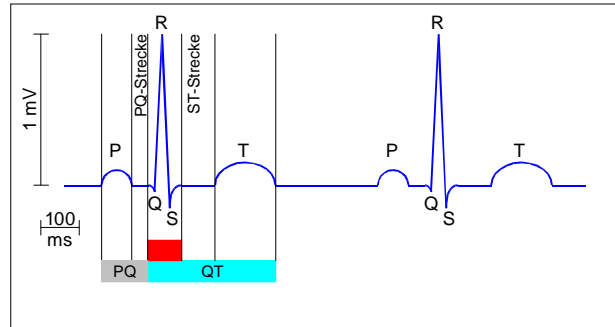


Abb. 12: Ableitung II, idealisierte Darstellung

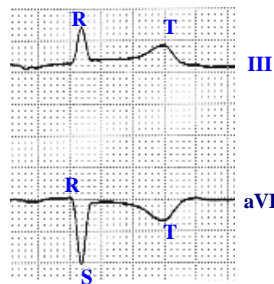
Im EKG gibt es Wellen und Zacken. Die zwischenliegenden Linien werden als Strecken bezeichnet.

Die erste Welle heißt **P-Welle**. Die erste Zacke geht nach unten und heißt **Q-Zacke** (ist nicht immer vorhanden!). Die Strecke zwischen dem Ende der P-Welle und dem Beginn der Q-Zacke heißt **PQ-Strecke**. Der Abstand (grau in Abb. 12) vom Beginn der P-Welle bis zum Beginn der Q-Zacke heißt **PQ-Intervall** (oder PQ-Zeit oder PQ-Dauer).

Den in Abb. 12 rot markierte Bereich nennt man **QRS-Komplex**.

Hierbei ist zu beachten, daß *vereinbarungsgemäß* jede Zacke, die am Beginn des QRS-Komplex nach unten zeigt (= negative Zacke), Q-Zacke genannt wird (s. o.). Jede positive Zacke (mit oder ohne vorausgegangener negativer Q-Zacke) heißt **R-Zacke**. Jede negative Zacke, die einer R-Zacke folgt, heißt **S-Zacke**.

Die folgende Welle heißt **T-Welle**, zwischen S-Zacke und T-Welle liegt die **ST-Strecke**. Den Abstand (cyanblau) vom Beginn der Q-Zacke bis zum Ende der T-Welle nennt man **QT-Intervall**.



Diese Vereinbarung über die Bezeichnung kann zur Folge haben, daß gleichnamige Zacken des QRS-Komplexes nicht in allen Ableitungen synchron sind, wie im EKG links deutlich zu erkennen ist.

Interpretation des EKG

P-Welle (< 0,1 s)	Erregungsausbreitung in den Vorhöfen
PQ-Strecke (< 0,1 s)	Vorhöfe sind vollständig erregt (Da Vorhof und Kammer elektrisch getrennt sind, gibt es hier keine Grenze zwischen unerregtem und erregtem Myokard → kein Vektor → kein Ausschlag), Erregungsausbreitung über den AV-Knoten (Verzögerung!) und Hisches Bündel
PQ-Intervall (< 0,2 s)	Maß für die atrioventrikuläre Überleitungszeit. Normal 120 - 200 ms, mit steigender Herzfrequenz abnehmend
QRS-Komplex (< 0,1 s)	Erregungsausbreitung im Ventrikelmyokard. Normale Dauer 60 - 100 ms. Verdeckte Projektion der Erregungsrückbildung in den Atrien.
ST-Strecke	Kammermyokard ist voll erregt (= kein Vektor → kein Ausschlag)
T-Welle	Erregungsrückbildung im Kammermyokard
QT-Intervall (frequenzabhängig, bei 70/min: 0,32 - 0,39 s)	Maß für die Erregungsdauer des Kammermyokards. (Wegen der Verkürzung des Aktionspotentials und damit des QT-Intervalls bei zunehmender Herzfrequenz häufig als relatives QT-Intervall in % des frequenzbezogenen Normwertes angegeben.)

Schon geringe Überschreitungen der angegebenen Normwerte für die einzelnen Zeiten sind genau zu prüfen. (Siehe z. B. Seite 6, "AV-Block")

Bestimmung der elektrischen Herzachse mit Hilfe des QRS-Komplexes.

Aus dem QRS-Komplex zweier Ableitungen des EKG läßt sich der *Lagety*p bestimmen.
Der Herzvektor (dessen Projektion wir ableiten) zeigt zum Zeitpunkt der R-Zacke in die Richtung der elektrischen Herzachse.
Achtung: Der Herzvektor liegt im dreidimensionalen Raum und verläuft zum Zeitpunkt der R-Zacke von oben-vorne-rechts nach unten-hinten-links. Die Extremitätenableitungen leiten aber ausschließlich in der **Frontalebene** ab. Das heißt, der mit den Elektroden abgeleitete Herzvektor ist *selbst schon eine Projektion* des 3-D-Herzvektors! Dieser schon projizierte Herzvektor verläuft also von oben-rechts nach unten-links (vorne/hinten können wir in der Frontalebene ja nicht registrieren!).
Die anatomische Herzachse verläuft im dreidimensionalen Raum von oben-hinten-rechts nach unten-vorne-links. Projiziert auf die Frontalebene verläuft sie aber – wie die elektrische Herzachse – von oben-rechts nach unten-links.
Bei *normalem* Erregungsablauf (gesundes Herz) eignet sich also der QRS-Komplex zur Bestimmung der Lage der anatomischen Herzachse in der Frontalebene.

Für die Bestimmung der Herzlage benötigt man das mittlere *QRS-Potential*. Dieses bestimmt man, indem die Abstände der negativen Zacken von der Grundlinie und die Abstände der positiven Zacken von der Grundlinie voneinander subtrahiert werden (vgl. Abb. 13). Genaugenommen muß man jeweils die Flächen, die die einzelnen Zacken mit der "Nulllinie" einschließen berechnen und voneinander abziehen. Dies ist in der Praxis nur dann vonnöten, wenn die Dauer der QRS-Komplexes größer als 0,1 s ist).

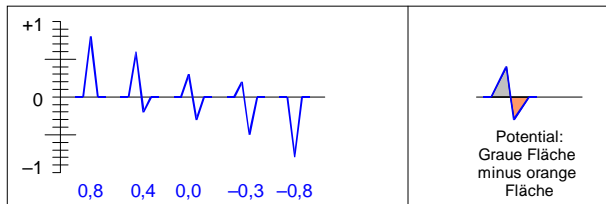
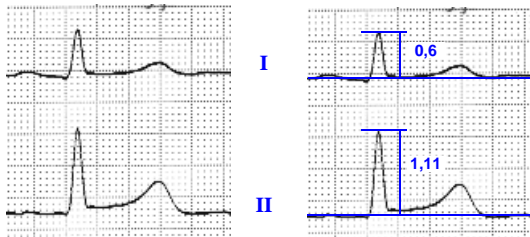


Abb. 13: Mittleres QRS-Potential. rechts: Exakte Berechnung des mittleren QRS-Potentials

Diese mittleren QRS-Potentiale bestimmt man für zwei der drei Einthoven-Ableitungen. Die Zahlen in Abb. 13 haben absichtlich keine Einheit. Es ist bei der Herzlagebestimmung nur wichtig, daß für beide QRS-Potentiale dieselbe Einheit verwendet wird, welche (Millimeter, Zentimeter etc.) ist egal...



Beispiel:

Aus Ableitung I und II des obenstehenden EKG wurde das mittlere QRS-Potential mit 0,6 für Ableitung I und 1,11 für Ableitung II bestimmt. Diese Daten werden jetzt in ein Einthoven-Dreieck (→ Seite 2) eingezeichnet und zwar folgendermaßen:
Man beginnt am Mittelpunkt der Strecke (hier z. B. Ableitung I). Ist das mittlere QRS-Potential (wie in unserem Beispiel) *positiv*, wird ein Pfeil mit der ausgemessenen Länge (hier z. B. 0,6 cm) in Richtung *Pluspol* der Ableitung I eingezeichnet (vgl. Abb. 14a)

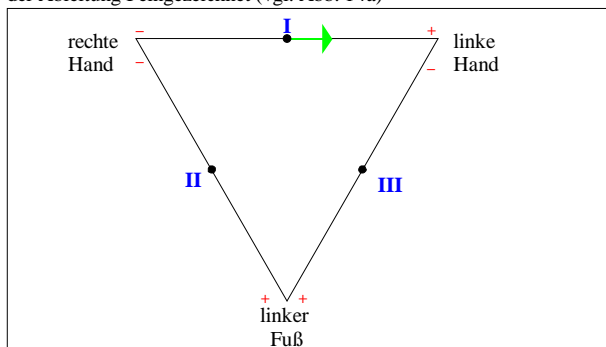


Abb. 14a: Ableitung I eingezeichnet

Ebenso wird das ausgemessene QRS-Potential für Ableitung II eingetragen.

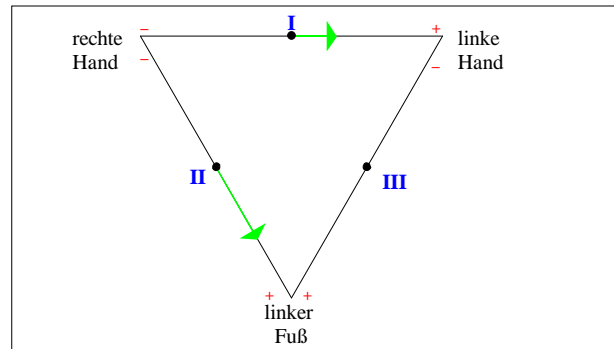


Abb. 14b: Ableitung II eingezeichnet. Beachte: Beide mittleren QRS-Potentiale waren positiv, daher verlaufen beide Pfeile vom Streckenmittelpunkt Richtung Pluspol.

Und nun ist es Zeit, sich an Projektion zu erinnern. Was eingangs besprochen wurde, um das Zustandekommen von Ableitungen zu erklären, geschieht jetzt rückwärts. Anders gesagt: Wir haben zwei Schattenbilder aus unterschiedlichen Richtungen und wollen jetzt den Gegenstand rekonstruieren, der den Schatten verursacht hat.

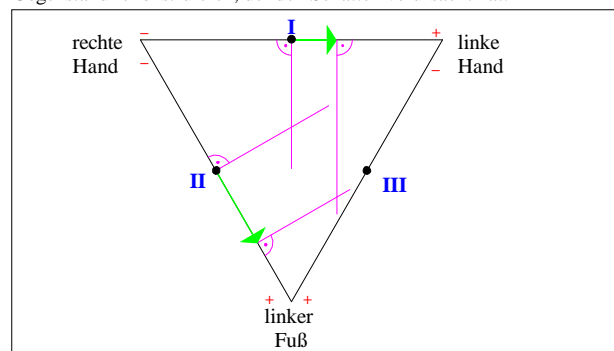


Abb. 14c: Zur Rekonstruktion des Herzvektors werden Hilfslinien eingezeichnet.

Dazu werden, ausgehend von den eingezeichneten Vektoren (Abb. 14b), "Hilfslinien" eingezeichnet: Am Start- und am Endpunkt des Vektors wird je eine Linie rechtwinklig zur Ableitungsstrecke eingezeichnet. Das Verfahren wird für die andere Ableitung wiederholt. Die Hilfslinien kreuzen sich jeweils (Abb. 14c), Obacht: Es interessieren nur die Kreuzungen von "vergleichbaren" Hilfslinien, also die beiden von Startpunkt und die beiden Hilfslinien vom Endpunkt der jeweiligen Vektoren.

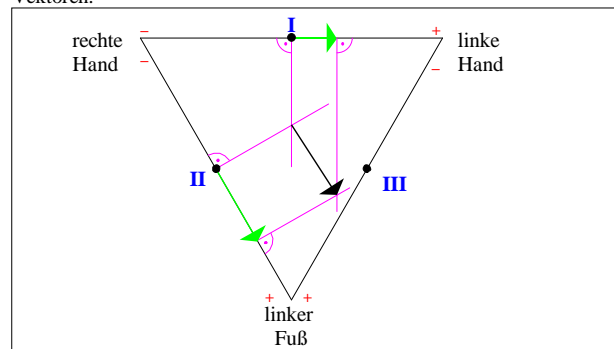


Abb. 14d: Der Herzvektor wird eingezeichnet.

Im Kreuzungspunkt der Hilfslinien, die vom Startpunkt der Vektoren ausgehen, beginnt der rekonstruierte Herzvektor. Das ist bei diesem Verfahren immer der Dreiecksmittelpunkt! Vereinbarungsgemäß beginnt der Herzvektor ja im Dreiecksmittelpunkt.

Er endet im Kreuzungspunkt der Hilfslinien, die von den Enden der Vektoren ausgehen, dorthin zeigt auch sein Pfeil (Abb. 14d).

By the way: Man kann jetzt Rückschlüsse auf das mittlere QRS-Potential von Ableitung III ziehen. Den konstruierten Herzvektor projiziert man dazu einfach auf Ableitung III. Dieser projizierte Vektor ist etwas kleiner als die Vektoren der Ableitungen I und II. Diese Aussage kann man zur Kontrolle mit dem EKG auf Seite 3 unten links vergleichen: Tatsächlich, das mittlere QRS-Potential von Ableitung III ist etwas kleiner als die mittleren QRS-Potentiale der Ableitungen I und II.

Aber zurück zur Lagetybestimmung: Auf der nächsten Seite möchte ich darauf eingehen, was man von dieser Rekonstruktion eigentlich hat...

Den Winkeln des Herzvektors sind bestimmte Lagetypen zugeordnet.

Als nächstes wird der Winkel ausgemessen, in welcher der *rekonstruierte Herzvektor* liegt.

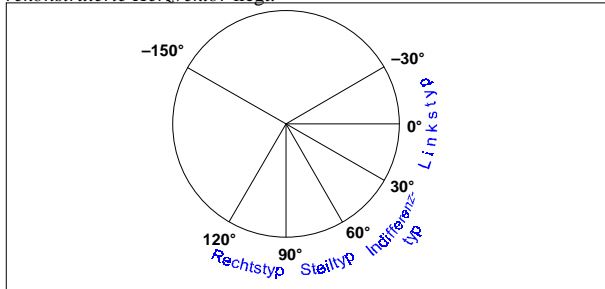


Abb. 15a: Lagetypen

Die Gradzahlen, die die Lagetypen begrenzen, sollte man auswendig kennen. Der Indifferenztyp, z. B., liegt also zwischen 60° und 30°. Den Lagetyp zwischen 30° und 0° nennt man auch **Horizontaltyp**. Den Lagetyp rechts vom Rechtstyp (also zwischen 120° und –150°) nennt man **überdrehter Rechtstyp**, den Lagetyp links vom Linkstyp (also zwischen –30° und –150°) nennt man **überdrehter Linkstyp**. Vergleiche die Gradzahlen mit dem Cabrera-Kreis (Seite 3, Abb. 11).

Ausgehend vom Mittelpunkt des Kreises wird der *rekonstruierte Herzvektor* eingezeichnet (Abb. 15b).

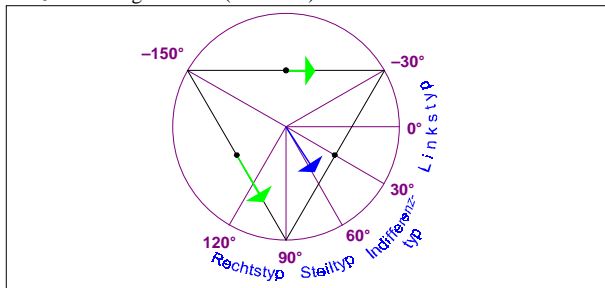


Abb. 15b: Der rekonstruierte Herzvektor liegt im Bereich des Indifferenztyps

Im Beispiel-EKG handelt es sich also um einen Indifferenztyp.

Hinweis: Bei den überdrehten Lagetypen handelt es sich um krankhafte Erscheinungen. Das Herz liegt *nicht* verkehrt herum im Thorax, sondern es sind Teile des Myokards verändert (z. B. hypertrophiert). Diese Veränderung führt zu einer Verzerrung des Herzvektors (im Falle der Hypertrophie: mehr Muskelmasse = mehr erregte Zellen in diesem Bereich = Verzerrung des Vektors). Die anatomische Herzachse stimmt auch in der Frontalebene in diesen Fällen *nicht* mit der elektrischen überein.

Die Ableitungen nach Wilson sind Ableitungen in der Horizontalebene.

III. WILSON

Um eine dreidimensionale Betrachtung zu ermöglichen, leitet man zusätzlich zu den 6 Extremitätenableitungen (Frontalebene) noch sechs (oder mehr) Brustwandableitungen (ungefähr Horizontalebene) ab. Die differente Elektrode ist hierbei *eine* der Brustwandelektroden, die indifferente Bezugselektrode entsteht durch Zusammenschalten der drei Extremitätenableitungen (über Widerstände, macht natürlich das EKG-Gerät). Die Bezugselektrode "liegt" also im Herzen. Man spricht hier wie bei den Extremitätenableitungen nach Goldberger von *unipolaren* Ableitungen, wobei die differente Elektrode mit dem Pluspol verbunden ist.

Die Elektroden werden mit V1 bis V6 bezeichnet und folgendermaßen aufgeklebt:

V1: 4. ICR rechts parasternal

V2: 4. ICR links parasternal

V3: zwischen V2 und V4

V4: 5. ICR links auf der Medioklavikularlinie

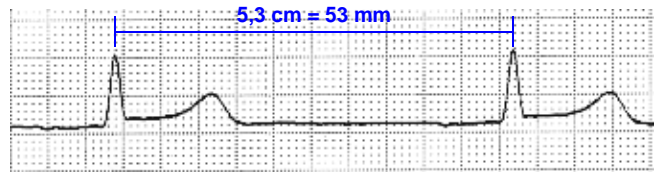
V5: vordere Axillarlinie in Höhe V4

V6: mittlere Axillarlinie in Höhe V4

(V5 und V6 dürfen nicht im 5. ICR aufwärts geklebt werden!)

Bei dieser Positionierung stehen die Ableitungen V1 und V5 sowie V2 und V6 ungefähr senkrecht (!) aufeinander.

Die Herzfrequenz ergibt sich aus dem Abstand der R-Zacken und dem Papiervorschub.



Man misst den Abstand zweier (besser mehrerer) R-Zacken aus. Die Herzfrequenz berechnet sich nach folgender Formel:

$$\text{Herzfrequenz} \frac{1}{\text{min}} = \frac{\text{Papiervorschub} \frac{\text{mm}}{\text{s}} \cdot 60 \frac{\text{s}}{\text{min}}}{\text{Abstand zweier R-Zacken in mm}}$$

Die Herzfrequenz unseres Beispiel-EKG ist also bei einem Papiervorschub von 50 mm/s:

$$50 \text{ mm/s} \cdot 60 \text{ s/min} : 53 \text{ mm} \quad \text{etwa } 57 / \text{min}$$

Strecken, Intervalle und QRS-Komplex werden zeitlich ausgemessen.

Als nächstes misst man die Dauer der P-Welle, der PQ-Strecke, des PQ-Intervalls, des QRS-Komplexes etc. aus (vgl. mit Tabelle auf Seite 3 rechts unten). Hierzu eignet sich ein EKG-Lineal. Bei einem Papiervorschub von 50 mm/s entspricht ein Kästchen (also 1 mm²) genau 20 ms, auch so kann man diese Zeiten schnell bestimmen.

Rhythmusstörungen des Herzen können mit dem EKG diagnostiziert werden.

Eine Herzfrequenz von über 100 /min wird als **Sinustachykardie**, von unter 60 /min als **Sinusbradykardie** bezeichnet. Bei beiden ist der Rhythmus regelmäßig, im Gegensatz zur **Sinusarrhythmie**. In diesen Fällen liegt die Erregung aber immer im Sinusknoten (= *nomotope* Reizbildung).

Aber auch im Vorhof selbst, sowie im AV-Knoten oder im Ventrikel kann eine Erregungsbildung ablaufen (= *ektope* Reizbildung).

Zusätzliche Erregungsbildung **im Vorhof- oder AV-Knoten** bezeichnet man als **supraventrikuläre Extrasystole**, der eine postextrasystolische Pause folgt (Abb. 16), weil sich die Erregung auf Vorhof und Ventrikel ausbreitet (und damit *auch auf die Sinuserregung* Auswirkungen hat).

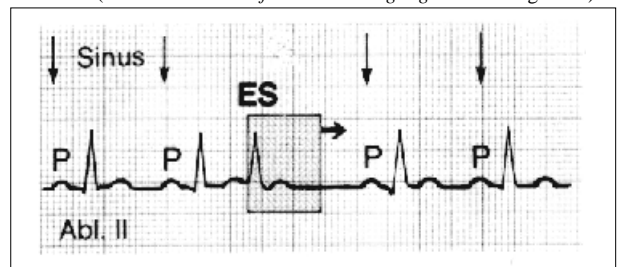


Abb. 16: Supraventrikuläre Extrasystole (hier durch AV-Knoten ausgelöst). Die senkrechten Pfeile stellen jeweils den Zeitpunkt der Erregungsbildung des Sinusknotens dar.

Dabei ist der Abstand zwischen der *extrasystolischen R-Zacke* und der *folgenden R-Zacke* größer als der Abstand zweier "normaler" R-Zacken. Der Abstand zwischen der R-Zacke *vor* der Extrasystole und der R-Zacke *nach* der Extrasystole ist aber kleiner als der Abstand zwischen R-Zacke und übernächster R-Zacke im normalen Erregungsablauf. Diese Abstandsverhältnisse sind **typisch** für supraventrikuläre Extrasystolen. Die Sinuserregung ist "aus dem Konzept" gebracht worden und beginnt von vorn.

Bei einer **Vorhofftachykardie** (Entladung öfter als 180 /min) ist im EKG statt der P-Welle eine sägezahnförmige Grundlinie zu erkennen. Bei mehr als 200 Entladungen/min wird nur noch jede 2. oder 3. Entladung via AV-Knoten zum Ventrikel weitergeleitet, bis 350 Entladungen/min spricht man von **Vorhoffflattern**, darüber von **Vorhofffimmern** (die Ventrikelerrregung ist dann völlig unregelmäßig: **Absolute Arrhythmie** bei Vorhofffimmern).

Auch **im Ventrikel** kann Erregungsbildung (ektop) ablaufen, hierbei findet **keine Überleitung** auf den Vorhof statt (normale Sinuserregung): Es entstehen **ventrikuläre Extrasystolen**, die bei **niedrigen** Herzfrequenzen **interponiert** sind (=die nächste Sinuserregung fällt nicht mehr in die Refraktärzeit des Ventrikels, sondern findet "normal" statt, vgl. Abb. 17), bei **höheren** Herzfrequenzen eine **kompensatorische Pause** nach sich ziehen (die nächste Sinuserregung fällt in die Refraktärzeit und damit komplett aus, die übernächste führt wieder zur Kontraktion):

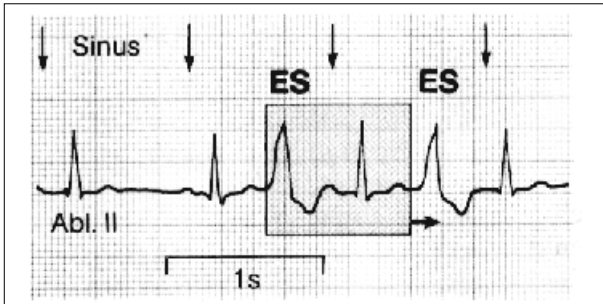


Abb. 17: Ventrikuläre Extrasystole: Deformierter QRS-Komplex. Die Herzfrequenz ist hier niedrig, also ist der Ventrikel zum Zeitpunkt der nächsten Sinuserregung (senkrechter Pfeil) nicht mehr refraktär: Interponierte Extrasystole.

Die **Kammertachykardie** ist eine rasche Folge ventrikulärer (also ektopter) Reizbildungen, die mit einer ventrikulären Extrasystole beginnen (Abb. 18)

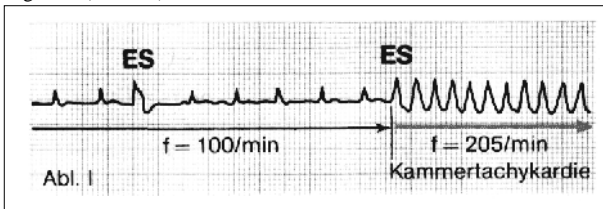


Abb. 18: Kammertachykardie nach ventrikulärer Extrasystole.

Sie kann ins **Kammerflimmern** übergehen, ein lebensbedrohlicher Zustand. Da das Herz nur noch zuckt, nicht mehr pumpt, ist dieser Zustand mit einem Herzstillstand vergleichbar (→ Abhilfe: Defibrillator) (Abb. 19)

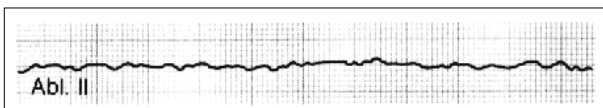


Abb. 19: Kammerflimmern

Kammerflimmern kann dann auftreten, wenn Extrasystolen in der sogenannten **vulnerablen Phase** auftreten. Diese Phase ist im EKG durch die **ansteigende T-Welle** gekennzeichnet. Zu diesem Zeitpunkt sind nämlich einige Teile des Myokards noch absolut refraktär, während andere schon wieder erregt werden können. Das führt dazu, dass die Erregung immer wieder auf gerade nicht mehr refraktäre Anteile trifft und im Herzen kreist.

Neben diesen ektopten Erregungsbildungen gibt es auch Störungen bei der Überleitungszeit (im AV-Knoten).

Ist das PQ-Intervall länger als 0,2 s, spricht man von einem **AV-Block 1. Grades**. Wird überhaupt nur jede 2. oder 3. Erregung des Vorhofes weitergeleitet, liegt ein **AV-Block 2. Grades** vor.

Wird gar keine Erregung weitergeleitet, arbeiten Vorhof und Kammer unabhängig voneinander. Das nennt man **AV-Block 3. Grades** (Abb. 20).

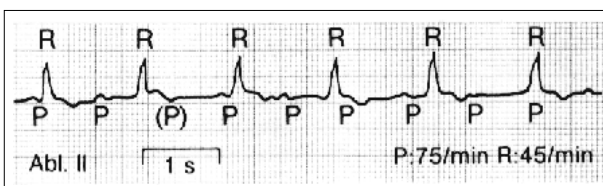


Abb. 20: AV-Block 3. Grades: P-Welle und R-Zacke verlaufen unabhängig voneinander.

Für ausführliche Informationen über Rhythmusstörungen und andere pathologische Erscheinungen (Herzinfarkt etc.) im EKG siehe Lehrbücher der Physiologie / des EKG.

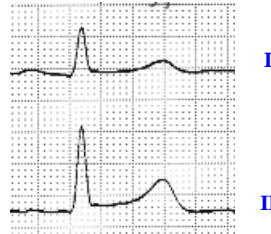
Auch Veränderungen im Elektrolythaushalt können sich im EKG niederschlagen.

Abschlussbemerkung

Der Schwerpunkt dieses Skriptum liegt auf dem Verständnis für das Zustandekommen eines EKG. Einige physikalische Details sind bewußt weggelassen. Das Skriptum wurde mit großer Sorgfalt erstellt. Dennoch können (auch grobe) Fehler nicht ausgeschlossen werden. Daher kann für die Richtigkeit der Informationen keine Haftung übernommen werden.

Die EKG-Kurven der Abb. 16 - 20 sind dem Silbernagel, Taschenbuch der Physiologie, 4. Auflage, entnommen.

Die EKG-Kurven ohne Abbindeungsnummern stammen von meinem eigenen EKG. Ich zeige hier noch einmal die Ableitung I und II.



Ist das ein ganz **normales** EKG?

Nein, (leider) nicht – wenn man schon so blöde fragt!
Die *ST-Stecke* ist (wahrscheinlich aus vegetativ bedingter Ursache) um ein bis zwei Millimeter angehoben. Bei einem älteren Patienten, der über akute Herzbeschwerden klagt, kann diese angehobene ST-Stecke Zeichen eines akut ablaufenden Hinterwandinfarktes sein...
Warum die P-Welle in Ableitung II so schlecht zu erkennen ist – keine Ahnung!

Hannover, im März 2001
Ohne Gewähr.
www.j-seegers.de