

# Herz und Kreislauf

<http://www.neurop.ruhr-uni-bochum.de/Praktikum>

## Inhaltsverzeichnis

<b>1</b>	<b>Vorbereitung</b>	<b>2</b>
<b>2</b>	<b>Theoretische Grundlagen</b>	<b>2</b>
2.1	EKG . . . . .	2
2.1.1	Extremitätenableitungen . . . . .	3
2.1.2	Lagetypen . . . . .	3
2.1.3	Brustwandableitungen . . . . .	4
2.1.4	Vektor-EKG . . . . .	5
2.1.5	Diagnostische Aussagemöglichkeiten des EKG . . . . .	6
2.1.6	Wenn es nicht funktioniert: Meßfehler bzw. Probleme bei der Messung des EKG . . . . .	6
2.2	Arterieller Blutdruck . . . . .	7
2.2.1	Technik der indirekten Blutdruckmessung nach Riva-Rocci . . . . .	8
2.2.2	Methodische Fehler der Blutdruckmessung . . . . .	9
2.3	Kreislaufprüfung nach Schellong . . . . .	9
2.4	Carotispuls . . . . .	9
<b>3</b>	<b>Versuchsbeschreibungen</b>	<b>10</b>
3.1	Einleitung . . . . .	10
3.2	Elektrokardiographie und Kreislaufprüfung . . . . .	10
3.2.1	Versuchsperson an das EKG anschließen . . . . .	10
3.2.2	Bedienung des Programms . . . . .	11
3.2.3	Was soll gemessen werden? . . . . .	12
3.2.4	Auswertung . . . . .	12
3.3	Vektorkardiographie . . . . .	14
3.3.1	Versuchsperson an das Gerät anschließen . . . . .	14
3.3.2	Bedienung des Programms . . . . .	15
3.3.3	Was soll gemessen werden? . . . . .	16
3.3.4	Auswertung . . . . .	17
<b>A</b>	<b>Fragen und Aufgaben zur Vorbereitung</b>	<b>18</b>
<b>B</b>	<b>Installation der EKG-Software mit den Daten der Praktikums-Teilnehmer und Teilnehmerinnen</b>	<b>19</b>
<b>C</b>	<b>Organisatorisches</b>	<b>19</b>
C.1	Gruppeneinteilung . . . . .	19
C.2	Mitzubringende Hilfsmittel . . . . .	20

# Abbildungsverzeichnis

1	Extremitätenableitungen nach Einthoven (drei bipolare Ableitungen, I, II, III) und Goldberger (drei unipolare Ableitungen, aVR, aVL und aVF) . . . . .	3
2	Lage der Brustwandableitungen nach Wilson und deren Verschaltung . . . . .	4
3	Konstruktion der Vektorschleife . . . . .	5
4	Probleme bei der EKG-Aufnahme . . . . .	7
5	Komplettes EKG, aufgenommen im Praktikum (gemittelte EKG-Komplexe und Rhythmus-Streifen) . . . . .	8
6	Vergleich der Brustwandelektroden zwischen Frau und Mann . . . . .	10
7	Zeichnerische Bestimmung der elektrischen Herzachse . . . . .	14
8	Bildschirminhalt des Programms zur Aufnahme und Auswertung der Vektorschleife. . . . .	16
9	Bestimmung der Amplitude der R-Zacke in Ableitung II aus der Vektorschleife	18

# Tabellenverzeichnis

1	Lagetypen nach Winkelbereichen . . . . .	4
2	EKG-Anschlußschema . . . . .	11
3	Die konkreten Schritte bei der Bedienung des Computer-EKG-Gerätes . . . . .	12
4	Der konkrete Ablauf des EKG-Versuches . . . . .	13
5	Bedienung des Vektor-EKG-Programmes . . . . .	15
6	EKG-Normgrößen . . . . .	17

## 1 Vorbereitung

In diesem Praktikum wird die Messung und Interpretation des **Elektrokardiogramms (EKG/ECG<sup>1</sup>)** durchgeführt. Neben dieser elektrischen Größe werden auch die mechanischen Kreislaufgrößen **Blutdruck** und **Carotispuls** gemessen. Für die Durchführung des Praktikums ist die Kenntnis der physiologischen Grundlagen unerlässlich. Es wird daher die sorgfältige Erarbeitung der Kapitel „Herz“ und „Kreislauf“ der einschlägigen Lehrbücher auf der Grundlage der Hauptvorlesung vorausgesetzt!

## 2 Theoretische Grundlagen

### 2.1 EKG

Meßtechnisch gesehen kann man das EKG mit Hilfe zweier unterschiedlicher *Ableitungen* (=Verschaltungen) messen. Zum einen kann es *bipolar* gemessen werden. Der Ausschlag der EKG-Spur entspricht hier der Spannung (Potentialdifferenz) zwischen zwei (realen) Elektroden. Zum anderen kann es *unipolar* gemessen werden. Hier wird das Potential einer Elektrode gegenüber einem gedachten Punkt gemessen, dem selbst *keine* Elektrode entspricht. Diese gedachte Elektrode wird durch die Verschaltung von mindestens zwei (realen) Elektroden realisiert. Normalerweise werden diese Elektroden einfach über große Widerstände miteinander verbunden.

---

<sup>1</sup>Im englischsprachigen Raum heißt es electrocardiogram.

Jede Ableitung mißt aber immer nur eine Projektion („Schattenwurf“) der elektrischen Spannung am Herzen. Man wünscht sich deswegen möglichst viele Projektionen, um sich daraus ein möglichst vollständiges Bild der Herzerregung machen zu können. Die beiden unterschiedlichen Meßprinzipien (bipolar, unipolar) verdoppeln nun die Anzahl der möglichen Ableitungen.

### 2.1.1 Extremitätenableitungen

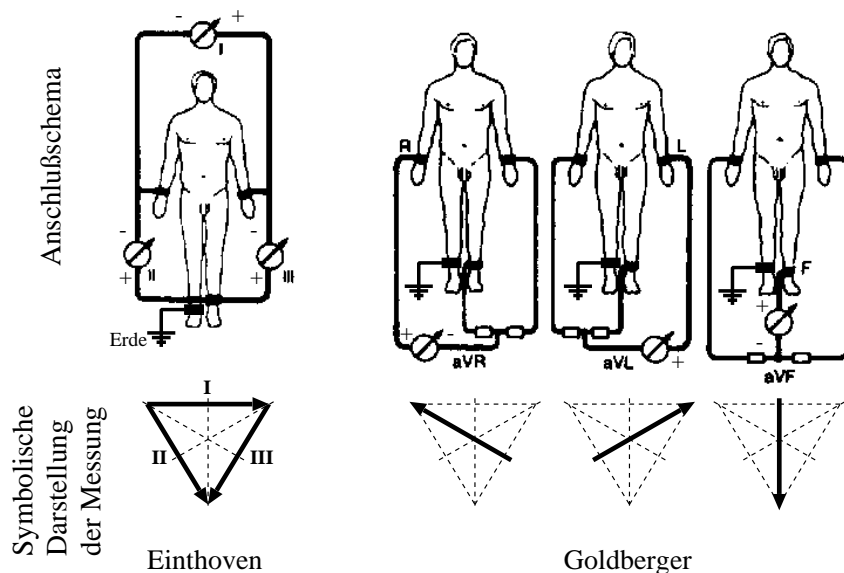


Abbildung 1: Extremitätenableitungen nach Einthoven (drei bipolare Ableitungen, I, II, III) und Goldberger (drei unipolare Ableitungen, aVR, aVL und aVF)

Die Standardableitungen I, II und III nach Einthoven sind bipolare Ableitungen (siehe Abb. 1), welche zwischen dem rechten und linken Arm und dem linken Bein abgeleitet werden. Bei den unipolaren Ableitungen nach Goldberger aVR, aVL und aVF werden jeweils zwei Extremitätenelektroden zusammengeschaltet, so daß die gedachte Elektrode zwischen diesen beiden realen Elektroden entsteht. Es werden also die Potentialunterschiede zwischen dieser gedachten Elektrode und der dritten beteiligten Extremität gemessen.

Obwohl es sich bei Einthoven und Goldberger um die gleichen Elektroden handelt, kann man durch zwei unterschiedliche Verschaltungen die Anzahl der Ableitungen verdoppeln. Das EKG-Gerät „verrechnet“ also die Spannungen der Extremitäten auf zwei unterschiedliche Arten und gewinnt dadurch mehr Projektionsrichtungen.

### 2.1.2 Lagetypen

Die Richtung des größten Integralvektors (des Summenvektors aller Vektoren zu einem Zeitpunkt), projiziert auf die Frontalebene, wird als *elektrische Herzachse* bezeichnet. Sie stimmt bei normaler Erregungsausbreitung weitgehend mit der anatomischen Längsachse des Herzens überein. Die Lagetypen (siehe Tab. 1) werden nach dem Winkel bezeichnet, den die elektrische Herzachse mit der Horizontalen einschließt. Grob kann man sagen, daß mit zunehmendem Alter der Winkel der elektrischen Herzachse immer geringer wird. Bei jungen Menschen herrscht

Tabelle 1: Lagetypen nach Winkelbereichen

Lagetypp	von/°	bis/°
überdrehter Linkstyp		< -30
Linkstyp	-30	+30
<b>Normtyp</b>	<b>+30</b>	<b>+60</b>
Steiltyp	+60	+90
Rechtstyp	+90	+120
überdrehter Rechtstyp	> +120	

also der Steiltyp vor und bei älteren eher der Normal- bis Links-Typ.

### 2.1.3 Brustwandableitungen

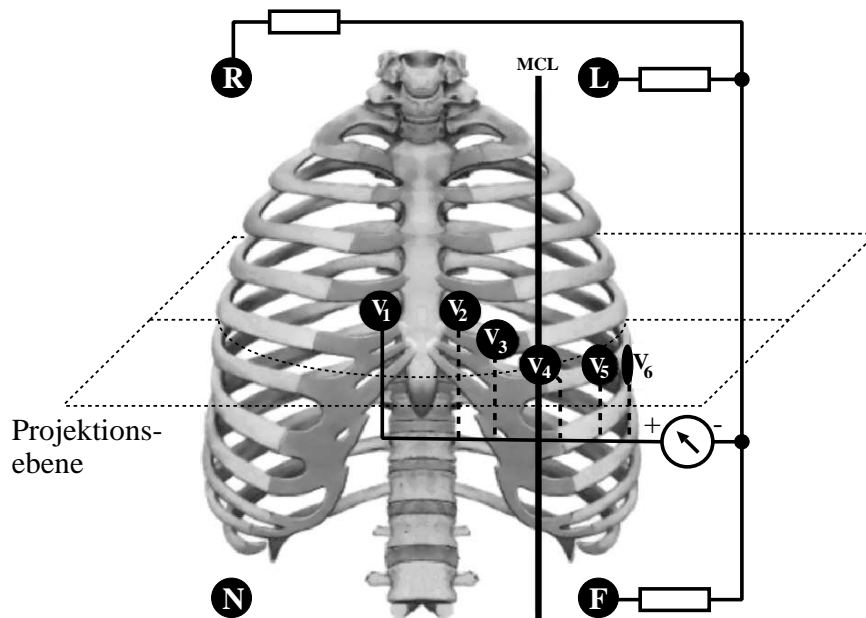


Abbildung 2: Lage der Brustwandableitungen nach Wilson und deren Verschaltung

Die unipolaren Brustwandableitungen  $V_1$  bis  $V_6$  nach Wilson geben Auskunft über die Projektion des elektrischen Erregungsvektors des Herzens auf eine (gedachte) horizontale Ebene durch den Thorax. Durch Zusammenschalten der drei Extremitätenkabel wird eine gedachte indifferente Bezugselektrode erzeugt, gegen die 6 definierte Orte auf der Brustwand in Herzhöhe abgeleitet werden (Abb. 2). Bipolare Brustwandableitungen (z.B. nach Nehb) werden eher selten verwendet.

## 2.1.4 Vektor-EKG

Das Standard-EKG, wie es bis jetzt beschrieben wurde, beschreibt das *zeitliche* Verhalten der elektrischen Herzerregung. Das Vektor-EKG hingegen beschreibt den *räumlichen* Aspekt der Herzerregung.

Die elektrische Herzerregung kann man sich als einen dreidimensionalen Vektor vorstellen, der zu jedem Zeitpunkt eine genau definierte *Richtung* (die der Erregungsausbreitung) und eine genau definierte *Länge* (welche der Spannung entspricht) hat. Dieser Vektor kann mit Hilfe von drei Ableitungen konstruiert werden, da zur Beschreibung eines (räumlichen) dreidimensionalen Vektors drei linear unabhängige Vektoren benötigt werden (z.B. Länge, Höhe, Breite). Solche Vektoren nennt man Basisvektoren. Kombiniert man Vielfache dieser Vektoren, so kann man jede Position eines dreidimensionalen Raumes erreichen. Besonders einfach wird es, wenn man sich drei zueinander senkrechte Ableitungsrichtungen herausucht, da dann diese Ableitungen ein normales kartesisches Koordinatensystem aufspannen: z.B. I, aVF (Frontalebene) und  $V_2$  (zeigt senkrecht aus der Frontalebene heraus). Zu jedem Zeitpunkt läßt sich somit aus den drei EKG-Ableitungen die Richtung und Stärke (bzw.: der Vektor) der elektrischen Erregungsausbreitung bestimmen. Zeichnet man nun für *alle Zeitpunkte* nur die Spitzen dieser Erregungsvektoren ein, dann entsteht eine Raumkurve, die Vektorschleife genannt wird.

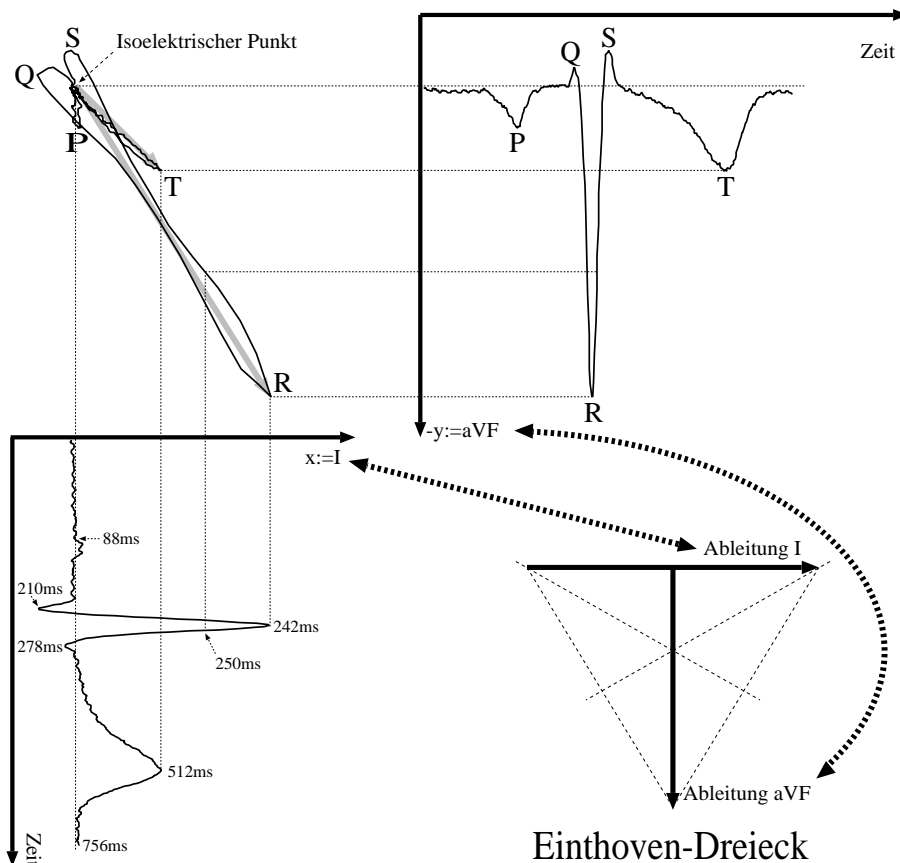


Abbildung 3: Konstruktion der Vektorschleife aus den Ableitungen I und aVF. Besonders gekennzeichnet sind drei Zeitpunkte: Maximum R-Zacke, kurze Zeit nach dem Maximum der R-Zacke und Maximum von T. Für die R-Zacke und das Maximum der T-Welle sind jeweils beispielhaft die Vektoren der Herzerregung (in grau) eingezeichnet.

Um den Versuch mit der Vektorschleife etwas einfacher zu gestalten, werden nur die *Extremitätenableitungen* verwendet, nämlich Ableitung I als Projektion auf die X-Achse (positiver Ausschlag nach rechts) und aVF als Projektion auf die Y-Achse (positiver Ausschlag nach unten). Die Projektion auf die Z-Achse ( $V_2$ ) wird hier nicht gemessen. Das bedeutet, daß hier nur die Projektion des Vektors auf die Frontalebene bestimmt wird. Die Konstruktion der Vektorschleife in dieser Ebene illustriert Abbildung 3.

### 2.1.5 Diagnostische Aussagemöglichkeiten des EKG

Das EKG spielt eine herausragende Rolle in der Diagnostik, um Veränderungen der Erregungsbildung und -ausbreitung am Herzen aufzudecken. Grundsätzlich können aus den Routineableitungen folgende Informationen gewonnen werden:

- Frequenz, Rhythmus
- Lokalisation des Schrittmachers, Ursprung ektopter Erregungen
- Grad und Lokalisation von Erregungsleitungsstörungen
- Veränderungen des Erregungsablaufs als Ausdruck kardialer Gewebeschädigung, medikamentöser Einflüsse, oder Stoffwechselveränderungen.

*Ob ein EKG als krankhaft zu bewerten ist oder nicht, ergibt sich häufig nur aus dem gesamten klinischen Bild. Das EKG allein erlaubt nicht immer einen zwingenden Rückschluss auf die Ursache der beobachteten Abweichungen.*

### 2.1.6 Wenn es nicht funktioniert: Meßfehler bzw. Probleme bei der Messung des EKG

Die häufigste Störung der EKG-Aufnahme ist das sogenannte „**Netzbrummen**“: Dem EKG ist eine kleine periodische Schwingung (50Hz) überlagert (siehe Abb. 4). Die Ursache ist meist ein schlechter Kontakt zwischen Elektrode und Haut. Es kann auch vorkommen, daß sich in der Umgebung viele elektrische Geräte befinden, welche die sehr empfindlichen Verstärker des EKG stören. In beiden Fällen ist die Verringerung des Widerstandes zwischen Haut und Elektrode die beste Methode, ein störungsfreies EKG zu erhalten. Um diesen Übergangswiderstand zu minimieren, kann man nun etwas üppiger Elektrodenpaste oder NaCl-Lösung verwenden, eine Zeit lang warten (die Haut weicht auf) und auch die Lage der Extremitätenelektroden etwas verändern.

Während die Lage der Elektroden bei den Brustwandableitungen genau festgelegt ist, ist das bei den Extremitätenableitungen nicht der Fall. Das EKG ändert sich nicht wesentlich, wenn man die Armelektroden z.B. auf die Schultern verlagert<sup>2</sup>. Bezüglich Störungen nimmt die Extremitätenelektrode „N“ eine zentrale Stellung ein. Sie ist an der eigentlichen Messung des EKG nicht beteiligt, sondern reduziert Störeinflüsse von aussen. Der menschliche Körper verhält sich elektrisch zur Umgebung wie eine Antenne. Alle elektrischen Geräte senden elektrische Potentiale aus, welche dann der menschliche Körper empfängt. Diese Störungen wandern über die Elektroden und die Kabel auch in das EKG-Gerät und überlagern sich dem eigentlichen EKG. Die N-Elektrode ist einfach mit dem Erdboden verbunden, so daß diese Störungen dorthin abgeleitet werden. Um die eigentliche Aufzeichnung des EKG nicht zu beeinflussen, wird eine Position der Elektrode gewählt, die möglichst weit von allen anderen Elektroden entfernt ist.

---

<sup>2</sup>Die Extremitäten verhalten sich nämlich nur wie „Kabel“, die die Potentiale weiterleiten.

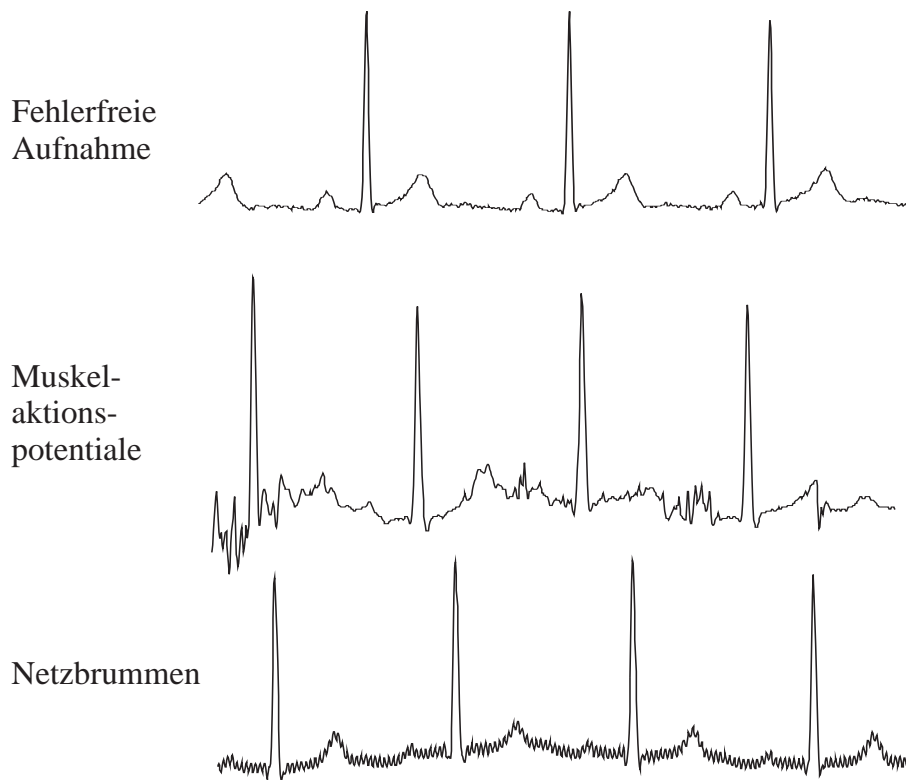


Abbildung 4: Probleme bei der EKG-Aufnahme

Es gibt im EKG auch aperiodische Störungen (siehe wieder Abb. 4). Erscheinen diese nur in ein oder zwei Ableitungen, dann handelt es sich wahrscheinlich um **Bewegungsartefakte**. Liegt die Versuchsperson nicht entspannt oder bewegt sich, dann sind Skelettmuskeln aktiv und erzeugen elektrische Potentiale. Diese überlagern sich dem EKG. Das betrifft vor allem die Extremitätenableitungen (z.B. wenn die Versuchsperson sich mit den Fingern abstützt oder etwas festhält). Man muß also darauf achten, daß die Versuchsperson völlig entspannt liegt.

Man darf aber auf keinen Fall schließen, daß *jede* Störung ein Bewegungsartefakt ist, denn auch lokalisierte Störungen können aperiodisch bzw. nur in einzelnen Ableitungen auftreten. Solche lokalisierten Störungen (z.B. Infarkt,  $O_2$ -Mangel) lassen durch die Ableitungen, in denen sie am *deutlichsten* zu sehen sind, Rückschlüsse auf den Ort ihrer Erregung zu (z.B. inferiorer Hinterwandinfarkt zu erkennen in II, III und aVF). Extrasystolen lassen sich dagegen einfacher erkennen, da sie in (fast) allen Ableitungen gleichzeitig erscheinen und ein sehr charakteristisches Aussehen besitzen.

Bei den **Brustwandableitungen** ist die Position der Elektroden auf dem Brustkorb besonders kritisch. Wenn die Elektroden bei der Aufnahme richtig positioniert sind, nimmt beim gesunden Probanden die Größe der R-Zacke von  $V_1$  bis  $V_6$  kontinuierlich zu, während gleichzeitig die S-Zacke kleiner wird (siehe Abb. 5).

## 2.2 Arterieller Blutdruck

Routinemethode für die Basisdiagnostik in Klinik und Praxis ist die Methode der indirekten Blutdruckmessung nach Riva-Rocci.

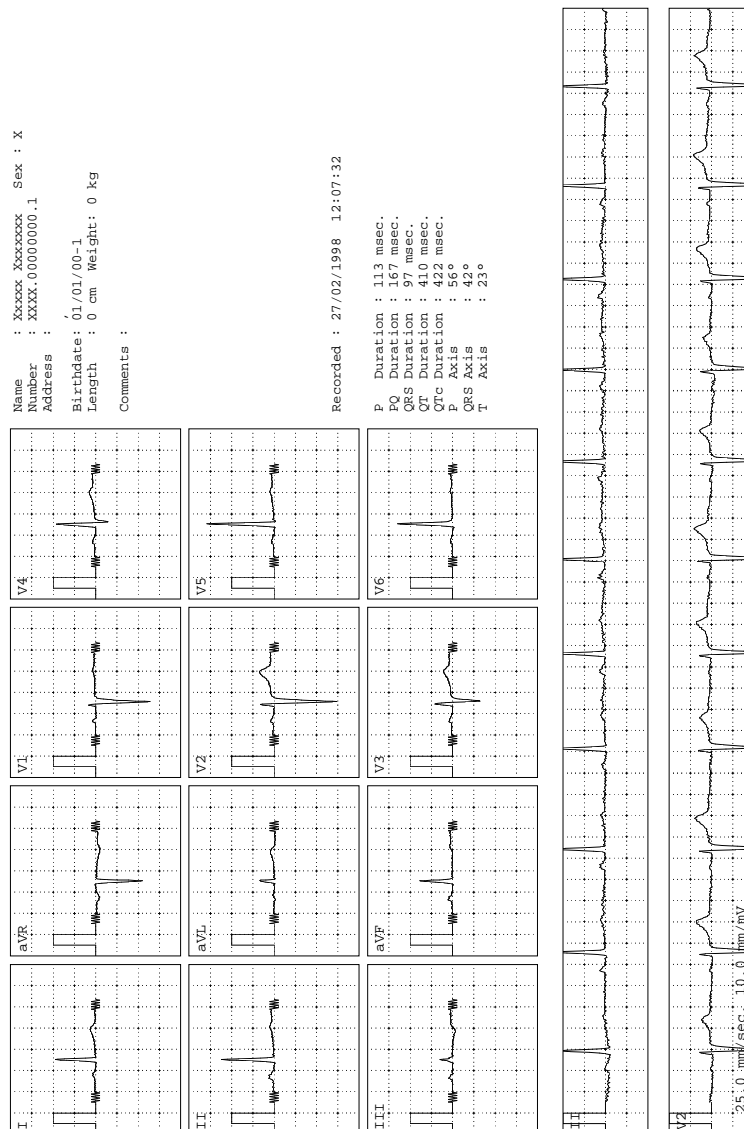


Abbildung 5: Komplettes EKG, aufgenommen im Praktikum (gemittelte EKG-Komplexe und Rhythmus-Streifen)

### 2.2.1 Technik der indirekten Blutdruckmessung nach Riva-Rocci

Zur Messung wird eine Manschette um den Oberarm des Probanden gelegt und dann rasch auf einen voraussichtlich über dem systolischen Druck liegenden Wert aufgepumpt, wodurch die A. brachialis vollständig komprimiert wird. Der Manschettendruck wird nun langsam (2-3 mm Hg/s) abgelassen. Wird der **systolische Druck** unterschritten, läßt sich bei jedem Puls ein kurzes, scharfes Geräusch auskultieren, welches durch die Turbulenzen des stoßweise durch die komprimierte Stelle durchtretenden Blutes verursacht wird. Man verwendet dazu die **Glockenseite** des Stethoskops und nicht die Membranseite.

Läßt man den Manschettendruck weiter absinken, verstärkt sich das Geräusch zunächst und bleibt dann konstant laut. Es kann in Ausnahmefällen auch vorübergehend völlig verschwinden



(Auskultatorische Lücke), um dann erneut zuzunehmen. Wird das Geräusch bei weiter sinkendem Manschettendruck plötzlich dumpfer und schnell leise, ist der **diastolische Druckwert** erreicht. Genau genommen liegt der diastolische Wert wahrscheinlich schon beim Übergang zu den gedämpften Geräuschen und nicht erst beim völligen Verschwinden der Korotkow-Geräusche vor. Diese Differenz beträgt aber nur wenige mm Hg.

### 2.2.2 Methodische Fehler der Blutdruckmessung

Die Bestimmung des systolischen und diastolischen Blutdruckes ist eine wichtige diagnostische Maßnahme; vor Allem erhöhte Blutdruckwerte stellen ein erhebliches Gesundheitsrisiko dar und können zu gefährlichen Folgeerkrankungen führen. Ein permanent erhöhter Blutdruck mit Werten  $>140/90$  mm Hg ist auf jeden Fall behandlungsbedürftig. Deshalb ist eine korrekte Messung des Blutdruckes sehr wichtig, jedoch gibt es bei den indirekten, d.h. unblutigen, Messmethoden zahlreiche Fehlermöglichkeiten, deren Kenntnis zur Vermeidung wichtig ist.

Allen mit Manschetten arbeitenden Verfahren ist gemein, daß sich der Manschettendruck nicht über die gesamte Manschettenbreite auf die Arterie überträgt, sondern diese keilförmig komprimiert. Dabei spielt die Dimensionierung der Manschette im Verhältnis zum Oberarmumfang eine wichtige Rolle. Durch eine zu schmale Manschette wird der Blutdruck - ebenso wie durch eine inkorrekt angelegte (zu lose) Manschette - zu hoch bestimmt. Ebenfalls zu hoch wird der Druck bestimmt, wenn der Meßpunkt (Manschette) deutlich unter Herzhöhe angebracht ist.

Eine weitere Fehlermöglichkeit liegt in der Abfließgeschwindigkeit des Manschettendruckes. Wird die Geschwindigkeit von 2-3 mm Hg/s überschritten, so ist der abgelesene Manschettendruck in der Systole niedriger und in der Diastole höher als der intraarterielle Druck. Dieser Fehler vergrößert sich bei Bradykardie und verringert sich entsprechend bei Tachykardie. Außerdem spielt bei größeren Abfließgeschwindigkeiten ( $>5$  mm Hg/s) der Trägheitseffekt des Manometers eine Rolle, der mehr als 5 mm Hg ausmachen kann, wobei es beim systolischen Wert korrigierend, beim diastolischen Wert dagegen fehlerverstärkend wirkt.

Eine Einengung des Oberarms durch Kleidung führt ebenfalls zu fälschlich hohen Werten. Dasselbe gilt für die Messung nach längerer Stauung.

## 2.3 Kreislaufprüfung nach Schellong

Höhe und zeitlicher Verlauf des Blutdrucks in Ruhe und unter verschiedenen Belastungen lassen Aussagen über den Funktionszustand und die Anpassungsfähigkeit des Kreislaufsystems zu.

Zur Erfassung von Störungen der Kreislaufregulation kann man die Kreislaufprüfung nach Schellong verwenden, mit der das Kreislaufverhalten im Vergleich zwischen Liegen und Stehen geprüft wird. Normalerweise kommt es beim Übergang vom Liegen zum Stehen zu einer leichten Abnahme des systolischen Druckes und der Blutdruckamplitude. Da der Druck in den kopfwärtigen Gefäßen und im Sinus caroticus sinkt, kommt es reflektorisch zu einer Erhöhung der Herzfrequenz sowie zu Vasokonstriktion, die sich in einem leichten Anstieg des diastolischen Druckes äußert.

Unter pathologischen Bedingungen kann es im Stehversuch zu einer starken Abnahme des systolischen und diastolischen Blutdruckes, gekoppelt mit einer starken Zunahme der Herzfrequenz kommen (Orthostatischer Kollaps), was zur Bewußtlosigkeit führen kann.

## 2.4 Carotispuls

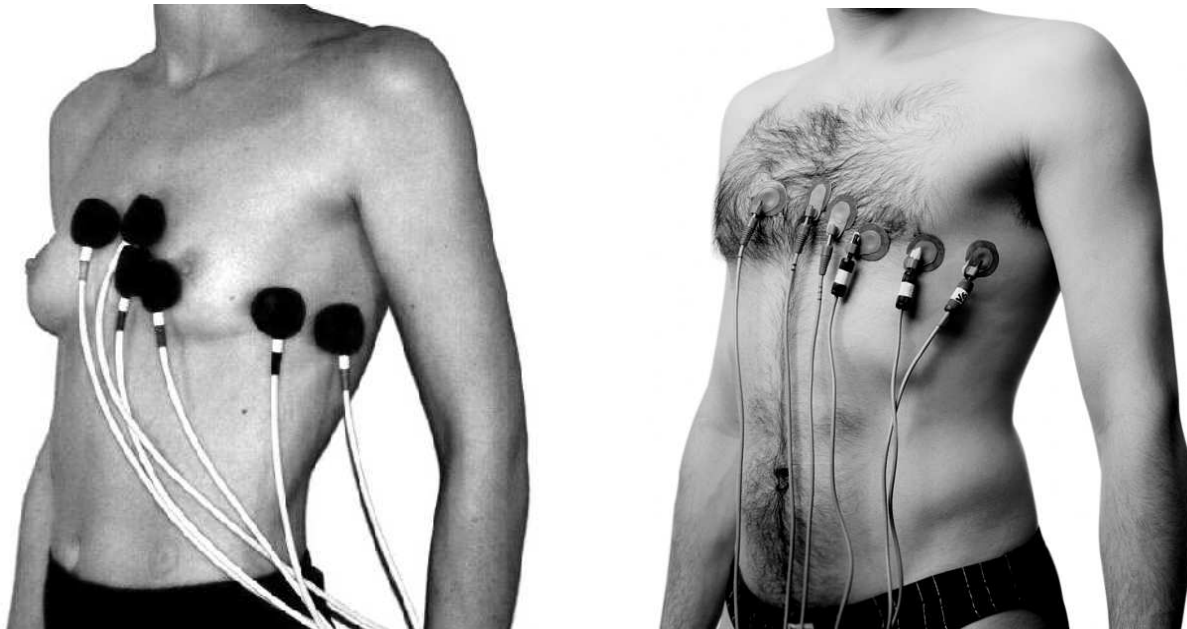
Im Rahmen des Vektor-EKG-Versuchs wird mit einem Stethoskop, welches an einen Druckmesser angeschlossen ist, auch der Carotispuls gemessen, welcher als Druckkurve gleichzeitig

mit dem EKG dargestellt wird. Mit Hilfe dieser Messung wird eine Verbindung zwischen der Herzmechanik und der elektrischen Erregung hergestellt. Die Nähe der Carotis zum Herzen ermöglicht die Messung einer Druckkurve, die der der Aorta sehr ähnlich ist.

## 3 Versuchsbeschreibungen

### 3.1 Einleitung

Es gibt zwei unterschiedliche Arbeitsplätze. Beim ersten wird an einem Computer-EKG-Gerät ein **Standard-EKG** aufgenommen, so wie es in der Praxis täglich durchgeführt wird. Beim zweiten wird an einem experimentellen Meßplatz das **Vektor-EKG** aufgenommen. Diese Form der Darstellung ist zwar in der Klinik nur speziellen Fragestellungen vorbehalten, liefert aber ein tieferes Verständnis für das EKG. Die Blutdruckmessungen und die Messung des Carotispulses stellen dann die Verbindung zur Herzmechanik und zum Kreislauf her.



*Abbildung 6: Vergleich der Brustwandelektroden zwischen Frau und Mann (li.: Mit freundlicher Genehmigung des EKG-Praktikums der integrierten vorklinischen Ausbildung der Universität Ulm)*

### 3.2 Elektrokardiographie und Kreislaufprüfung

#### 3.2.1 Versuchsperson an das EKG anschließen

Die **Versuchsperson** muß den Oberkörper freimachen und auf der Untersuchungsliege in Rückenlage eine möglichst bequeme und entspannte Haltung einnehmen.

Das **Patientenkabel** ist das Kabel, welches die Verbindung zwischen Patientin/Patient und EKG-Gerät herstellt. Dieses Kabel wird mit einem Clip an der Hose befestigt, so daß es beim Schellong-Test (beim Stehen) nicht herunterfallen kann.

Tabelle 2: EKG-Anschlußschema

Bezeichnung	Stecker: Farbe/Beschr.		Elektrodenposition
R	rot		rechter Arm
L	gelb	<i>Ampel-</i>	linker Arm
F	grün	<i>regel</i>	linkes Bein
N	schwarz		rechtes Bein
$V_1$	weiß-rot	Ca	4. Interkostalraum (ICR) parasternal rechts
$V_2$	weiß-gelb	Cb	4. Interkostalraum (ICR) parasternal links
$V_3$	weiß-grün	Cc	auf der Verbindungslinie zwischen $V_2$ und $V_4$ (5.Rippe)
$V_4$	weiß-braun	Cd	5. Interkostalraum in der linken Medioklavikularlinie
$V_5$	weiß-schwarz	Ce	in Höhe von $V_4$ in der vorderen Axillarlinie
$V_6$	weiß-violett	Cf	in Höhe von $V_4$ in der mittleren Axillarlinie

An den **Extremitäten** werden Plattenelektroden mit Hilfe von Gummibandagen befestigt. Zwischen Haut und Elektrode wird mit physiologischer NaCl-Lösung getränktes Elektrodenpapier gelegt, um den Kontakt Haut-Elektrode zu verbessern<sup>3</sup>.

Anschließend werden die Elektroden für die **Brustwandableitungen** an der Kontaktfläche dünn mit einer Elektrolytpaste bestrichen und an den Orten der Brustwand angebracht, die mit  $V_1 - V_6$  bezeichnet werden (siehe Tab. 2). Die Position von  $V_3$  wird nicht durch das Ertasten der Rippe bestimmt, sondern sie wird einfach genau zwischen  $V_2$  und  $V_4$  gesetzt. Aus diesem Grunde sollte man die Elektroden in folgender Reihenfolge anbringen:  $V_1, V_2, V_4, V_3, V_5, V_6$ . Die Lage der Brustwandelektroden ist – im Gegensatz zu den Extremitätenableitungen – besonders kritisch, da sie sehr nah am Herzen liegen.

Bei **Frauen** liegen die Brustwandableitungen  $V_2 - V_5$  auf der Mamma (siehe Abb. 6). Falls man die Elektroden darunter setzt, sitzen sie mindestens einen Rippenzwischenraum zu tief.

Bei stark behaarten **männlichen Versuchspersonen** verwendet man Elektroden, die durch einen breiten Gurt auf die Brust gedrückt werden. Nach einer „Anprobe“ des Gürtels empfiehlt es sich, das Elektrodengel üppig zu verwenden, da die Elektroden sehr locker aufliegen und deswegen der Kontakt nicht sehr gut ist.

Für den Schellong-Test wird zusätzlich die **Blutdruckmanschette** der Versuchsperson um den rechten Oberarm gelegt.

### 3.2.2 Bedienung des Programms

Es stehen Ihnen drei Computer-EKG-Geräte zur Verfügung. Diese haben gegenüber „klassischen“ mechanischen Geräten diverse Vorteile: Die EKG-Aufnahmen werden auf der Festplat-

<sup>3</sup>Die Flaschen mit der NaCl-Lösung sollten nie in der Nähe des EKG abgestellt werden, da die Gefahr besteht, daß aus Versehen Salzwasser in das Gerät gelangt, und dieses zerstört.

Tabelle 3: Die konkreten Schritte bei der Bedienung des Computer-EKG-Gerätes

1. Patienten Daten aufrufen
2. Neuer Patient
3. mindestens Vorname, Nachname und Geschlecht eingeben, mit OK bestätigen
4. Zum Hauptmenü zurück (<Esc> drücken)
5. Aufnahme auswählen.
6. Den Namen der Versuchsperson bestätigen (evtl. auswählen).
7. Den EKG-Recorder einschalten. Das EKG wird nun auf dem Bildschirm gezeigt.
8. Wenn es fehlerfrei ist: ENTER drücken (falls nicht: siehe 2.1.6).
9. **WARTEN** bis die Meldung erscheint, daß man den Recorder ausschalten soll.
10. Drucken auswählen
11. Drucke ein Format auswählen
12. Formate gemäß Tab. 4 ausdrucken.
13. Zum Hauptmenü zurück (<Esc> drücken)
14. Zurück zu Punkt 5.

te des Rechners archiviert, können dann angesehen, analysiert und ausgedruckt werden. Das Programm bestimmt automatisch die Herzfrequenz, die Winkel der elektrischen Achsen von P, QRS und T, sowie die entsprechenden Zeiten. Aus allen Herzaktionen wird durch Mittelwertbildung eine besonders störungsfreie EKG-Kurve errechnet („gemittelte Komplexe“). Die EKG-Aufnahmen des Praktikumstages können auch auf Diskette mit nach Hause genommen werden (siehe Anhang B).

Die konkrete Bedienung der hier verwendeten Software zeigt Tabelle 3. Bitte verwenden Sie möglichst die Tastatur, um die unterschiedlichen Funktionen aufzurufen. Das ist sicherer als mit der Maus. Mit der Taste „Esc“ kann man generell Funktionen abbrechen (z.B. eine laufende Aufnahme) oder ein Untermenü verlassen.

### 3.2.3 Was soll gemessen werden?

Die genauen Versuchsschritte zeigt Tabelle 4. Wichtig ist, daß beim Schellong-Test *sofort* nach dem Aufstehen der Blutdruck das erste Mal gemessen wird und daß die Versuchsperson danach absolut still stehen bleibt. Jede Bewegung sorgt dafür, daß das Blut wieder aus den Beinen nach oben transportiert wird (Muskelpumpe).

Reinigen Sie bitte den Arbeitsplatz nach Beendigung der Messung, insbesondere (unter laufendem Wasser) die Saugelektroden!

### 3.2.4 Auswertung

Die Auswertung umfaßt die Bestimmung der Parameter, die in der Regel bei der Beschreibung eines Routine-EKG angegeben werden:

Tabelle 4: Der konkrete Ablauf des EKG-Versuches

t/min	Versuchsbedingung	Messungen	Computer-Ausdruck
—	liegend, normale Atmung	1x EKG	1. 2x6 (1 Seite) 2. gemittelte Kompl.
—	- tief einatmen - Luft anhalten - tief ausatmen	während- dessen: 1x EKG	3. Rhythmus-Streifen
nur die Brustwandelektroden abnehmen			
0	liegend	1x Blutdruck	
ca 0'30"	aufstehen		
1	direkt nach dem Aufstehen	1x EKG 1x Blutdruck	4. Rhythmus-Streifen
2,3,4	3 min stehend	jede Minute 1x Blutdruck	
5	stehend	1x EKG 1x Blutdruck	5. Rhythmus-Streifen
6	liegend	1x EKG 1x Blutdruck	6. Rhythmus-Streifen

- Bestimmung der Herzfrequenz als Zahl der Schläge/min:** Der Wert errechnet sich aus dem Kehrwert des Abstandes zweier R-Zacken (in s umgerechnet), multipliziert mit 60 (Rhythmus-Streifen verwenden). Sind die Abstände zwischen den einzelnen Herzaktionen nicht gleich lang, werden der längste und der kürzeste bestimmt und zur Minimal- und Maximalfrequenz hochgerechnet.
- Arrhythmie:** Ist ein regelmäßiger Rhythmus vorhanden oder besteht eine Arrhythmie? Welches ist die häufigste (nicht pathologische) Arrhythmieform? In welchem Versuchsabschnitt sollte man diese sehen? Treten Extrasystolen auf, wenn ja, mit welcher Häufigkeit und von welchem Teil des Herzens ausgehend?
- Bestimmung des Schrittmachers:** Geht die Erregung vom Sinusknoten oder von anderen Teilen des Erregungsleitungssystems aus? Woran läßt sich das erkennen? Warum nicht an der Herzfrequenz?
- Lagetypen des Herzens:** Die Konstruktion der elektrischen Herzachse erfolgt geometrisch aus den Einthoven-Ableitungen (siehe Abb. 7). Dort bestimmt man nun für jede der drei Ableitungen die Amplitude der R-Zacke, welche man in das Einthoven-Dreieck als Vektor einträgt. Die Senkrechten — ausgehend von den Vektorspitzen der drei Amplituden — schneiden sich in einem Punkt, welcher die Spitze des Vektors der elektrischen Herzachse darstellt<sup>4</sup>. Auch hier bestimmt das Programm automatisch den Winkel  $\alpha$  der elektrischen Herzachse. Vergleichen Sie Ihr Ergebnis mit dem des Computers.

Welcher Lagetyp liegt vor?

<sup>4</sup>Dieses Verfahren stellt keine Addition von Vektoren zu einem Summenvektor dar, sondern die Synthese eines Vektors aus seinen auf bestimmte Achsen projizierten Komponenten.

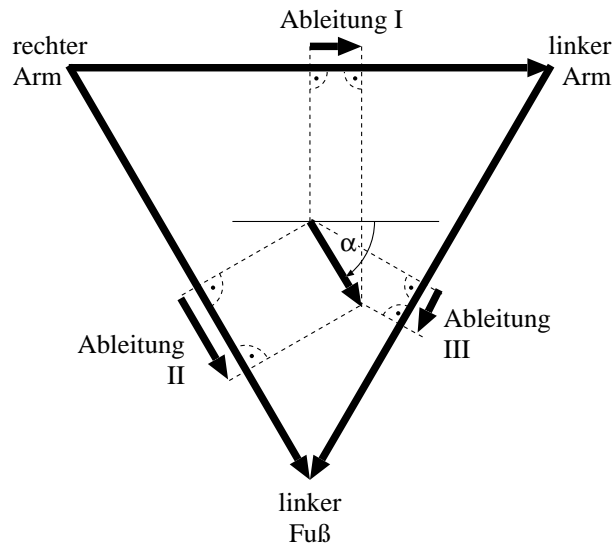


Abbildung 7: Zeichnerische Bestimmung der elektrischen Herzachse

## 5. Beurteilung der Erregungsausbreitung und -rückbildung

- Welche Zeitdauer und Amplitude hat P in Ableitung II?
- In welchen Ableitungen ist P negativ bzw. biphasisch (zweigipflig, positiv oder negativ)?
- Wie breit ist der Kammer-Komplex (QRS) in Ableitung II?
- Ist die Überleitungszeit (Definition!) normal?
- Wie verändern sich (qualitativ) R und S in den Ableitungen  $V_1$  bis  $V_6$ ?
- Bestimmen Sie den Zeitbedarf vom Beginn des QRS-Komplexes bis zur Spitze der R-Zacke in  $V_1$  und  $V_6$ .  
Grenzwerte:
  - $V_1 < 0,03s$
  - $V_6 < 0,052s$
  - Differenz  $V_6 - V_1 < 0,03s$
- Beurteilen Sie die Erregungsrückbildung. Werden die Kammern voll erregt (ST-Strecke!)? Zeigt der Vektor der Erregungsrückbildung in die gleiche Richtung wie der der Erregungsbildung (Konkordanz)?

- Kreislaufprüfung:** Bestimmen Sie die Pulsfrequenzen aus den EKG-Aufzeichnungen. Tragen Sie die Blutdruckwerte und die Pulsfrequenzen über die Zeit (min) auf und markieren Sie die Körperlage. Diskutieren Sie die Blutdruckwerte und Pulsfrequenzen in Abhängigkeit von der Körperlage und der Zeit.

## 3.3 Vektorkardiographie

### 3.3.1 Versuchsperson an das Gerät anschließen

Da hier nur die Ableitungen I und aVF verwendet werden, reicht es aus, **nur die Extremitätenelektroden** (Plattenelektroden mit salzwasserhaltigen Tupfern) anzulegen (Anschlußschema

siehe Abb, 2). Das EKG-Gerät ist mit einem Computer verbunden und dient nur als Verstärker der schwachen EKG-Signale. Der **Programmschalter am EKG-Gerät muß auf I II III** stehen<sup>5</sup>. Die Empfindlichkeit des EKG-Gerätes spielt keine Rolle.

Etwas mehr Zeit als beim normalen EKG sollte man sich beim Anlegen der Elektroden nehmen. Der Computer stellt die Ableitungen wesentlich größer und präziser dar, als ein normales EKG-Gerät, so daß ein schlechter Kontakt mit der Haut sich hier stärker bemerkbar macht. Auch sollte man gerade in diesem Versuchsteil auf eine sehr bequeme Liegeposition der Versuchsperson achten, da Muskelaktionspotentiale natürlich auch überdeutlich dargestellt werden. Bezüglich des Netzbrummens sollte man mit der Elektrodenposition etwas experimentieren, damit die Vektorschleife möglichst störungsfrei ausgedruckt werden kann (siehe auch 2.1.6). An dieser Stelle sei noch die Taste FILTER erwähnt, die alle EKG-Geräte besitzen. Drückt man diese Taste, so wird das Netzbrummen unterdrückt – leider auf Kosten der originalgetreuen Wiedergabe des EKG.

*Tabelle 5: Bedienung des Vektor-EKG-Programmes*

1. Eine möglichst große Darstellung der Vektorschleife erreichen, indem man die **Empfindlichkeit** (Tasten: **Bild/page** ↓ und **Bild/page** ↑) im Programm möglichst groß einstellt.
2. Falls mehrere Herzaktionen zu sehen sind, kann man die **Aufnahmegeschwindigkeit** (Tasten: **1, 2 und 3**) variieren, um die zusätzlichen Herzaktionen auszublenden.
3. Die **Lage der Vektorschleife mit den Pfeiltasten** verändern, so daß die ganze Vektorschleife zu sehen ist und nicht über die Ränder hinausgeht.
4. Die **Aufnahme „einfrieren“ (Return-Taste)**, so daß man genau eine ganze Herzaktion als stehendes Bild sehen kann. Folgende Funktionen stehen speziell in diesem Modus bereit:
  - (a) **Vektorschleife ausdrucken (Taste V)** oder **EKG- und Druck ausdrucken (Taste E)**. Falls der Drucker nicht bereit ist, erhält man eine Fehlermeldung und man kann entweder abbrechen oder fortsetzen.
  - (b) **Zeiten ausmessen und korrespondierende Punkte finden (Pfeiltasten)**
  - (c) **Das EKG verwerfen (← / Korrekturtaste)**, um wieder kontinuierlich zu registrieren.

### 3.3.2 Bedienung des Programms

Das Programm stellt kontinuierlich und in Echtzeit sowohl das EKG als auch die Vektorschleife dar. Um diese Darstellung zu optimieren, kann man sowohl die Größe als auch die Position der Vektorschleife verändern. Die Aufnahme kann zu jedem Zeitpunkt „eingefroren“ werden. Diese Momentaufnahme des EKGs und der Vektorschleife kann dann auf dem Bildschirm ausgemessen und ausgedruckt werden. Die Druckschwankungen der Carotis können ergänzend zum EKG dargestellt und ausgedruckt werden. Die konkrete Bedienung zeigt Tabelle 5. Alle Tastenfunktionen werden auch auf dem Bildschirm erklärt.

<sup>5</sup>Der Computer errechnet dann aus II und III die Ableitung aVF, die für die Darstellung der Vektorschleife benötigt wird. Die Ableitung II selbst geht dabei verloren. Diese soll dann durch geometrische Konstruktion wiedergewonnen werden.

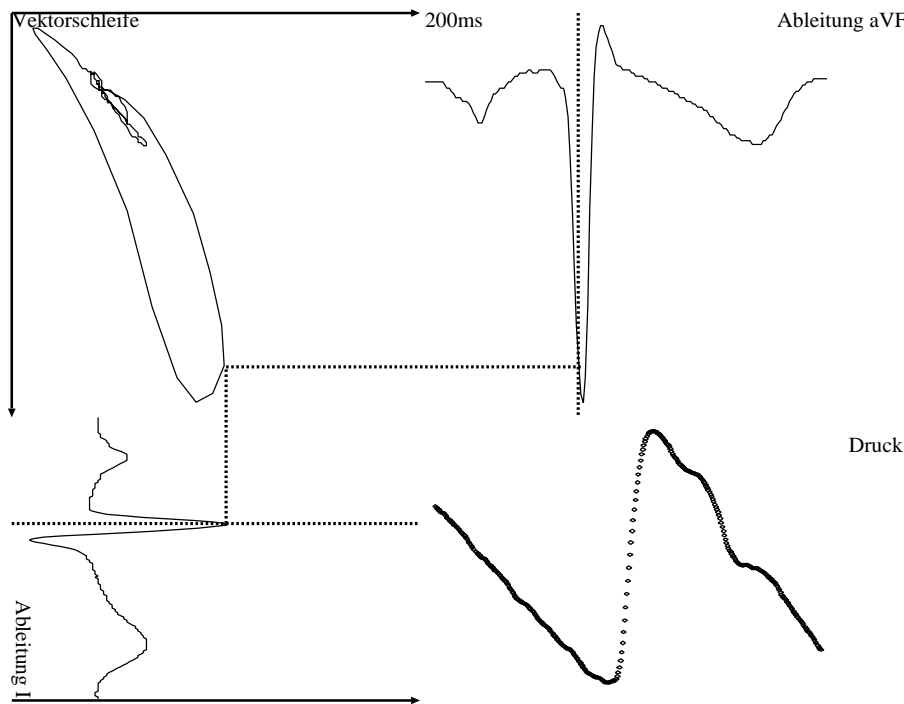


Abbildung 8: Bildschirminhalt des Programms zur Aufnahme und Auswertung der Vektorschleife.

### 3.3.3 Was soll gemessen werden?

Nacheinander sollen folgende Punkte abgearbeitet werden:

#### 1. Vektorschleife beim Ein-/Ausatmen:

- (a) Tief **einatmen**, Luft anhalten, Vektorschleife aufnehmen und ausdrucken.
- (b) Tief **ausatmen**, Luft anhalten, Vektorschleife aufnehmen und ausdrucken.

2. **Carotispuls:** Das Stethoskop wird mit seiner Glockenseite auf die Carotis aufgelegt. Man findet sie am besten, wenn man zuerst mit dem Finger den Puls ertastet und dann dort das Stethoskop aufsetzt. Die Größe der Kurve kann man mit den Tasten „+“ und „-“ einstellen. Wenn die Druckkurve störungsfrei ist, die Aufnahme einfrieren und ausdrucken (Taste 'E').

3. **Änderung der Vektorschleife bei unterschiedlicher Elektrodenposition:** Verschieben Sie die beiden Elektroden von den Handgelenken auf die Oberarme und nehmen Sie eine Vektorschleife nach dem Einatmen auf (entspricht Punkt 1a).

4. **Störungsfreie Vektorschleife für die quantitative Auswertung aufnehmen:** Diese Vektorschleife darf überhaupt keine Muskelaktionspotentiale und auch keinen Netzbrumm enthalten. Diese Aufnahme wird nun für die folgende Auswertung am Rechner verwendet (die Versuchsperson kann nach gelungener Aufnahme abgekabelt werden):

- (a) **Markante Punkte des EKG in der Vektorschleife markieren:** Wenn das EKG eingefroren ist, können Sie mit den Pfeiltasten einen Cursor (gestrichelte Linien in Abb. 8). über das EKG bewegen. Gleichzeitig wird mit einem Fadenkreuz gezeigt,



wo sich der entsprechende Zeitpunkt in der Vektorschleife befindet. Stellen Sie den Cursor nacheinander auf markante Punkte des EKG (P-, Q-, R-, S-, T-Maxima, *isoelektrische Linie/iselektrischer Punkt!*) ein und kontrollieren Sie, welcher Punkt auf der Vektorschleife mit dem jeweiligen Punkt im EKG korrespondiert. Markieren und beschriften Sie dann diese Punkte in der *ausgedruckten* Vektorschleife (z.B. „P“).

- (b) **Zeiten ausmessen:** Am oberen Bildschirmrand erscheint die Zeit vom Beginn der Aufnahme in msec (siehe Abb. 8). Bestimmen Sie nun alle Zeiten des EKG, die für eine *vollständige Beschreibung* nötig sind (PQ-Intervall, PQ-Strecke, Q-Zeit, R-Zeit, S-Zeit, ST-Strecke, Dauer der T-Welle), indem Sie die Differenzen der angezeigten Absolutzeiten bestimmen.

### 3.3.4 Auswertung

Tabelle 6: EKG-Normgrößen

EKG-Anteil	Dauer/sec	Amplitude/mV
P-Welle	0,05 – 0,10	0,1 – 0,3 (hier nicht meßbar)
PQ-Intervall	0,12 – 0,20	
Q-Zacke	< 0,04	< $\frac{1}{4}$ R-Höhe
QRS-Komplex	0,06 – 0,10	
T-Welle		$\frac{1}{8}$ R – $\frac{2}{3}$ R bzw. S
QT-Intervall	0,26 – 0,40	

1. Liegen die Werte des EKG im Normbereich (siehe Tabelle 6)?
2. Welche Winkel haben die Achsen von P, Q, R, S und T?
3. Wie verändert sich die Vektorschleife während der Atmung?
4. Wie verändert sich die Vektorschleife bei unterschiedlichen Elektrodenpositionen?
5. Konstruieren Sie aus dem Ausdruck der Vektorschleife und den Zeitwerten die Ableitung II. Die Amplituden erhalten Sie, indem Sie alle wichtigen Zeitpunkte (isoelektrische Linie, P,Q,R,S und T) auf die Ableitung II projizieren und dann die Abstände von der Projektion des isoelektrischen Punktes zu den anderen Projektionspunkten bestimmen (siehe Abb. 9).
6. Es kommt häufig vor, dass die Spitzen der R-Zacken in den EKG-Ableitungen nach Einthoven nicht genau übereinander liegen, also zeitlich offenbar nicht zusammenfallen (Tip: siehe Abb. 8).
7. Setzen Sie den Kurvenverlauf der Druckkurve mit dem Kurvenverlauf des EKG in Verbindung. Wann steigt der Druck an? Was passiert dann gerade im EKG? Wann fällt er wieder ab und welche Welle sieht man dann im EKG?

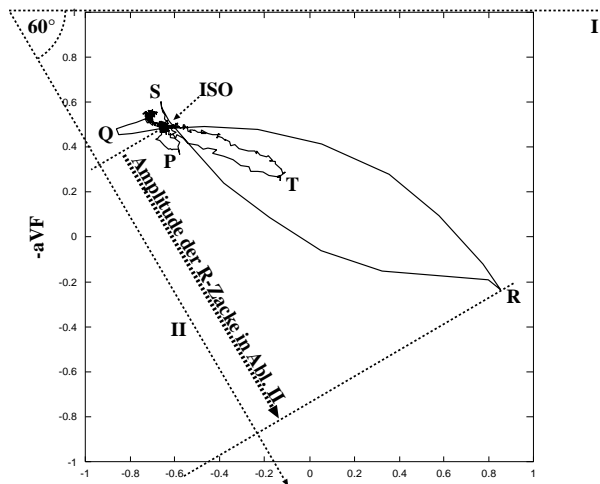


Abbildung 9: Bestimmung der Amplitude der R-Zacke in Ableitung II aus der Vektorschleife

## A Fragen und Aufgaben zur Vorbereitung

1. Zeichnen Sie ein Einthovendreieck und malen Sie die 3 Vektoren für die Ableitungen nach Einthoven hinein. Fügen Sie auch die richtigen Polaritätszeichen dazu. Können Sie das auch für die 3 Ableitungen nach Goldberger?
2. Wie würden sie den Winkel der elektrischen Herzachse bestimmen?
3. Wie ist ein Dipolvektor definiert? Zeigt der Vektorpfeil von erregt nach unerregt oder umgekehrt (bzw. von + nach - oder umgekehrt)?
4. Sie haben eine Batterie und ein Voltmeter. Das Voltmeter schließen Sie nun an die Batterie an: Plus an Plus und Minus an Minus. Wie schlägt das Voltmeter aus? Nach links oder nach rechts? Entspricht die Batterie dem Herzen oder dem EKG-Gerät? Und mit was korrespondiert das Voltmeter?
5. Sie messen ein EKG und stellen fest, daß die Versuchsperson als Normaltyp eine negative P-Welle in Ableitung II nach Einthoven besitzt. Was können Sie über die Herzerregung aussagen?
6. Wie ist der Einfluß des vegetativen Nervensystems auf die Herzerregung?
7. Wie projiziert man aus der erstellten Vektorschleife die Ableitung II nach Einthoven?
8. Welche EKG-Ableitungen werden beim Vektorschleifenversuch gemessen und dargestellt? Welche anderen hätte man ebenfalls nehmen können?
9. Wie verändert sich die Vektorschleifenform bei der Atmung und wieso?
10. Zeichnen Sie ein physiologisches EKG der Einthoven II-Ableitung und erklären Sie alle auftretenden Wellen/Zacken. Was ist die Überleitungszeit und welche Dauer sollte sie ungefähr haben?

11. Welche Beziehung besteht zwischen der Größe der Spannung, die zwischen den Armen abgeleitet wird, und dem Winkel des Dipolvektors bei der Herzerregung?
12. Bei der Konstruktion der elektrischen Herzachse mit Hilfe eines Einthovendreiecks schneiden sich die Projektionslinien der 3 Vektoren meist nicht in einem gemeinsamen Schnittpunkt? Wieso? Wie ist die Definition der R-Zacke (Tip: Abb. 8)?
13. Bei einer EKG-Aufnahme werden aus Versehen die linke und rechte Armelektrode vertauscht. Was verändert sich im EKG (Denksportaufgabe)?
14. Der Vektor der elektrischen Herzachse bildet mit der Horizontalen den Winkel  $\alpha$ . In welchem Bereich von  $\alpha$  zeigen alle Extremitätenableitungen nach Einthoven einen positiven Ausschlag im QRS-Komplex?
15. Bei welcher EKG-Ableitung steht die Projektionsrichtung der Ableitung senkrecht auf aVL?
16. Warum wird ein zu hoher Blutdruckwert gemessen, wenn die Blutdruckmanschette zu schmal ist?
17. Warum ist bei zu schneller Ablassgeschwindigkeit der systolische Blutdruckwert zu niedrig?

## B Installation der EKG-Software mit den Daten der Praktikums-Teilnehmer und Teilnehmerinnen

Es existiert eine DEMO-Version der im Praktikum verwendeten Software. Diese kann keine neuen EKGs aufnehmen aber die im Praktikum aufgenommenen EKGs darstellen. Wer zwei Disketten mitbringt, kann am Ende des Praktikums die EKGs mit nach Hause nehmen. Zu Hause verfahren Sie so:

1. Im „Explorer“ auf der Diskette `setup.exe` anklicken.
2. Das Installationsprogramm meldet sich und installiert das Programm auf der Festplatte.
3. Die EKG-Software starten (Icon anklicken).
4. Im EKG-Programm: File, Import ECGs. In der Dialogbox auf die Diskette mit den EKG-Daten wechseln, Versuchspersonen auswählen und bestätigen.

## C Organisatorisches

### C.1 Gruppeneinteilung

- Das Praktikum findet in **zwei Räumen** statt. Zwischen den Räumen muß nicht gewechselt werden. Die entsprechende Aufteilung steht an den Türen der Praktikumsräume.
- Es wird in **Zweiergruppen** gearbeitet. Falls es eine Dreiergruppe gibt, läßt die dritte Person ein Standard-EKG von sich aufnehmen.
- Jeder/jede ist einmal **Versuchsperson**.

- Jeder/jede ist einmal **Untersucher/Untersucherin**.
- Jede Gruppe nimmt mindestens **ein Standard-EKG als auch ein Vektor-EKG auf**.  
Daraus ergibt sich, daß jede/r entweder ein Vektor-EKG oder ein Standard-EKG von sich aufnehmen läßt. Diejenigen, die nicht ihren Oberkörper frei machen wollen, sollten also ein Vektor-EKG von sich aufnehmen lassen. Damit nicht alle Teilnehmerinnen und Teilnehmer beim Standard-EKG zuschauen können, befinden sich die beiden Meßplätze jeweils hinter einem Vorhang. Der Lerneffekt ist aber nur gegeben, wenn auch andere Teilnehmer/innen bei der Aufnahme zuschauen und Kritik üben dürfen — und es ist eine gute Möglichkeit, über die Rolle der Patientin oder des Patienten einmal nachzudenken. Vielleicht erinnert man sich an das Praktikum, wenn man später als Ärztin oder Arzt sagt: ‘Machen Sie sich mal frei!’.
- Jede Zweiergruppe fertigt ein kurzes **Ergebnisprotokoll** an, welches primär die quantitativen Ergebnisse enthalten sollte.
- Die **Prüfungsgespräche** finden in **Vierergruppen** statt. Sobald vier Studentinnen oder Studenten ihre Protokolle erstellt haben, kann deren Prüfung beginnen. Bis dahin sollten auch alle Fragen von anderen Gruppen geklärt sein, da dann die Prüfungen im Vordergrund stehen und nicht mehr intensiv betreut werden kann.

## C.2 Mitzubringende Hilfsmittel

- Millimeterpapier, Geodreieck, Taschenrechner und evtl. ein EKG-Lineal
- Handtuch oder Badetuch als Unterlage
- Falls man die im Praktikum verwendeten Saugelektroden nicht mag, kann man auch Selbstklebende mitbringen (für 4mm-Bananenstecker).
- Zwei Disketten, falls man die EKG-Aufnahmen und die Software mit nach Hause nehmen möchte.