Herz/Kreislauf (EKG) – Vorbereitung

Jeder Versuchsteil mit dem „Warum“ dahinter und das Wissen, das du am Praktikumstag, im Testat und in der Nachbesprechung brauchst. Grundlage ist das Praktikumsskript (32 Seiten); alles daraus ist hier erklärt (Abgleich am Ende). Wissen aus Lehrbuch oder Vorlesung, das nicht im Praktikumsskript steht, ist mit *(Lehrbuchwissen)* markiert. Die Seiten zu den Aufgaben 1–11 und zum Druck-Volumen-Diagramm zeigen, was ungefähr herauskommen muss – deine eigenen Messwerte gehen vor.

1 Der Tag im Überblick

Der Praktikumstag dauert 6,5 Stunden und beginnt **pünktlich um 12:00 Uhr** (s.t.) mit einer allgemeinen Einführung in Raum 0/222. Danach teilt ihr euch selbst in Versuchsgruppen zu höchstens 5–6 Personen. Die Hälfte der Gruppen geht zuerst in Raum 0/224 zum EKG, die andere Hälfte bleibt in 0/222; danach wird gewechselt.

Raum	Was passiert dort	Wer wird gemessen
0/224	EKG mit dem Biopac-System: Ruhe-EKG (2.2.1), EKG bei veränderter Atmung (2.2.2), Brustwandableitungen V1–V6 (2.2.3), Herztöne (2.3), EKG mit Störungen (2.4)	**Jede Person** bekommt ein Ruhe-EKG. **Eine Person pro Gruppe** zusätzlich alle anderen EKGs (dafür Oberkörper frei; abgetrennte Plätze für rein weibliche Gruppen)
0/222	Blutdruckmessung (2.6), Schellong-Test (2.7), Aufgaben zum Druck-Volumen-Diagramm (3.6), Auswertung der eigenen EKGs, Nachbesprechung	Blutdruck: jede Person misst bei einer anderen. Schellong-Test: an **zwei** Personen pro Gruppe

Auswertung. Die Aufgaben 1–6 bearbeitet jede Person allein an ihrem eigenen EKG. Die Aufgaben 7–11 löst die Gruppe gemeinsam mit den Daten aus der Gruppe. Die Druck-Volumen-Aufgaben rechnet jede Person allein und diskutiert sie dann in der Gruppe. Das Skript sagt ausdrücklich: Es wird erwartet, dass jede Person alle Aufgaben erklären kann, im Einzelgespräch und in der Nachbesprechung. Genau dafür ist diese Vorbereitung gedacht.

Merke: Mitnehmen: **Taschenrechner und Geodreieck** (stehen als Material im Skript), dazu Praktikumsskript (die Vorlagen zum Einzeichnen sind darin), Stifte, Kittel ist nicht nötig. Für die Brustwandableitungen Kleidung, die sich leicht ablegen lässt.

Klinik: Sicherheit: Die EKG-Ableitung selbst ist ungefährlich. Die Elektroden sind aber eine gut leitende Verbindung in den Körper. Die verkabelte Person darf deshalb **kein Gerät am Stromnetz berühren oder bedienen**.

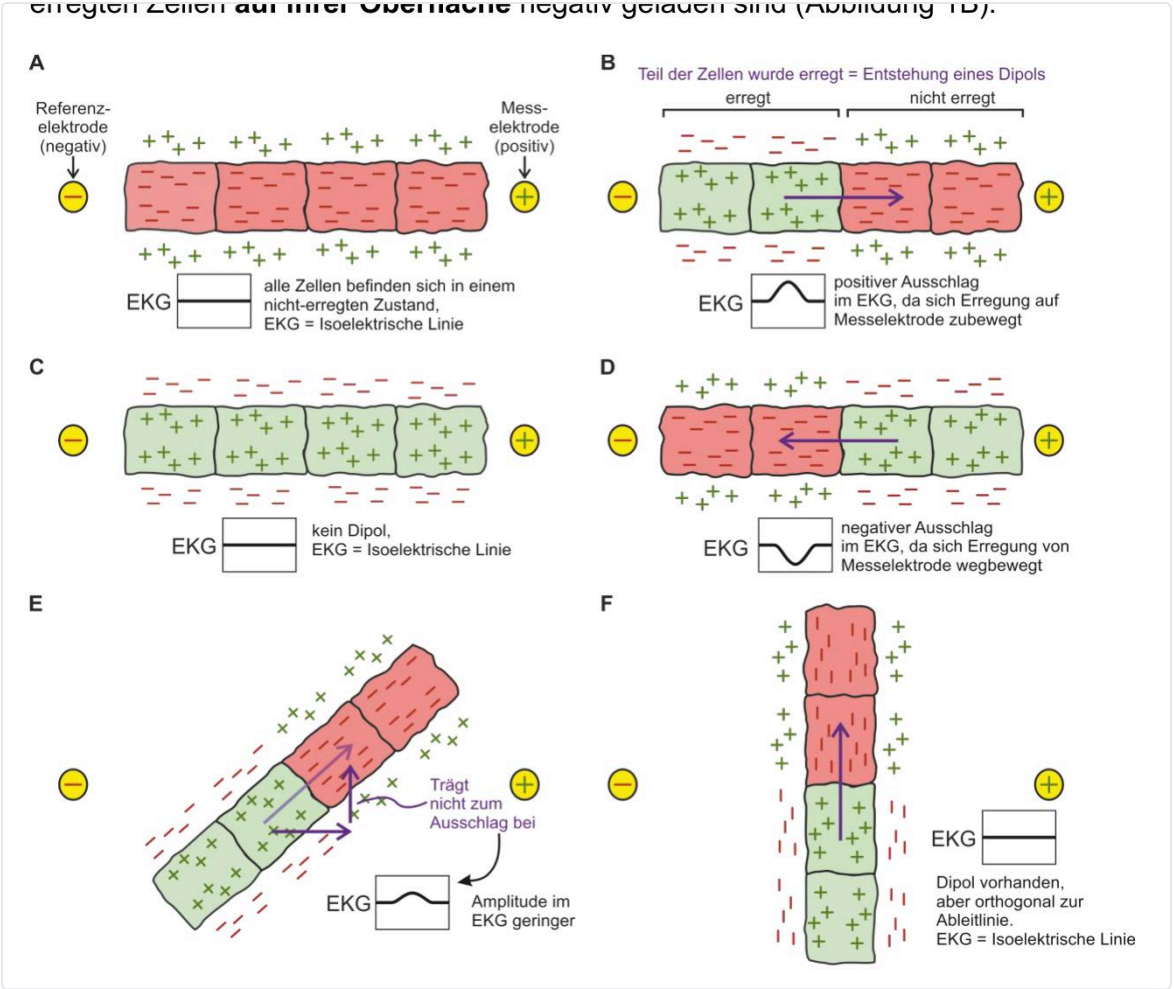
Ziel des Praktikums ist laut Skript nicht, Diagnosen zu stellen, sondern zu verstehen, warum das EKG so aussieht, wie es aussieht, und Abweichungen einordnen zu können. Alle Probanden gelten als herzgesund. Sieht ein EKG trotzdem auffällig aus, liegt das fast immer am Gerät oder an den Elektroden – das besprecht ihr sachlich mit dem Praktikumsleiter. Zum Vorbereiten nennt das Skript diese Themen: Herzerregung, Herzmechanik, kurzfristige Blutdruckregulation und die Kreislaufreaktion beim Aufstehen (Orthostase). Alle vier kommen unten vor.

2 Wie entsteht das EKG?

Die Grundidee. Eine einzelne Herzmuskelzelle hat innen ein Ruhepotenzial von etwa −90 mV gegenüber außen. Das kann man aber nur mit einer Elektrode in der Zelle messen. Das EKG misst dagegen außen, auf der Haut. Und außen sind alle ruhenden Zellen gleich geladen: Ihre Oberfläche ist überall positiv. Zwischen zwei Punkten auf dieser Oberfläche gibt es deshalb keinen Spannungsunterschied, und das EKG zeigt eine flache Linie, die **isoelektrische Linie** (Null-Linie).

Wird ein Teil der Zellen erregt, strömen Kationen (vor allem Na^+) in diese Zellen. Ihre Außenseite wird dadurch negativ, während die noch ruhenden Nachbarzellen außen positiv bleiben. Jetzt gibt es auf der Oberfläche eine Grenze zwischen „minus“ und „plus“. So eine Anordnung aus getrennter negativer und positiver Ladung heißt **elektrischer Dipol**. Von ihm geht ein elektrisches Feld aus, und dieses Feld misst das EKG als Spannung zwischen zwei Elektroden.

erregten Zellen **auf ihrer Oberfläche** negativ geladen sind (Abbildung 1D).



Praktikumsskript S. 3, Abbildung 1: Grundlagen des EKG

Die sechs Bilder der Abbildung 1 lesen sich so (rot = ruhende, grün = erregte Zellen; rechts sitzt die positive Messelektrode):

- **A – alle Zellen in Ruhe:** kein Dipol, das EKG läuft auf der Null-Linie.
- **B – Erregung läuft auf die Messelektrode zu:** Es gibt einen Dipol, und seine positive Seite zeigt zur Messelektrode. Das EKG schlägt nach oben aus.
- **C – alle Zellen erregt:** Jetzt ist die ganze Oberfläche negativ, wieder gleich geladen. Kein Dipol, Null-Linie. Wichtig: Die Zellen sind dabei maximal aktiv, das

EKG zeigt aber nichts. Genau das passiert in der ST-Strecke.

- **D – Rückbildung (Repolarisation):** Die Zellen, die zuerst erregt wurden, erholen sich zuerst. Der Dipol ist jetzt umgekehrt (die Rückbildung „bewegt sich von der Elektrode weg“), und das EKG schlägt nach unten aus.
- **E – Dipol schräg zur Elektrodenachse:** Nur der Anteil in Richtung der Elektroden zählt, der Ausschlag ist kleiner.
- **F – Dipol senkrecht zur Elektrodenachse:** Der Dipol ist da, aber die Elektroden „sehen“ keinen Unterschied. Das EKG bleibt auf der Null-Linie.

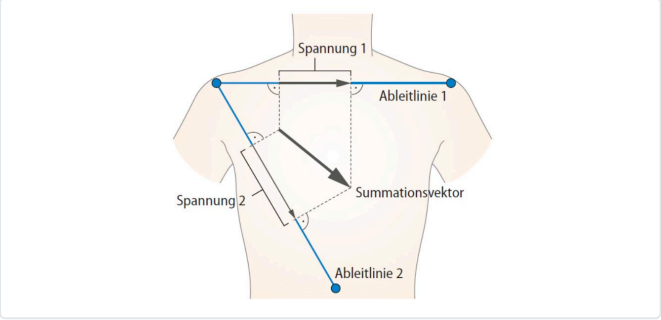
Wie hoch der Ausschlag ist, hängt also von zwei Dingen ab: von der Menge der Zellen, die gerade an der Grenze erregt/unerregt liegen (viel Muskelmasse → großer Ausschlag, deshalb ist QRS so groß), und vom Winkel zwischen Dipol und Elektrodenachse.

3 Ableitungen: Von welcher Seite schaut das EKG aufs Herz?

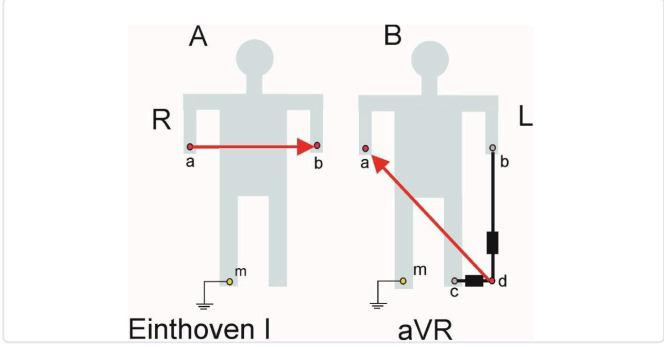
Summenvektor und Ableitlinie. Im Herzen sind zu jedem Zeitpunkt Millionen kleiner Dipole aktiv. Man fasst sie zu einem Pfeil zusammen, dem **Summenvektor** (auch Integral- oder Summationsvektor). Seine Richtung zeigt, wohin die Erregung im Mittel gerade läuft, seine Länge, wie viel Muskel beteiligt ist. Jede Ableitung misst diesen Pfeil entlang einer gedachten Linie zwischen ihren Elektroden, der **Ableitlinie**. Gemessen wird nur der „Schatten“ des Pfeils auf diese Linie, seine **Projektion**:

- Pfeil parallel zur Ableitlinie und zum Pluspol gerichtet → größter positiver Ausschlag;
- Pfeil schräg → kleinerer Ausschlag;
- Pfeil senkrecht zur Ableitlinie → Projektion null, kein Ausschlag;
- Pfeil zeigt zum Minuspol → negativer Ausschlag.

Weil jede Ableitung aus einer anderen Richtung schaut, sieht derselbe Herzschlag in jeder Ableitung anders aus. Aus mehreren Ableitungen zusammen kann man die Richtung des Pfeils zurückrechnen – das ist die Lagetyp-Bestimmung in Kapitel 5.



Praktikumsskript S. 5, Abbildung 2: Projektion des Summenvektors auf zwei Ableitlinien



Praktikumsskript S. 5, Abbildung 3: A Einthoven I, B Verschaltung für aVR (d = virtuelle Elektrode)

In Abbildung 2 ist derselbe Summenvektor auf zwei Ableitlinien projiziert: Auf Ableitlinie 1 (fast parallel) ist der Schatten lang, auf Ableitlinie 2 (eher quer) kurz. Es gibt drei Gruppen von Standardableitungen:

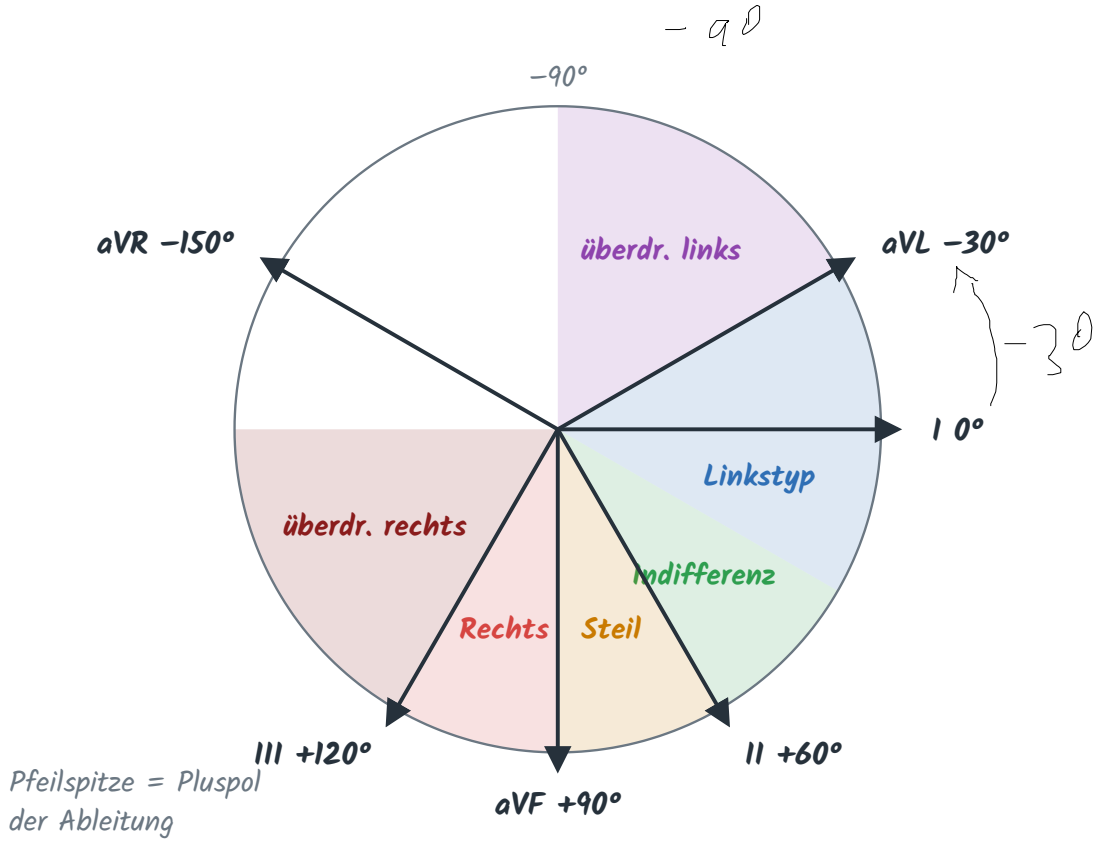
1. Bipolare Ableitungen nach Einthoven (I, II, III). Gemessen wird die Spannung zwischen zwei Extremitäten. Beide Elektroden sind gleichberechtigt, deshalb „bipolar“. Die Arme und das linke Bein bilden zusammen ungefähr ein gleichseitiges Dreieck um das Herz, das **Einthoven-Dreieck**.

Ableitung	Minuspol → Pluspol	Richtung der Ableitlinie
I	rechter Arm → linker Arm	0° (waagrecht nach links des Patienten)
II	rechter Arm → linkes Bein	+60°
III	linker Arm → linkes Bein	+120°

Weil sich die drei Spannungen im Dreieck zusammensetzen, gilt immer **II = I + III** (Einthoven-Regel) – praktisch zum Kontrollieren deiner Messung *(Lehrbuchwissen)*.

2. „Pseudounipolare“ Ableitungen nach Goldberger (aVR, aVL, aVF). Hier misst man eine Extremität gegen den Mittelwert der beiden anderen. Für aVR verbindet das Gerät linken Arm und linkes Bein über zwei gleiche Widerstände (je 5 kΩ). Der Punkt zwischen den Widerständen liegt elektrisch in der Mitte zwischen beiden – eine **virtuelle Elektrode** (Punkt d in Abb. 3B). Gemessen wird also vom rechten Arm zu einem gedachten Punkt gegenüber. „a“ steht für *augmented* (verstärkt): Weil der Bezugspunkt nur aus den zwei anderen Elektroden gebildet wird, ist das Signal um die Hälfte größer als bei einer echten unipolaren Ableitung *(Lehrbuchwissen)*. Die drei Richtungen: **aVR −150°**, **aVL −30°**, **aVF +90°** (F = Fuß, zeigt genau nach unten).

Für alle sechs Extremitätenableitungen braucht man nur drei Elektroden (rechter Arm, linker Arm, linkes Bein) plus Masse – den Rest erledigt die Verschaltung im Gerät.



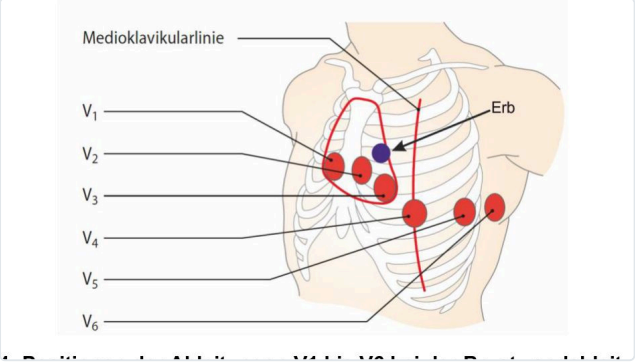
Eigene Zeichnung: Cabrera-Kreis. Alle sechs Extremitätenableitungen in einem Kreis, jede als Linie durch das Herz mit Pfeil zum Pluspol. Winkel werden vom Pluspol von Ableitung I (0°) aus im Uhrzeigersinn positiv gezählt, nach unten also positiv. Farbig: die Lagetyp-Bereiche aus Kapitel 5.

Der Cabrera-Kreis ist nichts anderes als die sechs Ableitlinien, so verschoben, dass alle durch einen Punkt (das Herz) gehen. Die Ableitungen liegen im Abstand von 30° – nebeneinander in der Reihenfolge **aVL (−30°), I (0°), −aVR (+30°), II (+60°), aVF (+90°), III (+120°)**. „−aVR“ ist aVR mit umgekehrtem Vorzeichen; im Praktikums-Template für die Herztöne erscheint die verwandte Schreibweise „−aVF“.

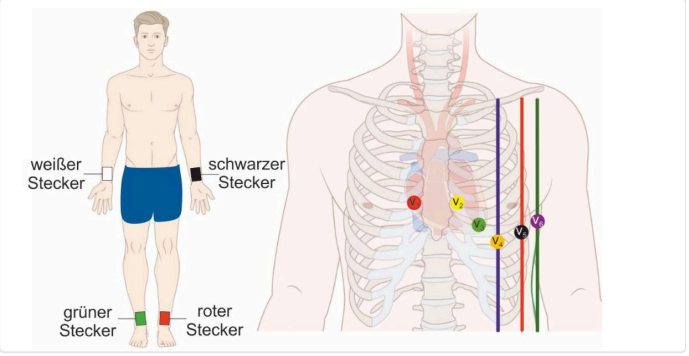
Merke: Aufgabe 1 (Ableitlinie III und aVF konstruieren): III läuft vom linken Arm (−) zum linken Bein (+), Pfeil schräg nach links unten, +120°. aVF läuft von der virtuellen Elektrode zwischen beiden Armen (−) senkrecht nach unten zum linken Fuß (+), +90°. Wichtig ist laut Skript die Richtung: Pfeilspitze immer zum Pluspol.

Klausurfalle: Ableitung I steht **senkrecht auf aVF** (0° gegen +90°), II senkrecht auf aVL, III senkrecht auf aVR. Das wird in Klausuren gern gefragt.

3. Unipolare Brustwandableitungen nach Wilson (V1–V6). Die drei Extremitätenkabel werden über Widerstände zusammengeschaltet. So entsteht eine gedachte **indifferente Bezugselektrode** (Wilson-Sammelelektrode), die ungefähr in der Herzmitte „liegt“. Gegen sie misst man sechs Punkte auf der Brustwand in Herzhöhe. Die Extremitätenableitungen schauen von vorne auf die Frontalebene (oben–unten, rechts–links), die Brustwandableitungen dagegen auf die Horizontalebene (vorne–hinten, rechts–links). Im Praktikum gibt es nur **ein** braunes Brustwandkabel, das nacheinander an V1 bis V6 gesteckt wird.



Praktikumsskript S. 6, Abbildung 4: Positionen V1–V6 und Erb-Punkt



Praktikumsskript S. 16, Abbildung 10: Anschlussschema im Praktikum (US-Farben) und Brustwandelektroden

Elektrode	Ort	So findest du ihn
V1	4. ICR am rechten Sternalrand	Angulus sterni (Knick am Brustbein) tasten → daneben liegt die 2. Rippe → zwei Zwischenräume tiefer
V2	4. ICR am linken Sternalrand	spiegelbildlich zu V1
V3	genau zwischen V2 und V4 (auf der 5. Rippe)	**nicht** tasten, sondern erst V4 kleben und dann die Mitte nehmen
V4	5. ICR in der linken Medioklavikularlinie	senkrechte Linie durch die Mitte des Schlüsselbeins
V5	Höhe von V4, vordere Axillarlinie	vordere Achselfalte nach unten verlängert
V6	Höhe von V4, mittlere Axillarlinie	Mitte der Achselhöhle nach unten

Reihenfolge beim Kleben: V1, V2, V4, V3, V5, V6 – weil V3 von V2 und V4 abhängt. Die Brustwandelektroden liegen sehr nah am Herzen, ein Zentimeter Fehler verändert das Bild deutlich. Bei Frauen liegen V2–V5 auf der Brust; klebt man sie darunter, sitzen sie mindestens einen Zwischenraum zu tief. Der **Erb-Punkt** (3. ICR links parasternal) ist keine Elektrode, sondern der Ort für das Stethoskop bei den Herztönen.

Kabelfarben. Das Skript hat zwei Farbsysteme – und im Praktikum werden die amerikanischen verwendet (Tabelle 3, Abb. 10):

Elektrode	Europa (Tabelle 1)	USA = Praktikum (Tabelle 3)
rechter Arm	R rot	RA **weiß**
linker Arm	L gelb	LA **schwarz**
linkes Bein	F grün	LL bzw. LB **rot**
rechtes Bein (Erde)	N schwarz	RL bzw. RB **grün**
Brustwand	—	V1–V6 **braun**

Merkhilfen *(nicht aus dem Skript)*: Europa im Uhrzeigersinn ab rechtem Arm wie eine Ampel: rot – gelb – grün, dann schwarz. USA: „white on the right“, „smoke over fire“ (schwarz am Arm über rot am Bein), grün bleibt rechts unten.

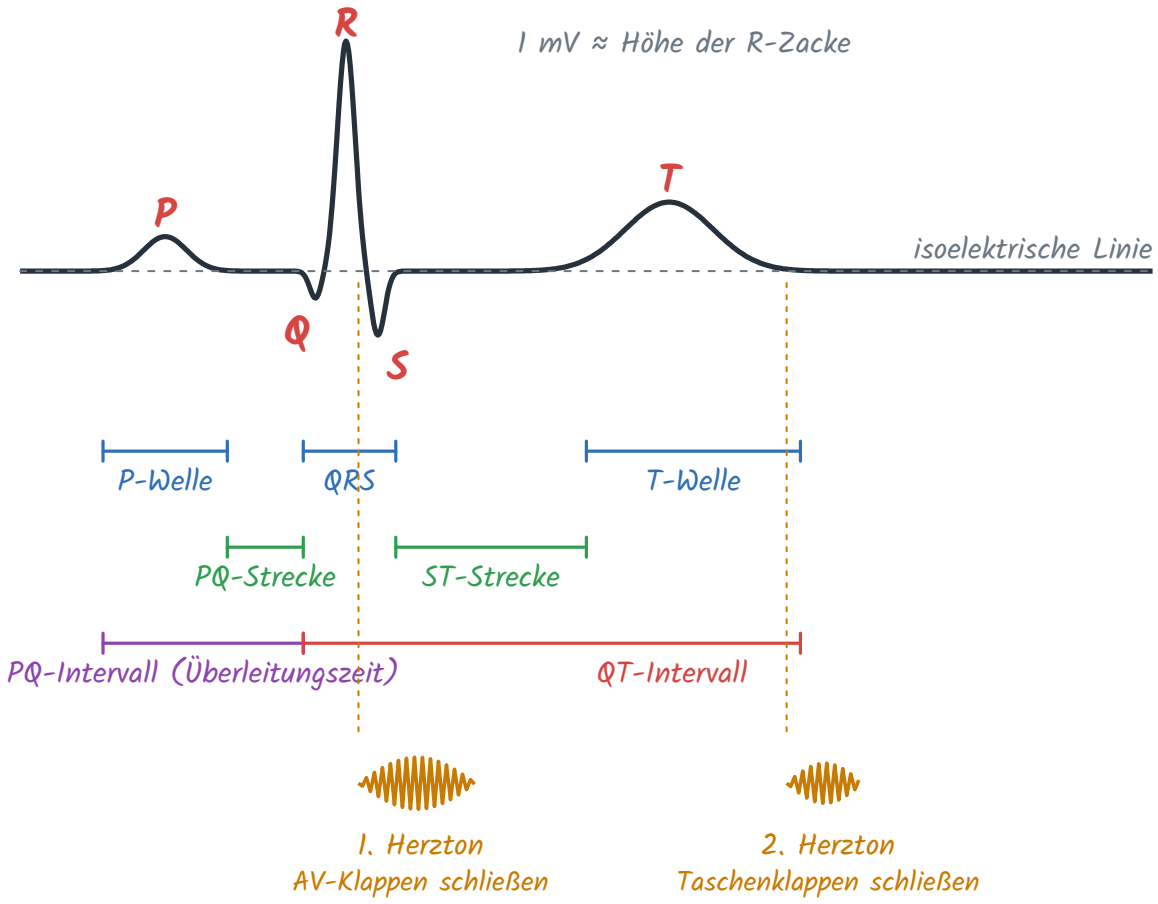
Die Elektrode am rechten Bein gehört zu keiner der Ableitungen. Sie ist die **Erdung** (Masse) und dient vor allem dazu, Störungen aus dem Stromnetz („Netzbrumm“) klein zu halten. Nicht verwechseln mit den virtuellen Elektroden der Goldberger-Ableitungen.

4 Das EKG lesen: Wellen, Strecken, Intervalle

Jeder Abschnitt der EKG-Kurve gehört zu einem Schritt der Erregung. Die Buchstaben sind einfach durchnummeriert (P, Q, R, S, T) und haben keine weitere Bedeutung.

- **P-Welle** – die Erregung (Depolarisation) breitet sich über beide Vorhöfe aus. Klein (um 0,1 mV), weil die Vorhofmuskulatur dünn ist.
- **PQ-Strecke** – die Vorhöfe sind ganz erregt (also kein Dipol, siehe Abb. 1C), und die Erregung kriecht durch den AV-Knoten. Das EKG ist flach.
- **QRS-Komplex** – die Erregung breitet sich über die Kammern aus. Groß, weil viel Muskel. Q = erste nach unten gerichtete Zacke, R = erste nach oben, S = nach unten nach R. Nicht jeder QRS-Komplex hat alle drei.
- **ST-Strecke** – die Kammern sind vollständig erregt (Plateau des Aktionspotenzials). Kein Dipol, das EKG ist flach. Die Vorhof-Rückbildung fällt in die Zeit des QRS und ist darin versteckt.
- **T-Welle** – die Rückbildung (Repolarisation) der Kammern.

Strecke und Intervall sind nicht dasselbe – das wird in Aufgabe 2 abgefragt. Eine Strecke ist der flache Abschnitt zwischen zwei Wellen. Ein Intervall schließt mindestens eine Welle mit ein:



Eigene Zeichnung: ein EKG-Zyklus (wie Ableitung II) mit allen Abschnitten, die du in Aufgabe 2 ausmisst. Unten die zeitliche Lage der Herztöne aus Aufgabe 9.

Abschnitt	von … bis	bedeutet	Norm laut Skript (Tab. 4)
P-Welle	Beginn bis Ende P	Vorhoferregung	50–100 ms
PQ-Strecke	Ende P bis Beginn Q	Verzögerung im AV-Knoten	—
PQ-Intervall = Überleitungszeit	Beginn P bis Beginn Q	Zeit vom Start der Vorhoferregung bis zum Start der Kammererregung	100–200 ms
QRS-Komplex	Beginn Q bis Ende S	Kammererregung	60–100 ms
ST-Strecke	Ende S bis Beginn T	Kammern ganz erregt	isoelektrisch
QT-Intervall	Beginn Q bis Ende T	gesamte elektrische Kammersystole: Erregung + Rückbildung	250–400 ms (frequenzabhängig)

Fehlt eine Q-Zacke, misst man ab Beginn des QRS-Komplexes – deshalb sagt man genauer „PR“ und „Beginn QRS“; im Skript heißt es durchgehend PQ.

Herzfrequenz aus dem EKG. Der Abstand zwischen zwei R-Zacken (**RR-Abstand**, in Sekunden) ist die Dauer eines Herzschlags. Wie viele davon in eine Minute passen, ist die Frequenz:

Herzfrequenz [1/min] = 60 ÷ RR [s] · Beispiel: RR = 0,85 s → 60 ÷ 0,85 ≈ 71/min

Warum man QT korrigiert. Schlägt das Herz schneller, werden die Aktionspotenziale kürzer – das QT-Intervall wird also schon normalerweise kürzer. Um zu beurteilen, ob QT zu lang ist, rechnet man es auf eine Frequenz von 60/min (RR = 1 s) um. Das Skript nutzt dafür die **Bazett-Formel**: QT geteilt durch die Wurzel aus RR, wobei RR in Sekunden eingesetzt wird.

QTc = QT ÷ √RR · Beispiel: QT = 380 ms, RR = 0,85 s → √0,85 = 0,92 → QTc = 380 ÷ 0,92 ≈ 412 ms

Normal ist eine QTc bis etwa 440 ms (Männer) bzw. 460 ms (Frauen) *(Lehrbuchwissen)*. Bei RR = 1 s ist QTc = QT – daran siehst du, dass die Formel genau auf 60/min umrechnet.

Merke: Aufgabe 2 praktisch: Ableitung II (oder aVR) der ersten Registrierung, im 5-s-Ausdruck ausmessen, **über 5 Zyklen mitteln** (einzelne Zyklen schwanken, vor allem durch die Atmung). Lies die Zeitachse genau ab und rechne in ms. Am besten Anfang und Ende jeder Welle mit dem Geodreieck senkrecht markieren.

Sinusrhythmus – wer gibt den Takt an? (Aufgabe 4) Normalerweise startet jede Erregung im **Sinusknoten** im rechten Vorhof. Erkennen kannst du das an vier Zeichen:

1. Vor jedem QRS-Komplex steht eine P-Welle.
2. Die P-Welle ist in I und II positiv (und in aVR negativ): Die Vorhoferregung läuft vom Sinusknoten oben rechts nach links unten, also auf den Pluspol von II zu.
3. Das PQ-Intervall ist von Schlag zu Schlag gleich lang.
4. Die Frequenz liegt in Ruhe etwa bei 60–100/min (bei Sportlern auch darunter).

Säße der Schrittmacher woanders, würde man das sehen: Startet die Erregung im AV-Knoten, fehlt die P-Welle oder sie ist negativ (Vorhöfe werden von unten erregt); startet sie in der Kammer, ist der QRS-Komplex breit und ohne P davor *(Lehrbuchwissen)*.

Regelmäßig oder Arrhythmie? (Aufgabe 3 und 7) Beim Gesunden ist der Rhythmus nie ganz gleichmäßig. Die häufigste – und völlig normale – Arrhythmie ist die **respiratorische Sinusarrhythmie**: Beim Einatmen wird das Herz schneller, beim Ausatmen langsamer. Der Grund ist der Vagus. Beim Einatmen hemmt das Atemzentrum im Hirnstamm die herzhemmenden Vagus-Neurone, und Dehnungsrezeptoren der Lunge wirken in dieselbe Richtung; dazu steigt der venöse Rückstrom. Weniger Vagus → Sinusknoten feuert schneller. Beim Ausatmen kehrt sich das um. Bei jungen Menschen ist der Effekt besonders deutlich *(Mechanismus: Lehrbuchwissen)*.

In Aufgabe 7 atmet die Versuchsperson nach Schema (5 s tief ein – 5 s anhalten – 5 s tief aus …). Du bestimmst die Frequenz im 5-s-Ausdruck beim Einatmen und beim Ausatmen. **Erwartung: beim Einatmen höher, beim Ausatmen niedriger.**
Extrasystolen treten beim Gesunden höchstens vereinzelt auf. Eine Extrasystole

erkennst du daran, dass ein Schlag zu früh kommt; kommt aus der Kammer, ist der QRS-Komplex breit und hat keine P-Welle davor *(Lehrbuchwissen)*.

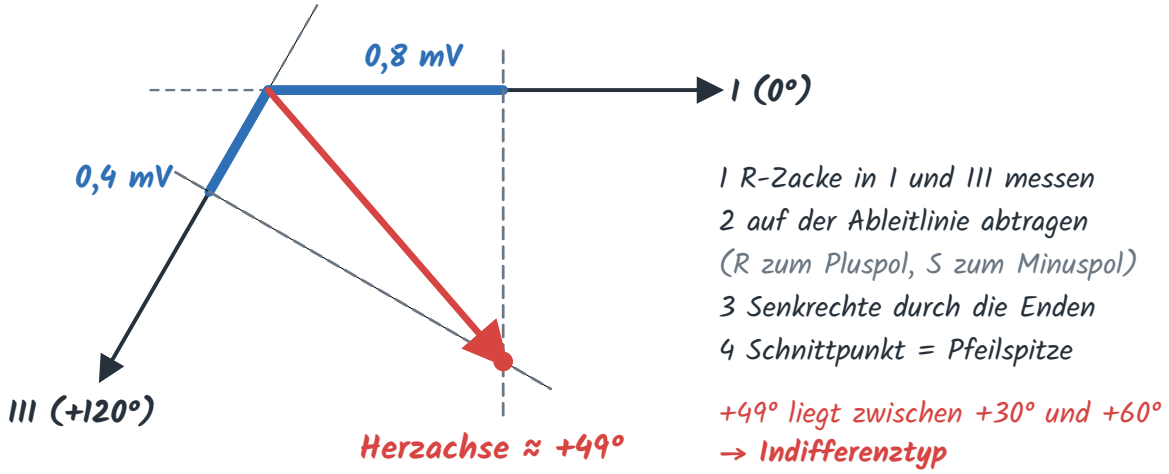
5 Elektrische Herzachse und Lagetyp

Was ist die elektrische Herzachse? Während des QRS-Komplexes dreht und wächst der Summenvektor. In dem Moment, in dem er am größten ist, zeigt er in die Hauptrichtung der Kammererregung. Diese Richtung, projiziert auf die Frontalebene, heißt **elektrische Herzachse**. Bei normaler Erregungsausbreitung zeigt sie ungefähr dorthin, wo auch die anatomische Längsachse des Herzens liegt – von rechts oben nach links unten. Weil Herzen unterschiedlich liegen (schlanker junger Mensch: eher steil; älterer oder adipöser Mensch: eher quer), unterscheidet man nach dem Winkel verschiedene **Lagetypen**. Der Winkel wird wie im Cabrera-Kreis gemessen: 0° = waagrecht nach links des Patienten, positive Winkel nach unten.

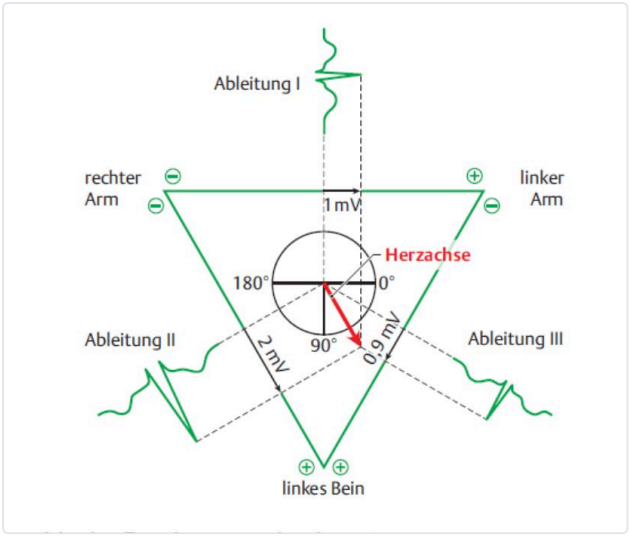
Lagetyp	Winkel	typisch für *(Lehrbuchwissen)*
überdrehter Linkstyp	unter −30°	immer krankhaft (z. B. linksanteriorer Hemiblock)
Linkstyp	−30° bis +30°	ältere Menschen, Adipositas, Schwangerschaft
Indifferenztyp (Normaltyp)	+30° bis +60°	Erwachsene
Steiltyp	+60° bis +90°	Jugendliche, junge schlanke Erwachsene
Rechtstyp	+90° bis +120°	Kinder; beim Erwachsenen Hinweis auf Rechtsherzbelastung
überdrehter Rechtstyp	über +120°	immer krankhaft

Das Prinzip der Konstruktion. Jede Ableitung zeigt dir den „Schatten“ der Herzachse auf ihrer Linie. Kennst du die Schatten auf zwei Linien, kannst du den Pfeil zurückrechnen: Du trägst jeden Schatten auf seiner Ableitlinie ab und ziehst an seinem Ende eine Senkrechte. Wo sich die Senkrechten schneiden, liegt die Spitze des Pfeils. Das Skript betont: Das ist keine Addition von Vektoren, sondern das Zurückgewinnen eines Pfeils aus seinen Projektionen.

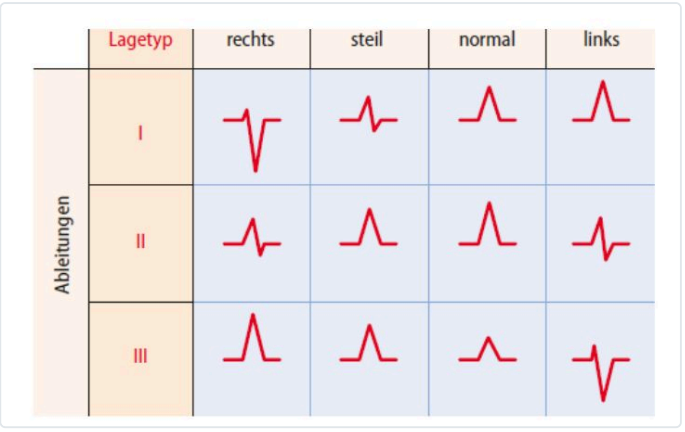
Als Schattenlänge nimmst du die Amplitude des QRS-Komplexes. Die **R-Zacke** zeigt zum Pluspol der Ableitung, die **S-Zacke** zum Minuspol. Hat eine Ableitung beides, zählt die Summe mit Vorzeichen (R minus S) *(Lehrbuchwissen; im Skript: „R- oder S-Zacke“)*.



Eigene Zeichnung mit ausgedachten Werten: In Ableitung I ist R = 0,8 mV, in III ist R = 0,4 mV (Maßstab beliebig, aber für beide gleich). Die Senkrechten schneiden sich bei etwa +49° – Indifferenztyp. Kontrolle mit der Einthoven-Regel: II müsste etwa 0,8 + 0,4 = 1,2 mV sein.



Praktikumsskript S. 9, Abbildung 6: Konstruktion im Einthoven-Dreieck



Praktikumsskript S. 10, Abbildung 8: typische QRS-Komplexe in I, II, III je Lagetyp

Abbildung 6 zeigt dieselbe Konstruktion direkt im Einthoven-Dreieck: Die Amplituden sind entlang der Dreiecksseiten I, II und III eingetragen, die Senkrechten treffen sich in einem Punkt, und der rote Pfeil vom Mittelpunkt dorthin ist die Herzachse. Im Praktikum (Aufgabe 5) machst du genau das auf der Vorlage S. 24 mit deinem eigenen EKG. Die Vorlage bittet um eine vernünftige Skalierung, z. B. 0,1 mV = 0,5 cm.

Die schnelle Methode (Abbildung 8). In der Praxis schaut man nur auf I, II und III:

- Die Ableitung mit dem größten positiven QRS liegt der Herzachse am nächsten.
- Eine Ableitung, in der R und S gleich groß sind (QRS „isoelektrisch“), steht senkrecht auf der Herzachse.

Beispiele: R in II am größten → Achse nahe +60° (Indifferenz/Steil). R in I groß, in III negativ → Linkstyp. R in III am größten, in I klein oder negativ → Rechtstyp. Mit dem Cabrera-Kreis kann man auch die Goldberger-Ableitungen dazunehmen; Abbildung 7 im Skript zeigt ein Beispiel mit +46,7° (Indifferenztyp).

Klausurfalle: Größte R-Zacken in **III und aVF** → Achse zwischen +90° und +120° → **Rechtstyp** (nicht Steiltyp). Größte R-Zacken in **II und aVF** → +60° bis +90° → **Steiltyp**.

6 Erregungsrückbildung: ST-Strecke und T-Welle (Aufgabe 6)

ST-Strecke. Sind die Kammern vollständig erregt, ist die ganze Oberfläche gleich geladen (Abb. 1C) – die ST-Strecke liegt auf der Null-Linie. Ist sie das, kannst du sagen: Die Kammern werden voll erregt. Hebt oder senkt sich die ST-Strecke, gibt es während der Plateauphase noch einen Spannungsunterschied, z. B. weil ein Bereich nicht richtig erregt wird (Infarkt). Beim gesunden Probanden ist eine Abweichung meist ein Geräte- oder Elektrodenproblem.

T-Welle und Konkordanz. Eigentlich müsste man erwarten, dass T andersherum ausschlägt als QRS: Die Rückbildung erzeugt ja einen umgekehrten Dipol (Abb. 1D). Trotzdem zeigt T beim Gesunden in den meisten Ableitungen in dieselbe Richtung wie der QRS-Komplex. Das nennt man **Konkordanz**. Der Grund: Die Kammer wird von innen (Endokard) nach außen (Epikard) erregt, bildet sich aber von außen nach innen zurück. Die Aktionspotenziale außen sind nämlich kürzer, sodass die zuletzt erregten Zellen sich zuerst erholen. Umgekehrter Dipol und umgekehrte Laufrichtung heben sich auf – zweimal „anders herum" ergibt „gleich herum". Der Vektor der Rückbildung zeigt deshalb ungefähr in dieselbe Richtung wie der der Erregung *(Mechanismus: Lehrbuchwissen)*.

Was Aufgabe 6 sonst fragt:

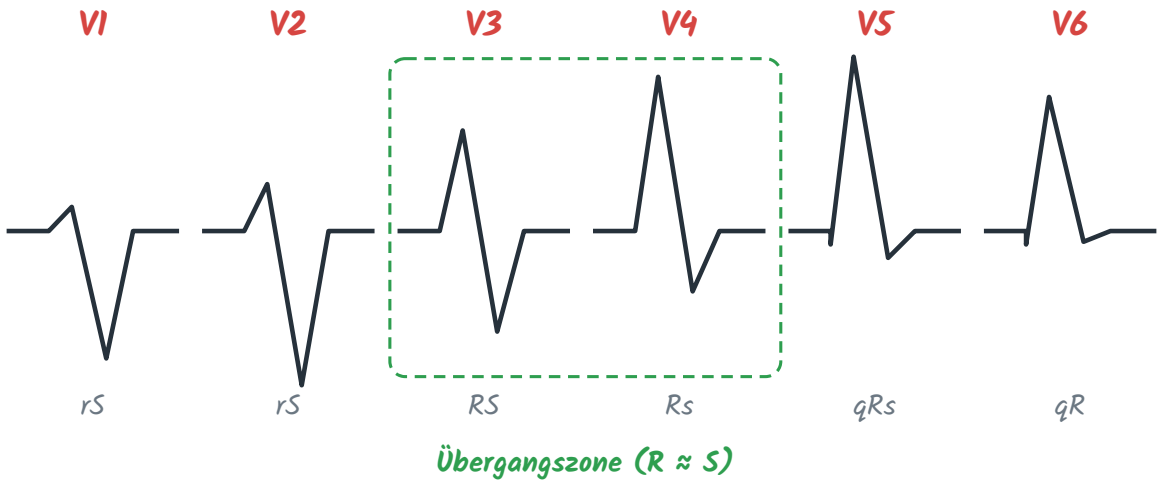
1. **P in Ableitung II:** Dauer 50–100 ms (Skript), Amplitude um 0,1 mV, bis höchstens etwa 0,25 mV *(Lehrbuchwissen)*.
2. **P negativ oder biphasisch:** In **aVR** ist P immer negativ, weil die Vorhoferregung vom Pluspol von aVR (rechts oben) weg läuft. In **V1** und manchmal in III ist P oft biphasisch (erst plus, dann minus): Zuerst wird der rechte Vorhof (zu V1 hin), dann der linke (von V1 weg) erregt *(Lehrbuchwissen)*.
3. **Überleitungszeit:** Das ist das **PQ-Intervall** (Beginn P bis Beginn QRS). Normal 100–200 ms nach Skript; über 200 ms spricht man von einem AV-Block 1. Grades *(Lehrbuchwissen)*.
4. **Erregungsrückbildung:** ST isoelektrisch, T konkordant zu QRS – dann ist die Rückbildung unauffällig.

7 Brustwandableitungen: R-Progression (Aufgabe 8)

Die Brustwandelektroden wandern von rechts vorne (V1, über dem rechten Ventrikel) nach links seitlich (V6, über dem linken Ventrikel). Der linke Ventrikel ist viel dicker, deshalb zeigt der große Summenvektor der Kammererregung nach links hinten unten – also von V1 weg und auf V5/V6 zu. Das ergibt ein typisches Bild:

- In **V1** eine kleine r-Zacke und eine tiefe S-Zacke. Die kleine r-Zacke kommt von der Septumerregung, die zuerst von links nach rechts läuft, also kurz auf V1 zu.
- Von V1 nach V5 wird **R immer größer** und **S immer kleiner** – die **R-Progression**.
- Irgendwo in der Mitte sind R und S gleich groß: die **Übergangszone**, meist bei V3/V4.

- In V5/V6 eine hohe R-Zacke, oft mit kleiner q-Zacke davor (wieder das Septum, diesmal von V6 weg).



Eigene Zeichnung: typische QRS-Formen von V1 bis V6 (Kleinbuchstabe = kleine Zacke). R wächst, S schrumpft; in der Übergangszone sind beide etwa gleich groß.

Zeit bis zur R-Spitze. Der zweite Teil von Aufgabe 8 misst die Zeit vom Beginn des QRS bis zur Spitze von R in V1 und V6 (im Lehrbuch „oberer Umschlagpunkt“ oder „intrinsic deflection“). Sie zeigt, wie lange die Erregung braucht, um die Kammerwand unter der Elektrode von innen nach außen zu durchlaufen. Die Wand des linken Ventrikels (unter V6) ist dicker als die des rechten (unter V1), deshalb ist die Zeit in V6 länger.

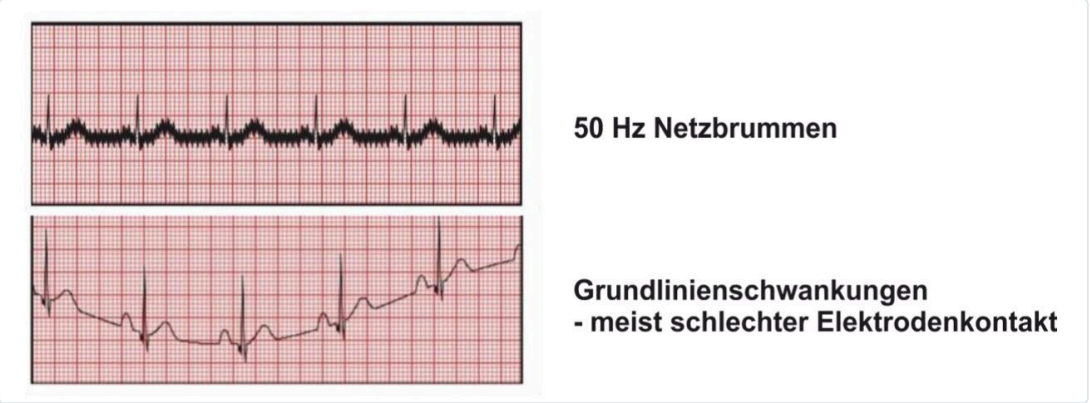
Grenzwert laut Skript	
V1	unter 0,03 s
V6	unter 0,052 s
Differenz V6 − V1	unter 0,03 s

Ist die Zeit verlängert, braucht die Erregung zu lange durch die Wand – z. B. bei einer verdickten (hypertrophierten) Kammer oder einem Schenkelblock *(Lehrbuchwissen)*.

8 Störungen im EKG (Aufgabe 10)

Die R-Zacke ist höchstens etwa 1 mV hoch, die P-Welle nur etwa 0,1 mV. So kleine Signale werden leicht von Störungen überdeckt. Das Skript nennt zwei häufige Ursachen:

1. **Netzbrumm (Wechselspannung, 50 Hz).** Leitungen und Geräte in der Nähe streuen die Netzfrequenz in den Körper ein. Im EKG sieht man ein feines, ganz regelmäßiges Zittern der Linie. Die Erdung am rechten Bein verringert das, kann es aber nicht immer ganz verhindern.
2. **Schlechter oder wechselnder Elektrodenkontakt.** Die Grundlinie wandert langsam auf und ab.



Praktikumsskript S. 7, Abbildung 5: Netzbrumm (oben) und Grundlinienschwankungen (unten)

Der Versuch 2.4. Es werden vier Aufnahmen zu je 15 s gemacht: in Ruhe, beim Bewegen der Finger der rechten Hand, beim kräftigen Anspannen (tetanisch) der Muskeln am rechten Unterarm und beim Bewegen der Zehen des rechten Fußes.

Was du erwarten kannst und warum:

- **Stärkste Störung: das Anspannen der Unterarmmuskeln.** Auch Skelettmuskelzellen bilden Aktionspotenziale. Spannt man an, feuern sehr viele Muskelfasern ungeordnet und schnell hintereinander. Ihre Spannungen werden über die Elektrode am rechten Arm mitgemessen – ein unregelmäßiges, hochfrequentes Rauschen (Muskelzittern, „EMG-Artefakt“). Es ist im Gegensatz zum Netzbrumm nicht gleichmäßig.
- **Vergleich II und III:** Die Elektrode am rechten Arm gehört zu Ableitung I und II, aber nicht zu III (III = linker Arm → linkes Bein). Deshalb ist die Störung in I und II zu sehen, III bleibt sauber. Genau daran erkennst du, von welcher Elektrode eine Störung kommt.
- **Finger bewegen:** kleinere Störung durch die Muskelarbeit im Unterarm und leichte Bewegung der Elektrode.
- **Zehen des rechten Fußes:** kaum Störung – das rechte Bein ist nur die Erdung und gehört zu keiner Ableitung.

Bei welchen Patienten wird das EKG schwierig? Überall, wo Muskeln unwillkürlich arbeiten oder der Kontakt schlecht ist *(Lehrbuchwissen)*:

- Zittern: Parkinson-Tremor, essentieller Tremor, Kältezittern und Schüttelfrost, Unruhe. Ein Tremor kann Vorhofflattern oder -flimmern vortäuschen – also eine echte Fehldiagnose auslösen.
- Spastik oder Krampfanfälle.
- Schlechter Hautkontakt: starkes Schwitzen, Behaarung, Hauterkrankungen, Verbrennungen.
- Kleine Amplituden durch viel Gewebe zwischen Herz und Haut: Adipositas, Lungenemphysem, Perikarderguss.
- Herzschrittmacher (Stimulationszacken) und Amputationen (Elektrode muss an den Stumpf).

9 EKG und Pumpfunktion: die Herztöne (Aufgabe 9)

Was das EKG nicht kann. Das EKG zeigt nur die elektrische Erregung. Es verrät Frequenz, Rhythmus, Erregungsausbreitung und auch Umbauten wie eine verdickte Kammer – aber **nicht, wie kräftig das Herz pumpt**. Die Kontraktion folgt der Erregung aber zeitlich, und das macht man im Versuch hörbar: mit einem Stethoskop mit Mikrofon, das gleichzeitig mit dem EKG aufzeichnet. Aufgesetzt wird es am **Erb-Punkt** (3. ICR links parasternal), weil man dort beide Herztöne hört. Probiere mehrere Positionen aus und bewege das Stethoskop während einer Messung nicht.

Wie die Herztöne entstehen. Herztöne sind Schwingungen von Klappen, Kammerwand und Blut, wenn sich der Druck schlagartig ändert:

- **1. Herzton** – zu Beginn der Systole. Die Kammer beginnt sich zusammenzuziehen, der Druck steigt über den Vorhofdruck, die AV-Klappen (Mitral- und Trikuspidalklappe) schlagen zu, und die gespannte, blutgefüllte Kammer schwingt (Anspannungston). Er ist länger und tiefer.
- **2. Herzton** – am Ende der Systole. Der Kammerdruck fällt unter den Druck in Aorta und A. pulmonalis, die Taschenklappen schließen sich. Er ist kürzer und höher.

Zeitliche Lage im EKG (siehe Zeichnung in Kapitel 4): Der **1. Herzton beginnt kurz nach der R-Zacke** – die Kontraktion folgt der Kammererregung mit kurzer Verzögerung. Der **2. Herzton liegt am Ende der T-Welle** – wenn die Kammern repolarisiert sind, erschlaffen sie, der Druck fällt, die Taschenklappen schließen. Die Zeit vom 1. zum 2. Herzton ist die Systole; in Ruhe ist sie kürzer als die Diastole (2. bis nächster 1. Herzton).

10 Blutdruck messen nach Riva-Rocci

Was man misst. Bei jedem Herzschlag schwankt der Druck in den großen Arterien zwischen einem Höchstwert, dem **systolischen** Druck, und einem Tiefstwert, dem **diastolischen** Druck. Bei jungen Menschen in Ruhe sind das etwa **120 mmHg (16,0 kPa)** und **80 mmHg (10,5 kPa)**. Die Differenz heißt **Blutdruckamplitude** (etwa 40 mmHg). Sie hängt vor allem vom Schlagvolumen ab (mehr Blut auf einmal → größerer Ausschlag) und davon, wie elastisch die Arterien sind (steife Gefäße → größerer Ausschlag). Mit dem Alter steigt vor allem der systolische Druck. Eine grobe Schätzung aus dem Skript:

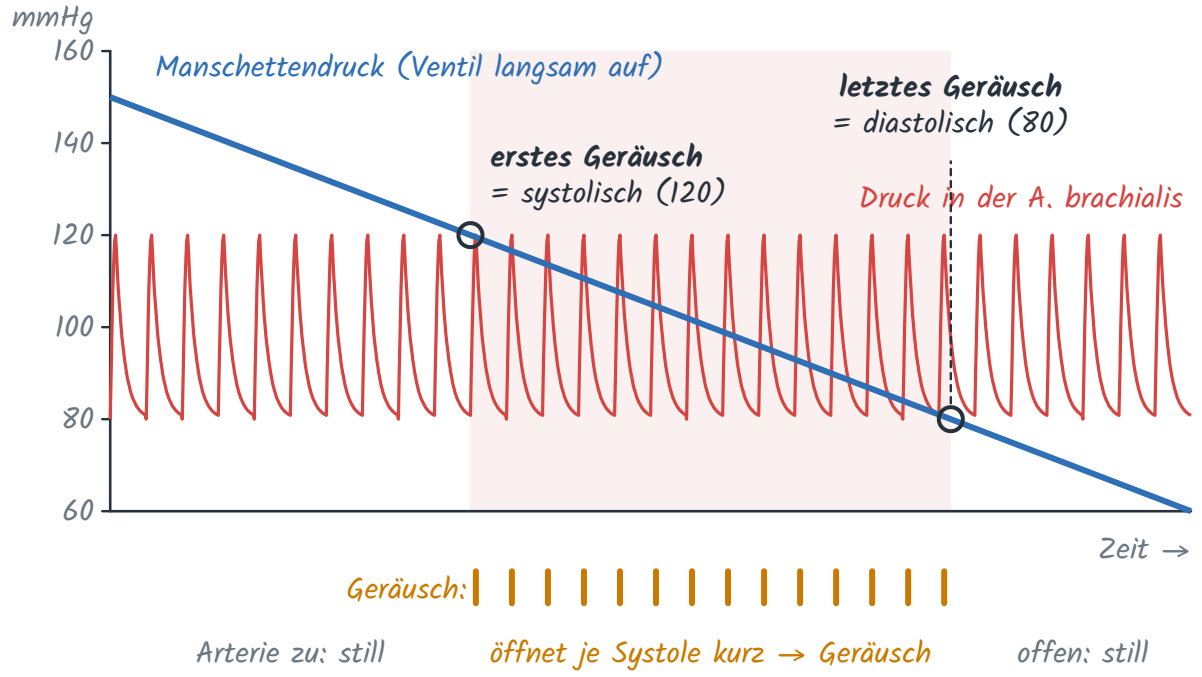
systolischer Druck [mmHg] ≈ 0,9 × (100 + Lebensalter) · Beispiel 21 Jahre: 0,9 × 121 ≈ 109 mmHg

Das Prinzip der Manschette. Direkt misst man nur mit einer Nadel in der Arterie. Im Alltag misst man indirekt: Eine Manschette um den Oberarm drückt die A. brachialis von außen zusammen. Der Druck in der Manschette ist am Manometer ablesbar. Ist er höher als der Druck in der Arterie, bleibt die Arterie zu.

Palpatorisch (nur systolisch). Du tastest den Radialispuls und pumpst auf, bis er verschwindet. Dann lässt du langsam ab. Sobald der Manschettendruck knapp unter den systolischen Druck fällt, drückt die Druckspitze jedes Herzschlags die Arterie kurz

auf – der Puls ist wieder tastbar. Dieser Manschettendruck ist der systolische Druck. Zur Kontrolle pumpst du langsam wieder auf und schaust, wann er verschwindet.

Auskultatorisch (systolisch und diastolisch). Das Stethoskop liegt in der Ellenbeuge über der A. cubitalis. Du pumpst schnell auf etwa **30 mmHg über den palpatorischen Wert** und lässt langsam ab. Was du hörst, zeigt die Zeichnung:



Eigene Zeichnung: Manschettendruck (blau) fällt langsam durch die pulsierende Druckkurve der Arterie (rot). Nur solange er zwischen diastolischem und systolischem Druck liegt, öffnet sich die Arterie bei jedem Herzschlag kurz und das Blut schießt mit Wirbeln hindurch – die Korotkow-Geräusche (orange Striche).

- Über dem systolischen Druck ist die Arterie dauerhaft zu – kein Fluss, Stille.
- Knapp darunter öffnet sie sich bei jeder Druckspitze kurz. Das Blut schießt durch die enge Stelle, es entstehen Wirbel (turbulente Strömung), und die Gefäßwand schwingt. Das hörst du als Klopfen oder Zischen, die **Korotkow-Geräusche**. **Erstes Geräusch = systolischer Druck.**
- Unter dem diastolischen Druck bleibt die Arterie die ganze Zeit offen, das Blut fließt wieder glatt (laminar), und es ist still. **Verschwinden des Geräuschs = diastolischer Druck.**

Die Genauigkeit liegt laut Skript bei etwa ±3 mmHg.

So legst du die Manschette an: Der aufblasbare Gummiteil bedeckt mindestens die ganze Innenseite des Oberarms; die Manschette endet etwa 3 cm über der Ellenbeuge; sie liegt **in Herzhöhe**. Im Praktikum misst du an beiden Armen, jeweils einmal palpatorisch und einmal auskultatorisch.

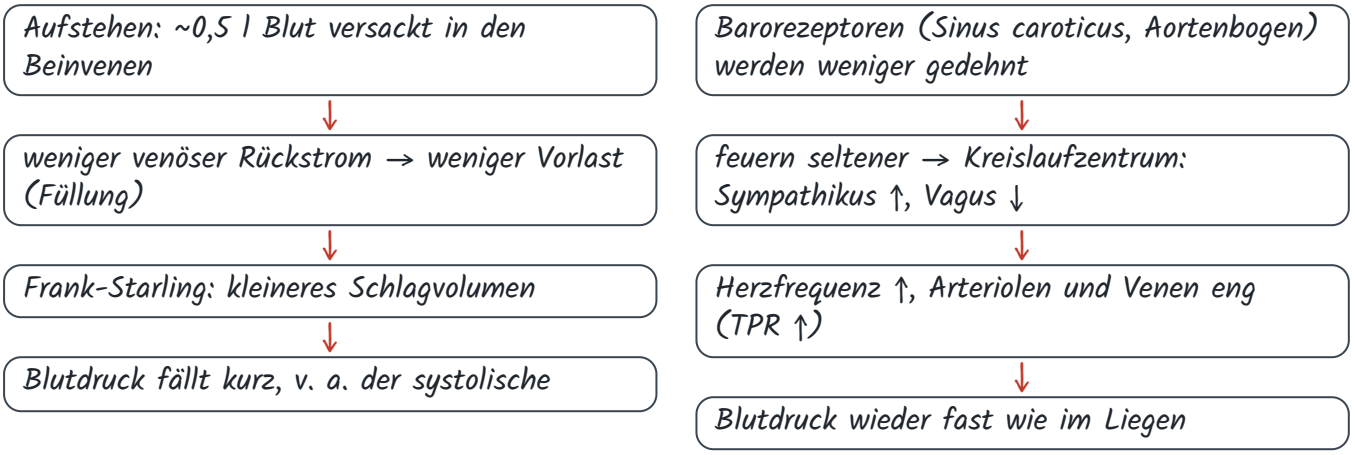
Warum zuerst palpatorisch? Bei manchen Menschen verschwinden die Geräusche zwischendurch kurz und kommen dann wieder (**auskultatorische Lücke**). Wer nur bis in diese Lücke aufpumpt, hört das erste Geräusch zu spät und misst den systolischen Druck zu niedrig. Der palpatorische Wert verhindert das *(Lehrbuchwissen)*.

Fehlerquellen (Auswertung 3.4) *(überwiegend Lehrbuchwissen)*:

Fehler	Folge
Arm nicht in Herzhöhe	hängt der Arm tiefer, kommt hydrostatischer Druck dazu → Wert zu hoch (etwa 7–8 mmHg pro 10 cm); höher → zu niedrig
Manschette zu schmal (dicker Arm)	es braucht mehr Druck, um die Arterie zuzudrücken → Wert zu hoch
zu schnell abgelassen	zwischen zwei Herzschlägen fällt der Druck zu weit → beide Werte ungenau (Faustregel 2–3 mmHg pro Sekunde)
sofort wiederholt gemessen	venöser Stau im Arm → ungenau; 1–2 min Pause
palpatorisch vs. auskultatorisch	palpatorisch meist etwas niedriger, weil der Puls erst bei etwas stärkerem Fluss tastbar ist
rechts vs. links	kleine Unterschiede (bis etwa 10 mmHg) sind normal; deutlich größere können auf eine Engstelle (z. B. A. subclavia) hinweisen
Ableseungenauigkeit, Aufregung, Reden	Messwerte streuen

11 Aufstehen: Orthostase und Schellong-Test (Aufgabe 11)

Was beim Aufstehen passiert. Im Liegen ist das Blut gleichmäßig verteilt. Stehst du auf, zieht die Schwerkraft am Blut: Die Venen der Beine sind sehr dehnbar und nehmen in wenigen Sekunden rund einen halben Liter Blut auf („Versacken"). Dieses Blut fehlt dem Herzen. Die Kette läuft so:



Was man beim Gesunden misst. Unmittelbar nach dem Aufstehen (**Sofortreaktion**) sinkt der Druck kurz und die Herzfrequenz springt hoch. Danach pendelt sich ein neuer Zustand ein: Die **Herzfrequenz bleibt etwas höher** (um 10–20/min), der **systolische Druck** ist gleich oder leicht niedriger, der **diastolische Druck gleich oder leicht höher** (weil die Arteriolen enger sind). Die Blutdruckamplitude wird also kleiner – passend zum kleineren Schlagvolumen. Unterstützend drückt die Muskelpumpe der Beine Blut zurück *(Lehrbuchwissen)*.

Wofür der Test da ist. Eine **Synkope** ist ein plötzlicher, von selbst wieder abklingender Verlust von Bewusstsein und Muskelspannung, weil das Gehirn kurz zu wenig Blut bekommt. Eine Ursache ist die **orthostatische Hypotonie (OH)**: Der Blutdruck fällt beim Stehen zu stark ab. Der Schellong-Test ist im Klinikalltag die

wichtigste Untersuchung bei diesem Verdacht. Das Skript nennt (bewusst vereinfacht) diese Reaktionstypen:

Reaktion	Systolischer Druck	Diastolischer Druck	Herzfrequenz	Erklärung
normal	fällt um weniger als 20 mmHg	fällt um weniger als 10 mmHg	steigt um höchstens 20/min	Baroreflex gleicht aus
sympathikotone OH	fällt um mehr als 20 mmHg	unterschiedlich	steigt um mehr als 16/min	Reflex funktioniert, reicht aber nicht (z. B. Volumenmangel) *(Beispiel: Lehrbuchwissen)*
asympathikotone OH	fällt um mehr als 20 mmHg	fällt um mehr als 10 mmHg	bleibt gleich oder fällt	Sympathikus springt nicht an (z. B. autonome Neuropathie bei Diabetes) *(Beispiel: Lehrbuchwissen)*

Die Grenzen im Skript überlappen bei der Herzfrequenz (normal bis +20/min, sympathikoton ab +16/min). Entscheidend ist deshalb zuerst der Blutdruck: Fällt der systolische Druck um weniger als 20 mmHg, ist die Reaktion normal.

Weil Blutdruck und Puls einen Tagesrhythmus haben, sollte man den Test zu verschiedenen Tageszeiten wiederholen.

Ablauf im Praktikum (2.7). Die EKG-Kabel können ab. Die Manschette bleibt die ganzen 10 Minuten am Arm. Die Person liegt 5 Minuten; nach 1, 3 und 5 Minuten werden Blutdruck (manuell) und Puls (am anderen Arm an der A. radialis: 15 s zählen × 4) gemessen und protokolliert. Dann steht sie rasch auf und bleibt ruhig stehen: sofort messen, dann nach 1, 3 und 5 Minuten. Die Werte trägst du mit den Zeichen aus der Legende in das Diagramm auf S. 27 ein (oben Blutdruck, unten Herzfrequenz) und verbindest sie. Eine Person stoppt die Zeit, eine protokolliert.

Merke: **Aufgabe 11.2 – der Test im heißen Sommer:** Bei Hitze weitet der Körper die Hautgefäße, um Wärme abzugeben, und verliert Wasser durch Schweiß. Es versackt also noch mehr Blut in der Peripherie, und es ist weniger Volumen da. Erwartung: **stärkerer Blutdruckabfall, stärkerer Herzfrequenzanstieg** und eine höhere Gefahr, umzukippen (orthostatischer Kollaps).

Klinik: Wird der Versuchsperson schwindelig, schwarz vor Augen oder übel: sofort hinlegen, Beine hoch. Die Beine hochzulegen bringt das versackte Blut zurück zum Herzen.

12 Das Druck-Volumen-Diagramm des linken Ventrikels

Die Idee. Man trägt für jeden Moment eines Herzschlags zwei Dinge gegeneinander auf: wie viel Blut gerade in der linken Kammer ist (Volumen, x-Achse) und welcher Druck darin herrscht (Druck, y-Achse). Ein Herzschlag ergibt dann eine geschlossene Schleife, das **Arbeitsdiagramm**. Die Fläche in der Schleife ist die Arbeit, die die Kammer bei einem Schlag leistet.

Die vier Phasen (Zahlen wie in der Zeichnung unten; Werte aus dem Skript):

1. **Anspannungsphase** (Systole) – Am Ende der Diastole ist die Kammer mit 120–140 ml gefüllt, bei 6–10 mmHg (**enddiastolisches Volumen EDV** und **enddiastolischer Druck EDP**). Die Kammer zieht sich zusammen, der Druck steigt über den Vorhofdruck, die Mitralklappe schließt. Die Aortenklappe ist noch zu, weil in der Aorta 80 mmHg herrschen. Beide Klappen zu → das Volumen bleibt gleich, nur der Druck steigt: **isovolumetrisch**, eine senkrechte Linie.
2. **Austreibungsphase** (Systole) – Sobald der Kammerdruck den Aortendruck übersteigt, öffnet die Aortenklappe. Blut strömt aus, das Volumen sinkt, der Druck steigt erst noch (auf 120–140 mmHg) und fällt dann wieder. Diese Kontraktion mit gleichzeitig wechselndem Druck und Volumen heißt **auxotonisch**. Ausgeworfen werden etwa 60–70 ml. Die Austreibung endet, wenn der Kammerdruck unter den Aortendruck fällt und die Aortenklappe schließt.
3. **Entspannungsphase** (Diastole) – Beide Klappen sind wieder zu, der Muskel erschlafft, der Druck fällt bei gleichem Volumen: wieder eine senkrechte Linie. In der Kammer bleiben 60–70 ml (**endsystolisches Volumen ESV**).
4. **Füllungsphase** (Diastole) – Fällt der Kammerdruck unter den Vorhofdruck, öffnet die Mitralklappe und Blut strömt ein. Die Kammer füllt sich entlang ihrer Ruhedehnungskurve. Am Ende hilft die Vorhofkontraktion mit; in Ruhe trägt sie nur etwa 10 % bei, bei hoher Herzfrequenz und bei Klappenfehlern mehr.

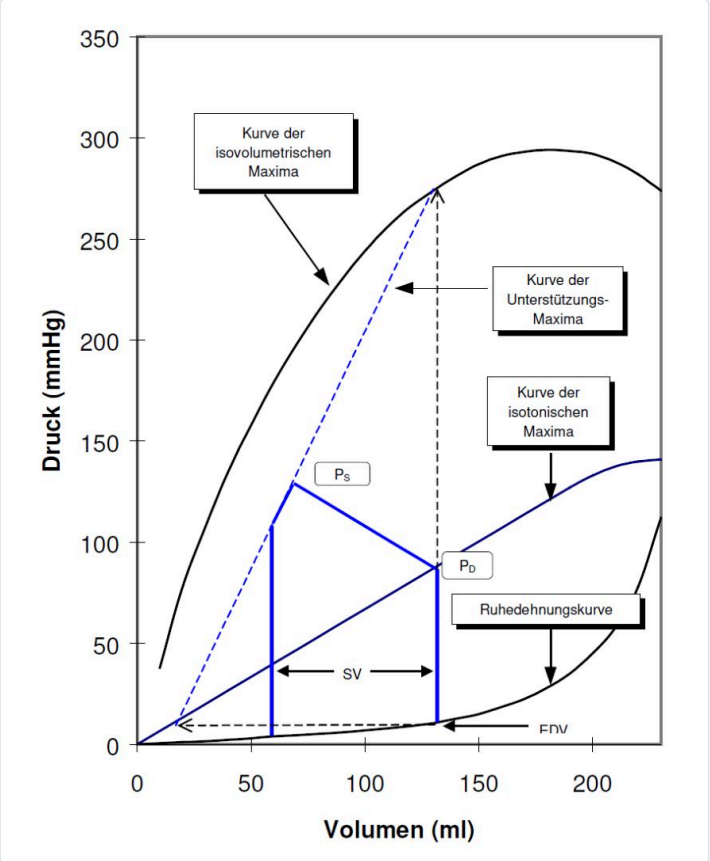
Für die rechte Kammer gilt dasselbe, nur mit viel kleineren Drücken (Spitzendruck 20–30 mmHg, EDP 2–6 mmHg).

Die Grenzkurven beschreiben, was der Muskel bei einer bestimmten Füllung höchstens kann. Sie stammen aus Versuchen an einem isolierten Herzen (Tabelle S. 28):

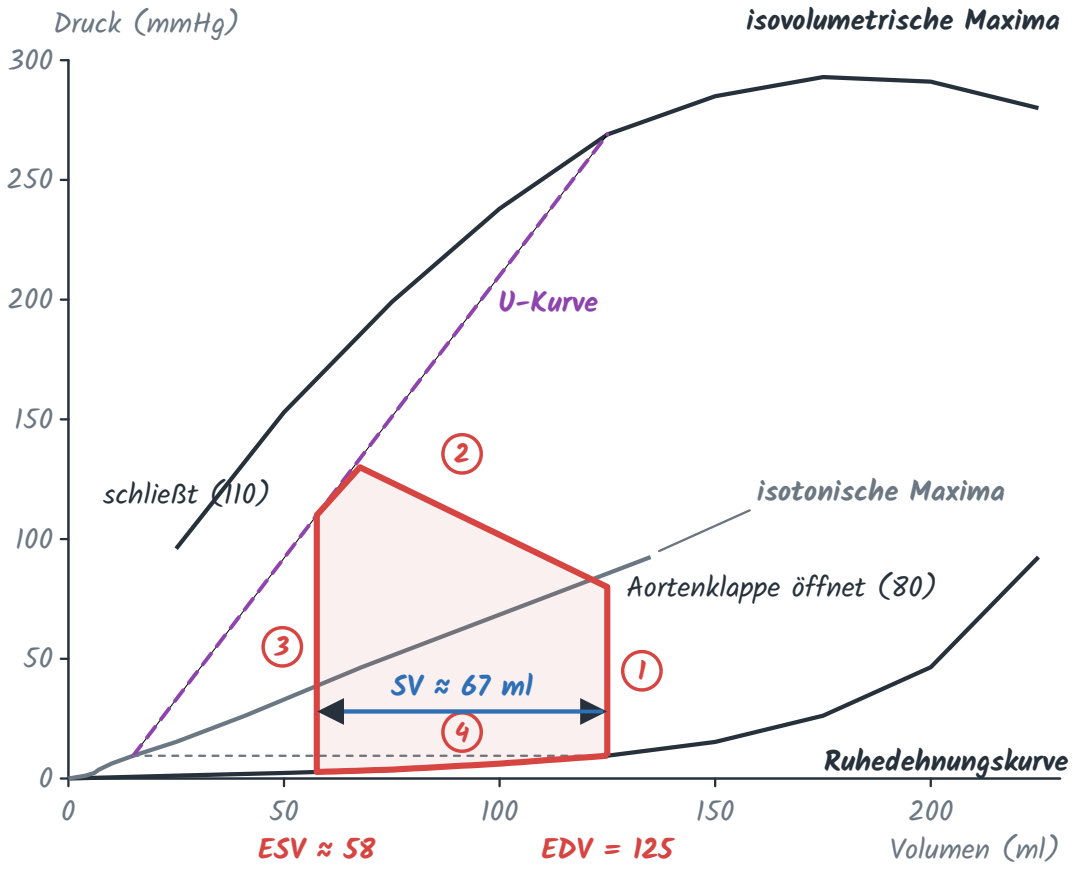
Kurve	Was sie zeigt	Spalte der Tabelle
Ruhedehnungskurve	Druck im ruhenden, nicht schlagenden Herzen bei einer bestimmten Füllung. Flach bei normaler Füllung, steil bei Überfüllung (die Kammer wird steif)	Füllungsvolumen → Füllungsdruck
Kurve der isovolumetrischen Maxima	höchster Druck, den die Kammer erzeugen kann, wenn sie gar kein Blut auswerfen darf (Aorta abgeklemmt)	Füllungsvolumen → P max
Kurve der isotonischen Maxima	kleinstes Volumen, auf das sich die Kammer zusammenziehen kann, wenn der Druck gleich bleibt (sie wirft gegen keinen Widerstand aus)	Füllungsdruck ↔ V min

Kurve	Was sie zeigt	Spalte der Tabelle
Kurve der Unterstützungsmaxima (U-Kurve)	der echte Fall dazwischen: erst isovolumetrisch Druck aufbauen, dann auswerfen. Für jede Füllung eine eigene Kurve. Sie verbindet das isotonische Maximum mit dem isovolumetrischen Maximum dieser Füllung (in Abb. 9 gestrichelt)	wird konstruiert

Warum steigt die isovolumetrische Kurve erst an und fällt bei sehr großer Füllung wieder? Mehr Füllung dehnt die Sarkomere näher an ihre optimale Länge, die Kraft wächst – der **Frank-Starling-Mechanismus**. Bei Überdehnung (ab etwa 175–200 ml in der Tabelle) überlappen Aktin und Myosin schlechter, und die Kraft nimmt wieder ab *(Erklärung: Vorlesung Wenzel)*.



Praktikumsskript S. 14, Abbildung 9: Arbeitsdiagramm des linken Ventrikels mit den Grenzkurven; gestrichelt die U-Kurve für die gezeichnete Füllung



Eigene Zeichnung aus den Tabellenwerten von S. 28 mit EDV = 125 ml und den Druckwerten aus Aufgabe 1 (80 / 130 / 110 mmHg): 1 Anspannung, 2 Austreibung, 3 Entspannung, 4 Füllung. So sieht deine Lösung auf Blatt 1 ungefähr aus.

So konstruierst du die Schleife (Aufgabe 1) – die Werte gibt das Skript vor: Aortendruck bei Öffnung der Klappe P_D = 80 mmHg, höchster Druck in der Systole max. SP = 130 mmHg, Aortenklappe schließt bei 110 mmHg. Das EDV wird im Praktikum angesagt; hier ein Beispiel mit 125 ml.

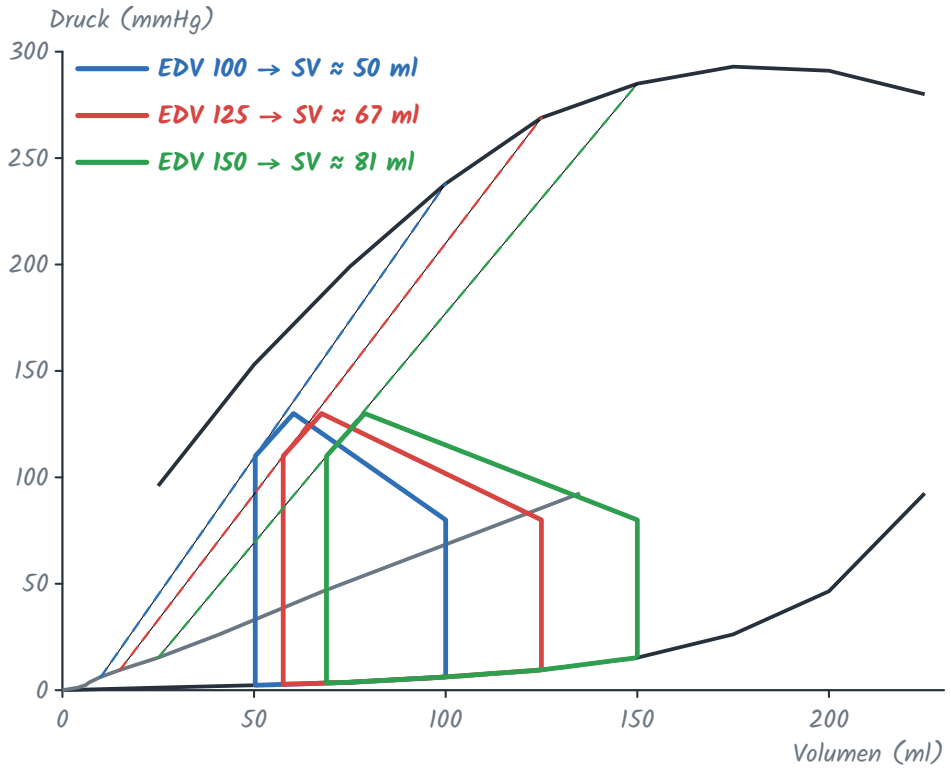
1. **Startpunkt:** Geh beim EDV senkrecht nach oben bis zur Ruhedehnungskurve. Dort liegt der EDP (bei 125 ml: 9,5 mmHg).
2. **U-Kurve einzeichnen:** Verbinde das isovolumetrische Maximum über dem EDV (bei 125 ml: 269 mmHg) mit dem isotonischen Maximum auf Höhe des EDP (bei 125 ml: V min = 15 ml) durch eine Gerade. Auf ihr muss das Ende der Austreibung liegen.
3. **Anspannung:** vom Startpunkt senkrecht nach oben bis 80 mmHg.
4. **Austreibung:** nach links oben bis 130 mmHg, dann nach links unten bis zu dem Punkt, an dem die U-Kurve 110 mmHg erreicht. Dieser Punkt ist das **ESV** (bei 125 ml: ≈ 58 ml). Wo genau du die Spitze von 130 mmHg hinsetzt, ist für die Rechnung egal; Abb. 9 setzt sie kurz vor das Ende.
5. **Entspannung:** beim ESV senkrecht nach unten bis zur Ruhedehnungskurve (≈ 2,7 mmHg) – hier öffnet die Mitralklappe.
6. **Füllung:** entlang der Ruhedehnungskurve zurück zum Startpunkt.

Schlagvolumen SV = EDV − ESV = 125 − 58 ≈ **67 ml**.

Info: Die Zahlen hier sind aus der Tabelle gerechnet (zwischen den Tabellenwerten linear). Auf dem gedruckten Blatt 1 liest du mit dem Geodreieck ab – Abweichungen

von ein paar ml oder mmHg sind normal.

Vorlast ändern (Aufgabe 2). Die **Vorlast** ist die Dehnung der Kammer vor der Kontraktion, also praktisch das EDV. Du zeichnest die Schleife noch zweimal, mit kleinerem und größerem EDV, aber denselben Drücken (80/130/110). Jede Füllung hat ihre eigene U-Kurve, deshalb landet das ESV jedes Mal woanders:



Eigene Zeichnung: drei Schleifen mit EDV 100, 125 und 150 ml, jeweils mit eigener U-Kurve (gestrichelt). Mehr Füllung → die Schleife wird breiter → größeres Schlagvolumen. Das ist der Frank-Starling-Mechanismus.

Arbeit pro Herzschlag (Aufgabe 3). Arbeit ist Druck mal verschobenes Volumen. Die Kammer schiebt das Schlagvolumen gegen den Druck der Aorta hinaus – aber einen Teil des Drucks „schenkt" ihr das einströmende Blut bei der Füllung. Das Skript rechnet deshalb mit der Differenz zweier mittlerer Drücke:

- **P_{mA}** = mittlerer Druck in der Austreibungsphase = (P_D + max. SP) ÷ 2 = (80 + 130) ÷ 2 = **105 mmHg** – für alle drei Schleifen gleich.
- **P_{mF}** = mittlerer Druck in der Füllungsphase = (Druck am Anfang der Füllung + EDP) ÷ 2. Der Anfangsdruck ist der Punkt, an dem die Entspannungslinie die Ruhedehnungskurve trifft (beim ESV).

$$W = (P_{mA} - P_{mF}) \times SV \quad \text{mit} \quad 1\ \text{mmHg} = 133\ \text{N/m}^2 \quad \text{und} \quad 1\ \text{ml} = 10^{-6}\ \text{m}^3 \rightarrow \text{Ergebnis in N·m (= Joule)}$$

Rechenbeispiel EDV 125 ml: P_{mF} = (2,7 + 9,5) ÷ 2 ≈ 6,1 mmHg → $P_{mA} - P_{mF}$ ≈ 98,9 mmHg × 133 ≈ 13152 N/m² → × 67 · 10^{-6} m³ ≈ **0,89 N·m**. Zur Einordnung: Die linke Kammer leistet in Ruhe ungefähr 1 J pro Schlag *(Lehrbuchwissen)*.

Ejektionsfraktion (Aufgabe 4). Die EF sagt, welcher Anteil der Füllung ausgeworfen wird: EF = SV ÷ EDV. Bei 125 ml: 67 ÷ 125 ≈ **54 %**. Normal sind beim Menschen über etwa 55 % *(Lehrbuchwissen)*; das isolierte Herz der Tabelle liegt etwas darunter.

Kontrolltabelle. Welche drei EDV-Werte ihr bekommt, wird im Praktikum angesagt. Für die gängigen Werte steht hier, was ungefähr herauskommen sollte:

EDV (ml)	EDP	ESV (ml)	SV (ml)	P_{mA}	P_{mF}	$P_{mA}-P_{mF}$ (mmHg)	(N/m²)	W (N·m)	EF
75	3,7	44	**31**	105	2,9	102,1	13584	**0,42**	**41 %**
100	6,2	50	**50**	105	4,3	100,7	13399	**0,67**	**50 %**
125	9,5	58	**67**	105	6,1	98,9	13152	**0,89**	**54 %**
150	15,3	69	**81**	105	9,3	95,7	12724	**1,03**	**54 %**
175	26,2	83	**92**	105	15,4	89,6	11923	**1,10**	**53 %**
200	46,5	102	**98**	105	26,5	78,5	10440	**1,02**	**49 %**

Was die Grafik SV gegen EDV zeigt (Aufgabe 4): Mit steigender Füllung wird das **Schlagvolumen größer** – das Herz passt seinen Auswurf von selbst an die Füllung an (**Frank-Starling-Mechanismus**). Bei sehr großer Füllung flacht der Anstieg ab, weil die Kammer überdehnt wird. Die **Ejektionsfraktion** bleibt im mittleren Bereich ungefähr gleich und wird bei sehr kleiner und sehr großer Füllung schlechter. Auch die Arbeit pro Schlag steigt mit der Vorlast.

Klausurfalle: Vorlast = Füllung/Dehnung vor der Kontraktion (EDV, EDP). **Nachlast** = der Widerstand beim Auswerfen (Aortendruck). In Aufgabe 2 ändert sich nur die Vorlast – die Drücke 80/130/110 bleiben gleich.

13 Die Aufgaben 1–11 auf einen Blick: was herauskommen sollte

Aufgabe	Erwartung (eigene Messwerte gehen vor)
1 Ableitlinien III und aVF	III: linker Arm (−) → linkes Bein (+), +120°. aVF: virtuelle Elektrode zwischen den Armen (−) → linker Fuß (+), +90°. Pfeil immer zum Pluspol (Kap. 3).
2 Zeiten aus Ableitung II	Mittel aus 5 Zyklen. Erwartung (Skript, Tab. 4): HF ≈ 60–100/min, PQ-Intervall 100–200 ms, QRS 60–100 ms, QT 250–400 ms; PQ-Strecke = PQ-Intervall minus P-Dauer; QTc = QT ÷ √RR (RR in s) bis etwa 440/460 ms (Kap. 4).
3 Arrhythmie?	Leicht unregelmäßig: **respiratorische Sinusarrhythmie** – die häufigste, nicht krankhafte Arrhythmie. Einatmen schneller, Ausatmen langsamer (Kap. 4).
4 Schrittmacher	Sinusknoten: vor jedem QRS genau ein P, P positiv in I/II (negativ in aVR), PQ konstant, Frequenz normal (Kap. 4).
5 Lagetyp	Konstruktion aus den R/S-Amplituden von I, II, III im Einthoven-Dreieck auf S. 24. Bei jungen Erwachsenen meist Indifferenz- oder Steiltyp (Kap. 5).
6 Erregungsausbreitung und -rückbildung	P in II 50–100 ms, um 0,1 mV; P negativ in aVR, oft biphasisch in V1; Überleitungszeit = PQ-Intervall, normal 100–200 ms; ST isoelektrisch (Kammern voll erregt), T konkordant zu QRS (Kap. 6).
7 veränderte Atmung	HF beim Einatmen höher als beim Ausatmen (Vagus wird beim Einatmen gehemmt). Extrasystolen höchstens vereinzelt (Kap. 4).
8 Brustwandableitungen	R wächst von V1 nach V5, S wird kleiner, Übergangszone V3/V4 – weil der dicke linke Ventrikel den Summenvektor nach links hinten zieht. Zeit bis R-Spitze: V1 < 0,03 s, V6 < 0,052 s, Differenz < 0,03 s (Kap. 7).
9 Herztöne	1. Herzton: Schluss der AV-Klappen + Anspannung, kurz nach R. 2. Herzton: Schluss der Taschenklappen, am Ende von T (Kap. 9).
10 Störungen	Stärkste Störung: tetanische Anspannung des rechten Unterarms (Muskelaktionspotenziale). Sichtbar in I und II, nicht in III (rechter Arm gehört nicht zu III). Zehen rechts: kaum Störung (Erdung). Problempatienten: Tremor, Spastik, Frieren, schlechter Hautkontakt, Adipositas/Emphysem (Kap. 8).
11 Schellong	Sofort: Druck sinkt kurz, HF springt hoch. Danach: HF bleibt ~10–20/min höher, systolisch gleich/leicht ↓, diastolisch gleich/leicht ↑ – Baroreflex. Bei Hitze: stärkerer Abfall, stärkerer HF-Anstieg, Kollapsgefahr (Kap. 11).
3.4 Blutdruck	Palpatorisch etwas niedriger als auskultatorisch; rechts/links kleine Unterschiede. Fehlerquellen: Armhöhe, Manschettenbreite, Ablassgeschwindigkeit, Wiederholung ohne Pause, Ablesen (Kap. 10).
3.6 Druck-Volumen	Schleife wie Kap. 12. Mehr Vorlast → größeres SV und mehr Arbeit, EF im mittleren Bereich ungefähr gleich (Frank-Starling).

14 Normwerte zum Nachschlagen

Größe	Normwert	Quelle
P-Welle	50–100 ms, ~0,1 mV	Skript
PQ-Intervall (Überleitungszeit)	100–200 ms	Skript
QRS-Komplex	60–100 ms, R bis ~1 mV	Skript

Größe	Normwert	Quelle
QT-Intervall	250–400 ms; QTc bis ~440 (♂) / 460 ms (♀)	Skript / Lehrbuch
Zeit bis R-Spitze	V1 < 0,03 s; V6 < 0,052 s; Differenz < 0,03 s	Skript
Lagetypen	überdr. links < −30° · links −30…+30° · indifferent +30…+60° · steil +60…+90° · rechts +90…+120° · überdr. rechts > +120°	Skript
Ableitungswinkel	aVL −30° · I 0° · II +60° · aVF +90° · III +120° · aVR −150°	Skript
Blutdruck jung	120/80 mmHg (16,0/10,5 kPa), Amplitude ~40 mmHg; systolisch ≈ 0,9 × (100 + Alter)	Skript
Schellong normal	systolisch −<20, diastolisch −<10 mmHg, HF +≤20/min	Skript
Linker Ventrikel	EDV 120–140 ml, EDP 6–10 mmHg, Spitzendruck 120–140 mmHg, SV 60–70 ml, ESV 60–70 ml	Skript
Rechter Ventrikel	EDP 2–6 mmHg, Spitzendruck 20–30 mmHg	Skript
Vorhofkontraktion	~10 % der Füllung in Ruhe	Skript

Quiz

Beantworte alles zuerst ohne Nachschlagen. Die Lösungen mit Begründung stehen auf der Seite danach.

Teil A · Erklär es dir selbst

Sag oder schreib die Antwort in zwei, drei Sätzen. Das ist schwerer als Ankreuzen – und genau deshalb bleibt es hängen.

1. Warum zeigt das EKG eine Null-Linie, obwohl die Zellen in Ruhe −90 mV haben?
2. Warum ist die ST-Strecke flach, obwohl die Kammern gerade maximal erregt sind?
3. Was ist der Unterschied zwischen Einthoven-, Goldberger- und Wilson-Ableitungen?
4. Wofür ist die Elektrode am rechten Bein?
5. Was ist der Unterschied zwischen PQ-Strecke und PQ-Intervall?
6. Warum korrigiert man QT, und wie?
7. Woran erkennst du einen Sinusrhythmus?
8. Warum schlägt das Herz beim Einatmen schneller?
9. Wie bestimmst du den Lagetyp im Einthoven-Dreieck?

10. Warum zeigt die T-Welle in dieselbe Richtung wie QRS?

11. Was ist die R-Progression, und warum gibt es sie?

12. Wie entstehen die beiden Herztöne, und wo liegen sie im EKG?

13. Warum hörst du bei der Blutdruckmessung nur zwischen systolischem und diastolischem Druck etwas?

14. Was passiert beim Aufstehen, und wie antwortet der Körper?

15. Wie unterscheiden sich sympathikotone und asympathikotone orthostatische Hypotonie?

16. Was zeigen die vier Grenzkurven im Druck-Volumen-Diagramm?

17. Was passiert mit dem Schlagvolumen, wenn die Vorlast steigt, und warum?

Teil B · Echte Klausurfragen

Alle Fragen stammen aus den Physiologie-Altklausuren der Community-Decks (Herz, bis 2023).

1. Altklausur 2023 Was gilt für Ableitung I nach Einthoven?
   - A. Sie wird zwischen der Elektrode am rechten Arm und linken Bein abgeleitet.
   - B. Sie wird zwischen der Elektrode am rechten Arm und rechten Bein abgeleitet.
   - C. Sie ist senkrecht zu aVL.
   - D. Sie ist senkrecht zu aVF.
   - E. Sie ist eine unipolare Ableitung.

2. Altklausur 2023 Wenn eine Person einen Steiltyp hat, in welchen beiden Ableitungen nach Einthoven und Goldberger sind die R-Zacken am größten?
   A. Einthoven III und Goldberger aVF
   B. Einthoven II und Goldberger aVF
   C. Einthoven II und Goldberger −aVR
   D. Einthoven I und Goldberger aVL
   E. Einthoven I und Goldberger −aVL

3. Altklausur In einem EKG finden sich die zwei am stärksten positiven R-Zacken in III und aVF. Um welchen Lagetyp handelt es sich?
   A. Rechtstyp
   B. Linkstyp
   C. Steiltyp
   D. Indifferenztyp
   E. überdrehter Rechtstyp

4. Altklausur Bei einem Patienten liegt die elektrische Herzachse im Cabrera-Kreis bei 90°. Für die Höhe der R-Zacken gilt typischerweise:
   A. I > aVF > III
   B. aVF > II > I
   C. aVL > II > aVF
   D. II > aVF > III
   E. II > aVF > I

5. Altklausur Im EKG einer 60-jährigen Patientin sind in Ruhe regelmäßige P-Wellen mit 100/min und regelmäßige R-Zacken mit 40/min zu sehen. Welche Aussage trifft am ehesten zu?
   A. AV-Block 1. Grades
   B. AV-Block 3. Grades
   C. Linksschenkelblock
   D. Sinusrhythmus
   E. Vorhofflimmern

6. Altklausur Eine Ableitelektrode an der rechten unteren Extremität („rechter Fuß“) …
   A. wird für die Ableitung II (Einthoven) benötigt.
   B. wird nur für ein 12-Kanal-EKG benötigt.
   C. wird für die Ableitung aVR nach Goldberger benötigt.
   D. dient u. a. der Reduzierung von Störsignalen.
   E. wird für die Eichung (mm/mV) benötigt.

Lösungen

Teil A · Musterantworten

1. Das EKG misst außen zwischen zwei Punkten der Oberfläche. In Ruhe ist die ganze Oberfläche gleich (positiv) geladen, also gibt es keinen Spannungsunterschied. Die −90 mV sieht man nur mit einer Elektrode in der Zelle.
2. Alle Kammerzellen sind gleichzeitig erregt, die Oberfläche ist überall gleich (negativ) geladen – kein Dipol, keine Spannung zwischen den Elektroden.
3. Einthoven (I, II, III): bipolar zwischen zwei Extremitäten. Goldberger (aVR, aVL, aVF): eine Extremität gegen eine virtuelle Elektrode aus den beiden anderen (über 5-kΩ-Widerstände), „augmented". Wilson (V1–V6): Brustwandpunkte gegen eine indifferente Sammelelektrode aus allen drei Extremitäten; sie zeigen die Horizontalebene.
4. Sie ist die Erdung (Masse) und verringert Störungen wie Netzbrumm. Sie gehört zu keiner Ableitung.
5. Strecke = flacher Abschnitt vom Ende P bis Beginn Q (AV-Knoten-Verzögerung). Intervall = Beginn P bis Beginn Q, enthält die P-Welle; das ist die Überleitungszeit, normal 100–200 ms.
6. QT wird bei schnellerer Frequenz von selbst kürzer. Mit QTc = QT ÷ √RR (RR in s) rechnet man auf 60/min um und kann Werte vergleichen.
7. Vor jedem QRS genau ein P, P positiv in I und II (negativ in aVR), PQ-Intervall konstant, Frequenz normal.
8. Beim Einatmen werden die Vagus-Neurone zum Herzen gehemmt (Kopplung im Hirnstamm, Lungendehnungsrezeptoren). Weniger Vagus → Sinusknoten schneller. Das ist die respiratorische Sinusarrhythmie.
9. R- (zum Pluspol) bzw. S-Amplituden von mindestens zwei Ableitungen auf ihren Ableitlinien abtragen, an den Enden Senkrechte ziehen; der Schnittpunkt ist die Spitze der Herzachse. Winkel ablesen und in der Lagetyp-Tabelle einordnen.
10. Die Rückbildung läuft von außen nach innen (Epikard hat kürzere Aktionspotenziale), also andersherum als die Erregung. Umgekehrter Dipol und umgekehrte Richtung ergeben zusammen denselben Ausschlag: Konkordanz.
11. Von V1 nach V5 wird R größer und S kleiner, Übergangszone V3/V4. Der dicke linke Ventrikel zieht den Summenvektor nach links hinten – von V1 weg, auf V5/V6 zu.
12. 1. Herzton: Schluss der AV-Klappen und Anspannung der Kammer, kurz nach R. 2. Herzton: Schluss der Taschenklappen, am Ende von T.
13. Darüber ist die Arterie zu (kein Fluss), darunter ganz offen (laminarer Fluss). Nur dazwischen öffnet sie sich in jeder Systole kurz, das Blut strömt turbulent durch die Engstelle – die Korotkow-Geräusche.
14. Ca. 0,5 l Blut versacken in den Beinvenen → weniger Rückstrom → weniger Vorlast → kleineres Schlagvolumen → Blutdruck fällt. Barorezeptoren werden weniger gedehnt → Sympathikus ↑, Vagus ↓ → HF ↑, Gefäße eng → Blutdruck stabil, diastolisch eher leicht höher.
15. Beide: systolischer Abfall über 20 mmHg. Sympathikoton: Herzfrequenz steigt stark (über 16/min) – der Reflex arbeitet, reicht aber nicht. Asympathikoton: diastolisch fällt auch (über 10 mmHg), HF bleibt gleich oder fällt – der Sympathikus springt nicht an.
16. Ruhedehnungskurve: Druck der ruhenden Kammer bei einer Füllung. Isovolumetrische Maxima: höchster Druck ohne Auswurf. Isotonische Maxima: kleinstes Volumen bei gleichbleibendem Druck.

Unterstützungsmaxima: für eine Füllung die Endpunkte der realen Kontraktion (erst Druck, dann Auswurf).

17. Es wird größer (Frank-Starling): Mehr Füllung dehnt die Sarkomere näher an die optimale Länge, die Kammer entwickelt mehr Kraft. Bei Überdehnung flacht das ab.

Teil B · Klausurfragen

1. **D** – I liegt bei 0°, aVF bei +90°. A beschreibt Ableitung II, das rechte Bein ist nur die Erdung, senkrecht zu aVL steht II, und I ist bipolar.
2. **B** – Steiltyp = +60° bis +90°. Die Ableitungen, die dort liegen, sind II (+60°) und aVF (+90°).
3. **A** – III liegt bei +120°, aVF bei +90° – die Achse liegt dazwischen, also +90° bis +120° = Rechtstyp. (In einem der Community-Decks steht hier fälschlich D.)
4. **B** – aVF liegt genau auf +90° (größte Projektion). II (+60°) und III (+120°) liegen je 30° daneben und sind kleiner; I steht senkrecht (≈ 0).
5. **B** – Vorhöfe und Kammern schlagen unabhängig voneinander, jeweils regelmäßig: Keine Erregung kommt durch den AV-Knoten, die Kammer hat einen eigenen Ersatzrhythmus (40/min).
6. **D** – Das rechte Bein ist die Erdung (Masse) und gehört zu keiner Ableitung; sie verringert z. B. Netzbrumm.

Abgleich mit dem Praktikumsskript

Jeder Abschnitt des Praktikumsskripts (Text und Abbildungen) und wo er hier erklärt ist. Abgeglichen am 03.11.2026.

Abschnitt im Praktikumsskript	Seite	hier
1.1 Vorbereitung	S. 2	Kap. 1
1.2.1 EKG (Abb. 1)	S. 2–4	Kap. 2 (Abb. 1 mit allen Teilbildern erklärt)
1.2.2 Elektrodenpositionen (Abb. 2–4, Tab. 1)	S. 4–7	Kap. 3 (Abb. 2, 3, 4; Cabrera-Kreis als eigene Zeichnung)
1.2.3 Störungsquellen (Abb. 5)	S. 7	Kap. 8
1.2.4 Elektrische Herzachse (Tab. 2, Abb. 6–8)	S. 8–10	Kap. 5 (Abb. 7 durch eigene Zeichnungen ersetzt)
1.3 EKG und mechanische Herzaktion	S. 10	Kap. 9
1.4 Blutdruck und Blutdruckmessung	S. 11	Kap. 10
1.5 Orthostase, Schellong-Test	S. 11–12	Kap. 11
1.6 Druck-Volumen-Diagramm (Abb. 9)	S. 12–14	Kap. 12
2. Versuchsdurchführung: Sicherheit, Material, Räume, Auswertungsmodus	S. 15–16	Kap. 1
2.1 Anschluss (Abb. 10, Tab. 3)	S. 16–17	Kap. 3
2.2.1 Ruhe-EKG (60 s + 5-s-Ausschnitt)	S. 17	Kap. 4 (Aufgabe 2)
2.2.2 EKG bei veränderter Atmung (Schema, F9-Marker, 3 Ausdrucke)	S. 18	Kap. 4 (Aufgabe 7)
2.2.3 Brustwandableitungen (6 × 5 s, ein Kabel)	S. 18	Kap. 3, 7
2.3 Herztöne (Erb-Punkt, 15 s, nicht bewegen)	S. 18–19	Kap. 9
2.4 Störungsursachen (4 × 15 s)	S. 19	Kap. 8
2.5 Biopac-Bedienung (zu zweit am PC, Proband ansagen, direkt drucken)	S. 19–20	hier: Kap. 1; die Kurzanleitung liegt am Platz
2.6 Blutdruckmessung palpatorisch/auskultatorisch	S. 20	Kap. 10
2.7 Schellong-Test	S. 21	Kap. 11
3.1 Aufgaben 1–8 (Abb. 11, Vorlage Einthoven-Dreieck, Tab. 4)	S. 22–25	Kap. 3–7, 13
3.2 Aufgabe 9	S. 25	Kap. 9
3.3 Aufgabe 10	S. 25	Kap. 8
3.4 Blutdruck-Tabelle	S. 26	Kap. 10
3.5 Aufgabe 11 + Diagramm S. 27	S. 26–27	Kap. 11
3.6 Druck-Volumen: Tabelle, Abkürzungen, Aufgaben 1–4, Blatt 1, Auswertetabelle	S. 28–31	Kap. 12

Quellen: Anleitung zum Physiologie-Praktikum M5 – Herz/Kreislauf (EKG), WS 2026/27, Institut für Physiologie, RUB (Abbildungen daraus) · Vorlesungen Herz (Wenzel) und Kreislauf (Kienitz) · mit „Lehrbuchwissen“ markierte Stellen: Standardwissen der Physiologie-Lehrbücher, nicht im Praktikumsskript. Altklausurfragen aus den Community-Anki-Decks.