

Abb. 7 Vektorielle Darstellung der Erregungsausbreitung und Erregungsrückbildung

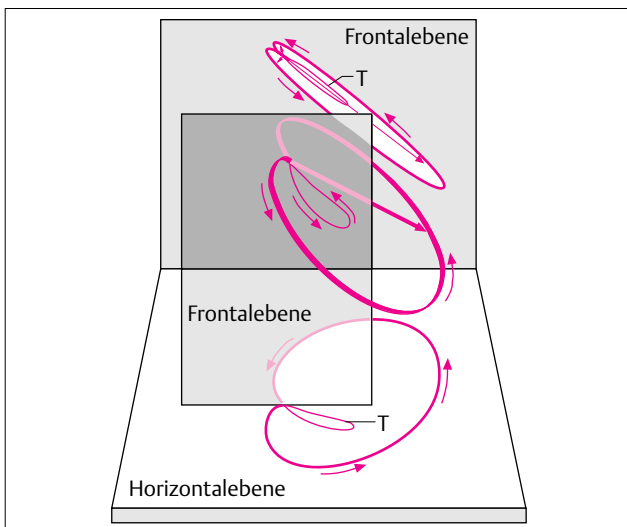


Abb. 8 Vektorschleife der Erregungsausbreitung und Erregungsrückbildung in Projektion auf die Frontal- und Horizontalebene

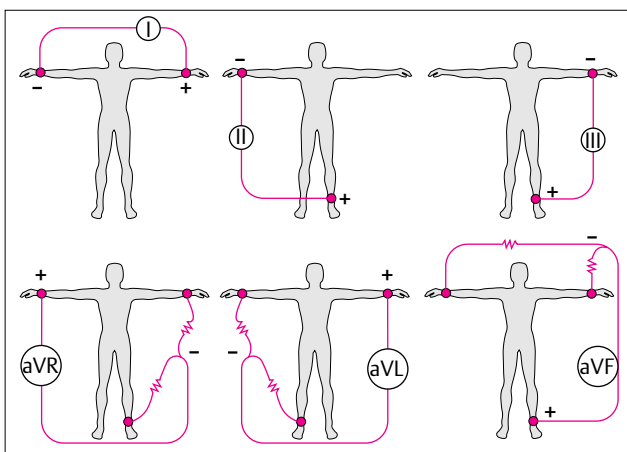


Abb. 9 Schaltung und Ausschlagrichtung der Extremitätenableitungen: oben bipolare Einthovenableitungen, unten unipolare Goldbergerableitungen

Kammererregung auf den Ausgangspunkt zurückkehrt, weil keine wesentliche Potenzialdifferenz mehr besteht. Abb. 8 zeigt die entsprechende Vektorschleife. Zusätzlich dargestellt sind ihre Projektionen auf die Frontal- und Horizontalebene. Durch die schon beschriebene entgegengesetzte Sequenz der Erregungsausbreitung und -rückbildung resultieren in beiden Phasen Hauptvektoren ähnlicher Richtung.

5 EKG-Ableitungsprogramme

Mit einer einzigen EKG-Ableitung ließe sich die Vektorschleife nur eindimensional erfassen. Die räumliche Darstellung gelingt erst durch die Betrachtung der Vektorschleife aus verschiedenen Blickwinkeln: den **EKG-Ableitungen**. Standard ist das Zwölfkanal-EKG mit sechs Extremitäten- und sechs Brustwandableitungen.

Einthoven-Ableitungen (bipolare Extremitätenableitungen)

Bei den **Einthoven-Ableitungen** messen die an den Extremitäten befestigten Elektroden die Potenzialdifferenzen zwischen jeweils zwei Elektroden und werden somit auch als bipolare Ableitungen bezeichnet (Abb. 9 oben).

- **Ableitung I:** Ableitung zwischen rechtem und linkem Arm. Während der Herzerregung nach links weisende Potenziale werden als positiver Ausschlag dargestellt.
- **Ableitung II:** positive Ableitungsrichtung vom rechten Arm zum linken Bein.
- **Ableitung III:** positive Ableitungsrichtung vom linken Arm zum linken Bein.

Goldberger-Ableitungen (unipolare Extremitätenableitungen)

Die **Goldberger-Ableitungen** registrieren die Potenzialvektoren separat in Richtung auf die drei Extremitäten mit den unterschiedlichen Elektroden (Abb. 9 unten). Gemessen wird die Potenzialdifferenz zwischen der jeweiligen Extremität und dem resultierenden Nullpotenzial, gebildet durch die zusammengeschalteten restlichen beiden Extremitätenelektroden. Das virtuelle Nullpotenzial kann in die Mitte des Körpers projiziert werden, sodass folgende Ableitungsrichtungen resultieren:

- **aVR:** nach rechts oben
- **aVL:** nach links oben
- **aVF:** senkrecht nach unten.

Wenn man – wie in Abb. 10 – die Einthoven-Ableitungen zu einem scheinbar gleichseitigen Dreieck verbindet, ist zu erkennen, dass die Goldberger-Ableitungen annähernd die Winkelhalbierenden dieses Dreiecks darstellen und sich somit die Ableitungsrichtungen der Einthoven- und Goldberger-Ableitungen ergänzen. Die Extremitätenableitungen leiten in der senkrechten Frontalebene ab. Horizontale Vektoren werden in ihrer räumlichen Lage unzureichend durch diese Ableitungen definiert, insbesondere, wenn sie nach vorne oder hinten weisen.

Wilson-Ableitungen (unipolare Thoraxableitungen)

Die üblichen **Brustwandableitungen nach Wilson V1-V6** werden als differente Elektroden an definierten Punkten angelegt (Abb. 11). Abgeleitet wird wieder gegen ein virtuel-

les Nullpotenzial, das durch die Zusammenschaltung der 3 Extremitätenelektroden über einen hohen Widerstand gebildet wird. Die Ableitungspunkte sind im Einzelnen:

- **V1:** vierter ICR rechts parasternal
- **V2:** vierter ICR links parasternal
- **V3:** mittig zwischen V2 und V4
- **V4:** fünfter ICR links in der Medioklavikularlinie
- **V5:** linke vordere Axillarlinie in gleicher horizontaler Höhe wie V4
- **V6:** linke mittlere Axillarlinie in gleicher horizontaler Höhe wie V4.

Es ist wichtig, dass die Brustwandableitungen an den genannten Punkten abgeleitet werden. Die häufig zu beobachtende Variation der Ableitungspunkte bei Folgeregistrierungen an ein und demselben Patienten verändert sowohl die QRS-Komplexe als auch die Kammerendteile, sodass Fehldiagnosen möglich sind.

Wie Abb. 11 zu entnehmen ist, sitzen die Ableitungen V1 und V2 über dem rechten Ventrikel und werden rechtspräkordiale Ableitungen genannt. Die Ableitungen V3 und V4 leiten in Höhe des interventrikulären Septums und oberhalb der Herzspitze ab und werden apikale Ableitungen genannt. V5 und V6 sind die linkslateralen Ableitungen.

Die Brustwandableitungen nach Wilson erfassen im Gegensatz zu den Extremitätenableitungen die horizontalen Vektoren.

Weitere Thoraxableitungen

Zusätzliche Thoraxableitungen sind die erweiterten rechtspräkordialen Ableitungen, die linksdorsalen Ableitungen und Ableitungen in einem höheren oder tieferen Interkostalraum. Ihre Registrierung kann bei bestimmten Erkrankungen oder Verdachtsdiagnosen sinnvoll sein.

Rechtspräkordiale Ableitungen: Die Ableitungen Vr3–Vr6 werden rechtsthorakal spiegelbildlich zu V3–V6 angelegt. Die Registrierung der rechtspräkordialen Ableitungen ist indiziert bei Situs inversus und bei Hinterwandinfarkten mit der Frage einer rechtsventrikulären Beteiligung.

Links dorsale Ableitungen V7–V9: Alle drei Ableitungen werden auf der gleichen horizontalen Höhe wie V4 angelegt. V7 im Schnittpunkt mit der hinteren Axillarlinie, V8 mit der Skapularlinie und V9 mit der linken Paravertebrallinie. Ihre Ableitung kann gelegentlich bei posterioren und posterolateralen Myokardinfarkten notwendig werden.

Höhere Thoraxableitungen: V3' und V3'' bezeichnen die Ableitungen einen bzw. zwei ICR höher. Gelegentlich kann durch die höheren Thoraxableitungen ein hochsitzender (basisnaher) Vorderwandinfarkt nachgewiesen werden. Diese Ableitungsrichtungen werden aber auch durch die Ableitungen I und aVL mit erfasst, sodass ein Vorderwandinfarkt im Standard-Zwölfkanal-EKG meist erkannt wird.

Nehb-Ableitungen

Bei den **Nehb-Ableitungen** handelt es um bipolare Thoraxableitungen (Abb. 12). Eingeführt wurde das System als Ergänzung zu den Extremitätenableitungen. Die drei Elektroden haben folgende Positionen:

1. Sternalansatz der 2. Rippe rechts
2. über der Herzspitze
3. gleiche Höhe wie die Herzspitzenelektrode in Projektion auf die linke hintere Axillarlinie.

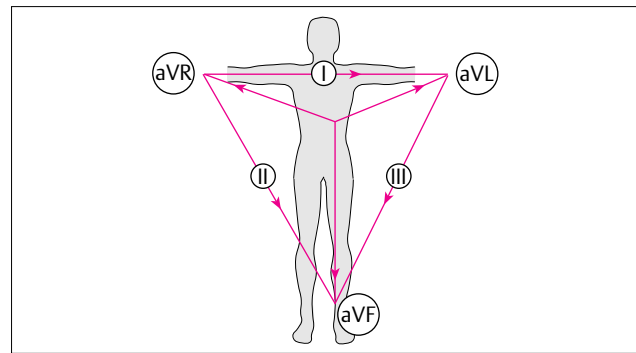


Abb. 10 Einthoven-Dreieck: Die Pfeile bezeichnen die positive Ableitungsrichtung

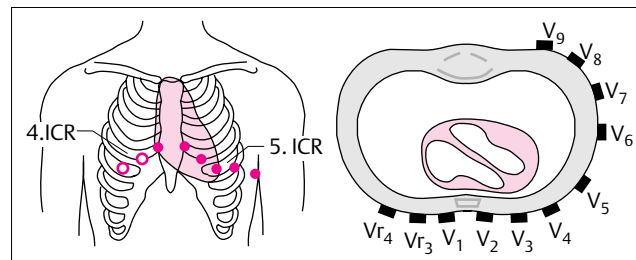


Abb. 11 Brustwandableitungen nach Wilson. Links anatomische Beziehung zum Thoraxskelett, rechts anatomische Beziehung zur Herzachse

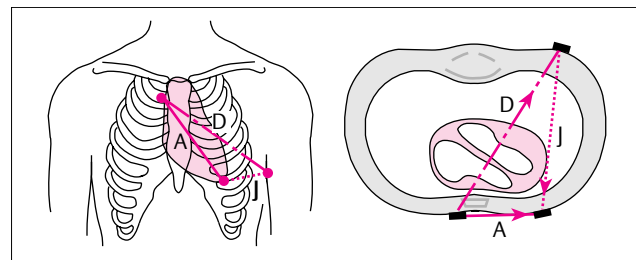


Abb. 12 Nehb-Ableitungen. Links anatomische Beziehung zum Thoraxskelett, rechts anatomische Beziehung zur Herzachse

Nehb A leitet vom Sternalansatz rechts zur Herzspitze ab, **Nehb J** von der hinteren Axillarlinie zur Herzspitze und **Nehb D** vom Sternalansatz rechts zur hinteren Axillarlinie.

Nehb J entspricht von seiner Ableitungsrichtung her V1/V2 und Nehb A den Ableitungen V4/V5, sodass Nehb A und J keine wesentlichen neuen Informationen zum normalen Zwölfkanal-EKG beitragen. Allein Nehb D ist mit seiner Ableitungsrichtung nach hinten links und unten bei posterioren und posterolateralen Infarkten hilfreich. Alternativ zu den Nehb-Ableitungen können posteriore Vektoren auch durch die dorsolateralen Brustwandableitungen V7–V9 erfasst werden.

Spezielle Oberflächen-EKG-Ableitungen sind die korrigierten orthogonalen Ableitungen nach Frank, die senkrecht aufeinanderstehen und drei Ebenen des Raumes erfassen. Sie dienen als Basis für die Vektorkardiographie, haben in Deutschland aber keinen Platz als Routineableitungen. Weitere Ableitungsmethoden, auf die im Rahmen dieses Buches nicht eingegangen werden soll, sind nichtinvasive Registrierungen ventrikulärer Spätpotenziale, die semiinvasiven Ösophagusableitungen und die invasive elektrophysiologische Untersuchung mittels Elektrodenkatheter.

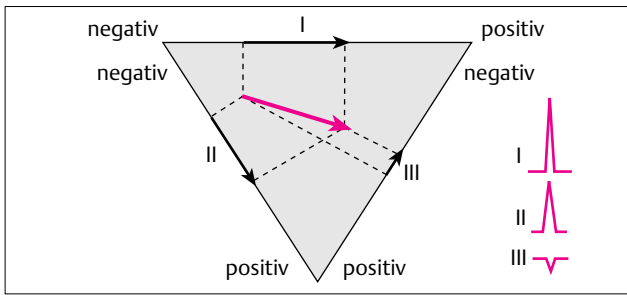


Abb. 13 Vektorprojektion im Einthoven-Dreieck

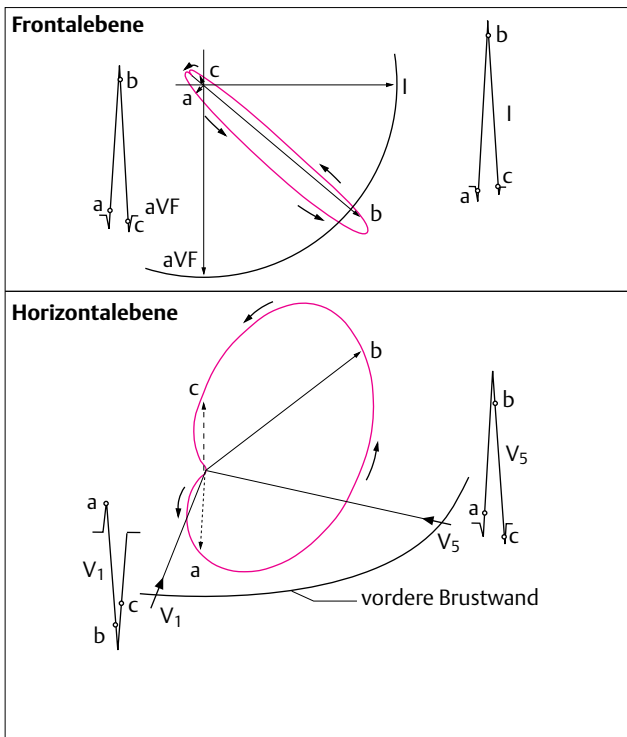


Abb. 14 Projektion der Vektorschleife auf die Frontalebene (oben) und Horizontalebene (unten)

6 Projektion der Vektorschleife auf die Ableitungssysteme

Wie bereits erwähnt hilft die Zwölfkanal-Registrierung bei der räumlichen Rekonstruktion der von der Herzerregung gebildeten Vektorschleife (s. Abb. 7). Die dreidimensionale Vektorschleife kann in ihrer Projektion auf die Frontalebene durch die Extremitätenableitungen und in ihrer Projektion auf die Horizontalebene durch die Brustwandableitungen erfasst werden (s. Abb. 8).

Zuvor soll das Abbildungsverhalten eines gegebenen Vektors am Beispiel der Extremitätenableitungen erläutert werden. In Abb. 13 ist das aus den Ableitungen I–III gebildete Einthoven-Dreieck mit einem Momentanvektor dargestellt, der von rechts oben nach links unten weist:

- Werden Fußpunkt und Spitze des Vektors auf die drei Ableitungslinien projiziert, resultiert in Ableitung I ein hoch positiver und in Ableitung II ein ebenfalls positiver, aber etwas geringerer Ausschlag.
- Auf Ableitung III projiziert sich der Vektor als gegenläufig zur positiven Abbildungsrichtung, sodass ein negativer Ausschlag resultiert.

In ähnlicher Weise bildet die gesamte Vektorschleife in jeder Ableitung einen QRS-Komplex. In Abb. 14 ist oben die **Vektorschleife in der Frontalebene** dargestellt mit der beispielhaften Projektion auf Ableitung I und aVF:

- Der Initialvektor weist nach oben rechts und verläuft in beiden gewählten Ableitungen gegen die positive Ableitungsrichtung. Er führt zu einem kleinen negativen Ausschlag.
- Der Hauptvektor b projiziert sich jeweils hoch positiv. Die terminale dorsale Kammererregung führt nochmals zu einem kleinen negativen Ausschlag.
- Mit Ende der Vektorschleife geht das Potenzial wieder auf das Nullniveau zurück.

Der untere Teil von Abb. 14 zeigt die Projektion der **Vektorschleife auf die Horizontalebene** in Ableitung V1 und V5:

- Der zunächst nach rechts vorne gerichtete Initialvektor läuft auf Ableitung V1 zu und führt hier zu einem kleineren positiven Ausschlag, während sich der Vektor von V5 initial abdreht und hier einen kleinen negativen Ausschlag verursacht.
- Der nach hinten links gerichtete Hauptvektor ist von V1 weggerichtet. Er bildet sich als tiefer negativer Ausschlag ab und in V5 – in Projektion auf die unipolare Ableitungsrichtung – als positiver Ausschlag.
- Die terminalen Potenziale laufen wieder auf den Ausgangspunkt (Nullpunkt) zurück, ohne dass in V1 ein positives Potenzial entsteht. In V5 projiziert sich ein kleiner negativer Vektor, der ein kleines terminales negatives Potenzial (c) zur Folge hat.

! EKG-Veränderungen entstehen über eine Ablenkung der normalen Vektorschleife. Aus der vektoriellen Betrachtung des EKG lässt sich die Vektorschleife rekonstruieren und so Rückschlüsse auf mögliche Veränderungen ziehen.

Sie werden die vektorielle Betrachtung des EKG bei einigen der Beispiele in diesem Buch anwenden lernen. Es ist für die Interpretation des EKG nicht ausreichend, die Veränderungen mit quasi auswendig gelernten Engrammen zu vergleichen.