



Abb. 8.18 EKG-Ableitungen bei Hund und Pferd.
A Standardableitungen I, II und III nach Einthoven beim Hund.

B Unipolare Ableitungen nach Goldberger beim Hund (aVR, aVL, aVF) (der Buchstabe a steht für „attenuated“ = gedämpft). Zwei Elektroden werden jeweils über einen hochohmigen Widerstand verbunden und bilden die indifferente Elektrode. RA = rechtes Vorderbein, LA = linkes Vorderbein, LF = linkes Hinterbein, RF = rechtes Hinterbein (Erdung; nicht markiert).

C Platzierung der EKG-Elektroden beim Pferd bei Standardableitung zwischen Basis und Spitze.

D Befestigungspunkte der Brustwandelektroden nach Wilson beim Pferd (unipolare Messung). Der Integralvektor wird in der Transversalebene unter verschiedenen Winkeln abgebildet (**Abb. 8.17**). Die untereinander kurzgeschlossenen Kabel für RA, LA und LB bilden die indifferente Elektrode.

Ein EKG ist die Bewegung des Integralvektors, projiziert auf eine Ebene. Es erscheint als eine sich zeitlich ändernde Spannungskurve zwischen zwei Punkten der Körperoberfläche.

8.8.5 Was bedeuten die einzelnen Zacken der EKG-Kurve?

Die einzelnen Ausschläge der EKG-Kurve werden mit Buchstaben bezeichnet (Abb. 8.14, Mitte). Sie kennzeichnen bestimmte Zustände einer Herzaktion.

Die P-Welle. Die P-Welle beschreibt die Ausbreitung der Erregung über die **Vorkammern** (Depolarisationswelle) (Abb. 8.14, Mitte). Da sie in Ableitung II nach oben gerichtet ist, ist in diesem Zeitabschnitt das linke Hinterbein positiv gegenüber dem rechten Vorderbein (Abb. 8.19, 1). Das Repolarisationssignal der Vorkammern ist schwach und im EKG nicht sichtbar. Sein Ende wird außerdem vom QRS-Komplex überlagert. Während des PQ-Intervalls erreicht die Erregung die Kammern. Das PQ-Intervall markiert die Überleitungszeit. Sie beruht hauptsächlich auf der im AV-Knoten entstehenden Zeitverzögerung (Abb. 8.4 B).

Der QRS-Komplex. Der QRS-Komplex ist Ausdruck der **Depolarisation** der **Kammern** (Abb. 8.14, Mitte; Abb. 8.19, 4–6). Die Steilheit der QRS-Linie ist ein gutes Maß für die Dynamik der Erregungsausbreitung. Die vom AV-Knoten in das Kammermyocard eintretende Erregung läuft erst gebündelt in Purkinje-Fasern auf der linken Seite des Kammerseptums in Richtung Herzspitze und verteilt sich dann in der Muskulatur. Der Integralvektor wechselt zwischen Q und S dreimal seine Richtung. Bei Pferd und Wiederkäuer fehlt Q häufig. Im Punkt R ist das linke Hinterbein positiv gegenüber dem rechten Vorderbein. Der Integralvektor zeigt dann in Richtung Herzspitze. Bei Fleischfressern und Menschen breitet sich das Aktionspotenzial von subendocardial in Richtung Epicard, also von innen nach außen, aus. Bei Wiederkäuern und Pferd penetrieren die Purkinje-Fasern, von endocardial kommend, bis zu zwei Dritteln in die Kammerwand und verteilen sich von dort in alle Richtungen (Kap. 8.2.3). Dadurch weist die Polarität der Zacken des QRS-Komplexes zwischen Fleischfressern und Wiederkäuern häufig Unterschiede auf.

► Der Abstand zwischen zwei R-Zacken entspricht der Dauer einer Herzperiode. Er eignet sich zur Bestimmung der Herzfrequenz. Dazu werden meistens 10–20 R-Zacken ausgezählt und die dazugehörige Zeit wird gemessen. Bei einem Papiertransport von 25 mm/s entsprechen 10 mm 0,4 s. In den unipolaren Ableitungen nach Goldberger liegen die Ausschläge des QRS-Komplexes bei Fleischfressern oft beiderseits der Nulllinie. ◀

Das ST-Intervall. Mit dem Beginn der initialen Repolarisation und nach Abklingen der S-Zacke beginnt die **Plateau-**

phase. Da längs der Faser **keine Erregungsfronten** vorliegen (Abb. 8.15 B), verläuft die EKG-Kurve auf der **Nulllinie**.

Die T-Welle. Die T-Welle repräsentiert das **Repolarisationssignal** der **Kammern**. Sie ist in der Standardableitung II bei Tieren häufig und beim Menschen immer nach oben gerichtet (Abb. 8.14, Mitte; Abb. 8.19). Das linke Hinterbein ist also positiv gegenüber dem rechten Vorderbein. Die **T-Welle** müsste eigentlich nach unten zeigen, da die Polarität des Repolarisationssignals auf der Faseroberfläche **umgekehrt gerichtet** ist wie das Depolarisationssignal (siehe R-Zacke). Der Grund für die Richtungsumkehr ist darin zu suchen, dass die Fasern des Kammermyocards in **umgekehrter Reihenfolge repolarisieren** wie sie depolarisiert werden. Die **zuerst erregten Fasern** weisen das **längste Aktionspotenzial** auf und **repolarisieren zuletzt** und umgekehrt. So kommt es zu einer doppelten Umkehrung in der Polarität des Repolarisationsvektors. Dieses Verhalten verleiht dem Herzen einen wichtigen Schutz vor Kammerflimmern. Es sorgt dafür, dass bei hohen Herzfrequenzen das Kammermyocard wieder vollständig repolarisiert und ansprechbar ist, wenn das nächste Aktionspotenzial über den AV-Knoten auf die Kammern übergreift. Teil dieses Schutzmechanismus ist das sehr lange Aktionspotenzial der Purkinje-Fasern (bei großen Tieren ungefähr 450 ms). Diese Eigenschaften bieten dem Herzen Schutz vor einem zu frühen Eintritt von Erregungen über das Reizbildungs- und Erregungsleitungssystem (RELS). Bei großen Pferden und allgemein bei Tieren mit Hypokaliämie ist gelegentlich im EKG nach der T-Welle noch eine weitere kleine positive U-Welle sichtbar (Abb. 8.24 B, oben, Mitte). Seine Entstehungsursache ist unklar.

Die Zacken des EKG sind Wegmarken des Aktionspotenzials bei der Ausbreitung über alle Regionen des Herzens.

8.8.5.1 Überleitungsstörungen

► **Sauerstoffmangel** und eine Zunahme der **Kaliumkonzentration** des Blutes können die Erregungsüberleitung von den Vorkammern auf die Kammern besonders im Bereich des **AV-Knotens** beeinträchtigen. Erreicht infolge einer solchen Überleitungsstörung der Sinusreiz nicht mehr die Kammern, kann der AV-Knoten mit niedrigerer Frequenz einen unregelmäßigen Kammerhythmus aufrechterhalten (**totaler AV-Block, AV-Block 3. Grades**) (Abb. 8.20 B). Durch retrograde Stimulation der Vorkammermuskulatur ist in so einem Fall die P-Welle oft negativ (in Abb. 8.20, nicht sichtbar). Bei Vorliegen eines totalen Herzblocks schlagen Vorkammern und Kammern jeweils mit eigenem Rhythmus (Automatie des Myocards).

In weniger gravierenden Fällen erreicht nicht mehr jeder Sinusreiz die Kammern. Der Erregung der Vorkammern folgt dann nur noch gelegentlich eine Kammerkontraktion (**partieller AV-Block, AV-Block 2. Grades**) (Abb. 8.20 A). Manchmal kommt es vor, dass sich die Überleitungszeit von Herzschlag zu Herzschlag langsam