

Joaquín Bernal

EKG-Interpretation in der Kleintierpraxis



schlütersche

vet



JOAQUÍN BERNAL

EKG-Interpretation in der Kleintierpraxis

JOAQUÍN BERNAL

EKG-Interpretation in der Kleintierpraxis

Ins Deutsche übertragen von Dr. med. vet. Mag. phil. Gertrude Edtstadtler-Pietsch

Mit einem Beitrag von PD Dr. Marianne Skrodzki

schlütersche

Bibliografische Information der Deutschen Nationalbibliothek

Die Deutsche Nationalbibliothek verzeichnet diese Publikation in der Deutschen Nationalbibliografie; detaillierte bibliografische Daten sind im Internet über <http://dnb.ddb.de/> abrufbar.

ISBN 978-3-89993-074-0

© 2011, Schlütersche Verlagsgesellschaft mbH & Co. KG, Hans-Böckler-Allee 7,
30173 Hannover

Alle Rechte vorbehalten. Das Werk ist urheberrechtlich geschützt. Jede Verwertung außerhalb der gesetzlich geregelten Fälle muss vom Verlag schriftlich genehmigt werden.

Titel der Originalausgabe: Manual práctico de interpretación electrocardiográfica, by Joaquín Bernal.

© 2008 Diseño y Comunicación Servet S.L., Andador Palacio de Larrinaga 3, 50013 Zaragoza

ISBN: 978-84-935971-9-1

Eine Markenbezeichnung kann warenzeichenrechtlich geschützt sein, ohne dass diese gesondert gekennzeichnet wurde. Die beschriebenen Eigenschaften und Wirkungsweisen der genannten pharmakologischen Präparate basieren auf den Erfahrungen der Autoren, die größte Sorgfalt darauf verwendet haben, dass alle therapeutischen Angaben dem derzeitigen Wissens- und Forschungsstand entsprechen. Darüber hinaus sind die den Produkten beigefügten Informationen in jedem Fall zu beachten. Der Verlag und die Autoren übernehmen keine Haftung für Produkteigenschaften, Lieferhindernisse, fehlerhafte Anwendung oder bei eventuell auftretenden Unfällen und Schadensfällen. Jeder Benutzer ist zur sorgfältigen Prüfung der durchzuführenden Medikation verpflichtet. Jede Dosierung oder Applikation erfolgt auf eigene Gefahr.

Satz: Dörlemann Satz, Lemförde

Druck und Bindung: Werbedruck Aug. Lönneker GmbH & Co. KG, Stadtoldendorf

Meinen Eltern, die neben vielen anderen Dingen alles dafür getan haben,
mir die beste Bildung und Ausbildung zu ermöglichen und damit die essenzielle
und unverzichtbare Basis für ein erfülltes und glückliches Leben in Freiheit
geschaffen haben.

Joaquín Bernal de Pablo-Blanco
1. September 2008

Vorwort und Einführung

Mehr als hundert Elektrokardiogramme zu sammeln, die einen repräsentativen Querschnitt durch die gesamte Kardiologie des Hundes darstellen, ist wahrlich kein leichtes Unterfangen. Das Vorhaben war ehrgeizig: Wir wollten eine Sammlung von 120 repräsentativen EKG von Hunden anlegen, in der sich alle häufigen kardiologischen Erkrankungen dieser Spezies finden, von der Sinusarrhythmie über alle möglichen Veränderungen von Wellen und Intervallen bis zu den komplexen und selteneren Arrhythmien wie totalem AV-Block, persistierendem Sinusknotenstillstand oder AV-Knoten-Tachykardien. Und all das, ohne auf Simulationen zurückzugreifen. Unser Ehrgeiz war es, ausschließlich Original-EKG zu verwenden, die zudem alle dem Anspruch einer homogenen, standardisierten Optik entsprechend sollten, indem nur gleich aussehende EKG-Streifen mit einer Länge von 15 cm im Buch verwendet werden sollten.

Nach vielen Stunden des Suchens in den Archiven von Cardiovet, dem Zentrum für kardiologische Ferndiagnostik, sind wir unter den vielen Tausenden von Elektrokardiogrammen fündig geworden. Die Mühe hat sich, wie wir meinen, gelohnt.

Der erste Teil des Buches bietet den Kollegen mit noch geringer EKG-Erfahrung das erforderliche Basiswissen und macht sie mit den grundlegenden Elementen der Elektrokardiographie vertraut: Herzfrequenz, Herzrhythmus, elektrische Herzachse, Wellen, Zacken, Strecken und Intervalle. Die einzelnen Themen zu vertiefen, würde allerdings den Rahmen dieses Buches sprengen. Dazu sei der Leser auf die am Ende des Buches angeführten bibliographischen Angaben verwiesen.

Ziel dieses Buches ist, dem Leser die Grundlagen der kaninen Elektrokardiographie in praktischer und handlicher Form anhand von klinischen Fallbeispielen näherzubringen.

Auf den rechten Seiten wird jeweils ein Fall vorgestellt. Neben einer Kurzinformation zum Patienten und dessen Krankengeschichte sowie dem Original-EKG sind nicht nur jene Fragen aufgeführt, die sich der Untersucher stellen sollte, sondern auch die Normalwerte der einzelnen elektrokardiographischen Parame-

ter. Die freie Spalte soll dem Leser zur Übung dienen, um hier die selbst ermittelten Werte eintragen zu können.

Auf der jeweils darauffolgenden Seite erscheint derselbe EKG-Streifen nochmals, doch mit der Bezeichnung der Wellen und Zacken sowie unter Nennung der vorliegenden Arrhythmien oder sonstiger signifikanter Charakteristika. Die nebenstehende Tabelle fasst die ermittelten Parameter zusammen, wichtige Befunde werden hervorgehoben und der darunterliegende Textabschnitt gibt Antwort auf die zuvor gestellten Fragen.

Der Wert dieser EKG-Sammlung liegt darin, dass sie dem praktizierenden Tierarzt – und möglicherweise auch manchem Kardiologiespezialisten – einen kasuistischen Reichtum bietet, der dem einzelnen Kollegen sicher niemals in dieser Form zur Verfügung stehen würde. Mit dieser Fülle an unterschiedlichen Fällen soll es jedem Tierarzt erleichtert werden, die nötigen Erfahrungen zu erwerben, um sicher und zweifelsfrei EKG interpretieren und korrekte elektrokardiographische Diagnosen stellen zu können.

Die Fallstudien werden in zwei Abschnitten präsentiert. Im ersten Abschnitt (Abschnitt A) werden die einfacheren und häufiger vorkommenden Fälle präsentiert, während der zweite Abschnitt (Abschnitt B) komplexere Elektrokardiogramme enthält. In beiden Teilen des Buches wurden die Fälle in zufälliger Reihenfolge angeordnet, damit der Leser die Problemlösung nicht aufgrund einer logischen Anordnung nach bestimmten Arten der Arrhythmien oder Erkrankungen erraten kann.

Da das Buch vor allem als didaktisches Werk gedacht ist, wurden bei den meisten Fällen das Signalement und die Anamnese so modifiziert, dass die gesamte Bandbreite an möglichem kardiologischem Patientenmaterial einer Tierklinik abgedeckt wird. Es sei jedoch nochmals darauf hingewiesen, dass sich alle Fälle auf echte Patienten beziehen, die in der Patientendatei unseres Zentrums für kardiologische Ferndiagnostik erfasst sind. Alle EKG-Aufzeichnungen sind echt und wurden weder mit Bildbearbeitungsprogrammen verändert noch in anderer Weise manipuliert. Aus diesem Grund finden sich in vielen EKG-Kurven technische Artefakte oder solche, die durch Zittern oder Bewegungen des Patienten entstanden

sind. Genau das ist jedoch für die weniger EKG-erfahrenen Tierärzte von Vorteil, da gerade die richtige Unterscheidung zwischen Artefakt und pathologisch verändertem Elektrokardiogramm den schwierigsten Punkt bei der Interpretation dieses diagnostischen Verfahrens darstellt. In der Regel können wir nämlich bei der elektrokardiographischen Untersuchung nicht auf die Kooperation unserer Patienten zählen.

Ich hoffe, dass es mir gelungen ist, ein informatives, nützliches und abwechslungsreiches Buch zu gestalten, das dem besseren Verständnis dieser für die Kardiologie so wesentlichen diagnostischen Disziplin dient.

Joaquín Bernal de Pablo-Blanco
Madrid

Danksagung

Mein Dank geht an alle, die auf die eine oder andere Weise zur Realisierung dieses Buchprojekts beigetragen haben:

An die Patienten, Tierbesitzer und Tierärzte, die das Zusammentragen der zahlreichen in diesem Buch enthaltenen EKG-Aufzeichnungen möglich gemacht haben und dadurch dazu beigetragen haben, ein – wie ich hoffe – für alle nützliches Werk entstehen zu lassen.

An das Verlagsteam von Servet, insbesondere an Tatiana Blasco, die in ihrer Eigenschaft als Koordinatorin dieses Projekts all die Verspätungen und nicht erfüllten Versprechungen, die offenbar jedem Autor inhärent sind, ertragen musste.

An alle Mitarbeiter von Cardiovet: An Juani, durch dessen Hände die meisten der Tausende von EKG gingen, aus denen die für dieses Buch geeigneten ausge-

sucht wurden; an Laura, die als Koordinatorin im immer etwas schwierigen Spannungsdreieck Autor-Mitarbeiter-Verlag zu vermitteln hatte; und an Sol, dafür, dass sie mich ertragen hat.

An Raquel Matellanes und insbesondere Ángel Soto, die an der Redaktion der Antworten für viele der vorgestellten klinischen Fälle mitgearbeitet haben.

An Enrique Ynaraja und Alberto Montoya, die nicht nur an diesem Buch mitgearbeitet haben, sondern die als Meister ihrer Fachdisziplin und als Freunde in all den Jahren einen unschätzbaren und entscheidenden beruflichen Einfluss ausgeübt haben.

*Ihnen allen gilt mein ausdrücklicher Dank.
Joaquín Bernal de Pablo-Blanco*

Autor

Joaquín Bernal de Pablo-Blanco

Cardiovet. Zentrum für kardiologische Fern-
diagnostik
Madrid (Spanien)

Mitarbeiter

Raquel Matellanes Ferreras

Cardiovet. Zentrum für kardiologische Fern-
diagnostik
Clínica Veterinaria Bulevar
Madrid (Spanien)

Alberto Montoya Alonso

Professor für Innere Medizin und Chirurgie
Direktor der Veterinärmedizinischen Abteilung
Institut für Veterinärpathologie der Veterinär-
medizinischen Fakultät
Universidad de Las Palmas de Gran Canaria
(Spanien)

Ángel Soto Bustos

Kardiologische Abteilung der Medizinischen Tier-
klinik
Universidad Complutense de Madrid
Cardiovet. Zentrum für kardiologische Fern-
diagnostik
Madrid (Spanien)

Enrique Ynaraja Ramírez

Servicios Veterinarios Albéitar
Vall d'Uxó, Castellón (Spanien)

Abkürzungsverzeichnis

A.	Arteria
AT	atriale Tachykardie
AVER	AV-Ersatzrhythmus
BID	zweimal täglich
bpm	Schläge pro Minute (beats per minute)
DTI	Dauertropfinfusion
ggr.	geringgradig
h	Stunden
HCM	Hypertrophe Kardiomyopathie
HOCM	Hypertrophe obstruktive Kardiomyopathie
i. m.	intramuskulär
i. v.	intravenös
kg	Kilogramm
KOF	Körperoberfläche
KM	Körpermasse
MEA	mittlere elektrische Herzachse
mEq	Milliäquivalent

mg	Milligramm
min	Minute
ml	Milliliter
mV	Millivolt
ng	Nanogramm
p. o.	per os
s	Sekunde
s.	siehe
s. c.	subkutan
SID	einmal täglich
SVES	supraventrikuläre Extrasystole
TID	dreimal täglich
QID	viermal täglich
VES	ventrikuläre Extrasystole
VT	ventrikuläre Tachykardie
µg	Mikrogramm

Inhaltsverzeichnis

Einleitung	1	EKG-Interpretation	39
Grundlagen der EKG-Interpretation	2	Abschnitt A: Häufig vorkommende, einfachere klinische Fälle	39
Bestimmung der Herzfrequenz	2	Abschnitt B: Komplexere klinische Fälle	135
Bestimmung des Herzrhythmus	8	Anhang	275
Berechnung der mittleren elektrischen Herzachse	11	Arzneimitteltabelle	276
Messung von Wellen, Zacken und Intervallen	14	Literatur	285
Elektrokardiographische Wellen	14	Sachverzeichnis	287
Elektrokardiographische Intervalle	18		
Elektrokardiographische Strecken	19		
Beurteilung der Veränderungen an P-QRS-T	20		
Linksatriale Vergrößerung	20		
Rechtsatriale Vergrößerung	22		
Linksventrikuläre Vergrößerung	24		
Rechtsventrikuläre Vergrößerung	26		
Veränderungen des PR-Intervalls	28		
Veränderungen des QT-Intervalls	30		
Veränderungen der ST-Strecke und der T-Welle	32		

Einleitung

Grundlagen der EKG-Interpretation

Als Einführung zu den in der Folge vorgestellten klinischen Fällen bietet dieses Kapitel eine kurze Zusammenfassung der Grundlagen der Elektrokardiographie, die die spätere EKG-Interpretation erleichtern soll: Bestimmung von Herzfrequenz und Herzrhythmus, Berechnung der mittleren elektrischen Herzachse und Messung der wichtigsten Wellen und Intervalle.

Ansichts des Umfangs und der Komplexität des Themas würde eine ausführliche Besprechung der einzelnen Herzrhythmusstörungen den Rahmen dieses Buches sprengen. Um sich zu den jeweiligen Fällen das entsprechende Hintergrundwissen zu beschaffen und somit einen maximalen Nutzen aus diesem Handbuch zu ziehen, sei der Leser gegebenenfalls auf die einschlägige Fachliteratur verwiesen.

Die Elektrokardiographie basiert auf der graphischen Aufzeichnung der elektrischen Phänomene, die sich während der einzelnen Phasen der Herzperiode im Herzen ereignen. Jede Information über die kardiale Anatomie spiegelt somit in Wirklichkeit nur das wider, was anhand charakteristischer elektrokardiographischer Kriterien messbar ist. Die stärkste Aussagekraft besitzen dabei natürlich jene

Informationen, die sich auf die Gesamtheit der im Myokard entstehenden elektrischen Impulse, bzw. Potentialdifferenzen, beziehen (Herzfrequenz, Arrhythmien etc.).

Wie jede andere Untersuchung auch ist die Elektrokardiographie nur eines von mehreren diagnostischen Verfahren, sodass die EKG-Interpretation bzw. die elektrokardiographische Diagnose in keinem Fall mit der endgültige Diagnose für den individuellen Patienten gleichzusetzen ist. Eine abschließende Diagnose muss stets auf der Basis von Anamnese, klinischer Allgemeinuntersuchung und den diversen verfügbaren Untersuchungsbefunden erfolgen.

Die Auswertung eines EKG sollte stets systematisch und nach einer festgelegten Vorgehensweise ablaufen, bei der alle der folgenden Schritte nacheinander abgearbeitet werden:

- Bestimmung der Herzfrequenz.
- Bestimmung des Herzrhythmus.
- Berechnung der mittleren elektrischen Herzachse.
- Messung von Wellen, Zacken und Intervallen.
- Beurteilung von Veränderungen an P-QRS-T.

Bestimmung der Herzfrequenz

Unter der Herzfrequenz versteht man die Anzahl der Herzschläge pro Minute. Beim Menschen (sowie auch bei der Katze) folgen die Herzschläge regelmäßig aufeinander, sodass sich die Herzfrequenz rasch und einfach bestimmen lässt. Im Gegensatz dazu ist der Herzrhythmus beim Hund für gewöhnlich unregelmäßig: Bei dieser respiratorischen Sinusarrhythmie zeigen sich Frequenzvariationen, die höchst signifikant sein können, je nachdem, anhand welcher Strecke der EKG-Aufzeichnung die Herzfrequenz ermittelt wird. Aus diesem Grund ist es beim Hund wichtig, die Herzschläge während mindestens sechs aufeinander folgender Sekunden auf der EKG-Kurve zu zählen.

Eine ganze Minute abzulesen, ist jedoch nicht sinnvoll, da sich in einem solchen Zeitraum in der Regel Artefakte im EKG ergeben, die die korrekte Ermittlung der Herzfrequenz stören. Zudem würde dies bedeuten, dass man mit übermäßig langen Papierstreifen hantieren müsste, was recht unpraktisch wäre.

In der Praxis werden für gewöhnlich folgende Methoden zur Bestimmung der Herzfrequenz verwendet:

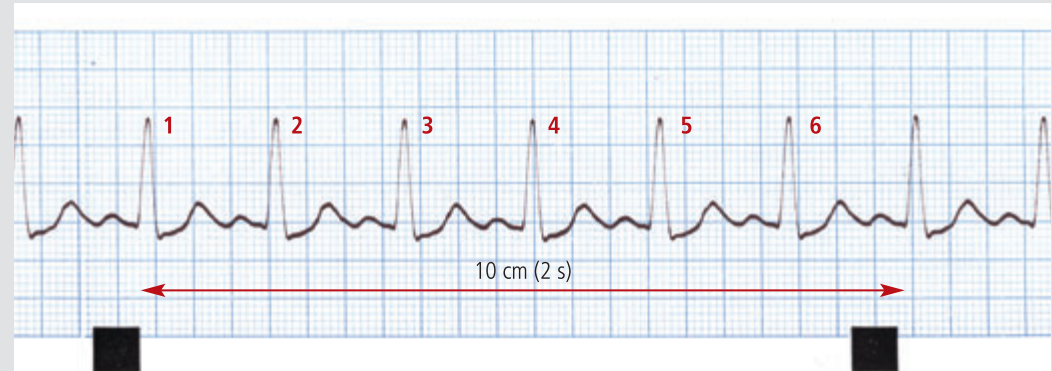
- ▶ Abzählen der RR-Intervalle (Intervall zwischen zwei R-Zacken) zwischen zwei der auf handelsüblichem EKG-Papier am Rand eingedruckten schwarzen Markierungen. Je nach Fabrikat variiert die Form dieser Markierungen, und auch der Abstand zwischen zwei Markierungen kann von Hersteller zu Hersteller unterschiedlich sein (Abb. 1). In der Regel beträgt die Distanz zwischen zwei Markierungen 10 cm, was bei einem Papiervorschub von 50 mm/s 2 s entspricht. Somit ist die Anzahl der zwischen zwei Markierungen liegenden QRS-Komplexe mit 30 zu multiplizieren, um die Herzfrequenz pro Minute zu erhalten.

Sind die EKG-Aufzeichnungen länger, sollten die Komplexe vorzugsweise über längere Distanzen gezählt werden (30 oder 60 cm). Die aufgrund der respiratorischen Sinusarrhythmie beim Hund mögliche Fehlerquelle reduziert sich mit zunehmender Länge der abgezählten EKG-Strecke.

Abb. 1: Normalerweise werden auf handelsüblichem EKG-Papier bereits vom Hersteller Markierungen (in diesem Fall schwarz) im Abstand von 10 cm eingedruckt. Dieser Abstand entspricht bei einem Papiervorschub von 50 mm/s einem Zeitintervall von 2 s, bei einer Schreibgeschwindigkeit von 25 mm/s einem Intervall von 4 s.

Schreibgeschwindigkeit = 50 mm/s

HF = 6 × 30 = 180 bpm



Schreibgeschwindigkeit = 25 mm/s

HF = 12 × 15 = 180 bpm

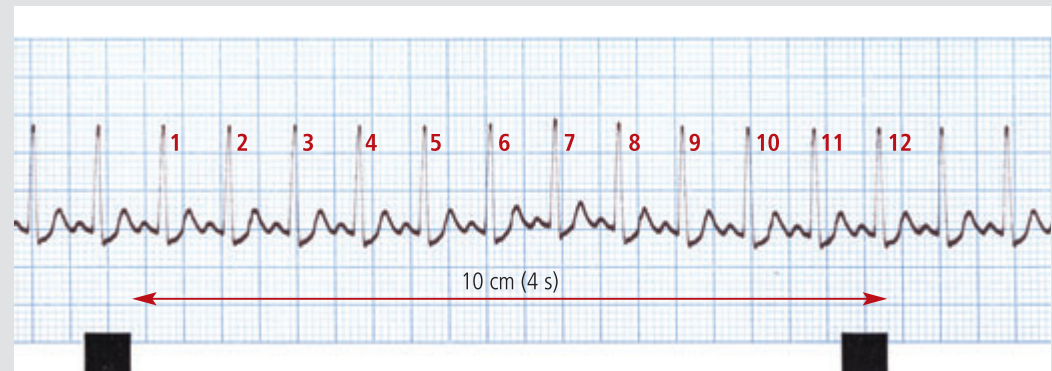
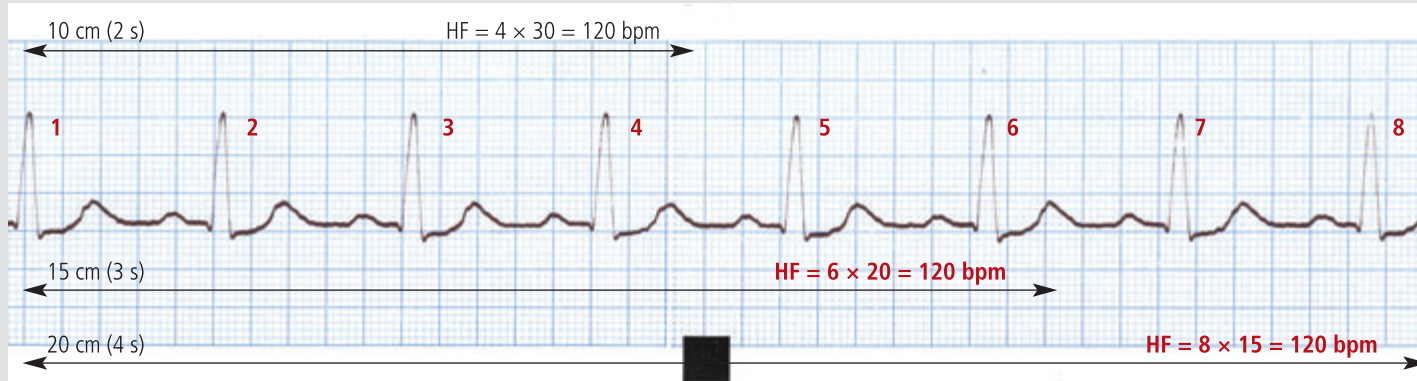
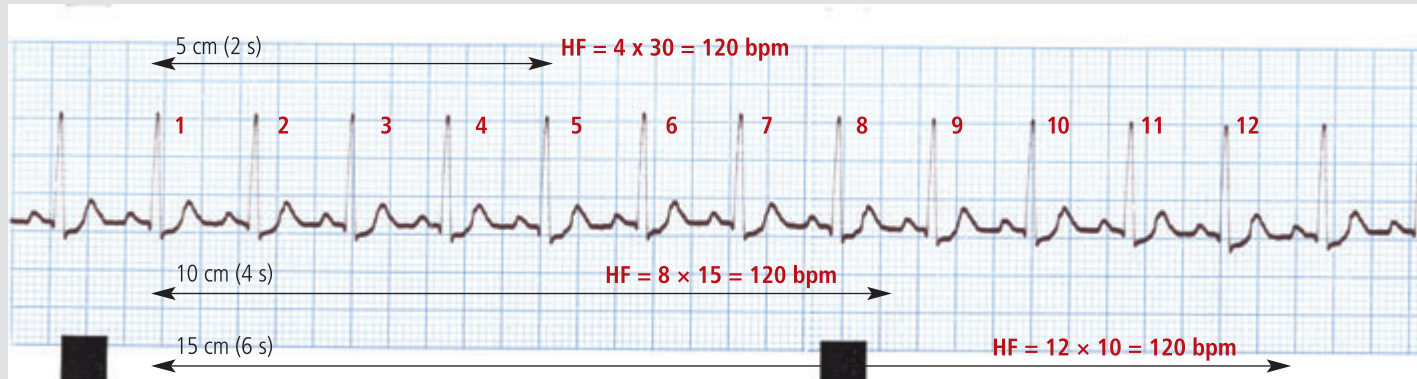


Abb. 2: Elektrokardiogramm eines Patienten, aufgenommen mit unterschiedlichen Schreibgeschwindigkeiten. Zur raschen Berechnung der Herzfrequenz wird die Anzahl der QRS-Komplexe über eine gegebene Distanz ermittelt.

Schreibgeschwindigkeit = 50 mm/s



Schreibgeschwindigkeit = 25 mm/s



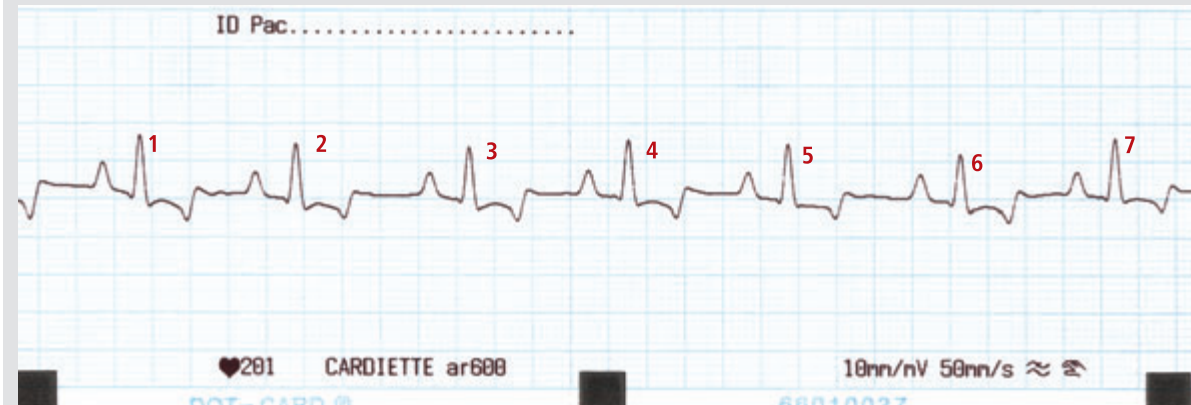
Was unbedingt bekannt sein muss, ist die Schreibgeschwindigkeit des EKG: 25 oder 50 mm/s (Abb. 2). In der nachstehenden Tabelle sind die jeweiligen Äquivalente zwischen Distanz und Zeit für beide Fälle zusammengefasst (vgl. auch Abb. 3a, 3b, 3c und 3d).

Schreibgeschwindigkeit	Distanz (cm)	Zeit (s)	Herzfrequenz
50 mm/s	5	1	$\times 60$
	10	2	$\times 30$
	15	3	$\times 20$
25 mm/s	5	2	$\times 30$
	10	4	$\times 15$
	15	6	$\times 10$

Abb. 3a und 3b: Beispiele zur Bestimmung der Herzfrequenz durch Zählen der QRS-Komplexe.

Schreibgeschwindigkeit = 50 mm/s

HF = $7 \times 20 = 140$ bpm



Schreibgeschwindigkeit = 50 mm/s

HF = $9 \times 20 = 180$ bpm

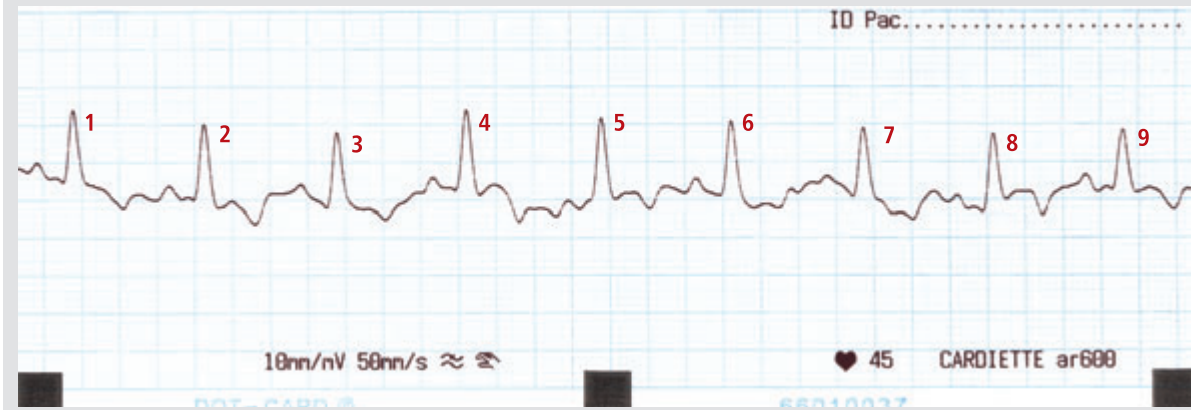


Abb. 3c: Ist der Herzrhythmus regelmäßig, entstehen bei der Bestimmung der Herzfrequenz auch dann keine wesentlichen Fehler, wenn die QRS-Komplexe nur über kurze Distanzen gezählt werden. In diesem Fall wurden die QRS-Komplexe nur über 2 s gezählt. Dabei erhielt man eine Herzfrequenz von 150 bpm, wobei die tatsächliche Frequenz 140 bpm betrug.

Schreibgeschwindigkeit = 50 mm/s

$HF = 5 \times 30 = 150 \text{ bpm}$



Wie zu erkennen ist, muss zur Bestimmung der Herzfrequenz nur noch die jeweils für die gegebene Distanz ermittelte Anzahl von QRS-Komplexen entsprechend multipliziert werden. So lassen sich z.B. die Herzschläge pro Minute (bpm) bei einer Papiergeschwindigkeit von 50 mm/s berechnen, indem man 3 s am EKG-Papier markiert (d. h. 15 cm), die Komplexe in diesem Bereich zählt und danach mit 20 multipliziert. Das ist einfach und geht schnell, und ermöglicht die Bestimmung der Herzfrequenz auch bei Arrhythmien.

Schreibgeschwindigkeit = 50 mm/s

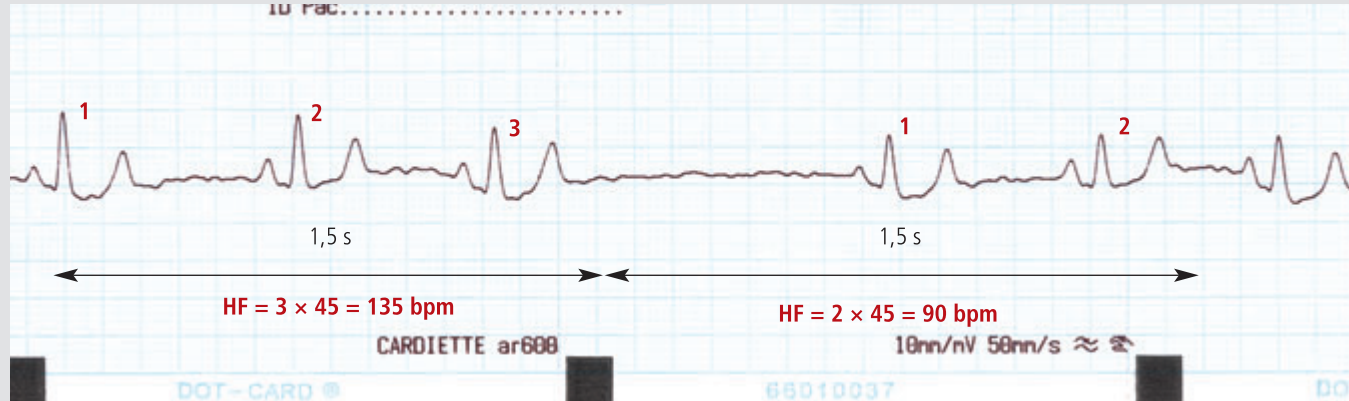


Abb. 3d: Wenn Arrhythmien bestehen (insbesondere bei niedriger Herzfrequenz), muss die Zählung der QRS-Komplexe über längere Distanzen erfolgen, da andernfalls signifikante Fehler entstehen können. An diesem Beispiel ist zu erkennen, wie die berechnete Herzfrequenz zwischen 90 und 135 bpm variieren kann, je nachdem, in welchem Bereich der EKG-Kurve die Komplexe gezählt wurden.

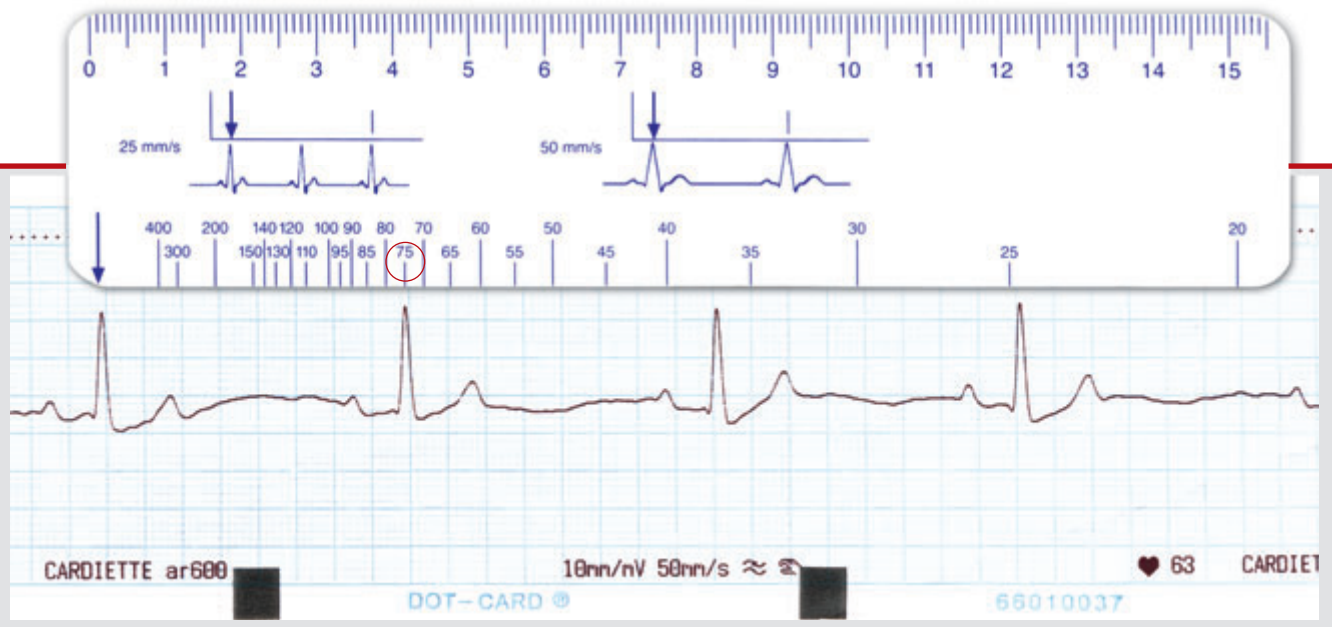
► Mit dem EKG-Lineal (Abb. 4), das mit einer aufgedruckten Skala versehen ist, kann die Herzfrequenz auf einen Blick abgelesen werden. Man legt das Lineal mit dem Pfeil an der ersten R-Zacke an und liest die Zahl an der zweiten, darauffolgenden R-Zacke ab.

Diese Methode ist allerdings nur für einen regelmäßigen Herzrhythmus anwendbar (Abb. 5). Andernfalls werden mehrere RR-Intervalle gemessen, aus denen danach das arithmetische Mittel berechnet wird.

Bei unregelmäßigem Herzrhythmus müssen somit stets mehrere verschiedene Abschnitte am EKG zur Bestimmung der Herzfrequenz herangezogen werden, indem man die Maximal-, Minimal- und Durchschnittswerte sowie etwaige Variationen ermittelt.

Abb. 4 und 5: Spezielle EKG-Lineale ermöglichen die einfache Bestimmung der Herzfrequenz. Das EKG-Lineal wird mit dem Pfeil genau an der ersten R-Zacke angelegt. Die Zahl, die auf der Höhe der nächsten R-Zacke auf dem Lineal steht, gibt die Herzfrequenz an. In unserem Beispiel sind dies 75 bpm.

Schreibgeschwindigkeit = 50 mm/s
HF = 75 bpm



Bestimmung des Herzrhythmus

Zu ermitteln ist, ob der Herzrhythmus regelmäßig oder unregelmäßig ist (Abb. 6), d. h., ob der Abstand zwischen zwei aufeinander folgenden R-Zacken immer gleich oder aber unterschiedlich lang ist. In letzterem Fall ist herauszufinden, ob es sich um eine Sinusarrhythmie handelt oder nicht.

Zur Beurteilung des Herzrhythmus kann man einen EKG-Zirkel verwenden, mithilfe dessen man die einzelnen RR-Intervalle in ihrer Länge vergleichen kann. Eine andere Möglichkeit ist das Abzählen der 1-mm-Quadrate des Millimeterpapiers des EKG-Streifens.

Wie man herausgefunden hat, sind die im Sinusknoten entstehenden Impulse beim Hund nie wirklich regelmäßig. Daher wird der Herzrhythmus des

Hundes auch dann als regelmäßig bezeichnet, wenn zwischen den RR-Intervallen kleine Unterschiede bestehen. Als maximal zulässige Differenz gelten 0,12 s (sechs Millimeterquadrate bei einer Schreibgeschwindigkeit von 50 mm/s, bzw. drei Quadrate bei 25 mm/s) (Abb. 7).

Variiert die Länge der einzelnen RR-Intervalle um mehr als 0,12 s, muss der Herzrhythmus als unregelmäßig bezeichnet werden.

Abb. 6: Beim normalen Sinusrhythmus ist der Abstand zwischen den R-Zacken über die gesamte Aufzeichnungskurve konstant.



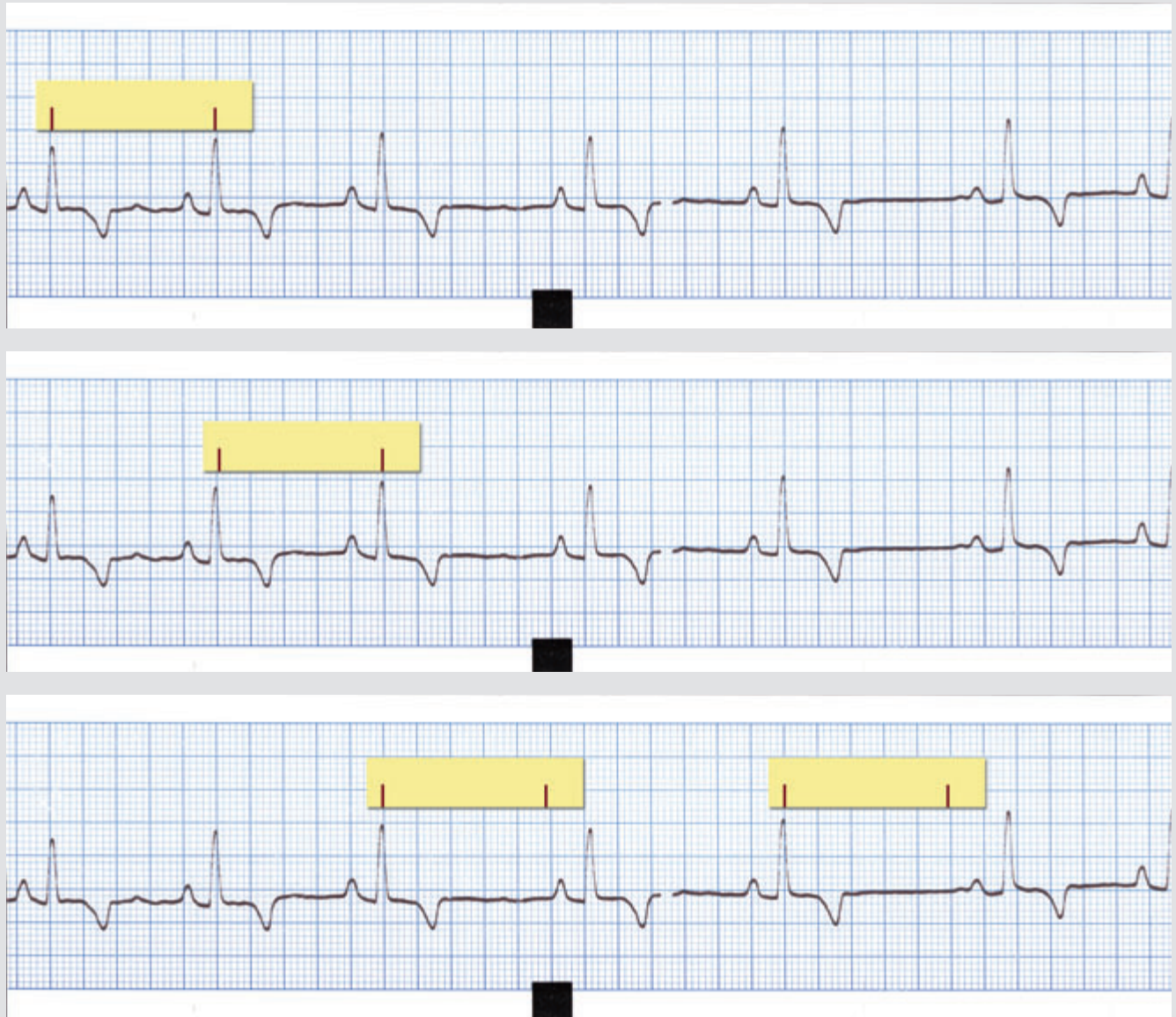


Abb. 7: Um einen Herzrhythmus als regelmäßig bezeichnen zu können, darf die Differenz zwischen zwei RR-Intervallen maximal 0,12 s betragen (6 Kästchen bei einer Schreibgeschwindigkeit von 50 mm/s). In diesem Fall liegt sie etwas darüber.

Wird ein unregelmäßiger Herzrhythmus festgestellt, ist zu überprüfen, ob die Schwankungen periodisch wiederkehren oder ob sie in ungeordneter, chaotischer Reihenfolge auftreten. So können unter Umständen vielleicht nach jeweils fünf kurzen Intervallen fünf lange Intervalle folgen oder nach je drei normalen Intervallen stets ein längeres RR-Intervall; oder aber es ist keinerlei »Ordnung« in den Schwankungen zu erkennen. Möglich sind also:

- Regelmäßige Arrhythmien.
- Unregelmäßige Arrhythmien (Abb. 8).

Die Unterscheidung zwischen diesen beiden Formen gelingt am leichtesten, wenn man versucht, das nächste RR-Intervall in einer Gruppe von Herzzyklen »vorherzusagen«. Ist dies möglich, liegen periodische Schwankungen des Herzrhythmus vor. Lässt sich jedoch das nächste Intervall nicht »vorhersagen«, handelt es sich um ungeordnete, unvorhersehbare Arrhythmien.

Gelegentlich und insbesondere in Fällen, wo nicht jedem QRS-Komplex eine P-Welle vorausgeht, kann es notwendig sein, den Vorhofrhythmus (Aufeinanderfolge von P-Wellen) und den Kammerrhythmus (Aufeinanderfolge von QRS-Komplexen) getrennt voneinander zu beurteilen. Dies erfolgt, wie bereits beschrieben, ebenfalls mithilfe des EKG-Zirkels oder durch Abzählen der Millimeterquadrate zwischen zwei aufeinanderfolgenden P-Wellen oder QRS-Komplexen.

Abb. 8: Hier ist eindeutig ein unregelmäßiger Herzrhythmus zu erkennen, wobei die Schwankungen zudem nicht vorhersagbar sind: Es handelt sich somit um eine unregelmäßige Arrhythmie.



Berechnung der mittleren elektrischen Herzachse

Die wichtigste Information, die uns die mittlere elektrische Herzachse (MEA) liefert, besteht einerseits in der Identifizierung einer etwaigen ventrikulären Vergrößerung sowie andererseits in der Beurteilung von Störungen der intraventrikulären Erregungsausbreitung.

Um zu verstehen, was die elektrische Herzachse ist, und um diese bestimmen zu können, müssen wir uns die elektrischen Vektoren in Erinnerung rufen, die zur Darstellung der im Rahmen eines Herzzyklus auftretenden Potenzialunterschiede verwendet werden. Der Herzzyklus wird in kurze zeitliche Abschnitte unterteilt und für jeden einzelnen wird der entsprechende Vektor berechnet. Anhand dieser Teilvektoren lässt sich die elektrische Herzachse bestimmen, die dem Hauptvektor entspricht, der die gesamte elektrische Herzaktivität während eines kompletten Herzzyklus repräsentiert.

Die elektrische Herzachse lässt sich im EKG nach drei bzw. vier mehr oder minder einfachen Methoden bestimmen: anhand der Ableitung mit der höchsten positiven R-Zacke, anhand der isoelektri-

schen Ableitung oder durch Berechnung des Vektors aus zwei beliebigen, im 90°-Winkel zueinander stehenden Ableitungen.

Die sicherlich genaueste, einfachste und gleichzeitig universell gültige Art und Weise der Bestimmung der elektrischen Herzachse ist die nach den mathematischen Tabellen von Tilley (Tilley-Tabelle). Nach diesem System ermittelt man die absoluten Werte von Ableitung I und Ableitung III, sucht diese in der Tabelle auf der x-Achse bzw. y-Achse auf und liest den MEA-Wert am Schnittpunkt dieser Koordinaten ab.

Diese Methode ist einfach, in allen Fällen gültig und exakter als andere Methoden, auch wenn letztere gelegentlich schneller zum Endergebnis führen.

In Ableitung I werden zunächst die positiven Kästchen des QRS-Komplexes ermittelt (z.B.: zehn positive Kästchen der R-Zacke). Danach summiert man alle negativen Kästchen des QRS-Komplexes (z.B.: zwei negative Kästchen für die Q-Zacke und vier für die S-Zacke, also insgesamt sechs negative Kästchen). Nun bildet man die Summe aus den zehn positiven Kästchen der R-Zacke und den sechs negativen Kästchen der Q- und S-Zacke: $(+10) + (-6) = +4$.

Gleiches wird für die Ableitung III durchgeführt, sodass man z. B. einen Wert von +8 erhält (Abb. 9). Nun sucht man die beiden Werte, also +4 für die Ableitung I und +8 für die Ableitung III auf der x-

bzw. y-Achse der Tabelle auf. Verfolgt man die beiden Koordinaten, so schneiden sie sich beim Wert von +71°. Das ist in unserem Beispiel die mittlere elektrische Herzachse (MEA). Die Tilley-Tabellen sind am Ende dieses Kapitels zu finden (TILLEY 1992). Sie ermöglichen die korrekte Bestimmung der MEA, vorausgesetzt die Werte für die Ableitungen I und III wurden richtig ermittelt.

Nachdem der MEA-Wert ermittelt ist, wenden wir uns dem hexaxialen System, einem mit sechs Achsen versehenen Kreis zu, dessen Zentrum schematisch über dem Herzen des Patienten liegt und der in Winkelintervallen von 30° in zwölf Sektoren eingeteilt ist. Dabei befindet sich 0° am rechten Schnittpunkt von Kreishalbierender und Umfang. In der oberen Kreishälfte liegen die 30°-Sektoren von -30° bis -180°, in der unteren Hälfte die entsprechenden Sektoren mit positivem Vorzeichen. Da der Wert von -180° mit dem von +180° zusammenfällt, bleibt er immer ohne mathematisches Vorzeichen (Abb. 10).

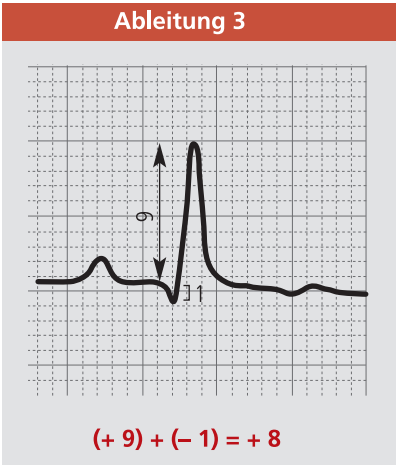
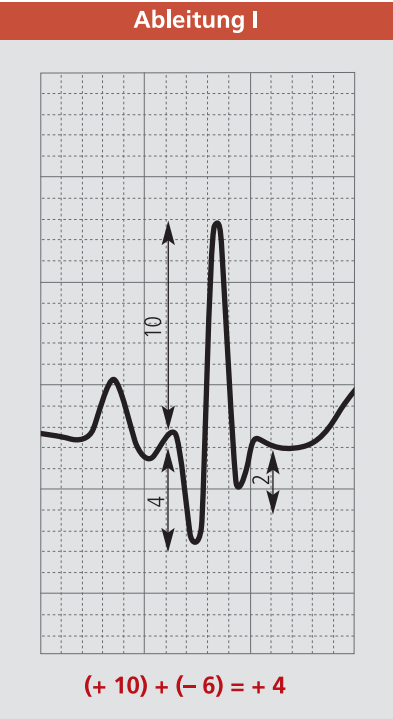


Abb. 9: Beispiel für die Bestimmung der elektrischen Herzachse anhand der TILLEY-Tabelle.

Summe Ableitung III, positiv	Summe Ableitung I, positiv													
	0,0	0,5	1,0	1,5	2,0	2,5	3,0	3,5	4,0	4,5	5,0	6,0	7,0	
0,0		30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	
0,5	90		60	49	44	41	39	38	37	36	35	35	34	
1,0	90	71		60	53	49	46	44	42	41	40	39	38	
1,5	90	76	67		60	55	52	49	47	45	44	43	41	
2,0	90	79	71	65		60	56	53	51	49	47	46	44	
2,5	90	81	74	68	64		60	57	54	52	51	49	47	
3,0	90	82	76	71	67	63		60	57	55	53	52	49	
3,5	90	83	78	73	69	66	63		60	57	55	54	47	
4,0	90	84	79	75	71	68	65	62		60	58	56	51	
4,5	90	85	80	76	73	69	67	64	62		60	58	55	
5,0	90	85	81	77	74	71	68	66	64	62		60	57	
6,0	90	86	82	79	76	73	71	69	67	65	63		60	
7,0	90	87	83	81	78	75	73	71	69	67	65	63		
8,0	90	87	84	82	79	77	75	73	71	69	67	65	63	
9,0	90	87	85	83	81	79	77	75	73	71	69	68	65	
10,0	90	88	85	83	80	78	76	74	73	71	69	68	65	
11,0	90	88	86	84	82	80	78	76	74	73	71	69	68	
12,0	90	88	86	84	82	80	78	76	74	73	71	69	68	
13,0	90	88	86	84	82	80	78	76	74	73	71	69	68	

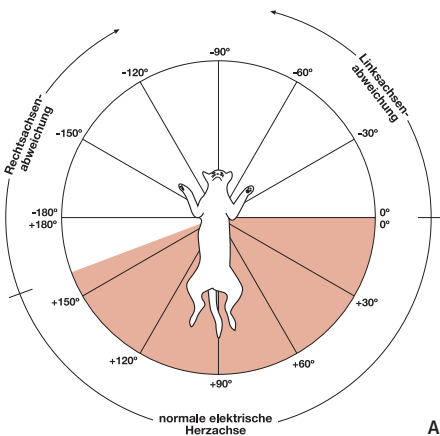
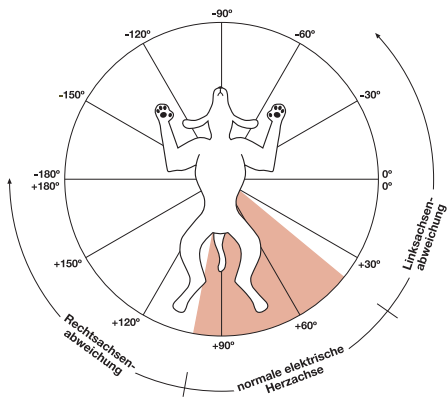


Abb. 10: Schema nach TILLEY (1992).

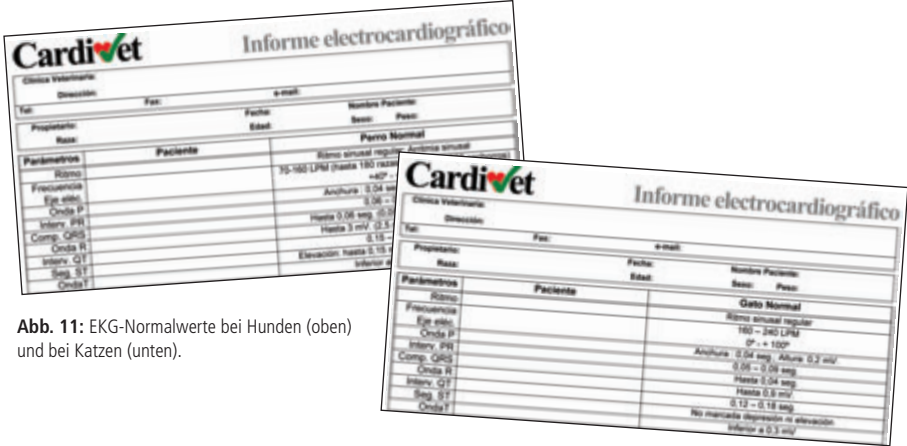


Abb. 11: EKG-Normalwerte bei Hunden (oben) und bei Katzen (unten).

- **Linksachsenabweichung:** Abweichung der elektrischen Herzachse nach links.
- **Rechtsachsenabweichung:** Abweichung der elektrischen Herzachse nach rechts.

Abbildung 11 zeigt beispielhaft je ein EKG-Befundblatt für Hund bzw. Katze, wie es vom Zentrum für kardiologische Ferndiagnostik der Autoren üblicherweise verwendet wird. Neben der Spalte für die Werte des jeweiligen Patienten sind in der rechten Spalte die physiologischen Normwerte angegeben.

Normbereich für die mittlere elektrische Herzachse	
Hund	+40° – +100°
Katze	0° – +160°

Messung von Wellen, Zacken und Intervallen

Bevor man darangeht, Wellen und Intervalle zu messen, müssen sowohl die Papiergeschwindigkeit als auch die Spannungsverstärkung im EKG bekannt sein.

Für EKG bei Hund und Katze beträgt die Papiergeschwindigkeit in der Regel 50 mm/s, obwohl manche französischen Autoren die Geschwindigkeit von 25 mm/s bevorzugen.

Beide Möglichkeiten weisen Vor- und Nachteile auf: Bei einem Papiervorschub mit 50 mm/s lässt sich jede einzelne Welle besser darstellen und genauer messen. Im Gegensatz dazu ist es bei einer Papiergeschwindigkeit von 25 mm/s einfacher, Rhythmusveränderungen zu erkennen und entsprechende Variationen Atmungsphasen bzw. Arrhythmien zuzuordnen.

Bei einer Schreibgeschwindigkeit von 25 mm/s entspricht jedes kleine Kästchen (1 mm) einem Zeitwert von 0,04 s, während bei einer Papiergeschwindigkeit von 50 mm/s ein Kästchen von 1 mm ein Zeitintervall von 0,02 s darstellt.

In gleicher Weise entspricht ein kleines Kästchen des Millimeterpapiers bei einer Spannungsverstärkung von einem Zentimeter pro Millivolt 0,1 mV (Eichzacke 10 mm/mV), während dies bei einer Einstellung auf 5 mm = 1 mV dem Wert von 0,2 mV entspricht. Bei einer doppelt so hohen Eichzacke (20 mm = 1 mV) steht jedes kleine Kästchen für 0,05 mV.

Elektrokardiographische Wellen

P-Welle

Die P-Welle entsteht durch die Erregungsausbreitung in den Vorhöfen. In der Regel besteht die P-Welle aus einem kleinen, glatten, runden Bogen, weist eine kleine Amplitude auf und bleibt in der Ableitung II auf der Seite der isoelektrischen Linie (positiv, monophasisch). P-Wellen können jedoch auch biphasisch (positiv und negativ) sein bzw. positiv mit einer zentralen Eindellung.

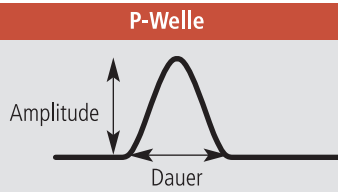


Abb. 12a: Die P-Welle ist in Ableitung II positiv. Gemessen wird die Breite (Dauer) und die Höhe (Amplitude) der Welle.

Definierte Maximalwerte für die P-Welle		
	Dauer	Amplitude
Hund	0,04 s	0,4 mV
Katze	0,04 s	0,2 mV

Zu messende Parameter

- **Dauer (Breite):** Die Breite der P-Welle wird innen an der Kurve gemessen, und zwar beginnend mit dem Abheben von der isoelektrischen Linie, d. h. in der Regel positiv in Ableitung II, bis zu der Stelle, wo die Kurve wieder zur Grundlinie zurückkehrt. Die Dauer wird in Sekunden ausgedrückt.
- **Amplitude (Höhe):** Die Amplitude wird in Ableitung II von der isoelektrischen Linie bis zum höchsten Punkt der Kurve gemessen, und zwar sowohl bei positiven wie auch bei negativen Wellen (Abb. 12a und 12b).

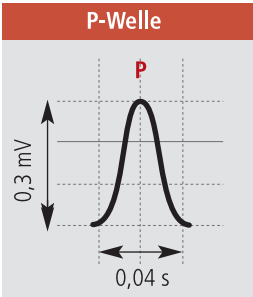


Abb. 12b: Beim Hund sollte die P-Welle die Dauer von 0,04 s (2 mm) und eine Amplitude von 0,4 mV (4 mm) nicht übersteigen.

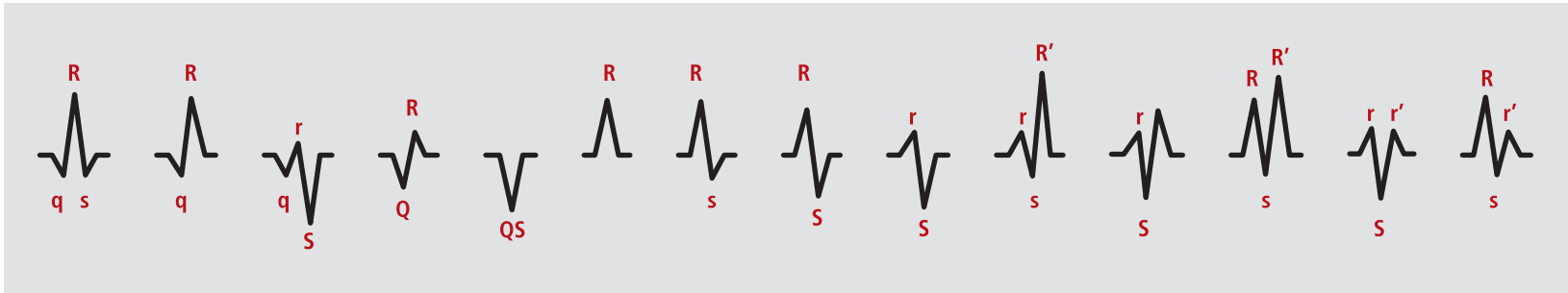


Abb. 13: Nomenklatur des QRS-Komplexes.

QRS-Komplex

Der QRS-Komplex ist Ausdruck der Erregungsausbreitung im Ventrikelmuskulatur (ventrikuläre Depolarisation). Dabei bilden sich folgende Zacken:

- **Q-Zacke:** Sie ist die erste Zacke mit negativem Ausschlag und geht der R-Zacke voraus.
- **R-Zacke:** Sie ist, in Ableitung II, die erste positive Zacke des QRS-Komplexes.
- **S-Zacke:** Sie folgt der positiven R-Zacke und hat einen negativen Ausschlag.

Nicht immer sind alle genannten Zacken tatsächlich vorhanden; am häufigsten fehlt die Q- oder die S-Zacke oder aber beide (Abb. 13). Ist keine R-Zacke vorhanden, ist die erste Bewegung im QRS-Komplex die Q-Zacke und man spricht von QS-Zacke oder QS-Komplex.

Die im EKG dargestellten Zacken werden mit Großbuchstaben bezeichnet, es sei denn, ihre Amplitude ist kleiner als 0,5 mV, dann sind sie mit einem Kleinbuchstaben beschriftet. Auf diese Art und Weise kann man folgende QRS-Komplexe erhalten: QRS, qRS, QrS, QRs, RS, QS, QR, rS, qR, Rs, Qr, bzw. eine weitere komplette Liste an Möglichkeiten, wenn nur negative Zacken vorliegen (Abb. 13).

Zu messende Parameter

- **Dauer (Breite):** Die Dauer wird von Beginn der Q-Zacke an (falls nicht vorhanden, von der ersten Abweichung von der Grundlinie an) bis zum Ende der S-Zacke (falls fehlend, bis zum Ende der R-Zacke) gemessen. Sie wird in Sekunden ausgedrückt.
- **Amplitude der Q-, R- und S-Zacken (Höhe):** von der Grundlinie bis zum jeweils höchsten Punkt, egal ob positiv oder negativ. In der Regel misst man nur die R-Zacken. Wie später noch ausgeführt werden wird, müssen die Q- und S-Zacken nur hinsichtlich einer Rechtsherzvergrößerung als Kriterien berücksichtigt werden. Die Amplitude wird in Millivolt ausgedrückt (Abb. 14a und 14b).

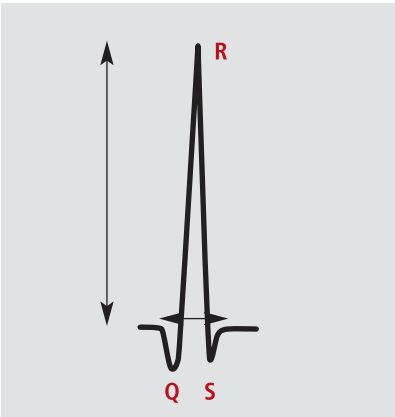


Abb. 14a: Der QRS-Komplex wird in seiner Breite (Dauer) vom Beginn der Q-Zacke an bis zum Ende der S-Zacke und in seiner Höhe (Amplitude) von der isoelektrischen Linie bis zum höchsten Punkt der R-Zacke gemessen.

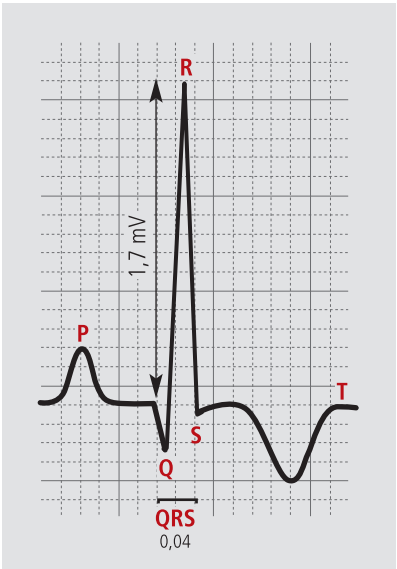


Abb. 14b: Die Dauer des QRS-Komplexes sollte beim Hund 0,05 s (0,06 bei großen Rassen) nicht übersteigen. Die Höhe der R-Zacke sollte maximal 2,5 mV betragen (3 mV bei großen Rassen).

Definierte Maximalwerte für den QRS-Komplex		
	Dauer QRS	Amplitude R-Zacke
Hund	0,05 s (kleine Rassen)	2,5 mV (kleine Rassen)
	0,06 s (große Rassen)	3 mV (große Rassen)
Katze	0,04 s	0,9 mV

T-Welle

Die T-Welle hat nach dem QRS-Komplex die zweitgrößte Amplitude. Sie ist der letzte Ausschlag in einem Herzzyklus und stellt die Erregungsrückbildung im Ventrikelmuskulatur (ventrikuläre Repolarisation) dar. Die T-Welle kann sehr unterschiedlich ausgeprägt sein, und zwar positiv, negativ oder biphasisch.

Gemessen wird ihre Amplitude, beginnend an der isoelektrischen Linie bis zum höchsten Punkt, und zwar egal, ob positiv oder negativ. Sie sollte 25 % der R-Höhe nicht übersteigen. Auch sie wird in Millivolt ausgedrückt (Abb. 15 und 16).

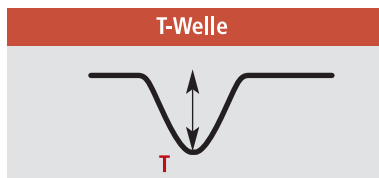


Abb. 15: Bei der T-Welle wird die Amplitude beginnend an der isoelektrischen Linie bis zum höchsten Punkt, und zwar egal ob positiv oder negativ, gemessen.

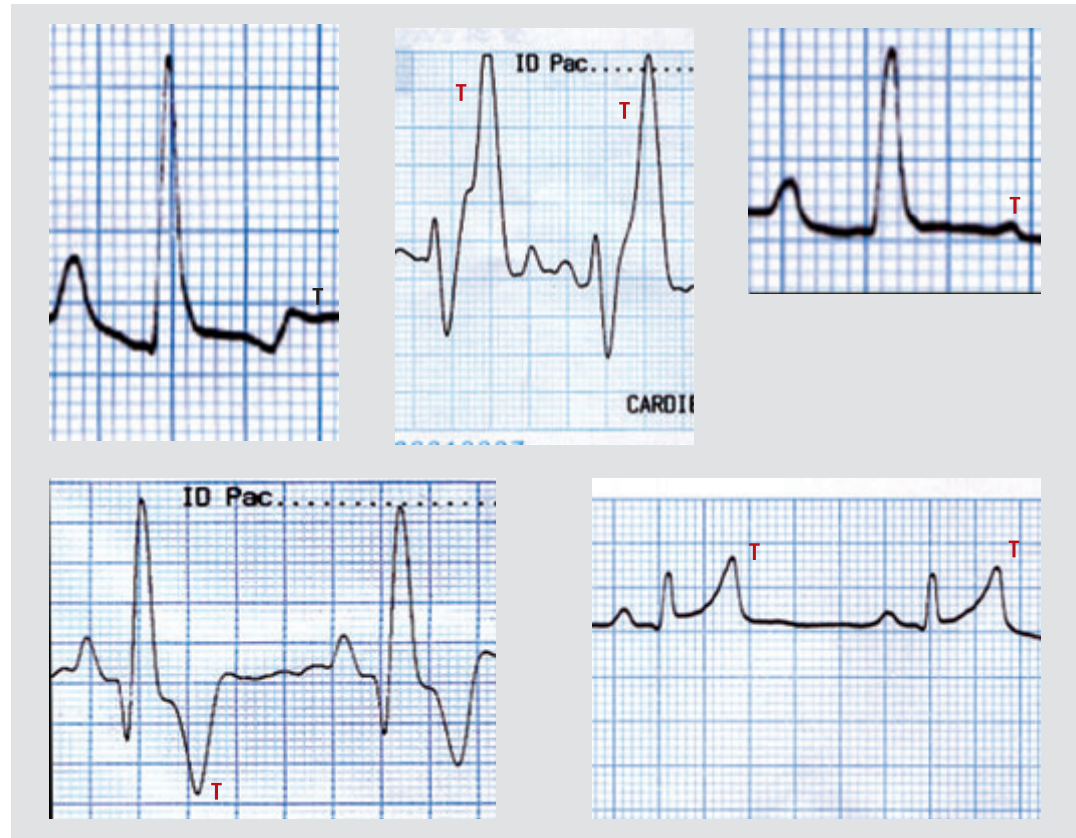


Abb. 16: Die T-Welle kann sehr unterschiedlich ausgeprägt (positiv, negativ oder biphasisch) bzw. unspezifisch sein. Sie kann bei ein und demselben Patienten selbst in kürzester Zeit ihre Morphologie grundlegend ändern.

Elektrokardiographische Intervalle

PR-Intervall

Dieses Intervall reicht vom Beginn der P-Welle bis zum Beginn der Q-Zacke, und sollte daher korrekterweise als PQ-Dauer bezeichnet werden. Ist keine Q-Zacke vorhanden, wird auch die PQ-Dauer (das PR-Intervall) bis zum Beginn der R-Zacke gemessen.

Dieses Intervall beschreibt die Zeit, die der elektrische Stimulus benötigt, um den gesamten supraventrikulären Anteil des Herzens zu durchlaufen: vom Sinusknoten bis zum AV-Knoten (Abb. 17).

Normbereich für das PR-Intervall	
Hund	0,06 – 0,13 s
Katze	0,05 – 0,09 s

QT-Intervall

Dieses Intervall umfasst die gesamte Zeitdauer der De- und Repolarisation der Ventrikel und entspricht der Kammersystole.

Gemessen wird vom Beginn der Q-Zacke (bzw. der R-Zacke, falls Q fehlt) bis zum Ende der T-Welle (Abb. 18).

Die Dauer des QT-Intervalls ist indirekt proportional zur Herzfrequenz: je höher die Frequenz, desto kürzer die QT-Dauer; je niedriger die Herzfrequenz, desto länger das QT-Intervall.

Normbereich für das QT-Intervall	
Hund	0,15 – 0,25 s
Katze	0,12 – 0,18 s

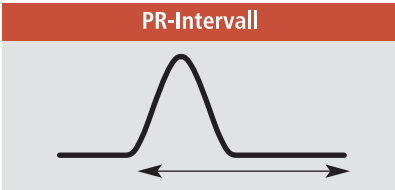


Abb. 17: Das PR-Intervall wird vom Beginn der P-Welle bis zum Beginn der ersten Welle (Q-Zacke) des QRS-Komplexes gemessen.

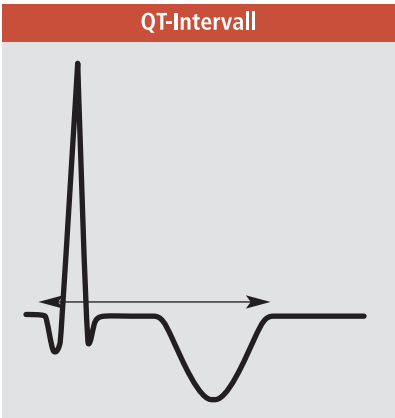


Abb. 18: Das QT-Intervall wird vom Beginn des QRS-Komplexes an bis zum Ende der T-Welle gemessen.