

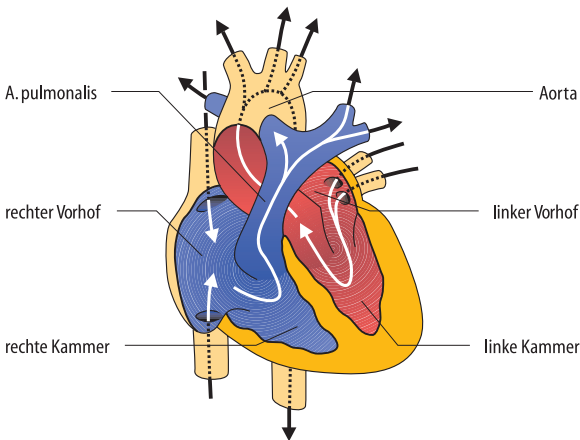
## 5 Herzfunktion

Das Herz (■ Abb. 5.1) stellt ein vierkammeriges, muskuläres Hohlorgan dar, dessen Pumpwirkung auf der rhythmischen Erschlaffung und Kontraktion der Herzmuskulatur beruht.

### Merke

In der **Diastole** füllen sich die Herzkammern (Ventrikel) mit Blut, in der **Systole** werfen sie es unter Druckentwicklung in die angeschlossenen großen Arterien aus. Dabei pumpt der rechte Ventrikel das Blut über den Truncus pulmonalis in den Lungenkreislauf, der linke Ventrikel über die Aorta in den Körperkreislauf.

Ein Rückstrom wird durch die Ventilwirkung der Herzklappen verhindert. Jeder Herzkammer ist ein Vorhof (Atrium) vorgeschaltet, der das Blut aus den zuleitenden Venen (Vv. cavae bzw. Vv. pulmonales) aufnimmt. Die Sys-



■ **Abb. 5.1. Frontalansicht des eröffneten Herzens und der angeschlossenen Gefäße.** Die Richtung der Blutströmung ist durch Pfeile gekennzeichnet

tole der Vorhöfe geht jeweils der Ventrikelsystole voraus und unterstützt in geringem Maße die Füllung der Kammern. Dieser gesetzmäßige Kontraktionsablauf wird durch die Erregungsausbreitung über die Herzmuskulatur (Myokard) gesteuert.

## 5.1 Erregungsprozesse im Herzen

### 5.1.1 Erregungsbildung und Erregungsausbreitung

Morphologisch und funktionell unterscheidet man zwei Typen von Herzmuskelfasern:

- Fasern des **Arbeitsmyokards** für die Pumparbeit (Hauptmasse),
- Fasern des spezifischen **Erregungsbildungs-** und **Erregungsleitungssystems** für die Herzerregung.

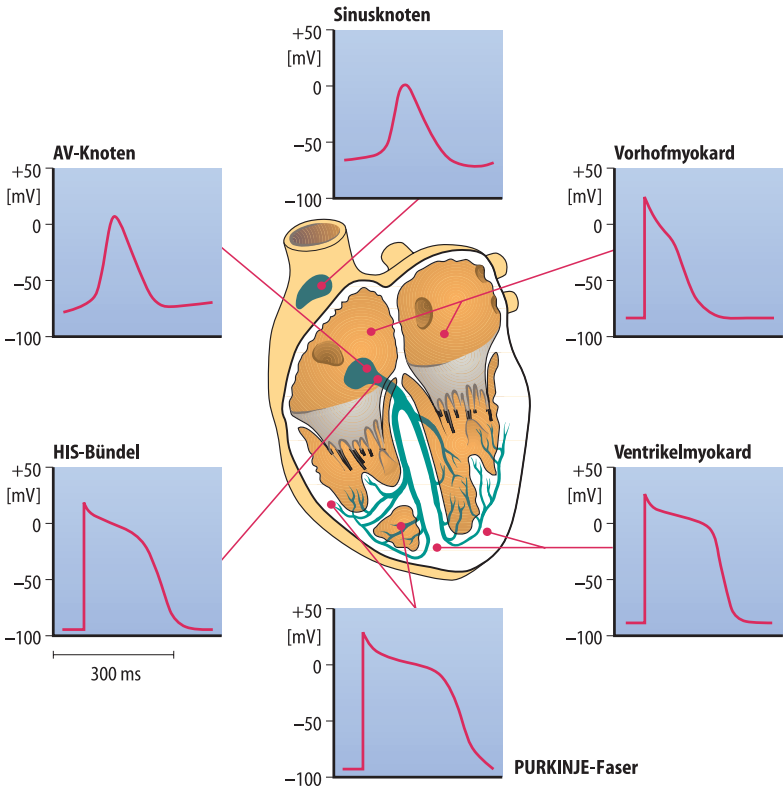
#### Autorhythmie

Die Herzmuskelfasern besitzen wie die Nervenzellen und die Skelettmuskelfasern die Eigenschaft der Erregbarkeit: Sie haben ein Ruhepotential und sind in der Lage, Erregungen in Gestalt von Aktionspotentialen fortzuleiten. Bestimmte Anteile der Herzmuskulatur, die Fasern des Erregungsbildungs- und Erregungsleitungssystems (▣ Abb. 5.2) sind außerdem dazu befähigt, spontan Erregungen zu bilden. Die spezialisierten Fasern dieses Systems sind im Vergleich zur übrigen Herzmuskulatur (Arbeitsmyokard) ärmer an Fibrillen und Mitochondrien, aber reicher an Sarkoplasma und Glykogen.

#### Merke

Die rhythmischen Aktionen des Herzens werden von Erregungen ausgelöst, die normalerweise im **Sinusknoten** (Sinuatrial-Knoten, KEITH-FLACK-Knoten) entstehen.

Hierbei handelt es sich um ein 15 mm langes und 2 mm dickes Muskelzellgeflecht, das im rechten Vorhof an der Einmündung der V. cava superior lokalisiert ist. Die Fähigkeit dieser Zellen, in bestimmten Zeitabständen spontan Erregungen zu bilden, stellt die Grundlage für die Selbststeuerung der Herzschlagfolge (Autorhythmie, Automatie) dar.



■ **Abb. 5.2.** Erregungsbildungs- und Erregungsleitungs-system des Herzens (grün) mit den Aktionspotentialformen, die für die jeweiligen Fasern charakteristisch sind (► Kap 5.1.2)

## Erregungsausbreitung

Vom Sinusknoten breitet sich die Erregung zunächst radiär über das Arbeitsmyokard beider Vorhöfe (mit einer Geschwindigkeit von 0,6–1 m/s) aus und greift dann auf den *Atrioventrikularknoten* (**AV-Knoten**, ASCHOFF-TAWARA-Knoten) über, der sich am Boden des rechten Vorhofs in Septumnähe dicht bei der Sinus-coronarius-Mündung befindet. Im AV-Knoten ist die Geschwindigkeit der Erregungsleitung wegen des geringen Faserdurchmessers und des fehlenden schnellen  $\text{Na}^+$ -Einwärtsstroms relativ niedrig (0,05–0,1 m/s).

## 5.1 · Erregungsprozesse im Herzen

Durch diese Verzögerung bei der AV-Überleitung (»Nadelöhr«) wird gewährleistet, dass die Kammerkontraktion erst nach Beendigung der Vorhofsystole beginnen kann.

Vom AV-Knoten aus erreicht die Erregung den Stamm des **HIS-Bündels**, der das bindegewebige Herzskelett durchbricht und die einzige erregungsleitende Verbindung zwischen Vorhöfen und Kammern darstellt. Das HIS-Bündel teilt sich nach einigen Millimetern in den rechten und den linken **Kammerschenkel** (TAWARA-Schenkel), die beiderseits in der Kammerscheidewand unter dem Endokard zur Basis der Papillarmuskeln ziehen, wobei sich der linke Schenkel in einen vorderen und hinteren **Faszikel** aufteilt. Die Endaufzweigungen des Systems bilden die **PURKINJE-Fasern**, die ohne deutliche Grenzen in das Arbeitsmyokard übergehen. Der Weg vom HIS-Bündel bis zu den PURKINJE-Fasern wird auf Grund des relativ großen Faserdurchmessers mit hoher Erregungsleitungsgeschwindigkeit (2–4 m/s) überwunden.

Auf diese Weise gelangt die Erregung nahezu gleichzeitig zu vielen Orten der subendokardialen Myokardschichten, um sich von dort langsamer (0,5–1 m/s) über das gesamte Arbeitsmyokard auszubreiten. Da alle Myokardfasern schnell nacheinander über **Gap Junctions** (Nexus) von der Erregung erfasst werden (Alles-oder-Nichts-Gesetz der Erregungsausbreitung), erfordert der Ausbreitungsvorgang in der Ventrikelmuskulatur nur eine Zeit von etwa 70 ms.

### Hierarchie der Erregungsbildungszentren

Obwohl normalerweise der Antrieb der Herzaktion vom Sinusknoten ausgeht (primäres Erregungsbildungszentrum), sind auch die übrigen Teile des spezialisierten Erregungsleitungssystems zur rhythmischen Erregungsbildung befähigt. Die Frequenz der Erregungsfolge, die im Sinusknoten bei Körperruhe 60–80 min<sup>-1</sup> beträgt (**Sinusrhythmus**), nimmt jedoch mit der Entfernung vom primären Zentrum ab. Daher wird die langsamere Erregungsbildung der nachgeordneten Zentren in der Regel überspielt und dem gesamten System der Sinusrhythmus aufgezwungen.

Wenn jedoch der Sinusknoten ausfällt oder die Erregung nicht auf die Vorhöfe weitergeleitet wird (sinuatrialer Block), so kann ersatzweise der Atrioventrikularknoten mit einer Eigenfrequenz von 40–60 min<sup>-1</sup> (**AV-Rhythmus**) die Schrittmacherfunktion übernehmen (sekundäres Erregungsbildungszentrum). Kommt es zu einer totalen Unterbrechung der Erregungsüberleitung von den Vorhöfen auf die Ventrikel (totaler Herzblock), dann


**■ Tabelle 5.1. Formen der Erregungsleitungsstörung und ihre Folgen (Auswahl)**

Erregungsleitungsstörung	führt infolge	zu
AV-Block I. Grades	verzögerter Überleitung im AV-Knoten ( $> 0,2$ s)	verspätet einsetzenden Ventrikelkontraktionen
AV-Block II. Grades (partieller AV-Block)	Ausfall einzelner AV-Überleitungen	unregelmäßiger Folge der Ventrikelkontraktionen
AV-Block III. Grades (totaler Herzblock)	vollständiger Unterbrechung der AV-Überleitung	Dissoziation von Vorhofkontraktionen (im Sinusrhythmus) u. Ventrikelkontraktionen (im Kammerhythmus)
Schenkelblock	Unterbrechung der Erregungsleitung in einem Kammschenkel	untypischer Erregungs- und Kontraktionsausbreitung in den Ventrikeln

besteht die Möglichkeit, dass ein tertiäres Erregungsbildungszentrum im ventrikulären Leitungssystem mit einer Frequenz von  $25\text{--}40\text{ min}^{-1}$  (**Kammerrhythmus**) als Schrittmacher der Ventrikelaktion eintritt.

## Störungen der Erregungsausbreitung

Die Erregungsleitung kann unter pathologischen Bedingungen an bestimmten Orten verzögert ablaufen oder auch partiell bzw. total unterbrochen sein. Eine solche **Erregungsleitungsstörung** ⚠, die allgemein als **Block** bezeichnet wird, führt u. U. zu einer Herzrhythmusstörung (Arrhythmie). In ■ Tabelle 5.1 sind verschiedene Formen des Leitungsblocks und ihre Auswirkungen zusammengestellt.

**Künstliche Herzschrittmacher.** Stark ausgeprägte Störungen der Erregungsbildung bzw. Erregungsleitung können – sofern eine ausreichende Kontraktionskraft des Myokards erhalten ist – durch Implantation von künstlichen Schrittmachern behandelt werden. Ein solcher subkutan implantierter, miniaturisierter Impulsgenerator erzeugt Stromimpulse, die über Kabelelektroden zum Herzen gelangen und dieses zu rhythmischen Kontraktionen veranlassen. Schrittmacher schalten sich nur ein, wenn die Spontanaktivität des Herzens unterbrochen ist (Demand-Schrittmacher). Nach der Funktionsweise unterscheidet man:

- starrfrequente Schrittmacher mit einstellbarer, aber fixierter Impulsfrequenz (im Allgemeinen mit  $70\text{ min}^{-1}$ ),
- frequenzadaptive Schrittmacher, deren Impulsfrequenz sich automatisch an die Belastungssituation anpasst.