

Rhythmusoptimierung für Herzschrittmacher

Entscheidungsunterstützungssysteme



Proseminar Künstliche Intelligenz

Sommersemester 2006

von

Arjen van der Ploeg

Abstract

Die Reprogrammierung eines Herzschrittmacher kann im wesentlichen verglichen werden, mit der Auswahl der richtigen Einstellungen für das verwendete Gerät. Die für diese Tätigkeit notwendigen Informationen, werden aus den gewonnenen Daten des Herzschrittmachers selbst, sowie vom Anwender, in diesem Fall meistens ein Kardiologe, erhoben.

Die künstliche Intelligenz findet in diesem Zusammenhang Verwendung, durch Einführung eines Entscheidungsunterstützungssystems. Das Auswerten der gesammelten Informationen kann durch ein Wissensrepräsentationssystem erfolgen. Die beobachteten Phänomene sind meistens Symptome bestimmter Fehleinstellungen des Herzschrittmachers oder Krankheiten des Herzens, welche fast immer auf bereits bekannte Ursachen zurückzuführen sind. Die strukturierte Form des Wissens lässt sich also in einfachen Algorithmen darstellen.

Die Algorithmen machen sich moderne Entscheidungsunterstützungssysteme zu nutze, indem dem Anwender, also dem Programmierer des Herzschrittmachers, die möglichen Ursachen und die hierfür geeigneten Lösungen bereits vorgeschlagen werden. Aus den beobachteten Symptomen resultiert das Wissensrepräsentationssystem durch geeignete Beweisformeln die Fehlerursache.

Die Repräsentation der Informationen erfolgt hierbei durch die Hornformeln. Um diese nun geeignet verwenden zu können werden weitere Funktionen benötigt, welche diese in Zusammenhang setzen. Hierzu verwendet man die so genannten Beweisformeln, um so ein Modell zu erhalten, welches das Wissen geeignet repräsentiert.

Durch diese Art der Unterstützung des Kardiologen, soll die verwendete Zeit zur Reprogrammierung eines Herzschrittmachers, von bisher 30 Minuten auf ca. 5 Minuten, reduziert werden.



Inhaltsverzeichnis

1. Einleitung.....	3
2. Das Herz.....	3
2.1 Struktur und Funktion des Herzens.....	3
2.2 Krankheiten des Herzens.....	4
3. Der Herzschrittmacher.....	4
3.1 Struktur und Funktion des Herzschrittmachers.....	4
3.2 Probleme mit Herzschrittmachern.....	5
3.3 Programmierer des Herzschrittmachers.....	5
4. Wissensrepräsentation.....	5
4.1 Modell-basierende Herzschrittmacher Reprogrammierung.....	5
4.2 Wissensrepräsentation durch Beweisformeln.....	6
4.3 Wissensrepräsentation durch Ursachen-Spezifikation.....	7
4.4 Diagnose Strategien.....	9
5. Zusammenfassung.....	10
5.1 Ergebnisse.....	10
5.2 Kritik.....	10
6. Anhang.....	11
6.1 Literaturnachweis.....	11
6.2 Abbildungsnachweis.....	11



1. Einleitung

Bei Erkrankungen des Herzmuskels werden häufig Herzschrittmacher verwendet, um eine korrekte Funktion des Herzens weiter zu gewährleisten. Nach der Implantation des Gerätes ist es nötig, dass dieses mit korrekten Einstellungen programmiert wird. Nach der Erstprogrammierung muss eine regelmäßige Reprogrammierung erfolgen. Es wurde zum Teil beobachtet, dass implantierte Geräte mit den Werkseinstellungen verwendet wurden. Dieser Missstand verursacht bei den meisten Patienten eine nicht optimale Behandlung Ihres Leidens. Aufgrund der fehlerhaften Einstellungen, kann es zu Erkrankungen führen, welche durch den Herzschrittmacher verursacht werden, bekannt als das „Herzschrittmacher Syndrom“.

Die Herzschrittmacherreprogrammierung ist eine Prozedur, welche nach Implantation des Gerätes im Abstand von 6 Monaten wiederholt werden muss. Dabei ist es wichtig, dass beim Programmierer für diese Tätigkeit ausreichend Zeit und Wissen vorhanden sind. Das Fehlen einer dieser Komponente führt meist dazu, dass die Einstellungen des Herzschrittmachers nicht optimal sind.

Das erklärte Ziel, durch Einführung eines Entscheidungsunterstützungssystems, ist es den Zeitverbrauch dieser Prozedur von einer bisherigen Sitzungsdauer von mindestens 30 Minuten auf ungefähr 5 Minuten zu senken.

Hilfreich ist, dass sich messbare Beobachtungen und mögliche Ursachen in Beweisfunktionen repräsentieren lassen. Darauf aufbauende Wissensrepräsentationssysteme sollen nun dem Kardiologen helfen schnell eine geeignete Programmierung des Herzschrittmachers zu finden, um so das angestrebte Ziel zu erreichen.

2. Das Herz

2.1 Struktur und Funktion des Herzens

Das menschliche Herz kann als Pumpe des Blutkreislaufsystems betrachtet werden. Es befördert durch regelmäßige Herzschläge, ungefähr 75 mal in der Minute, das Blut durch die Arterien und Venen. Hierbei wird sauerstoff- und nährstoffreiches Blut zu den Zellen des Körpers durch die Arterien befördert, sowie Kohlendioxid und Zellmüll aus diesen abtransportiert.

Das Herz wird durch ein komplexes Nervensystem zu einer regelmäßigen Kontraktion stimuliert, hierbei wird von einem Nerven, dem Sinusknoten, ein so genanntes Aktionspotential mit einer bestimmten elektrischen Spannung gefeuert. Durch dieses Potential erregt, kontrahieren nun die Muskeln der Vorhöfe, dabei wandert das Signal zum Atrioventrikularknoten, oberhalb der Hauptkammern. Gleichzeitig strömt nun das Blut aus den Vorhöfen des Herzens in die Hauptkammern. Der Atrioventrikularknoten feuert nun, nach Stimulierung durch den Sinusknoten, einen elektrischen Impuls, welcher über Nervenbahnen sich über die gesamten Hauptkammern ausbreiten und diese zur Kontraktion bringen. Dieses Zusammenziehen des Ventrikelmuskels drückt das Blut in die Arterien des Blutkreislaufsystems.

In der folgenden Abbildung kann man den Impulsverlauf erkennen, der Blau dargestellte Sinusknoten feuert auf den grünen Bahnen das Aktionspotential. Nun durch den Impuls stimuliert reagiert der Atrioventrikularknoten, hier gelb, und leitet seinerseits ein Signal auf den Roten ins Violett laufende Bahnen weiter.

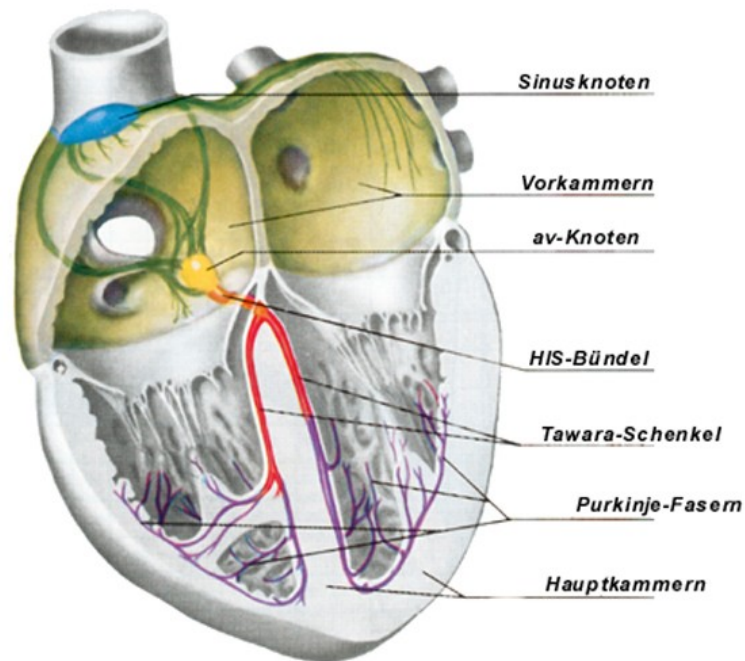


Abbildung 1: Das Herz

2.2 Krankheiten des Herzens

Es existieren viele Krankheiten die mit dem Herzen in Verbindung stehen, welche dazu führen können, dass die Herzschläge in zu geringer Frequenz erfolgen. Diese Gruppe der Erkrankungen wird auch als Bradykardia bezeichnet. Die zahlreichen Gründe für ein solches Krankheitsbild sind das nicht Erreichen des Aktionspotentials oder Fehler im Signalweg. In fast allen diesen Fällen wird ein Herzschrittmacher implantiert, um die korrekte Funktion des Herzens zu gewährleisten. Aber auch medikamentöse Behandlungen finden teilweise Anwendung.

3. Der Herzschrittmacher

3.1 Struktur und Funktion des Herzschrittmachers

Ein Herzschrittmacher ist ein kleines, ungefähr feuerzeuggroßes Gerät, wobei es unter anderem einen Mikroprozessor, eine Batterie und den Pulsgenerator beinhaltet. Das Gerät wird meist im oberen Brustkorb des Patienten implantiert. Von dort führt eine isolierte Leitung zur inneren Oberfläche des Herzens.

Seine Aufgabe besteht darin, an dieser Stelle des Herzens das so genannte Aktionspotential zu erzeugen und somit eine korrekte Funktion des Herzmuskels zu gewährleisten. Die moderneren Geräte sind auch in der Lage, Daten über eine gewisse Zeitperiode zu sammeln, um Aufzeichnungen besonderer Vorkommnisse zu speichern. Des Weiteren sind die Geräte in der Lage, sich der Belastung des Kreislaufes, durch eine so genannte „Rate responsiveness“ anzupassen, was soviel bedeutet, dass die Frequenz der Belastung des Körpers angeglichen wird. Ebenso gibt es Herzschrittmacher, welche Mini-Defibratoren besitzen, um bei Herzstillstand den Muskel zu stimulieren.

3.2 Probleme mit Herzschrittmachern

Unsachgemäße Programmierung oder fehlerhafte Herzschrittmacher, sind in der Lage, Patienten erkranken zu lassen. Das so genannte Herzschrittmacher Syndrom, wird meist durch eines der folgenden drei Symptome erkannt:

- **„atrial oversensing“**: Ein Signal vom Sinusknoten wurde nicht erkannt und somit kein Aktionspotential vom Herzschrittmacher erzeugt.
- **„atrial undersensing“**: Der Herzschrittmacher erzeugt aufgrund eines Signals, welches nicht vom Sinusknoten stammt, ein Aktionspotential.
- **„loss of atrial capture“**: Der Herzschrittmacher erzeugt ein Signal, welches ein zu geringes Potential besitzt.

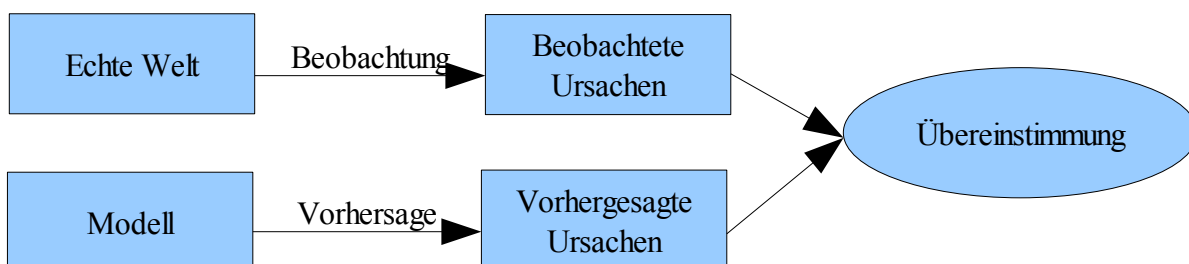
3.3 Programmierer des Herzschrittmachers

Implantierte Herzschrittmacher werden mittels Telemetrie programmiert. Dafür wird über der Haut eine Sonde platziert, mit Hilfe derer ein so genannter Herzschrittmacherprogrammierer die gesammelten Daten aus dem Gerät auslesen kann. Mit diesem terminalähnlichen Gerät kann der Kardiologe nun die bisherigen Einstellungen, Patientendaten, Histogramme ablesen. Anhand dieser Informationen wird die Diagnose des Patienten erstellt und der Anwender kann anschließend die Einstellungen des Gerätes am Terminal neu anpassen und sendet die neuen Parameter an den implantierten Herzschrittmacher.

4. Wissensrepräsentation

4.1 Modell-basierende Herzschrittmacher Reprogrammierung

Die Theorie der Modell-basierende Diagnose ermöglicht es, ein System zum Finden abnormalen Verhaltens zu entwerfen. Die Reprogrammierung eines Herzschrittmachers kann als „Suchen“ geeigneter Einstellungen betrachtet werden, welche es dem Patienten ermöglichen sollen, ein Leben ohne auffällige Beeinträchtigungen zu führen. Dieses System soll durch die aufgezeichneten Daten des Herzschrittmachers, eine geeignete Vorhersage über die vorliegenden Probleme des Patienten treffen.





Die Abbildung soll verdeutlichen, wie dieses Modell arbeiten soll. Die Informationen aus dem Herzschrittmacher werden anhand des in dem Programmierer abgelegten Wissenssystems analysiert, so dass das System zu einer Vorhersage über die Ursache des Fehlverhalten des Herzens kommt. Diese muss noch mit Diagnosen oder Beobachtungen der „realen Welt“ verglichen werden. Wird die Vorhersage bestätigt, wurde das Problem gefunden und eine geeignete Lösung kann realisiert werden.

4.2 Wissensrepräsentation durch Beweisformeln

Um das vorhandene Wissen korrekt zu formulieren, bedient man sich der Hornformeln, welche den Sachverhalt exakt ausdrücken soll. Folgende Definitionen gelten:

- **Literale** werden durch ein Zeichen dargestellt, und sollen repräsentativ für ein Defekt (d) oder eine Ursache (f) stehen. Tritt dieses Zeichen nun in einer Formel auf so spricht man von einem vorhandenen Defekt (d) oder einer vorhandenen Ursache (f). Literale können auch negiert werden, dies wiederum bedeutet, dass der Defekt oder die Ursache nicht vorhanden ist.

$$d, \neg d, f, \neg f$$

- **Disjunktion** stellt eine Formel aus Literalen dar. Hier werden diese einfach oder negiert mit dem logischen oder (\vee) verknüpft. Eine Disjunktion könnte wie folgt aussehen:

$$\neg d_1 \vee \dots \vee \neg d_n \vee f$$

- **Implikation** ist eine Umformung der Disjunktion. Eine Oder-Verknüpfung mit nur einem positiven Literal lässt sich durch umformen auch als Implikation darstellen. Diese ist meist auch einfacher verständlich.

$$d_1 \wedge \dots \wedge d_n \rightarrow f$$

- **Hornformeln** bestehen aus höchstens einem positiven Literal und können sowohl als Disjunktion, als auch als Implikation dargestellt werden. Bei der hier verwendeten Darstellung als Folgerung, werden die negativen Literale positiv konjugiert aneinander gereiht und das einzige positive Literal als Folge der Implikation beschrieben, wie folgt.

$$d_1 \wedge \dots \wedge d_n \rightarrow f$$



Das durch diese Formeln repräsentierbare Wissen, ist nun so zu verwenden, dass die Literale d_n die festgestellten Defekte und f die gefundene Ursache darstellen. Die Literale der Formeln setzen sich aus den gefundenen Defekten zusammen. Dabei symbolisiert d einen gefundenen Defekt und $\neg d$ einen nicht vorhandenen Defekt. Dies gilt analog auch für die Ursachen f und $\neg f$. Diese einzelnen Hornformeln repräsentieren nun die auftretenden oder auch nicht auftretenden Defekte je einer Ursache. Es ist weiter möglich, dass eine Beweisformel nicht nur eine Ursache implizieren kann, sondern auch einen folgenden Defekt.

$$d_1 \wedge \dots \wedge d_n \rightarrow d$$

4.3 Wissensrepräsentation durch Ursachen-Spezifikation

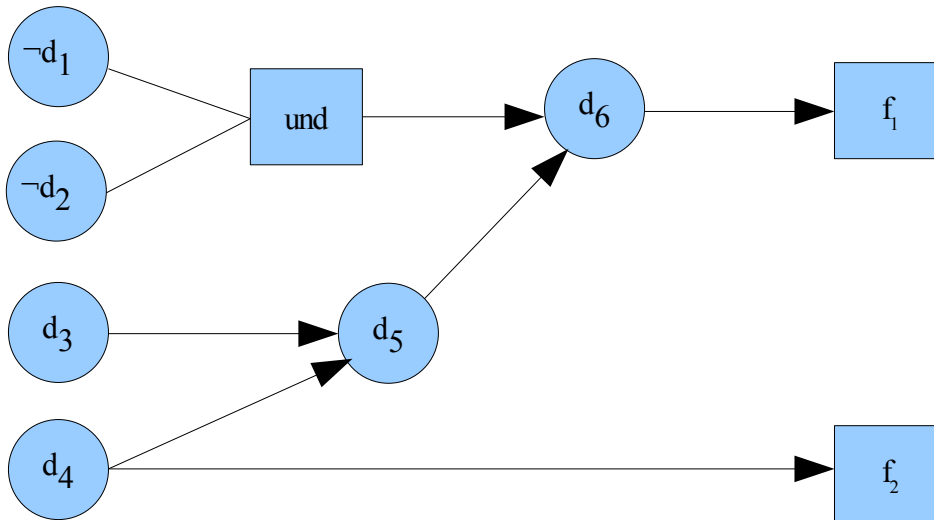
Nun ist eine solche Hornformel nur in der Lage eine Ursache zu beschreiben, was bei der Komplexität der möglichen Ursachen für abnormales Verhalten seitens des Herzens nicht genügt. Die Definition der Ursachen-Spezifikation:

$$C = (\Delta , \Phi , \mathcal{R})$$

- Δ bezeichnet hier die Menge möglicher positiver und negativer Defekte.
- Φ bezeichnet die Menge möglicher positiver und negativer Ursachen.
- \mathcal{R} bezeichnet eine Menge von Hornformeln, welche ein Ursachenmodell für abnormales Verhalten repräsentieren.

In diesem Fall symbolisiert C eine Ursachen-Spezifikation, welche aus allen gegebenen Defekten, alle möglichen resultierenden Ursachen beschreibt. Diese Spezifikation ist in sich konsistent, so ist es nicht möglich, dass ein Set von Defekten d_n aus der Menge Δ nur eine Ursache f oder deren Negation $\neg f$ aus der Menge Φ implizieren kann. Jedoch ist es denkbar, dass ein und dasselbe Set von Defekten d_n auf mehrere Ursachen folgert. In diesem Fall sind vom Anwender weitere Diagnosestrategien zu verfolgen, um letztendlich die richtige Ursache zu finden.

Im folgenden ein kleines Beispiel einer solchen Ursachen-Spezifikation. Hierbei handelt es sich um eine schematische Repräsentation einer möglichen Formel:



- d_1 := richtiger Herzrhythmus.
- d_2 := Vorhofreaktion auf Herzschlag.
- d_3 := Schaden in Isolation der Kabel-Leitung des Herzschrittmachers.
- d_4 := Messung eines nicht vom Herzen stammenden Potentials.
- d_5 := Reaktion des Herzschrittmachers auf nicht vom Sinusknoten stammende Signale.
- d_6 := Arterien und Venen asynchron. Venöses Blut strömt zurück in die Arterien.

f_1 := Herzschrittmacher Syndrom

f_2 := Spitze im Histogramm

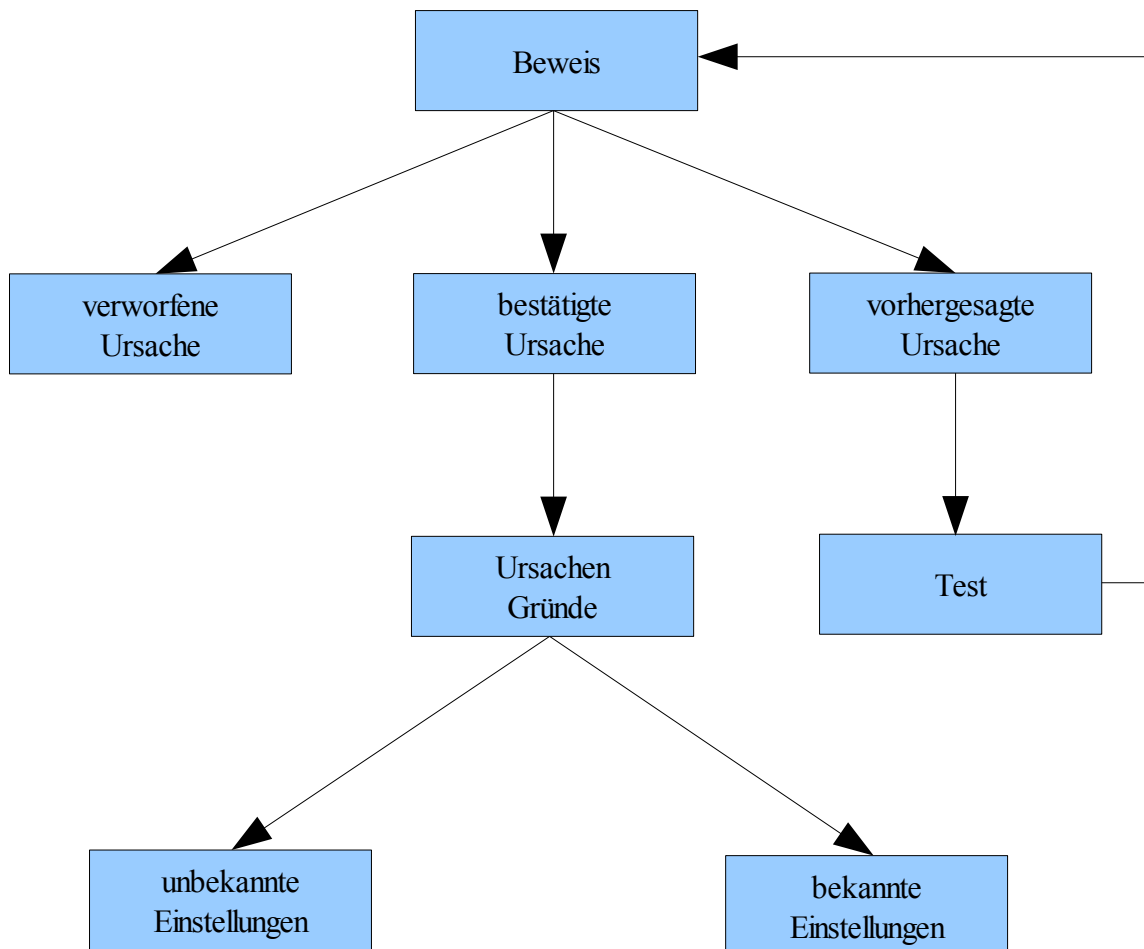
Aus dem Fehlen eines regelmäßigen Herzrhythmus (d_1) und der nicht vorhandenen Vorhofreaktion auf ein Signal (d_2), folgt das venöses Blut in die Arterien strömt (d_6), was auf ein Herzschrittmacher Syndrom schließen lässt (f_1).

Ebenso kann aus dem Schaden der Isolation des Kabels des Herzschrittmachers (d_3) oder aus der Messung eines Signal, welches von einem nahe gelegenen Muskel stammt (d_4), vom Herzschrittmacher ein Aktionspotential gefeuert werden (d_5). Hieraus ergibt sich, dass wie im ersten Fall das venöses Blut in die Arterien zurück strömt (d_6), woraus auch hier das Herzschrittmacher Syndrom folgt.

Das Messen eines Fremdpotentials (d_4) muss aber nicht eine Herzschrittmacher Reaktion herbeiführen. Wenn das Fremdsignal das Aktionspotential nicht erreicht, wird dieses nur als eine Messspitze im Histogramm des Herzschrittmachers sichtbar (f_2).

4.4 Diagnose Strategien

Die Analyse der dokumentierten Informationen des Herzschrittmachers, stellt einen ersten Schritt zur Findung der gesuchten Programmierung dar. Da es sich um ein Entscheidungsunterstützungssystem handelt, werden vom System alle wahrscheinlichen Ursachen angegeben, welche nach den Beweisformeln in Betracht gezogen werden. Um nun aus dieser bereits stark reduzierten Auswahl die korrekte Ursache auswählen zu können, müssen weitere Informationen erhoben werden. Diese werden vom Entscheidungsunterstützungssystem im Optimalfall bereits vorgeschlagen. Durch das schrittweise Testen aller verbleibenden Ursachen, sollte am Ende der Diagnose nur noch eine Ursache verbleiben. Folgende Darstellung stellt den Algorithmus dar:



Die erwarteten Ursachen des Fehlverhaltens des Herzens, also die laut den Hornformeln verbleibenden Möglichkeiten, werden nun nach dem hier veranschaulichten Algorithmus getestet. Um einen Verdacht zu erhärten führt man die hierzu notwendigen Tests durch. Fallen diese Tests positiv aus so resultieren daraus, die im Wissensrepräsentationssystem bekannten Einstellungen. Sollten keine Parameter bekannt sein, so muss der Kardiologe, aufgrund seiner Erfahrung eine geeignete Programmierung finden. Wurde ein negatives Testergebnis gefunden so muss die Ursache aus der Menge der möglichen Gründe gestrichen werden. Diese Prozedur wird ständig wiederholt, bis schließlich nur noch eine positiv getestete Ursache verbleibt.



5. Zusammenfassung

5.1 Ergebnisse

Das hier vorgestellte System der Wissensrepräsentation findet bereits Anwendung und unterstützt Kardiologen in diversen Krankenhäusern. Die Anwendung wird beim Auslesen eines Herzschrittmachers mit Hilfe des Herzschrittmacherprogrammierers automatisch mitgestartet und liefert schnellstmöglich seine Ergebnisse. Die weiteren Diagnoseschritte und geeignete Parameter zur Reprogrammierung werden vom Gerät direkt angezeigt. Durch die Komplexität des Wissens ist eine neue Problemstellung entstanden. Es soll erreicht werden, dass das Wissensrepräsentationssystem nach 2 Sekunden bereits mit einer Antwort reagiert. Man ist bemüht durch geeignete Algorithmen dieser Anforderung gerecht zu werden.

Es hat verschiedene Tests gegeben in denen das Wissensrepräsentationssystem mit anonymisierten Patientendaten versorgt wurde, um die Zuverlässigkeit der erstellten Diagnosen zu testen. Das System irrte sich in 7.5 % aller Testfälle. Diese Fehlerquote ergibt ein recht akzeptables Resultat, welches gut veranschaulicht, dass dieses Wissensrepräsentationssystem nur eine Entscheidungsunterstützung darstellt.

5.2 Kritik

Das Entscheidungsunterstützungssystem wie es hier vorgestellt wurde ist nur eine Hilfestellung für den Programmierer des Herzschrittmachers. In keinem Fall soll dieses System autonom oder unbeaufsichtigt agieren. Der Mensch, in diesem Falle meist ein Kardiologe, bleibt der Verantwortliche, welcher letztendlich die Entscheidung trifft. Die Anfälligkeiten der Hardware durch Batterie- oder Geräteschaden bleiben eine unkalkulierbare Größe, ebenso wie das Fehlen einer Lösung für die gegebenen Symptome eines dem System nicht bekannten Falles. Die Technik soll dem Menschen dienen, nicht ihn ersetzen.



6. Anhang

6.1 Literaturnachweis

1. Lucas, P.J.F., Kuipers, R., Feith, F.: A system for pacemaker treatment advice.
2. Lucas, P.J.F., Tholen, A., Van Oort, G.: An intelligent system for pacemaker reprogramming. Artificial Intelligence in Medicine.
3. Hauser, F., Guder, R., Geisdorf, L.: Rhythmische Erregungsbildung am Wirbeltierherzen.

6.2 Abbildungsnachweis

1. Abbildung 1: Das Herz www.h-wie-herz.de/broschueren_ordner/Elektrik.jpg