

Aus dem Universitätsklinikum Münster  
Klinik und Poliklinik für Thorax-, Herz- und Gefäßchirurgie  
- Direktor: Univ.-Prof. Dr. H. H. Scheld -

# Schrittmacheroperationen im Neugeborenen- und Kleinkindalter

INAUGURAL – DISSERTATION

zur

Erlangung des doctor medicinae

der Medizinischen Fakultät

der Westfälischen Wilhelms-Universität Münster

vorgelegt von

**Peter Rusch**

aus Meschede

**2003**

Gedruckt mit Genehmigung der Medizinischen Fakultät der  
Westfälischen Wilhelms-Universität Münster

Dekan: Univ.-Prof. Dr. H. Jürgens  
1. Berichterstatter: Univ.-Prof. Dr. D. Hammel  
2. Berichterstatter: Univ.-Prof. Dr. B. Brisse

Tag der mündlichen Prüfung: 26.09.2003

Aus dem Universitätsklinikum Münster  
Klinik und Poliklinik für Herz-, Thorax- und Gefäßchirurgie  
- Direktor: Univ.-Prof. Dr. H. H. Scheld -  
Referent: Univ.-Prof. Dr. D. Hammel  
Koreferent: Univ.-Prof. Dr. B. Brisse

### **Zusammenfassung**

Schrittmacheroperationen im Neugeborenen- und Kleinkindalter

Peter Rusch

**Einleitung:** Schwierigkeiten in der Schrittmacherversorgung von Neugeborenen und Kleinkindern bestehen in der Größe der kindlichen Anatomie und eventuellen strukturellen Herzfehlern, die eine transvenöse Schrittmacherversorgung verhindern können, so dass die epikardiale Implantation hier die Methode der Wahl darstellen kann.

**Material und Methoden:** Im Zeitraum von 09/1992 bis 09/2001 wurden an der Westfälischen Wilhelms-Universität Münster 21 Kinder (10männlich, 11weiblich) im Alter von 11 Tagen bis 29 Monaten mit einem mittleren Körpergewicht von 4694 g (min.1400 g, max. 10.100 g) und einer mittleren Körperlänge von 58 cm (min. 40 cm, max. 81,5 cm) mit einem epikardialen Herzschrittmacher versorgt. 8 von 21 Kindern waren ehemalige Frühgeborene. Indikationen zur Schrittmachertherapie waren der postoperative (n = 15), der kongenitale (n = 4), und der RSV-assoziierte AVB III° (n = 1), sowie die Sinusknotenfunktionsstörung (n = 1). Die Implantation erfolgte über den subxiphoidalen Zugang (n = 18) oder – im Fall von kombinierten Korrekturoperationen – über die mediane Sternotomie (n = 3). Implantiert wurden Aggregate der Firma Medtronic (Thera 8940i = 3; 8960i = 6; 8962i = 3; 8964i = 2; 7960i = 5), Biotronik (Picos E01 = 1) und Pacesetter (Microny SR +2425T =1). Der Verlauf wurde anhand technischer Parameter (Stimulationsmodus, Reizschwelle, Sensing, Elektrodenimpedanz) und klinischer Besonderheiten (Operationsdauer, Hospitalisationsdauer, Wundheilungsverlauf, Anzahl / Indikation von Revisionseingriffen, Zugang, Aggregatlokalisierung, Wachstum, kardiopulmonale Belastbarkeit, intellektuelle und statomotorische Entwicklung) kontrolliert, und zwar intraoperativ, vor der Entlassung, im 3. Monat und dann alle weiteren 6 Monate nach Implantation eines Schrittmachers.

**Ergebnisse:** Bei einer mittleren Hospitalisationsdauer von  $11 \pm 6$  Tagen für das Gesamtkollektiv zeigten 15 von 21 Patienten im Hinblick auf die untersuchten Parameter einen regelrechten Verlauf: Bei 6 von 15 Patienten wurden reguläre Revisionen bei Batterieerschöpfung vorgenommen, sowie bei einem dieser Patienten gleichzeitig eine Elektrodenrevision bei funktioneller Elektrodenverkürzung durch Längenwachstum. Bei insgesamt drei von 21 Kindern wurde bei Revisionseingriffen das neue System bei ausreichender Körperlänge transvenös implantiert. Bei 4 von 21 Patienten zeigten sich Auffälligkeiten, und zwar im Sinne von Elektrodenbruch, Elektrodendislokation, funktioneller Elektrodenverkürzung oder Wundheilungsstörungen im Aggregat- bzw. Zugangsbereich. 2 von 21 Patienten verstarben im Verlauf der Nachbeobachtung unter akutem Myokardversagen. Ein kausaler Zusammenhang mit der Schrittmachertherapie konnte durch die Pathologie ausgeschlossen werden.

**Schlussfolgerung:** In unserem Patientenkollektiv wurde die permanente Schrittmacherversorgung bereits ab einem Körpergewicht von 1400 g, bzw. einer Körperlänge von 40 cm durchgeführt. Dieser frühe Therapiebeginn ist bei geringem Gefäßquerschnitt nur mit epikardialen Systemen möglich und erlaubt eine gute körperliche Entwicklung der Kinder. Bei u.U. lebenslanger Schrittmacherpflichtigkeit bedeutet die epikardiale Versorgung eine Schonung des transvenösen Zugangs, der für die weitere Therapie im Jugend- und Erwachsenenalter die größere Bedeutung hat.

## Zusammenfassung

Abbildungsverzeichnis.....	4
Tabellenverzeichnis.....	6
1. Einleitung .....	7
1.1. Geschichte der Herzschrittmachertherapie in Stichworten.....	9
1.2. Indikationsstellung zur Herzschrittmachertherapie .....	14
1.2.1. Indikation zur Herzschrittmachertherapie.....	15
1.2.1.1. Atrioventrikuläre Leitungsstörungen (AV-BLOCK; AVB) .....	16
1.2.1.2. Richtlinien für die Schrittmachertherapie bei atrioventrikulären Leitungsstörungen .....	18
1.2.1.3. Sinusknotensyndrom (englisch: Sick-Sinus-Syndrom).....	20
1.2.1.4. Richtlinien für die Herzschrittmachertherapie .....	
bei Sinusknotenfunktionsstörung .....	21
1.2.1.5. Richtlinien für die Herzschrittmachertherapie .....	
bei Rhythmusstörungen als Folge von herzchirurgischen Eingriffen.	21
1.3. Herzschrittmachertherapie im Kindesalter .....	22
1.3.1. Indikationen zur kindlichen Herzschrittmachertherapie.....	22
1.3.2. Spezielle Probleme der kindlichen Schrittmachertherapie .....	25
1.4. Herzschrittmachersysteme .....	27
1.4.1. Herzschrittmachercodierung .....	27
1.4.2. Schrittmachersystem-Auswahl.....	28
1.4.2.1. Systemwahl bei atrioventrikulärer Leitungsstörung.....	30
1.4.2.2. Systemwahl bei Sinusknotenfunktionsstörung .....	31
1.4.2.2.1. isolierte Sinusknotenfunktionsstörung .....	31
1.4.2.2.2. kombinierte Sinusknotenfunktionsstörung.....	31

---

2.	Ziel der Arbeit .....	33
3.	Patientenkollektiv, Material und Methoden.....	34
3.1.	Patientenkollektiv.....	34
3.2.	Präoperative Daten .....	34
3.3.	Herzschrittmacheroperation .....	36
3.4.	Herzschrittmachersysteme .....	38
3.5.	Elektrodensysteme .....	39
3.6.	Nachbeobachtung.....	40
3.7.	Klassifikation des Verlaufs .....	41
3.8.	Methodik der Datenauswertung.....	42
4.	Ergebnisse.....	43
4.1.	Zeitraum der Nachbeobachtung.....	43
4.2.	Operationsdauer .....	43
4.3.	Hospitalisationsdauer .....	45
4.4.	Verlauf.....	46
4.4.1.	Unkomplizierter Verlauf.....	46
4.4.1.1.	Unkomplizierter revisionsfreier Verlauf .....	46
4.4.1.2.	Unkomplizierter Verlauf mit regulärer Revision .....	47
4.4.2.	Komplizierter Verlauf .....	56
4.4.2.1.	Komplizierter Verlauf.....	57
4.4.3.	Todesfälle.....	67

5.	Diskussion .....	70
5.1.	Kollektivgröße.....	70
5.2.	Beobachtungszeitraum .....	71
5.3.	Indikation zur Schrittmacherimplantation .....	73
5.4.	Epikardiale vs. transvenöse Schrittmacherimplantation .....	74
5.4.1.	Determinanten des Implantationsverfahrens.....	77
5.4.1.1.	Kardiale Grunderkrankung .....	77
5.4.1.2.	Lebensalter .....	79
5.4.1.3.	Körpergewicht .....	81
5.4.1.4.	Venöser Gefäßquerschnitt .....	82
5.4.1.5.	Schrittmachersystem-Auswahl.....	84
5.4.1.5.1.	Elektroden .....	84
5.4.1.5.2.	Revisionsicherheit der Elektroden.....	88
5.4.1.5.3.	Schrittmacheraggregat.....	90
5.4.1.5.4.	Revisionsicherheit des Schrittmacheraggregates.....	92
5.4.1.5.4.1.	Reguläre Revisionen .....	92
5.4.1.5.4.2.	Irreguläre Revisionen .....	94
5.4.1.5.4.3.	Vorgehen bei Schrittmacherinfektion .....	96
6.	Schlussfolgerung .....	98
7.	Literatur .....	103
8.	Curriculum Vitae .....	110
9.	Danksagung .....	112

## *Abbildungsverzeichnis*

Abbildung 1: Senning, Elmquist und Larsson.....	10
Abbildung 2: William Greatbatch .....	11
Abbildung 3: Ankerelektrode (transvenöse Implantation).....	13
Abbildung 4: Schraubelektrode (transvenöse Implantation).....	13
Abbildung 5: Noppenelektrode (epikardiale Implantation) .....	13
Abbildung 6: Anatomische Lokalisation der AV-Blockierung.....	16
Abbildung 7: Gegenüberstellung des EKGs eines Sinusrhythmus und des EKGs eines kompletten AV-Blocks.....	17
Abbildung 8: Anatomische Lokalisation der Sinusknotenfunktionsstörung.....	20
Abbildung 9: Gegenüberstellung des EKGs eines Sinusrhythmus und des EKGs einer Sinusknotenfunktionsstörung .....	20
Abbildung 10: 1800g schwerer Säugling mit Zustand nach epikardialer Schrittmacher- implantation über einen subxiphoidalen Zugang .....	26
Abbildung 11: Ausschnittvergrößerung aus Abbildung 10.....	26
Abbildung 12: NBG-Code.....	27
Abbildung 13: Indikation zur Schrittmacherimplantation .....	34
Abbildung 14: Zugangswege bei epikardialer Schrittmacherimplantation.....	37
Abbildung 15: Operationsdauer bei Herzschrittmacherimplantation.....	44
Abbildung 16: Hospitalisationsdauer nach Herzschrittmacherimplantation.....	45
Abbildung 17: mittlere Batterielaufzeit.....	47
Abbildung 18: Röntgenbild: Z. n. Schrittmacher-Erstimplantation (Patient B.S.-V.) .....	49
Abbildung 19: Röntgenbild: Z. n. Aggregatwechsel bei Batterieerschöpfung im 32. Monat nach Erstimplantation (Patient B.S.-V.).....	50
Abbildung 20: Beispiel für Z. n. transvenöse Schrittmacherimplantation über die V. jugularis der rechten Seite und subpektoraler Aggregatlokalisierung rechts .....	51
Abbildung 21: Aggregattypen: Spezifität und Häufigkeit der implantierten Aggregattypen. .	54
Abbildung 22: Elektrodentypen: Spezifität u. Häufigkeit der implantierten Elektrodentypen	54
Abbildung 23: Reizschwellenverlauf.....	55
Abbildung 24: Wahrnehmungsverhalten der Elektroden.....	55
Abbildung 25: Elektrodenwiderstand.....	55

---

Abbildung 26: Häufigkeit und Spezifität der Komplikationen im postoperativen Verlauf. ....	56
Abbildung 27: Falldarstellung 1 .....	57
Abbildung 28: Falldarstellung 2 .....	59
Abbildung 29: Falldarstellung 3 .....	61
Abbildung 30: Falldarstellung 4 .....	64
Abbildung 31: Durchschnittliche Kollektivgröße in Studien verschiedener Autoren. ....	70
Abbildung 32: Durchschnittlicher Beobachtungszeitraum (Follow-up) in Studien verschiedener Autoren.....	71
Abbildung 33: Indikation zur Schrittmacherimplantation: Vergleich mit Studienergebnissen anderer Autoren .....	73
Abbildung 34: kardiale Grunderkrankung.....	78
Abbildung 35: Vergleich akuter Reizschwelliges eigenen Patientenkollektivs mit denen nationaler und internationaler Studien .....	86
Abbildung 36: Röntgenbild eines Säuglings mit epikardialer Schrittmacherimplantation .....	90

## *Tabellenverzeichnis*

Tabelle 1:	Indikationsstellung zur Herzschrittmachertherapie unter Berücksichtigung internationaler Klassifikationskriterien .....	14
Tabelle 2:	Indikationsstellung bei AV-Blockierung .....	18
Tabelle 3:	Indikationsstellung bei Sinusknotenfunktionsstörung .....	21
Tabelle 4:	Indikationsstellung bei Rhythmusstörungen infolge eines kardiochirurgischen Eingriffs .....	21
Tabelle 5:	Rangsystem der Empfehlungen zur Schrittmachertherapie .....	22
Tabelle 6:	Kindliche Indikation zur Schrittmacherimplantation unter Zuordnung von Rangwerten .....	24
Tabelle 7:	Schwierigkeiten in der kindlichen Herzschrittmachertherapie .....	25
Tabelle 8:	Darstellung von Alter, präoperativer Diagnose und Operation bei 15 Patienten, bei denen sich die Indikation zur Schrittmacherimplantation aus einem postoperativen AV-Block III° ergab. ....	35
Tabelle 9:	Maße und Häufigkeit der verwendeten Aggregate bei Schrittmacherimplantation .....	38
Tabelle 10:	technische Daten der verwendeten Elektrodentypen bei Schrittmacherimplantation .....	39
Tabelle 11:	klinische Parameter .....	40
Tabelle 12:	technische Parameter .....	40
Tabelle 13:	Determinanten für die Entscheidung der Art der Schrittmacherimplantation..	76
Tabelle 14:	Empfehlungen für die Entscheidung der Art der Schrittmacherimplantation..	82
Tabelle 15:	Maße der von COHEN et al. [11] und im eigenen Kollektiv verwandten .....	91

## 1. Einleitung

In Deutschland leben zur Zeit mehr als 200.000 Patienten mit einem Herzschrittmacher. Allein im Jahr 1998 wurden in ca. 850 Kliniken 45.300 Schrittmacher implantiert. Der Erst-implantationsindex betrug 440 Eingriffe pro 100.000 Einwohner. Hieraus wird die Bedeutung der Schrittmachertherapie als Teil der medizinischen Basisversorgung ersichtlich [35].

Nur selten ist aber bereits im Kindesalter eine Herzschrittmacherimplantation erforderlich. Von den 1997 in 850 deutschen Einrichtungen durchgeführten 41.700 Schrittmacheroperationen betrafen lediglich 104 Implantationsmeldungen Patienten, die jünger als 20 Jahre waren [23].

Der Anteil der Schrittmacherpatienten wird mit sinkendem Implantationsalter noch kleiner. Bei geringen Fallzahlen haftet insbesondere der pädiatrischen Schrittmachertherapie damit immer etwas Kasuistisches an [2].

Eine Schwierigkeit der kindlichen Schrittmacherversorgung liegt demnach bereits im Austausch ausreichender und vergleichbarer Daten über die Qualität der Therapie.

Herzschrittmachertherapie hat seit der Erstimplantation durch Rune Elmquist und Ake Senning im Jahre 1958 rasante Fortschritte gemacht. Schrittmachersysteme, d.h. Aggregat und Elektrode sind mittlerweile so weit technisch entwickelt, dass sie auch in der anspruchsvollen Schrittmachertherapie bei Kindern mit deutlich weniger Problemen verwendet werden können. Und doch unterscheidet sich die Kinder-Schrittmachertherapie wesentlich von der im Erwachsenenalter:

Die Schrittmacherimplantation im Erwachsenenalter kann beinahe grundsätzlich transvenös erfolgen. Der kleine operative Eingriff erfolgt in Lokalanästhesie und kann in der Regel in internistischen Abteilungen stattfinden. Er wird teilstationär oder sogar ambulant durchgeführt.

Die Methode der Schrittmacherimplantation im Kindesalter muss individuell entschieden werden. Sie hängt von einer Vielzahl von Faktoren ab (siehe Tabelle 7), die sowohl das operative Risiko als auch den Langzeitverlauf maßgeblich mitbeeinflussen können.

Neugeborene mit weniger als 3 kg Körpergewicht müssen ebenso effizient versorgt werden wie Jugendliche, bei denen die Operationstechnik ähnlich der des Erwachsenen ist. Jedoch müssen immer auch weitere – für die Zukunft des kindlichen Patienten wesentliche Überlegungen mitberücksichtigt werden [2].

Eine zunehmende Zahl von Studien fokussiert auf die Frage der **epikardialen oder transvenösen Schrittmacherimplantation**. Diese Diskussion ist dann realistisch, wenn es sich um Patientenkollektive handelt, die beispielsweise ein Mindestalter von etwa 4 Jahren, bzw. ein Mindestkörpergewicht von etwa 15 kg erreicht haben [18].

Eine solche Betrachtung muss für Patienten unterhalb dieser Alters- und Gewichtsvorgaben sehr differenziert erfolgen. In vielen Fällen sind anatomische Gegebenheiten limitierende Faktoren für die Umsetzung einer transvenösen Schrittmacherimplantation, dies umso mehr, als es sich um Neugeborene und Kleinkinder handelt.

Daneben gibt es aber auch Fälle, in denen die epikardiale Schrittmacherimplantation nicht bloß eine Notlösung darstellt, sondern unter Berücksichtigung von Begleitoperationen im Sinne von Korrekturingriffen und unter Beachtung der Notwendigkeit einer meist lebenslangen Schrittmacherpflichtigkeit eine sinnvolle Alternative zum transvenösen Vorgehen darstellt.

Für eine objektive Bilanzierung des therapeutischen Erfolges der kindlichen Herzschrittmachertherapie muss die Betrachtung von klinischen Zeichen und technischen Parametern, die das Schrittmachersystem betreffen, erfolgen. Sie darf sich nicht nur am perioperativen Ergebnis orientieren, sondern muss sich genauso auch am Langzeitverlauf bemessen.

## 1.1. Geschichte der Herzschrittmachertherapie in Stichworten

[31] [32] [28] [27] [30] [29] [33] [26]

- 1774: Royal Human Society: Berichte über die Reanimation eines dreijährigen Kindes durch Applikation von transthorakalen Stromstößen
- 1855: ARMAND-DUCHENNE: der französische Neurologe stimuliert mit der sog. „elektrischen Hand“ (zwei von außen aufgelegte Plattenelektroden) eine Tachyarrhythmie-Patientin und erzielt hierdurch eine Herzfrequenzverminderung und einen regelmäßigen Puls
- 1882: H.v.ZIEMSEN: bei der Tagelöhnerin Catharina Seraphin war aufgrund eines ausgedehnten Brustwandtumors ein Großteil der linkspräkordialen Rippen entfernt worden; durch die Bedeckung mit nur einer dünnen Hautschicht kann ZIEMSEN bei ihr erstmals zeigen, dass elektrische Impulse die Herzaktion steuern
- 1927: MARMORSTEIN: berichtet erstmals über eine erfolgreiche transvenöse Stimulation des rechten Vorhofs und des rechten Ventrikels über eine unipolare, bipolare und tripolare Elektrode; seine Berichte blieben unberücksichtigt, bis sie in den 50er Jahren von FURMAN wieder aufgegriffen wurden
- 1932: HYMAN: führt eine externe transthorakale Stimulation mit Hilfe einer bipolaren Nadelelektrode durch; der Schrittmacher hatte ein Gewicht von 7,2kg und musste alle 6 Minuten neu aufgeladen werden
- 1947: WEIRICH und LILLEHEI: stimulieren nach Herzoperation über einen passageren Schrittmacher mit myokardialen Elektroden, die subkutan ausgeleitet werden

- 1950: CALLAGHAN, HOPPS,  
BIGELOW: führen eine externe transvenöse Stimulation mit Hilfe einer Elektrode im rechten Vorhof durch
- 1952: ZOLL: gelingt die Wiederbelebung eines Patienten mit Hilfe eines selbstkonstruierten Defibrillators mit Spannungen zwischen 75 und 150V; Nachteile sind häufige Hautverbrennungen und schmerzhafte Muskelkontraktionen; außerdem besteht v.a. bei Lungenemphysem das Risiko der ineffektiven Stimulation
- 1958 FURMAN  
und ROBINSON: führen die erste transvenöse Stimulation von drei Patienten durch, die im ersten Fall 5 Stunden, im zweiten 13 Wochen und im dritten Fall sogar acht Jahre erfolgreich stimuliert werden; der Impulsgeber verbleibt bei allen Patienten noch extrakorporal
- 1958: SENNING  
und ELMQUIST: gelingt die erste permanente Schrittmacherimplantation eines in Epoxidharz gegossenen voll implantierbaren Schrittmachers, der mit 2V und einer Impulsdauer von 1,5ms arbeitet; die Impulsfrequenz liegt bei 80/min; als Energiequelle dient ein von aussen aufladbarer Nickel-Cadmium-Akkumulator



**Abbildung 1:**

Dr. Ake Senning (links), Chirurg, und Dr. Rune Elmquist (Mitte), Elektroingenieur, mit ihrem Patienten Arne H.W. Larsson (rechts), den sie am 8. Oktober 1958 aufgrund einer viral induzierten Bradyarrhythmie mit dem ersten voll implantierbaren Schrittmacher versorgten. Der Patient verstarb 2001 im Alter von 86 Jahren an Krebs. Bis zu seinem Tod wurden ihm insgesamt 22 verschiedene Schrittmacher implantiert.

- 1958: HUNTER und ROTH: setzen die erste bipolare, epimyokardiale Elektrode ein; hierdurch wird das bis dahin unangenehme Muskelzucken beendet, das zuvor durch die in der Brustwand liegende indifferente Elektrode hervorgerufen worden war

1960: CHARDACK  
und GREATBATCH:



implantieren mit Zink-Quecksilber-Batterien betriebene fest-  
frequente Schrittmacher bei zwei Kindern und acht älteren  
Patienten mit Herzrhythmusstörungen; die kürzeste Über-  
lebenszeit beträgt hierunter immerhin über 18 Monate

**Abbildung 2:**

W. Greatbatch führte 1951 mit zwei Drähten eine erfolgreiche Wiederbelebung an einem Schaf durch, das während der Schur einen Herzstillstand erlitten hatte. In der Folgezeit beschäftigte sich der Wissenschaftler intensiv mit den Möglichkeiten der Herzstimulation durch elektrische Impulse.

1962: GREATBATCH: entwickelt den ersten vorhofsynchronen Herzschrittmacher

1963: LAGERGREN: kombiniert den transvenösen Zugang der Elektrodenimplanta-  
tion mit der subkutanen Implantation eines batteriebetriebenen  
Aggregates

1964: CASTELLANOS: entwickelt den ersten Bedarfsschrittmacher (Demand-Pace-  
maker) im VVI-Modus

1969: BERKOVITS: entwickelt den ersten bifokalen Schrittmacher, der eine AV-  
sequentielle Stimulation ermöglicht, bei der Vorhof- und  
Ventrikelstimulation koordiniert ablaufen

1970: GREATBATCH: entwickelt die Lithium-Batterie, die mit einer Laufzeit von 10  
Jahren die zuvor eingesetzte Zink-Quecksilber-Batterie und  
alternative Konzepte der Energiegewinnung (Nutzung von  
Bioenergie; Plutonium-betriebene Schrittmacher) ablöste

1974: CAMILLI: setzt erstmalig einen frequenzadaptiven Schrittmacher ein, bei  
dem das System auf Veränderungen des pH-Wertes im Blut  
als Parameter veränderter körperlicher, und damit auch  
kardialer Belastung des Schrittmacherträgers reagiert

70er Jahre: Paul SUNDER-  
PLASSMANN: führt in Münster die erste Herzschrittmacherimplantation an  
einem Herzzentrum in Deutschland durch

Die letzten Jahrzehnte des 20. Jh. bis in unsere Zeit sind geprägt durch Bestrebungen um Optimierung der Schrittmachertechnik – der sogenannten Hardware. Durch zunehmende Miniaturisierung der Aggregate ist der Wahl des geeigneten Implantationsortes bei *erwachsenen* Patienten kaum noch eine Grenze gesetzt. Durch die Multiprogrammierbarkeit der Systeme ist eine zunehmend bessere Adaptation an die Belastungen des Patientenorganismus möglich und so eine Wiederherstellung des physiologischen Zustandes realistisch.

Mit Hilfe von extrem dünnen und flexiblen Elektroden ist bei Erwachsenen fast immer die transvenöse Schrittmacherimplantation möglich – bei Kindern sind anatomische Besonderheiten und Körpergröße, bzw. Wachstum oftmals limitierende Faktoren.

Eine sichere Elektrodenverankerung gelingt – abhängig vom Implantationsort – mit verschiedenen Typen von Elektrodenspitzen:

Schraubelektroden, die – anders als Anker- bzw. Hakenelektroden – regelrecht in das Myokard hineingedreht werden – können einen sicheren Schutz gegen Dislokation bedeuten, was z.B. bei zu erwartendem Zug am Elektrodenkabel (Bewegung, Körperlängenwachstum,...) wichtig sein kann.

Daneben existieren auch sog. Noppenelektroden, die auf das Epikard aufgenäht werden (vgl. Abbildung 3 bis 5).

Die Benutzung sogenannter Steroid-eluierender Elektroden in den letzten zehn Jahren, die über einen Zeitraum von mehreren Jahren ein Kortikoid über die Elektrodenspitze abgeben und damit die entzündlich bedingte Narbenbildung am Implantationsort reduzieren, führt zu einer dauerhaften Senkung der Reizschwelle, und kann damit die Batterielebensdauer erhöhen und konsekutiv die Revisionshäufigkeit senken.

**Abbildung 3 - 5: verschiedene Elektrodentypen mit unterschiedlichem Verankerungsmechanismus**



**Abbildung 3: Ankerelektrode**  
(transvenöse Implantation)



**Abbildung 4: Schraubelektrode**  
(transvenöse Implantation)



**Abbildung 5: Noppenelektrode**  
(epikardiale Implantation; aufnäherbarer Elektrodenkopf)

## 1.2. Indikationsstellung zur Herzschrittmachertherapie

Die Beurteilung einer Notwendigkeit der künstlichen Stimulation des Herzens durch einen dauerhaften Herzschrittmacher stützt sich auf die Empfehlungen der **Deutschen Gesellschaft für Kardiologie, Herz- und Kreislaufforschung** [13].

Die zur Zeit aktuellen Leitlinien stammen von 1991, haben aber 1996 eine Überarbeitung und Weiterentwicklung erfahren, die mit den „Guidelines“ [22] des **American College of Cardiology (ACC)** und der **American Heart Association (AHA)** von 1998 auch internationale Standards berücksichtigt.

Für die Beurteilung der geeigneten Systemwahl wurden Anregungen der **British Pacing and Electrophysiology Group** aufgenommen.

Grundsätzlich kennt man für die Indikationsstellung der Herzschrittmachertherapie eine Aufteilung in drei Klassen. Diesen werden die Begriffe der *echten*, der *relativen* oder der *fehlenden Indikation* zugeordnet. Die Zuordnung richtet sich nach der Beurteilung durch die internationalen Fachgesellschaften, die hierfür definierte Klassifikationskriterien heranziehen. Einen Überblick über die Indikationsstellung zur Herzschrittmachertherapie gibt Tabelle 1.

**Tabelle 1: Indikationsstellung zur Herzschrittmachertherapie unter Berücksichtigung internationaler Klassifikationskriterien**

Indikationsstellung	Urteil d. internationalen Fachgesellschaften	Klassifikationskriterien
(echte) Indikation	übereinstimmende Meinung der Notwendigkeit einer Schrittmachertherapie	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Symptomatik die in kausalem Zusammenhang mit der Reiz-Leitungsstörung steht die differentialdiagnostisch abgrenzbar ist</li> <li>• Pharmakotherapie nicht ausreichend</li> </ul>
relative Indikation	teilweise übereinstimmende Meinung der Notwendigkeit einer Schrittmachertherapie	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Symptomatik die in <u>vermutetem</u> kausalem Zusammenhang mit der Reiz-Leitungsstörung steht</li> </ul>
keine Indikation	übereinstimmende Meinung der fehlenden Notwendigkeit einer Schrittmachertherapie	<ul style="list-style-type: none"> <li>• keine Symptomatik</li> <li>• Pharmakotherapie erfolgreich</li> <li>• andere kausale Ursache</li> </ul>

### 1.2.1. Indikation zur Herzschrittmachertherapie

Nach den Richtlinien der Deutschen Gesellschaft für Kardiologie, Herz- und Kreislaufforschung unterscheidet man **10 große Indikationsfelder**, für die die Entscheidung einer permanenten Herzschrittmachertherapie getroffen werden kann:

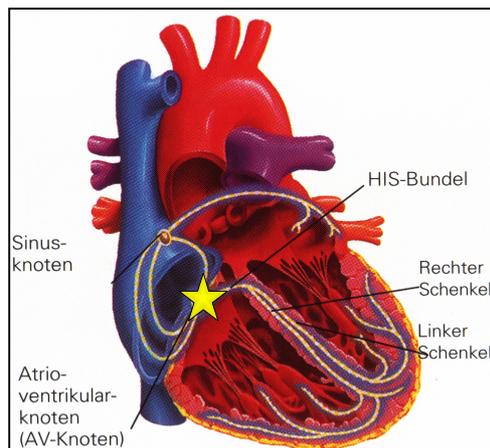
- **Atrioventrikuläre Leitungsstörungen (AV-Block)**
- **Sinusknotenerkrankung**
- **Intraventrikuläre Leitungsstörungen**
- **Bradyarrhythmia bei Vorhofflimmern**
- **Karotissinus-Syndrom**
- **Vasovagales Syndrom**
- **Hypertrophische obstruktive Cardiomyopathie (HOCM),  
Hypertrophische nicht-obstruktive Cardiomyopathie (HNCM),  
Dilatative Cardiomyopathie (DCM)**
- **Bradykarde Rhythmusstörungen nach herzchirurgischen Operationen**
- **Bradykarde Rhythmusstörungen nach Herztransplantation**
- **Rhythmusstörungen nach Herzinfarkt**

Im Hinblick auf das Thema der vorliegenden Promotionsarbeit interessieren ganz besonders die **angeborenen** und die **im Rahmen von operativen Korrekturingriffen am Herzen entstandenen Reizleitungsstörungen** bei Kleinkindern.

Unter Berücksichtigung, dass 20 Patienten einen **Atrioventrikulären- (AV-) Block** und ein Patient eine **Sinusknotenfunktionsstörung** (Sick-Sinus-Syndrom) als Indikation zur Schrittmacher-Implantation hatten, fokussiert die Beschreibung der Indikationsstellung zur Herzschrittmachertherapie in dieser Arbeit nun auf eben diese beiden Indikationsgruppen.

### 1.2.1.1. Atrioventrikuläre Leitungsstörungen (AV-BLOCK; AVB)

Hinter der Kurzbezeichnung AV-Block verbirgt sich eine Überleitungsstörung, die sich als Erregungsleitungsstörung zwischen den Vorhöfen und den Kammern des Herzens abspielt - ein sogenannter *atrioventrikulärer Block*.



**Abbildung 6:**  
**Anatomische Lokalisation der AV-Blockierung**

Neben dem physiologischen Auftreten z.B. bei Vagotonie und Sportlerherz (AV-Block I° und II° Typ 1) findet man die pathologischen Formen in drei verschiedenen Schweregraden (AV-Block I° - III°), die sich in einer unterschiedlichen Charakteristik der Verzögerung der atrioventrikulären Überleitung niederschlagen.

Während man beim **AV-Block I°** mit der Verlängerung der PQ-Zeit im EKG auf  $>0,21s$  lediglich eine *Leitungsverzögerung* findet, stehen bei Grad II und III die *Leitungsblockierungen* mehr im Vordergrund.

Beim **AV-Block II°** kennt man zwei weitere Unterformen:

- Der AV-Block II° / Typ 1 (syn.: Typ Mobitz 1) zeichnet sich durch die sog. Wenckebach-Periodik aus, bei der es zu einer progressiven Verlängerung des PQ-Intervalls kommt, bis schließlich eine Herzaktion vollständig ausfällt. Die Blockierung ist in der Regel im AV-Knoten lokalisiert. Dieses Krankheitsbild weist eine eher günstige Prognose auf [13].

- Demgegenüber findet man beim AV-Block II° / Typ 2 (synonym: Typ Mobitz 2) meist eine regelmäßig intermittierende Blockierung der AV-Überleitung; es wird nur jede zweite, dritte oder vierte Erregung weitergeleitet. Fällt die Herzfrequenz im Rahmen einer Typ Mobitz 2-Blockierung auf  $<40/\text{min}$  ab, so kann es evtl. zu einer bradykarden Herzinsuffizienz oder zur Ausbildung eines Adams-Stokes-Syndroms (= Synkope ohne Aura, verursacht durch zerebrale Hypoxämie infolge akuter Herzrhythmusstörungen, hier z.B. extreme Bradykardie bis Asystolie) kommen.

Der **AV-Block III°** schließlich kennzeichnet die vollständige Leitungsunterbrechung zwischen Vorhof und Kammer.

Im EKG findet man bei diesem Blockbild das Fehlen eines QRS-Komplexes nach der P-Welle und nach Einsetzen eines Ersatzrhythmus schließlich die vollständige Dissoziation der auf atrialer und ventrikulärer Ebene stattfindenden Erregungsvorgänge. Ist die Latenz bis zum Einspringen des tiefergelegenen Automatiezentrums zu lang, so kann es auch hierbei zur Ausbildung von Adams-Stokes-Anfällen kommen.

AV-Block II° / Typ 2-Störungen und vollständige Blockierungen - wie beim AV-Block III° - mit breitem, schenkelblockartig deformiertem QRS-Komplex sind meistens intra- oder infrahisär gelegen. Weil hier die Gefahr der Adams-Stokes-Symptomatik besteht, ist die Sterblichkeit dieser beiden Krankheitsbilder hoch. Durch eine Schrittmacherbehandlung wird die Überlebensprognose deutlich gebessert, bleibt aber, in Abhängigkeit von der kardialen Grunderkrankung, gegenüber der Normalbevölkerung weiter eingeschränkt.



Abbildung 7: Gegenüberstellung des EKGs eines Sinusrhythmus und des EKGs eines kompletten AV-Blocks (III°)

### 1.2.1.2. Richtlinien für die Schrittmachertherapie bei atrioventrikulären Leitungsstörungen

Die Deutsche Gesellschaft für Kardiologie, Herz- und Kreislaufforschung legt für die Therapie von atrioventrikulären Leitungsstörungen folgende Richtlinien fest:

**Tabelle 2: Indikationsstellung bei AV-Blockierung**

AV-Blockierung	
Indikation	Klassifikationskriterien
(echte) Indikation	<ul style="list-style-type: none"> <li>• AV-Block III°, permanent oder intermittierend               <ul style="list-style-type: none"> <li>-bei symptomatischer Bradykardie</li> <li>-bei gehäuften ventrikulären Ektopien in Ruhe / unter Belastung</li> <li>-bei einem Ersatzrhythmus &lt;40/min. / bei spontanen Asystolien &gt;3s</li> <li>-bei einem Ersatzrhythmus mit breiten QRS-Komplexen</li> <li>-nach AV-Knoten-Ablation</li> <li>-bei myotoner Dystrophie</li> </ul> </li> <li>• AV-Block II°, permanent / intermittierend und ungeachtet der anatomischen Lokalisation               <ul style="list-style-type: none"> <li>-bei <i>symptomatischer</i> Bradykardie</li> </ul> </li> <li>• AV-Block II.Grades Typ2 (Typ Mobitz 2), 2:1 oder höhergradige Blockierungen mit <u>breiten</u> QRS-Komplexen               <ul style="list-style-type: none"> <li>-bei <i>asymptomatischen</i> Patienten</li> </ul> </li> </ul>
relative Indikation	<ul style="list-style-type: none"> <li>• AV-Block III° und II°, 2:1 oder höhergradige Blockierungen mit <u>schmalen</u> QRS-Komplexen bei asymptomatischen Patienten</li> </ul>
keine Indikation	<ul style="list-style-type: none"> <li>• AV-Block I°</li> <li>• asymptomatische Patienten mit AV-Block II° / Typ1 (Typ Mobitz 1), wenn die Blockierungen nur selten auftreten</li> <li>• isolierte Überleitungsblockierungen, insbesondere nachts</li> </ul>

Für die Indikationsstellung der Schrittmachertherapie atrioventrikulärer Blockierungen richtet man sich, wie oben erwähnt, nach der Symptomatik des Patienten und nach prognostischen Aussichten.

Es ist hierbei zu berücksichtigen, dass der *erworbene* AV-Block III° und die höhergradigen AV-Blockierungen in aller Regel *symptomatisch* und damit *schrittmacherbedürftig* sind.

Auch bei der seltenen Form einer symptomatischen Wenckebach-Periodik (AV-Block II° / Typ1) ist die Indikation zur Schrittmacherimplantation gegeben.

Im Gegensatz hierzu bleibt der angeborene AV-Block III° oft über lange Zeit *asymptomatisch*, so dass hier evtl. eine abwartende Haltung mit regelmäßigen jährlichen Nachuntersuchungen ausreicht.

Kommen aber weitere kardiale Pathologien wie z.B.

- assoziierter Herzfehler,
- mittlere Frequenzen <50/min,
- fehlender oder geringer Frequenzanstieg unter Belastung,
- nächtliche Asystolien,
- Ersatzrhythmus mit breitem QRS-Komplex,
- vermehrt ventrikuläre Ektopien,
- verlängertes QT-Intervall,
- Kardiomegalie,
- eingeschränkte linksventrikuläre Funktion und vergrößerte Vorhöfe

hinzu, dann sollte auch hier eine Schrittmacherimplantation erfolgen.

### 1.2.1.3. Sinusknotensyndrom (englisch: Sick-Sinus-Syndrom)

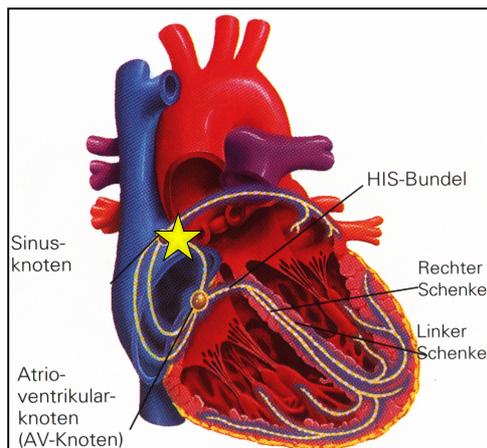
Das Sinusknotensyndrom bezeichnet einen Symptomenkomplex, der sich auszeichnet durch

- mangelnde Zunahme der in Ruhe normalen Sinusfrequenz nach physischer, psychischer oder pharmakologischer Belastung, und zwar auf maximal 80-90/min.,
- persistierende, schwere Sinusbradykardie,
- intermittierende sinu-atriale Blockierungen oder Sinusstillstand, eventuell mit Ersatzrhythmen oder AV-Leitungsstörungen.

Außerdem ist eine Bradyarrhythmie möglich infolge Vorhofflimmerns oder nach Kardioversion von Vorhofflimmern bzw. -flattern.

Es kommt zu regellosem Wechsel zwischen Sinusbradykardie und Phasen supraventrikulärer Tachykardien oder Vorhofflattern bzw. -flimmern.

Als Komplikation ist die Auslösung arterieller Embolien bei Rhythmuswechsel möglich oder unter Umständen auch ein Adams-Stokes-Syndrom.



Das Sinusknotensyndrom entwickelt sich auf dem Boden degenerativer Erkrankungen (z.B. Koronarsklerose) oder einer Myokarditis.

Gelegentlich findet sich eine fibrinöse Umwandlung des Herzmuskels zwischen Sinusknoten und Erregungsleitungssystem.

**Abbildung 8: Anatomische Lokalisation der Sinusknotenfunktionsstörung**



**Abbildung 9: Gegenüberstellung des EKGs eines Sinusrhythmus und des EKGs einer Sinusknotenfunktionsstörung, hier im Sinne einer Sinusbradykardie**

### 1.2.1.4. *Richtlinien für die Herzschrittmachertherapie bei Sinusknotenfunktionsstörung*

**Tabelle 3: Indikationsstellung bei Sinusknotenfunktionsstörung**

<b>Sinusknotenfunktionsstörung</b>	
<b>Indikation</b>	<b>Klassifikationskriterien</b>
(echte) Indikation	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Sinusknotenfunktionsstörung spontan / infolge unverzichtbarer Medikation -mit eindeutigem Zusammenhang zur klinischen Symptomatik</li> </ul>
relative Indikation	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Sinusknotenfunktionsstörung -mit Herzfrequenz &lt;40/min. und Pausen &gt;3 Sek.. -spontan / infolge unverzichtbarer Medikation -mit vermutetem Zusammenhang zur klinischen Symptomatik</li> </ul>
keine Indikation	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Bradykardie und Pausen, aber asymptomatisch (keine echte Sinusknotenfunktionsstörung)</li> </ul>

### 1.2.1.5. *Richtlinien für die Herzschrittmachertherapie bei Rhythmusstörungen als Folge von herzchirurgischen Eingriffen*

Für bradykarde Rhythmusstörungen, die nicht angeboren, sondern im Rahmen von herzchirurgischen Operationen entstanden sind, hat die Deutsche Gesellschaft für Kardiologie, Herz- und Kreislaufforschung spezielle Schrittmacher-Richtlinien festgelegt.

**Tabelle 4: Indikationsstellung bei Rhythmusstörungen infolge eines kardiochirurgischen Eingriffs**

<b>Bradykarde Rhythmusstörungen nach Herzoperation</b>	
<b>Indikation</b>	<b>Klassifikationskriterien</b>
(echte) Indikation	<ul style="list-style-type: none"> <li>• chirurgisch bedingter AV-Block II°/III°</li> </ul>
relative Indikation	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Sinusknotenfunktionsstörung mit konsekutiver hämodynamischer Instabilität, die eine Mobilisation und Rehabilitation des Patienten unmöglich macht</li> </ul>
keine Indikation	<ul style="list-style-type: none"> <li>• bradykarde Rhythmusstörungen vor Ablauf der ersten 14 postoperativen Tage (= Zeitraum der spontanen Rückbildung höhergradiger AV-Blockierungen, v.a. nach Korrektur kongenitaler Herzvitien)</li> <li>• bradykarde Rhythmusstörungen infolge Mehrorganversagen</li> </ul>

### 1.3. Herzschrittmachertherapie im Kindesalter

#### 1.3.1. Indikationen zur kindlichen Herzschrittmachertherapie

Die American Heart Association (AHA) hat gemeinsam mit dem American College of Cardiology (ACC) eine Überarbeitung der Richtlinien zur Herzschrittmachertherapie von 1984 und 1991 herausgegeben, die die Fortschritte in der Ursachenforschung von Rhythmusstörungen und die Möglichkeiten technologischer Modernisierungen in der Schrittmachertherapie berücksichtigen [22].

Die überarbeitete Version der Richtlinien zur Schrittmachertherapie beansprucht größtmögliche wissenschaftliche Beweisbarkeit. Zu diesem Zweck wurde ein Rangsystem eingeführt, das den einzelnen Therapieempfehlungen jeweils ein definiertes Maß an wissenschaftlichen Ergebnissen oder zumindest Erfahrungen von Spezialisten zugrundelegt. So kann einer bestimmten Indikation nicht nur einfach eine Therapieempfehlung zugeordnet werden, sondern diese gleichzeitig in ihrer wissenschaftlichen Wertigkeit im Rangsystem beurteilt werden.

Einen Überblick über das Rangsystem der Therapieempfehlungen gibt Tab. 5.

**Tabelle 5: Rangsystem der Empfehlungen zur Schrittmachertherapie (modifiziert nach [22])**

<b>Wertigkeit</b>	<b>Therapieempfehlung ist...</b>
<b>A</b>	<i>Ergebnis einer Vielzahl randomisierter Studien auf der Grundlage sehr vieler Teilnehmer</i>
<b>B</b>	<i>Ergebnis weniger großer randomisierter Studien mit kleinerer Zahl von Teilnehmern oder von Datenanalysen mit gutem Studiendesign oder von Beobachtungsstudien</i>
<b>C</b>	<i>übereinstimmende Meinung von Spezialisten</i>

Grundsätzlich ist nach den Richtlinien von ACC / AHA [22] die permanente Schrittmachertherapie bei Kindern und Jugendlichen dann indiziert, wenn folgende Leitungsstörungen vorliegen:

- 1) symptomatische Sinusbradykardie
- 2) rekurrende Bradykardie-Tachykardie-Syndrome
- 3) angeborener AVB
- 4) höhergradiger chirurgisch induzierter oder erworbener AVB

Unterschiede in der Indikationsstellung zur Schrittmachertherapie zwischen Erwachsenen und Kindern liegen im Wesentlichen in der *Altersabhängigkeit der Herzfrequenz* und der *symptomatischen Bradykardie*, die *Folge einer chirurgischen Korrektur* angeborener komplexer Herzfehler oder abnormer Kreislaufverhältnisse sein kann

Die ACC / AHA hat aus diesem Grund einen Katalog von Indikationen zusammengestellt, in dem diesen Besonderheiten Rechnung getragen wird (siehe Tabelle 6).

Den Begrifflichkeiten der echten, der relativen und der fehlenden Indikation entsprechen hier die Klassen I-III. Der jeweiligen Indikationsstellung wird ein bestimmter Rangwert nach den in Tabelle 5 angegebenen Kriterien zugeordnet.

**Tabelle 6: Kindliche Indikation zur Schrittmacherimplantation unter Zuordnung von Rangwerten  
(nach den Richtlinien der ACC / AHA [22])**

Klasse	Indikation	Rangwert
<b>I</b>	AV-Block II° u.III° -mit symptomatischer Bradykardie -bei kongestivem Verlauf angeborener Vitien -mit eingeschränkter Ventrikelfunktion („low cardiac output“)	<b>C</b>
	Sinusknotendysfunktion mit symptomatischer Bradykardie	<b>B</b>
	Postoperativer AV-Block II° - III° länger als <b>sieben</b> Tage	<b>B; C</b>
	angeborener AV-Block III° mit breitem QRS-Komplex oder ventrikulärer Dysfunktion	<b>B</b>
	-bei Kindern unter zwei Jahren mit einer ventrikulären Frequenz <50-55/min. -bei kongenitalen Herzerkrankungen mit einer ventrikulären Frequenz <70/min.	<b>B; C</b> <b>B; C</b>
	anhaltende, pausenbedingte ventrikuläre Tachykardie bei dokumentierter Schrittmacher-Effizienz	<b>B</b>
<b>II a</b>	Brady-Tachykardie-Syndrom mit notwendiger antiarrhythmischer Langzeitmedikation	<b>C</b>
	angeborener AV-Block III° -bei Kindern nach dem ersten Lebensjahr mit einer ventrikulären Frequenz von <50/min. oder mit abrupten Pausen von 2-3 Zykluslängen der Kammergrundfrequenz	<b>B</b>
	langes QT-Syndrom mit 2:1-Überleitung oder AVBIII	<b>B</b>
	asymptomatische Sinusbradykardie bei Kindern bis zu zwölf Jahren mit komplexen kongenitalen Herzerkrankungen -bei Pausen von >3sec. -bei einer Ruhedfrequenz von <35/min.	<b>C</b>
	vorübergehender postoperativer AVBIII mit wiedererlangtem Sinusrhythmus bei verbleibendem bifaszikulären Block	<b>C</b>
<b>II b</b>	asymptomatischer angeborener AVBIII bei Neugeborenen, Kindern und Jugendlichen -bei ausreichendem Ersatzrhythmus -bei schmalem QRS-Komplex -bei normaler Ventrikelfunktion.	<b>B</b>
	asymptomatische Sinusbradykardie bei Jugendlichen mit kongenitalen Herzerkrankungen -bei Pausen von >3sec. -bei einer Ruhedfrequenz von <35/min.	<b>C</b>
	vorübergehender postoperativer AVBII-III mit Rückkehr der normalen AV-Leitung innerhalb von sieben Tagen	<b>B</b>
<b>III</b>	asymptomatischer postoperativer bifaszikulärer Block mit oder ohne AVB I	<b>C</b>
	asymptomatischer AVBII Typ1	<b>C</b>
	asymptomatische Sinusbradykardie bei Jugendlichen -mit Frequenzen von >40/min. und Pausen von <3sec.	<b>C</b>

### 1.3.2. Spezielle Probleme der kindlichen Schrittmachertherapie

Schrittmachertherapie wird mit abnehmenden Lebensalter zunehmend schwieriger. Dies gründet sich auf die hohen Anforderungen, die der kindliche Organismus an das Implantationsverfahren und die Schrittmacherversorgung an sich stellt.

Tabelle 7 gibt einen Überblick über wichtige Probleme der kindlichen Schrittmachertherapie, die sich aus den Besonderheiten des kindlichen Organismus ergeben.

**Tabelle 7: Schwierigkeiten in der kindlichen Herzschrittmachertherapie**

<b>Anforderungen durch den Herzschrittmacherpatienten im Kindesalter</b>	<b>Probleme der Schrittmachertherapie im Kindesalter</b>
■ geringer Gefäßquerschnitt	⇒ relatives Missverhältnis zwischen Vene und Elektrode
■ geringe Körpergröße	⇒ ungünstiges relatives Größenverhältnis zwischen Aggregat und Körperlänge
■ kindliches Längenwachstum	⇒ Probleme durch relative Elektrodenverkürzung
■ dünne, fragile Haut/wenig Subkutangewebe; geringerer Body-Mass-Index (BMI)	⇒ Frage der Aggregatlokalisierung ⇒ Gefahr der Aggregatperforation u. konsekutiv der Schrittmacherinfektion
■ physiologisch höhere Stimulationsfrequenzen	⇒ frühzeitige Batterieentleerung
■ unausgewachsene Anatomie / unreife intellektuelle Entwicklung	⇒ fraglich rezidivfreie/-arme suffiziente Schrittmacherversorgung
■ Voroperation kongenitaler Herzfehler	⇒ Probleme der Verankerung transvenöser Elektroden ⇒ ungünstige Stimulations- / Wahrnehmungsbedingungen transvenöser / epikardialer Elektroden durch Entzündung / Epikardfibrose



**Abbildung 10:** 1800g schwerer Säugling mit Zustand nach epikardialer Schrittmacherimplantation über einen subxiphoidalen Zugang



**Abbildung 11:** Ausschnittvergrößerung aus Abbildung 10: Deutlich werden die Besonderheiten der kindlichen Schrittmacherimplantation, bedingt durch Fragilität der Haut, geringes Subkutangewebe, relatives Missverhältnis zwischen Aggregat und kindlicher Anatomie

## 1.4. Herzschrittmachersysteme

### 1.4.1. Herzschrittmachercodierung

Zur Charakterisierung der Schrittmachermodi wird ein 5-stelliger sogenannter NBG-Code (NASPE/BPEG-Generic Pacemaker Code) [5] verwendet (vgl. Abbildung 12). Dabei sind für die antibradykarde Schrittmachertherapie vor allem die ersten drei Buchstaben relevant: Sie charakterisieren den **Stimulationsort**, den **Wahrnehmungsort** und die **Betriebsart**.

Ein Schrittmacher in Betriebsart „**I**“ inhibiert den Schrittmacherimpuls, wenn eine ausreichende Herzeigenaktion detektiert werden kann. In der Betriebsart „**T**“ hingegen löst der Schrittmacher einen Impuls aus („triggert“ einen Impuls), wenn die Herzeigenaktion ausbleibt.

Ergänzt wird der 3-stellige Code durch die Bezeichnung einer frequenzvariablen Betriebsart (R=Rate-Modulation) als 4. Buchstabe, was auch als biologische Steuerbarkeit bezeichnet werden kann.

Ein fünfter Buchstabe behandelt *antitachykarde* Eigenschaften, die nicht Gegenstand der Richtlinien zur Therapie bradykarder Rhythmusstörungen sind.

1.Buchstabe			2.Buchstabe				3.Buchstabe				4.Buchstabe	
Stimulationsort			Wahrnehmungsort				Betriebsart				„biolog.Steuerbarkeit“	
A	V	D <sup>1</sup>	A	V	D <sup>1</sup>	0	I	T	D <sup>2</sup>	0	R	0

Abbildung 12: NBG-Code

Legende:

A = Atrium

V= Ventrikel

D<sup>1</sup>=Dual: A+V

I = *inhibiert*

T = *getriggert*

D<sup>2</sup> = I + T

R = Frequenzanpassung  
(Rate-Response)

0 = keine

### 1.4.2. Schrittmachersystem-Auswahl

Mit den Richtlinien der Deutschen Gesellschaft für Kardiologie, Herz- und Kreislaufforschung [13] wird der Erhalt bzw. die weitgehende Wiederherstellung des physiologischen Herzrhythmus angestrebt. Unter diesem Gesichtspunkt erfolgt die Einteilung der Systeme und ihrer Betriebsarten in optimal, akzeptabel und ungeeignet.

Dabei sollte sich die individuelle Auswahl des Schrittmachersystems an folgenden Grundsätzen orientieren:

- Der Vorhof sollte solange wie möglich in die Wahrnehmung und Stimulation miteinbezogen werden.
- Die ventrikuläre Stimulation muss bei nachgewiesener oder zu erwartender Überleitungsstörung gewährleistet sein.
- Auf eine Frequenzadaptation kann bei körperlicher Inaktivität, bei normaler oder nur gering eingeschränkter Frequenzregulation verzichtet werden.

Hieraus ergibt sich, daß der Ventrikel-Schrittmacher (VVI) nur noch bei chronischem Vorhofflimmern mit niedriger Kammerfrequenz, bei seltenen asystolischen Pausen und bei prophylaktischen Indikationen seine Berechtigung hat.

Bei bradykarden Rhythmusstörungen, die eine häufige oder ausschließliche Schrittmacherstimulation erfordern, sollte einer vorhofbeteiligten Stimulation (AAI oder DDD) der Vorzug gegeben werden.

Diese Vorgaben, die der Erwachsenentherapie entstammen, sind nicht uneingeschränkt auf die Therapie im Kindesalter zu übertragen. Da hier vielmehr ein auf das jeweilige Kind angepasstes therapeutisches Vorgehen indiziert ist – angefangen bei der Entscheidung des geeigneten Implantationsverfahrens, bis hin zur Wahl der passenden Systemeigenschaften – muss hier teilweise von den allgemeinen Therapieempfehlungen abgewichen werden und ein individuell angepasstes Schrittmacherregime gefunden werden.

In modernen Schrittmachern sind zunehmend eine Vielzahl adaptierender Funktionen verfügbar. Im einzelnen sind dies

- Frequenzadaptation
- Frequenzglättung (z.B. bei Sinuspausen unter Belastung)
- Mode-Switching  
(automatischer Wechsel der Stimulationsart, z.B. von DDD(R) auf DDI(R)),
- automatische Begrenzung der Maximalfrequenz  
(während atrialer Tachyarrhythmien),
- frequenzabhängige AV-Zeit-Verkürzung.

Vor Aktivierung dieser dynamischen Faktoren ist eine genaue Analyse der Rhythmusstörungen und Leitungsverhältnisse erforderlich, denn die unnötige Verwendung der frequenzvariablen Betriebsart kann auch zu Nachteilen für den Patienten führen, z.B. wenn es zu häufigen kompetitiven Aktionen zwischen Herzeigenaktionen und Schrittmacherstimulationen kommt oder bei sehr hohen Stimulationsfrequenzen.

Die Richtlinien der Deutschen Gesellschaft für Kardiologie, Herz- und Kreislaufforschung geben für verschiedene Reizleitungsstörungen bestimmte Empfehlungen für die Systemwahl.

Da die atrioventrikuläre Blockierung (AV-Blockierung) und die Sinusknotenfunktionsstörung die in dieser Arbeit betrachteten Reizleitungsstörungen darstellen, fokussiert die Betrachtung der *Systemempfehlungen* auf eben diese beiden Krankheitsbilder (siehe Kapitel 1.4.2.1. und 1.4.2.2.).

#### 1.4.2.1. Systemwahl bei atrioventrikulärer Leitungsstörung

Gemäß dem Schweregrad der atrioventrikulären Leitungsstörung gibt die Gesellschaft für Kardiologie, Herz- und Kreislaufforschung [13] für den **permanenten AV-Block** folgende Empfehlungen:

System der 1. Wahl ist der konventioneller Zweikammer-Schrittmacher (DDD); er bietet die hämodynamisch **optimale** Lösung.

als **akzeptable** Alternative ist bei isolierten AV-Überleitungsstörungen das VDD-Einzelelektrodensystem (VDD-single-lead) zu betrachten. Es muss hierfür aber eine Sinusknotenfunctiionsstörung sicher ausgeschlossen sein, da es sonst an der unteren Interventionsfrequenz zur VVI-Stimulation kommt. Bei vorhandener retrograder Leitung kann eine Schrittmacher-Reentrytachykardie (Endless-Loop-Tachykardie) provoziert werden, die bei fehlender atrialer Stimulationsmöglichkeit evtl. nicht zu terminieren ist, bzw. immer wieder induziert wird.

für die permanente AV-Blockierung wird die VVI- und VVIR-Stimulation als **ungeeignet** angesehen.

Für den **intermittierenden AV-Block** stellen sich die Therapieempfehlungen folgendermaßen dar:

als **akzeptabel** wird die konventionelle DDD / VDD-Stimulation angesehen; sie wird deshalb nicht als **optimal** angesehen, weil nur **Spezialalgorithmen** in der Lage sind, zwischen erhaltenem Eigenrhythmus und einer notwendigen Ventrikelstimulation mit optimiertem AV-Intervall zu wechseln.

bei seltenen AV-Blockierungen und bei prophylaktischen Indikationen kann auch eine VVI-Stimulation mit niedriger Interventionsfrequenz (<45 / min.) **akzeptabel** sein.

**ungeeignet** sind 2-Kammer-Schrittmacher in der DDI-Betriebsart, da bei auftretenden Überleitungsstörungen keine AV-Synchronisation erfolgt; außerdem ungeeignet sind VVI-Schrittmacher in einer Frequenzprogrammierung, die zu ständigen Interferenzen mit dem Eigenrhythmus führt.

#### 1.4.2.2. *Systemwahl bei Sinusknotenfunktionsstörung*

Auch bei der Sinusknotendysfunktion werden gemäß der Ausprägung der Störung und in Abhängigkeit assoziierter Reizleitungsstörungen verschiedene Therapieempfehlungen gegeben.

##### 1.4.2.2.1. *isolierte Sinusknotenfunktionsstörung*

Die AAI-Betriebsart stellt hier die **optimale** Stimulationsform dar.

Es sollte zur Vermeidung von Komplikationen ausgeschlossen werden, dass eine extrinsisch vermittelte Sinusknotenfunktionsstörung vorliegt (z.B. Karotissinus-Syndrom; vasovagales Syndrom), dass ein AVB I° oder ein bifaszikulärer Block besteht, intermittierendes Vorhofflimmern gehäuft auftritt und eine Behandlungsnotwendigkeit mit AV-überleitungsverzögernden Medikamenten besteht.

Außerdem sollte gewährleistet sein, dass eine 1:1.-Überleitung bis zu einer Vorhof-Stimulationsfrequenz von 120-130/min. erfolgt.

##### 1.4.2.2.2. *kombinierte Sinusknotenfunktionsstörung*

#### ■ **AV-Überleitungsstörung**

Ist neben der Sinusknotenfunktionsstörung auch die **AV-Überleitung gestört** oder unsicher oder werden Medikamente verabreicht, die die AV-Überleitung verzögern, dann sollten geeignete 2-Kammer-Schrittmacher eingesetzt werden.

Als **optimal** werden hierbei Systeme angesehen, die eine überwiegende Vorhofstimulation ermöglichen (DDI mit langer AV-Zeit, AAI / DDD-Mode-Switching oder andere Spezialalgorithmen).

**Akzeptabel** kann bei seltenen paroxysmalen Pausen die VVI-Stimulation mit niedriger Interventionsfrequenz (<45 / min.) sein.

Als **ungeeignet** wird eine VVI-Stimulation mit ständiger asynchroner Ventrikelerrregung angesehen. Das gleiche gilt für die VDD-Stimulation.

### ■ intermittierendes Vorhofflimmern

Kommt es zu häufigen Episoden von **intermittierendem Vorhofflimmern**, dann sollte wegen der Gefahr bradykarder Überleitungsfrequenzen unter antiarrhythmischer Therapie einem geeigneten 2-Kammer-System der Vorzug gegeben werden. In diesem Fall stellt dies die **optimale** Stimulationsform dar. Es muss dabei ein Modus programmierbar sein, der eine Triggerung von Vorhofarrhythmien verhindert (z.B. DDI-Stimulation, DDD / DDI-Mode-Switching oder andere Spezialalgorithmen).

Die Verwendung eines AAI-Schrittmachers bei intermittierendem Vorhofflimmern kann **akzeptabel** sein, da die präautomatischen Pausen sicher terminiert werden.

**Ungeeignet** ist die VVI-Stimulation. In prospektiven Studien war die VVI-Stimulation die einzige Variable, die signifikant mit einem erhöhten Thrombembolierisiko einherging.

### ■ chronotrope Inkompetenz

Hier ist ein frequenzvariables System (AAIR; DDDR; DDIR) die **optimale** Lösung.

Kritische Größen sind die Wahl der oberen Stimulationsfrequenz (Gefahr der Überstimulation) und die Länge des AV-Intervalls (Gefahr der Vorhofpfropfung bei zu kurz programmiertem Intervall im DDDR / DDIR-Modus; unphysiologische Verlängerung der AV-Überleitung im AAIR-Modus).

**Ungeeignet** ist bei der Sinusknotenerkrankung die VVIR / VDDR-Stimulation.

## 2. Ziel der Arbeit

Ausgehend von den Standards der Herzschrittmachertherapie der letzten 10 Jahre soll in dieser Arbeit ein Überblick über die Möglichkeiten und Probleme der permanenten epikardialen Schrittmacherversorgung im Säuglings- und Kleinkindalter gegeben werden.

Betrachtet wird hierzu der **peri-, postoperative und der Langzeitverlauf** der Herzschrittmacherversorgung von **21 Kindern**, die im Zeitraum vom **September 1992 bis zum September 2001** in der stationären und ambulanten Versorgung des Zentralklinikums der Westfälischen Wilhelms-Universität Münster standen.

Abschließend werden die eigenen Ergebnisse der epikardialen Schrittmacherversorgung im Kleinkindalter mit denen nationaler und internationaler Studien verglichen.

Auf dieser Basis wird auch Bezug genommen auf die Diskussion der Frage des epikardialen oder transvenösen Implantationsverfahrens.

### 3. Patientenkollektiv, Material und Methoden

#### 3.1. Patientenkollektiv

Im Zeitraum vom 02.09.1992 bis zum 06.09.2001 wurden an der Westfälischen Wilhelms-Universität Münster **21 Kinder** mit einem epikardialen Herzschrittmacher versorgt. Von diesem Kollektiv waren 10 Kinder männlichen, 11 Kinder weiblichen **Geschlechts**.

#### 3.2. Präoperative Daten

Zum Zeitpunkt der Schrittmacherimplantation lag das mittlere **Alter** des Patientenkollektivs bei 6,5 Monaten (Minimum: 11 Tage; Maximum: 29Monate).

Das mittlere **Körpergewicht** lag bei 4694g (Minimum: 1400g; Maximum: 10.100g).

Die mittlere **Körperlänge** lag bei 58cm (Minimum: 40cm; Maximum: 81,5cm).

In 8 / 21 Fällen handelte es sich um ehemalige Frühgeborene.

Die **Indikation** zur Schrittmacherversorgung wurde in 15 Fällen wegen postoperativem AVBIII (vgl. Abb. 14 und Tab. 8), in 4 Fällen wegen kongenitalem AVBIII gestellt. Bei einem Patienten wurde die Indikation bei AVBIII nach RS-Virus-Infektion, bei einem anderen wegen Sinusknotenfunktionsstörung gestellt.

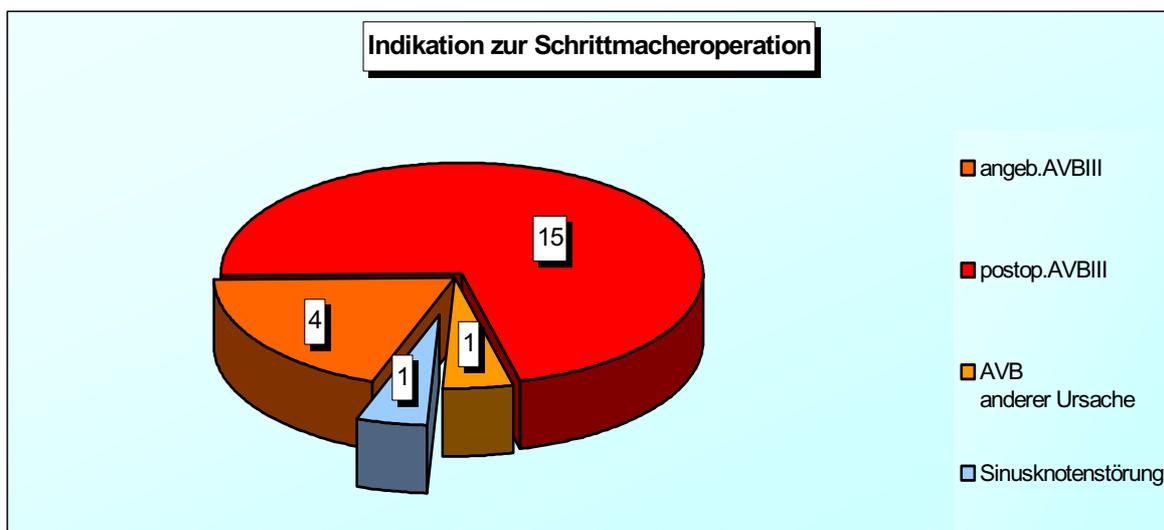


Abbildung 13: Indikation zur Schrittmacherimplantation

**Tabelle 8:** Darstellung von *Alter, präoperativer Diagnose (kongenitaler kardialer Defekt) und Operation* bei 15 Patienten, bei denen sich die Indikation zur Schrittmacherimplantation aus einem postoperativen AV-Block III° ergab.

Lfd.Nr.	Alter (Mon.)	Diagnose	Operation*
1	8	Ventrikel-Septum-Defekt (VSD)	VSD-Patchverschluss
2	17	Atrialer Septum-Defekt (ASD)I	ASD-I-Patchverschluss
3	0,25	dextro-Transposition großer Arterien (d-TGA); ASD II	arterielle Switch-OP; ASD-II-Verschluss
4	5	kompletter Atrio-Ventrikulärer-Kanal-Defekt	AV-Kanal-Korrektur
5	3	kompletter AV-Kanal-Defekt	AV-Kanal-Korrektur
6	1	hypoplastischer Aortenbogen; (VSD)	AO-Bogen-Plastik; VSD-Verschluss
7	5	perimembranöser VSD; Links-Rechts-Shunt	VSD-Verschluss; direkter Verschluss des Foramen ovale
8	6	Double-outlet-Right-Ventricle (DORV)	DORV-Korrektur
9	4	VSD	VSD-Patchverschluss
10	5	VSD	VSD-Patchverschluss
11	9	kompletter AV-Kanal-Defekt	AV-Kanal-Korrektur
12	12	kompletter AV-Kanal-Defekt	AV-Kanal-Korrektur
13	3	VSD	VSD-Patchverschluss
14	2	kritische Aorten-Isthmus-Stenose; VSD	AO-Isthmus-Stenose-Plastik; VSD-Patchverschluss
15	8	großer perimembranöser VSD	VSD-Patchverschluss

(\* = unter Einsatz der Herz-Lungen-Maschine [HLM])

### 3.3. Herzschrittmacheroperation

Der operative Eingriff der Herzschrittmacherimplantation fand nach den derzeit gültigen operativen Standards zur epikardialen Herzschrittmacherimplantation statt.

Hierzu erfolgt nach sterilem Abwaschen und Abdecken in Rückenlage der kardiale Zugang über einen subxiphoidalen (=epigastrischen) Hautschnitt (n=18), bzw. die mediane Sternotomie im Falle der Kombination mit weiteren ausgedehnten Korrekturingriffen am Herzen (n=3). Die linkslaterale Thorakotomie wurde bei uns nicht als Zugang verwendet.

Danach werden Subkutis und Rektusscheide eröffnet (siehe Abbildung 15).

Anschließend wird das Perikard mit Hochnähten so fixiert, dass ausreichend Sicht auf die diaphragmale Ventrikelfläche, bzw. bei Zwei-Kammer-Systemen zusätzlich auf den kaudalen Anteil des rechten Vorhofs, besteht.

Es folgt anschließend die Fixierung der Elektroden mit 5 x 0 Prolene-Nähten am Ventrikel, bei 2-Kammersystemen darüberhinaus auch am Vorhofmyokard.

Nach Messung von ausreichenden Stimulations- und Wahrnehmungswerten wird auf Bluttrockenheit überprüft und anschließend das Aggregat in eine zuvor präformierte retrorektale Schrittmachertasche eingebracht. Diese findet sich im betrachteten Kollektiv bei 19 / 21 Patienten auf der linken Körperseite, bei 2 / 21 Patienten kontralateral. In einem Fall war der entsprechende Implantationsort linksseitig bereits durch die Anlage eines Anus praeters belegt.

Die Operation wird nach Faszienschluß mit dem schichtweisen Wundschluß und einer Verbandanlage beendet.

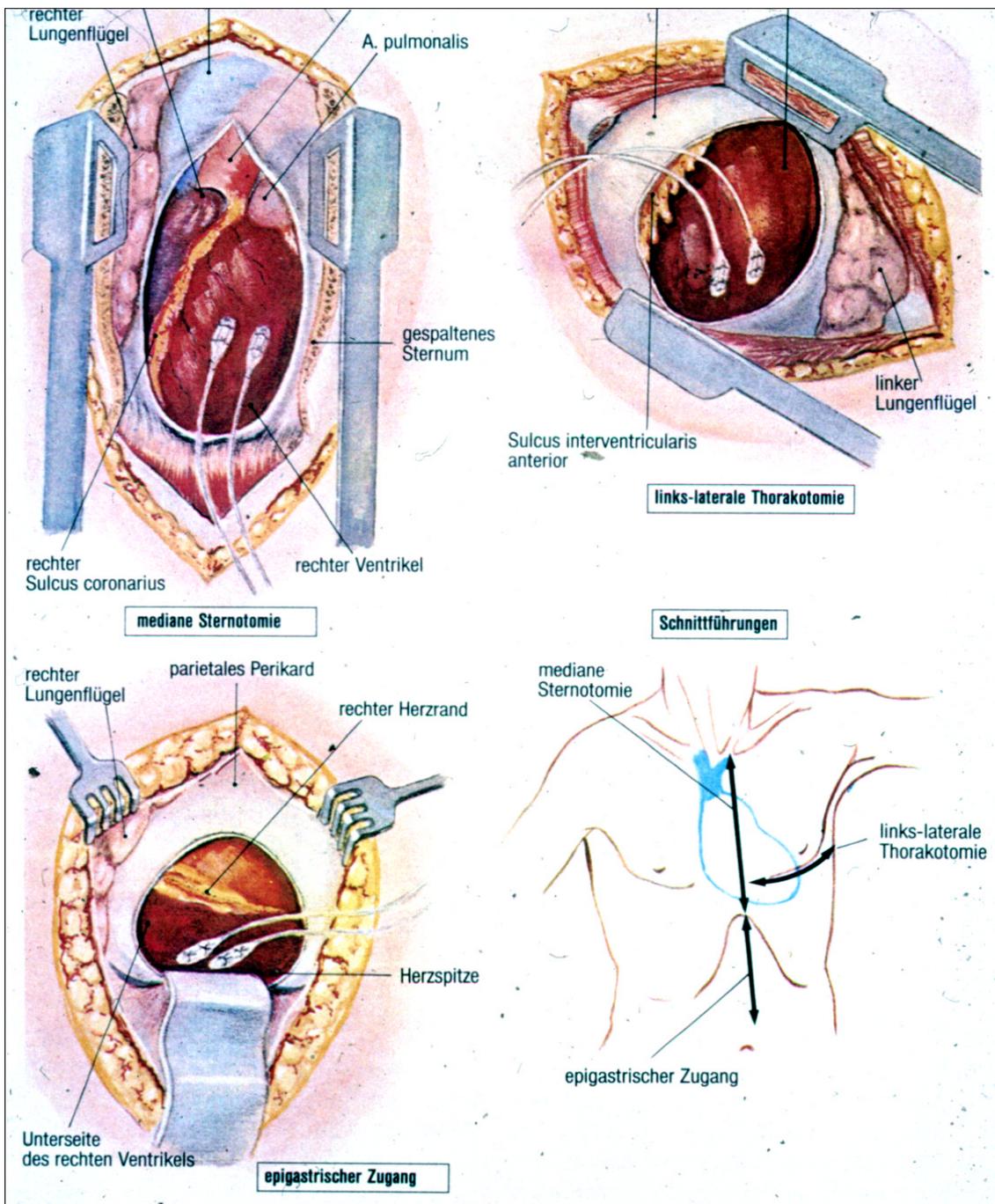


Abbildung 14: Zugangswege bei epikardialer Schrittmacherimplantation

### 3.4. Herzschrittmachersysteme

Alle 21 Kinder wurden bei der Erstimplantation mit einem epikardialen Schrittmachersystem der Firma Medtronic (n=19), Biotronik (n=1) oder Pacesetter (n=1) versorgt.

Fünf Kinder erhielten ein DDD(R)-System, sechzehn wurden mit einem VVI(R)-System ausgerüstet.

Das größere Biotronik-Gerät wurde wegen längerer Batterielebensdauer und der Möglichkeit der Erhöhung der Stimulationsenergie bis auf 9,6 V gewählt.

Das besonders kleine und leichte Pacesetter-Aggregat erhielt ein 19 Tage altes ehemaliges Frühgeborenes, das mit einem Körpergewicht von 1400g zum Zeitpunkt der Schrittmacherimplantation und einer Körperlänge von 40cm den kleinsten Patienten des Kollektivs darstellte.

**Tabelle 9: Maße und Häufigkeit der verwendeten Aggregate bei Schrittmacherimplantation**

Hersteller	Stim.-modus	Typen-bezeichng.	Höhe (mm)	Breite (mm)	Tiefe (mm)	Volumen (mm <sup>3</sup> )	Masse (g)	Anzahl
<i>Medtronic</i>	DDD(R)	<i>Thera DR 7960i</i>	44,7	47,9	7,5	12,1	27,1	<b>5</b>
	VVI(R)	<i>Thera SR 8962i</i>	40,2	42,9	7,5	9,7	21,5	<b>3</b>
	VVI(R)	<i>Thera SR 8960i</i>	40,2	42,9	7,5	9,7	21,5	<b>6</b>
	VVI	<i>Thera S 8964i</i>	40,2	42,9	7,5	9,7	21,5	<b>2</b>
	VVI(R)	<i>Thera SR 8940i</i>	38,9	42,4	7,0	9,1	20,7	<b>3</b>
<i>Biotronik</i>	VVI(R)	<i>Picos E01</i>	51	41	8,8	13,8	35	<b>1</b>
<i>Pacesetter</i>	VVI(R)	<i>Microny SR+2425T</i>	33	33	6	5,9	12,8	<b>1</b>

■ Die Aggregattypen Medtronic Thera SR 8960i und S 8964i unterscheiden sich lediglich in der Frequenzanpassungsoption.

■ Das Aggregat Medtronic Thera SR 8962i verfügt gegenüber dem Typ Thera SR 8960i über den Anschluß einer sog. Low-Profile-Elektrode (=Elektrode ohne Dichtlippen)

### 3.5. Elektrodensysteme

19 von 21 Kindern wurden bei der Erstimplantation mit steroid-eluierenden Noppen-Elektroden der Firma Medtronic, Typ 10366 (n=16) und 4965 (n=8) versorgt.

Bei zwei weiteren Kindern stammte die Elektrode von der Firma Biotronik, Typ DM50-UP (n=2):

- In dem einem Fall wurde diese Elektrode passend zum Aggregattypen des gleichen Herstellers (Biotronik Typ Picos E01) implantiert.
- Im anderen Fall wurden aus logistischen Gründen Systemteile verschiedener Hersteller miteinander kombiniert: Weil zum Operationstermin keine Medtronic-Elektroden vorhanden waren, wurde das Medtronic-Aggregat (Typ SR 8962i) hier mit einer Biotronik-Elektrode (Typ DM50-UP) implantiert.

**Tabelle 10: technische Daten der verwendeten Elektrodentypen bei Schrittmacherimplantation**

Hersteller	Typ.bez.	Verankerung	aktive Oberfläche (mm <sup>2</sup> )	Material Elektroden-spitze	Isolation	Elektroden-spitze	Polarität	Anzahl
Medtronic	10366	aufnähbarer Elektrodenkopf	6,0	Platinirtes Platin	Polyurethan	1,0mg Dexamethason	bipolar	<b>16</b>
Medtronic	4965	aufnähbarer Elektrodenkopf	14,0	Platinirtes Platin	Polyurethan	1,0mg Dexamethason	unipolar	<b>8</b>
Biotronik	DM50-UP	aufnähbarer Elektrodenkopf	10	Elgiloy	Silikon	kein Steroid	unipolar	<b>2</b>

### 3.6. Nachbeobachtung

Die Nachbeobachtung umfasst einerseits die Betrachtung des **perioperativen Verlaufs** (erste 30 Tage nach Herzschrittmacheroperation) und des **postoperativen Zeitraums** (bis zur Entlassung des Patienten in die ambulante Weiterbetreuung). Andererseits widmet sich die Analyse des **Langzeitverlaufs** der Betrachtung klinischer und technischer Parameter (Tabelle 10 und 11) im Rahmen ambulanter Nachuntersuchungen oder eventuell notwendig gewordener stationärer Aufenthalte.

**Tabelle 11:**

<b>Klinische Daten:</b>
•Operationsdauer
•Hospitalisationsdauer
•Wundheilungsverlauf
•Anzahl und Indikation von Revisionseingriffen (mit Betrachtung von Zugang, Aggregatlokalisierung, Hardware)
•Wachstum (Entwicklung von Körpergröße und –gewicht <i>am Normogramm</i> )
•kardiopulmonale Belastbarkeit
•neurologischer Status ( <i>intellektuelle und statomotorische Entwicklung</i> )

**Tabelle 12:**

<b>Technische Daten:</b>
•Generatorsysteme ( <i>Hersteller, Größe, Gewicht</i> )
•Elektrodensysteme ( <i>Hersteller, Elektroden spitze</i> )
•Stimulationsmodus
•Reizschwelle*
•P-/R-Wellenwahrnehmung*
•Elektrodenimpedanz*

\* Die Reizschwelle wurde sowohl ventrikulär als auch atrial bestimmt, und zwar entweder bei einer festen Reizdauer von 0,5ms oder 1,0ms.

Die Darstellung des Verlaufs von Reizschwellen, Wahrnehmungseigenschaften und Elektrodenimpedanzen erfolgt für epikardiale Schrittmachersysteme und – im Fall einer Umsetzung – auch für transvenöse Schrittmachersysteme.

**Nachuntersuchungen** der Patienten fanden gemäß den Empfehlungen der Deutschen Gesellschaft für Kardiologie, Herz- und Kreislaufforschung [13] zu folgenden Terminen statt:

- 1) *im 1. Monat nach Implantation*
- 2) *ca. 3 Monate nach Implantation*
- 3) *ca. 9 Monate nach Implantation*
- 4) *danach alle 6-12 Monate.*

### 3.7. Klassifikation des Verlaufs

Für die Beurteilung der erfolgreichen Schrittmacherversorgung wurde bezüglich des peri-, postoperativen und des Langzeitverlaufs eine Aufteilung des Patientenkollektivs in zwei Klassen vorgenommen:

► **Patienten mit unkompliziertem Verlauf**

► **Patienten mit kompliziertem Verlauf**

Als **kompliziert** wurde der Verlauf dann eingestuft, wenn

**a) die in Tab. 10 angegebenen klinischen Parameter Auffälligkeiten aufwiesen,**

- die in direktem kausalen Zusammenhang mit dem Eingriff der Schrittmacherversorgung standen, und
- die so schwerwiegend waren, dass sie einen erneuten stationären Aufenthalt, evtl. mit Revisionseingriff nötig machten.

**b) die in Tab. 11 angegebenen technischen Parameter Auffälligkeiten aufwiesen,**

- die einen Revisionseingriff bedingten, der nicht als reguläre Revision wegen Batterieerschöpfung oder wegen funktioneller Elektrodenverkürzung im Rahmen des Längenwachstum notwendig wurde, oder wenn

**c) Todesfälle auftraten.**

Als **unkompliziert** wurden alle übrigen Verläufe eingestuft.

### 3.8. Methodik der Datenauswertung

Die Beurteilung der Herzschrittmacheroptionen im Neugeborenen- und Kleinkindalter erfolgt unter Betrachtung der in Tab. 10 und 11 angegebenen klinischen und technischen Parameter.

Die Erhebung und Analyse dieser Daten, sowie der Daten zum methodischen Vorgehen bei Herzschrittmacherimplantation im Kindesalter, erfolgte durch Einsicht und Auswertung der Akten

der Klinik und Poliklinik für Thorax-, Herz- und Gefäßchirurgie,  
der Klinik und Poliklinik für Kinderheilkunde, Allgemeine Kinderheilkunde,  
der Klinik und Poliklinik für Kinderheilkunde, Kardiologie  
der Medizinischen Klinik und Poliklinik C (Kardiologie und Angiologie),  
Herzschrittmacher- und Defibrillator-Ambulanz

des Zentralklinikums der Westfälischen Wilhelms-Universität Münster.

Darüberhinaus wurde über

das computergestützte Management- und Qualitätssicherungssystem der  
Klinik und Poliklinik für Thorax-, Herz- und Gefäß-Chirurgie Einsicht in die  
intraoperativen Daten und die peri- und postoperativen Verläufe der Patienten  
genommen.

Für die Auswertung der klinischen und technischen Daten im Langzeitverlauf wurde insbesondere Einsicht in die Akten der Herzschrittmacher- und Defibrillatorambulanz und der Klinik und Poliklinik für Kinderheilkunde, Allgemeine Kinderheilkunde und Kardiologie, genommen.

Die Angabe von Häufigkeiten erfolgt jeweils unter Angabe von Minimal-, Maximal- und Mittelwert, sowie der Standardabweichung.

## 4. Ergebnisse

Die Betrachtung der Ergebnisse erfolgt unter Bezug auf den peri- und postoperativen Verlauf, sowie auf die Entwicklung der Kinder im Langzeitverlauf. Als Beurteilungskriterien wurden die klinischen und technischen Parameter aus Tab. 10 und 11, Kapitel 3 herangezogen (siehe dort).

Die Klassifizierung des Patientenkollektivs in Gruppen mit regelrechtem und kompliziertem Verlauf erfolgt nach den unter Kapitel 3 angegebenen Kriterien.

### 4.1. Zeitraum der Nachbeobachtung

Der Zeitraum der Nachbeobachtung beginnt mit dem Datum der Schrittmacherimplantation. Er umfasst die Betrachtung des perioperativen Verlaufs (erste 30 Tage nach Herzschrittmacheroperation), der postoperativen Phase (bis zur Entlassung des Patienten in die ambulante Weiterbetreuung) und den Zeitraum der ambulanten Nachsorge.

Die Nachbeobachtung endet im September 2001 und umfasst damit einen *Gesamtzeitraum* von genau 9 Jahren.

Die mittlere Beobachtungszeit für das untersuchte Kollektiv beträgt 52,57 Monate ( $\pm 24,32$  Mon.; Min.: 1 Tag [Todesfall]; Max.: 103 Mon.).

### 4.2. Operationsdauer

Die **mittlere Operationsdauer** für das untersuchte Patientenkollektiv betrug 79,7 Minuten ( $\pm 45,1$ min.).

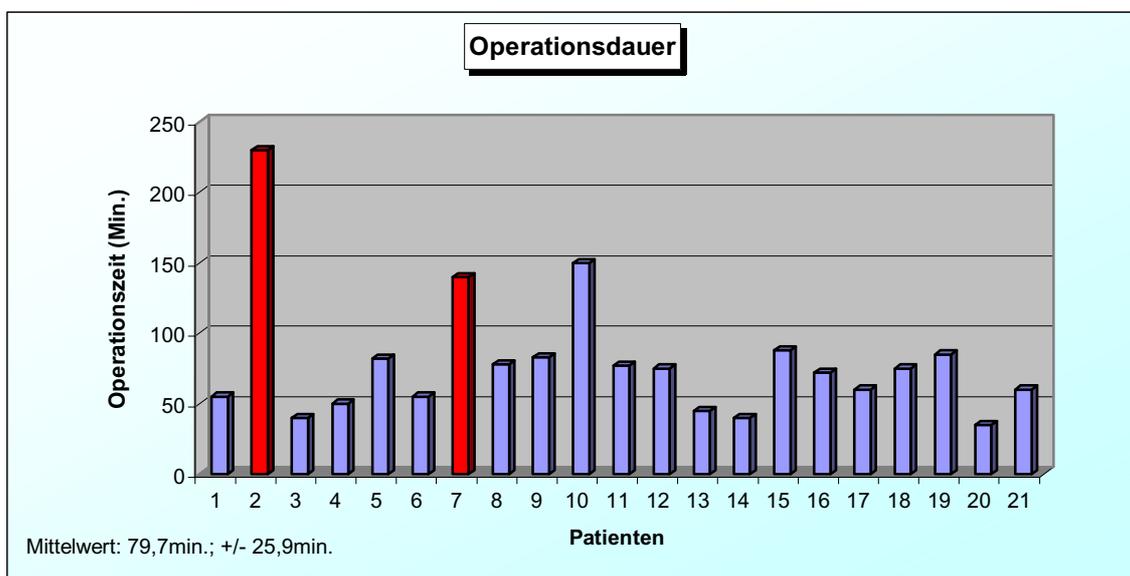
Die **maximale Operationsdauer** von 230 Minuten resultierte bei der Patientin aus der Kombination der Herzschrittmacherimplantation mit einem umfangreichen Korrekturingriff bei Fallot'scher Pentalogie. Bei bekannter Sinusknotenfunktionsstörung wurde dabei die Implantation eines epimyokardialen VVIR-Schrittmachers im Anschluss an die Korrekturoperation vorgenommen.

Ein zweiter Patient erhielt sein Schrittmachersystem im Rahmen einer anatomischen Korrektur einer Hohlvenenfehleinmündung und eines ASD-II-Verschlusses. Hier resultierte eine Operationsdauer von 140min..

Ein dritter Patient wurde bei postoperativem AV-Block III° nach Korrektur eines Double-Outlet-Right-Ventrikels mit einem Schrittmacher versorgt. Wegen schwieriger Elektrodenplatzierung der bipolaren Ventrikel-Elektrode resultierte hier eine Operationsdauer von 150 min..

Die **minimale Operationsdauer** von 35 Minuten konnte bei einem Kind erzielt werden, bei dem die Herzschrittmacherimplantation bei postoperativem AV-Block III° nach Ventrikelseptumverschluss isoliert erfolgte.

Einen Überblick über die jeweilige Operationsdauer der Schrittmacherimplantation gibt Abbildung 15.



**Abbildung 15: Operationsdauer bei Herzschrittmacherimplantation.**

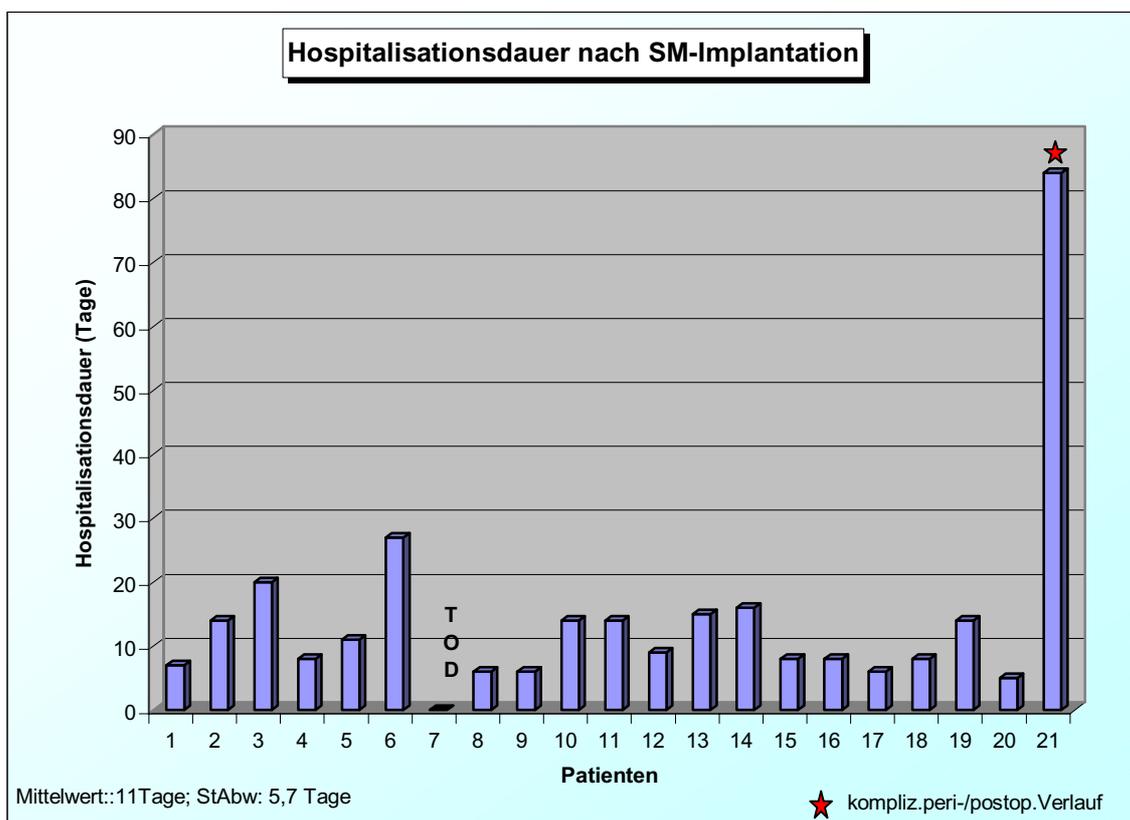
*Rot gekennzeichnet sind die Patienten, bei denen die Schrittmacherimplantation i.R. eines anatomischen Korrektureingriffs stattfand.*

### 4.3. Hospitalisationsdauer

Für das Gesamtkollektiv betrug die mittlere Hospitalisationsdauer nach Schrittmacherimplantation 11 Tage ( $\pm$  6 Tage; Minimum: 5 Tage; Maximum: 27 Tage). Ausgenommen aus dieser Mittelwertberechnung sind zwei Patienten mit kompliziertem peri-, bzw. postoperativem Verlauf.

Während das eine Kind bereits am ersten postoperativen Tag verstarb, ergab sich für den anderen Patienten eine Hospitalisationsdauer von 84 Tagen. Dies war auf das frühzeitige Auftreten von Wundheilungsstörungen im Bereich der Aggregattasche zurückzuführen.

Einen Überblick über die Hospitalisationsdauer des Gesamtkollektivs gibt Abbildung 16.



**Abbildung 16: Hospitalisationsdauer nach Herzschrittmacherimplantation**

*Der Verlauf des Patienten Nr.21 gestaltete (T.W.) sich peri- und postoperativ wg. rezidivierender Wundheilungsstörungen schwierig und führte zu einer Hospitalisationsdauer von 84 Tagen.*

## 4.4. Verlauf

### 4.4.1. Unkomplizierter Verlauf

Insgesamt zeigten **15 von 21 Patienten** einen **unkomplizierten Verlauf** im Hinblick auf die untersuchten technischen und klinischen Parameter.

Entweder blieben die Kinder im gesamten Beobachtungszeitraum ohne Revision, oder es fanden lediglich reguläre Revisionen wegen Aggregaterschöpfung oder wegen funktioneller Elektrodenverkürzung durch Körperlängenwachstum statt.

#### *4.4.1.1. Unkomplizierter revisionsfreier Verlauf*

Neun von diesen 15 Kindern blieben im gesamten Beobachtungszeitraum **ohne Revision**.

Lediglich zwei dieser neun Kinder zeigten klinische Besonderheiten, die aber unspezifisch waren. (9 = L.B.; S.K.; M.K.; L.K.; P.S.-G.; L.T.; N.T.; J.H.-O.; D.P.)

- Das eine Kind (J.H.-O.) wies bis zum 9. Monat nach Schrittmacherimplantation rezidivierend Zustände mit Bewusstseinsverlust unklarer Genese auf. Während sich der postoperative Verlauf bezüglich der kardialen Belastbarkeit im gesamten Beobachtungszeitraum regelrecht darstellte, wurde eine kardiale Genese oder insuffiziente Schrittmacherversorgung des Kindes im Sinne kardialer Synkopen ausgeschlossen. Ab dem 9. Monat traten die Bewusstseinsverluste nicht wieder auf.
- Das andere Kind (D.P.) erkrankte zwischen dem 35. und 39. Monat nach Implantation rezidivierend an Bronchitiden. Unter Antibiose mit Cefpodoxim-Proxetil (Podomexef®) und kombinierten Bronchialtherapeutika (Spasmo-Mucosolvan®) konnte aber die Genesung des Kindes herbeigeführt werden. Im Hinblick auf die kardiale Rhythmusstörung zeigten sich bei dem Patienten keine Auffälligkeiten: Das Kind wies selbst beim Kindergartensport gegenüber den Altersgenossen keinerlei Rückstände in der körperlichen Belastbarkeit auf.

In beiden beschriebenen Fällen waren die klinischen Auffälligkeiten nicht auf den Eingriff der Herzschrittmacherimplantation als solcher zurückzuführen. Möglicherweise können sie als allgemeine Folge des operativen Eingriffs bewertet werden.

#### 4.4.1.2. Unkomplizierter Verlauf mit regulärer Revision

**Sechs** der 15 Patienten (S.S.; J.-C.T.; M.Pr.; H.S.; B.S.-V.; C.S.) unterzogen sich im Beobachtungszeitraum **regulärer Revisionen**. Die mittlere Batterielaufzeit für diese sechs Kinder lag bei 44 Monaten ( $\pm 21,3$  Mon.; Min.: 6 Mon.; Max.: 62 Monate).

Damit liegt sie nur knapp über der mittleren Batterielaufzeit des Kollektivs der Patienten, das bei unkompliziertem Verlauf ohne Revision blieb (41,6 Monate) (vgl. Abb.17). Bei ihnen wurde zur Berechnung der mittleren Batterielaufzeit das Datum ihrer letzten Nachuntersuchung herangezogen.

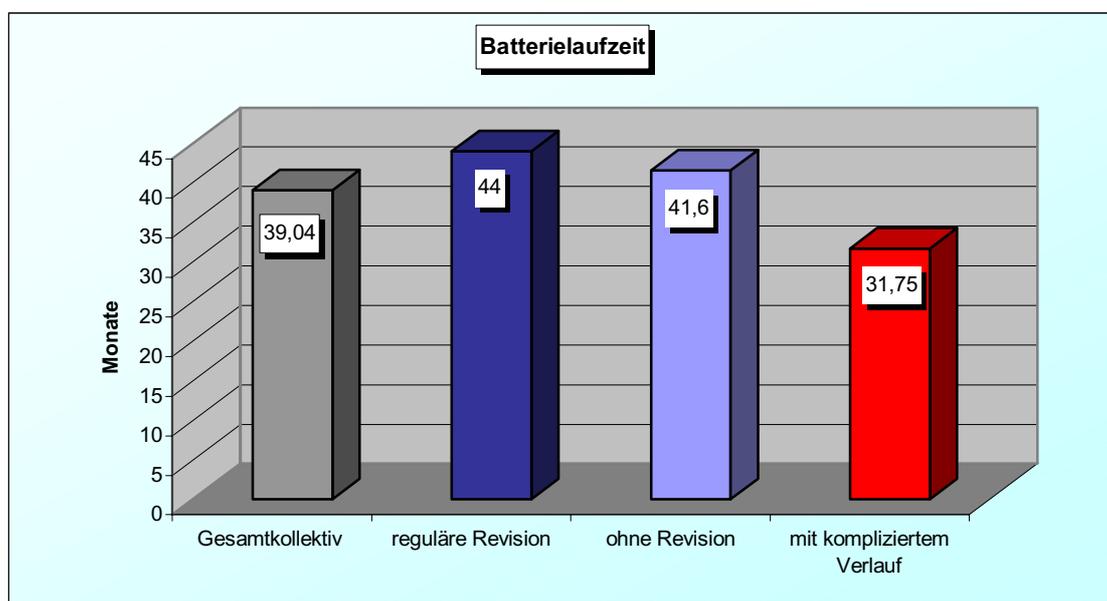


Abbildung 17: mittlere Batterielaufzeit

Vier dieser sechs Patienten wiesen einen unauffälligen klinischen Verlauf auf:

- Bei einem der vier Kinder (S.S.) wurde im Zuge des Aggregataustausches 53 Monate nach Systemimplantation auch die durch das körperliche Längenwachstum funktionell verkürzte Elektrode nachgeschoben. Zuvor war bereits bei der letzten Routinekontrolle eine leichtgradige Streckung der Elektrode aufgefallen.

Nach Explantation des alten Medtronic-Aggregates vom Typ Thera SR8940i erhielt das Kind bei dieser Revision das Medtronic-Modell vom Typ Kappa SR701.

Die Elektrode vom Typ Medtronic 4965-35cm wurde belassen und lediglich nachgeschoben.

- Das Medtronic-Kappa-Modell SR701 erhielt auch ein anderes Kind (J.-C.T.), das wegen Batterieerschöpfung nach 57 Monaten revisionspflichtig geworden war. Explantiert wurde hier das Medtronic-Modell SR8962i.

Auch hier wurde die implantierte Elektrode in situ belassen. Bei dieser handelte es sich um ein Biotronik-Modell vom Typ DM-50/UP.

Bei der Erstimplantation waren aus logistischen Gründen Aggregat und Elektrode unterschiedlicher Hersteller implantiert worden, da zum Operationszeitpunkt keine Medtronic-Elektroden lieferbar waren.

- Ein weiteres dieser vier Kinder (M.Pr.) wurde nach 54 Monaten wegen Batterieerschöpfung revisionspflichtig.

Nachdem dieses Kind bei der Erstimplantation bereits ein 2-Kammer-System der Firma Medtronic, Typ DR7960i erhalten hatte, wurde auch bei dem Revisionseingriff wieder ein 2-Kammer-System der Firma Medtronic implantiert, diesmal vom Typ Kappa DR701.

Auch hier wurden die implantierten Elektroden (atrial: Medtronic 4965; ventrikulär: Medtronic 10366) in situ belassen. Die transvenöse Elektrodenimplantation wurde auf den Zeitpunkt einer erneuten Aggregaterschöpfung verschoben, weil wegen des dann höheren Lebensalters des Kindes mit günstigeren anatomischen Verhältnissen gerechnet wurde.

- Das letzte der vier Kinder mit regulärer Revision (H.S.) erhielt einen Aggregataustausch 62 Monate nach Erstimplantation. Hier wurde das ursprüngliche Medtronic-Aggregat vom Typ

SR8940i durch das größere Medtronic-Gerät vom Typ Kappa SR40 ersetzt. Hierfür musste die bestehende Aggregattasche in linksabdomineller Lage erweitert werden.

Auch in diesem Fall konnte die vorhandene Medtronic-Elektrode vom Typ 4965 bei guter Funktion belassen werden.

Zwei der sechs Kinder *mit regulärer Revision* zeigten im Verlauf nebenbefundlich **klinische Besonderheiten**, die sich aber nicht auf den Eingriff der Herzschrittmacherimplantation als solchen zurückführen ließen.

- Der intra- und postoperative Verlauf des ersten Patienten (B.S.-V.) war komplikationslos. Nachdem intraoperativ eine Reizschwelle von 1,2 V / 0,5 ms gemessen worden war, trat zwar bei einer ersten Systemüberprüfung in den ersten Tagen nach Implantation zunächst ein Reizschwellenanstieg bis auf 2,6 V / 1,0 ms auf. Mit dem Abklingen des postoperativen Ödems im Implantationsbereich der Elektrodenspitze konnte die Reizschwelle aber bereits am neunten postoperativen Tag wieder niedrig gemessen werden.

Die Wundverhältnisse des Kindes stellten sich stets reizlos dar.



**Abbildung 18:**  
**Z. n. Schrittmachererstimplantation**  
**(Patient B.S.-V.)**

Unter der Schrittmachertherapie bildeten sich die präoperativ vorhandenen Zeichen der Herzinsuffizienz mit Trinkschwitzen, Lebervergrößerung und radiologischen Stauungszeichen zurück.

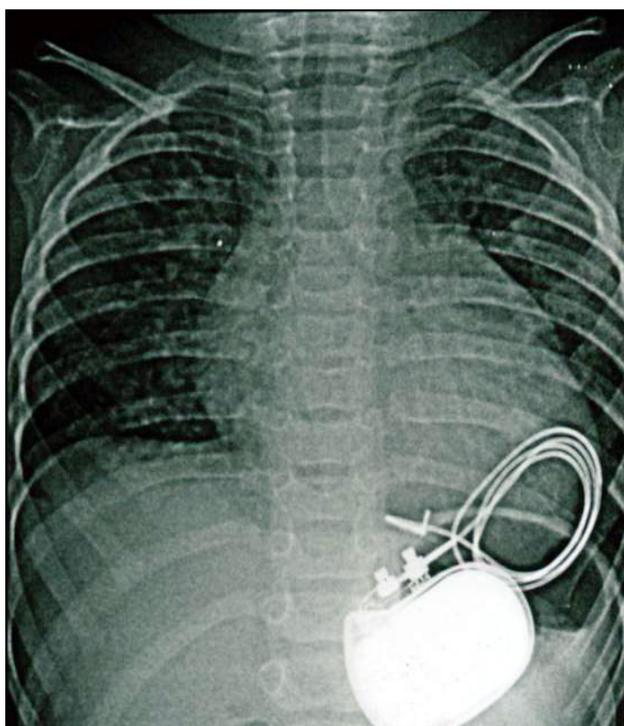
Bis zum 10. postoperativen Monat traten rezidivierend Luftwegsinfektionen auf, die aber mit Sultanol und Atrovent erfolgreich behandelt werden konnten.

Die Eltern berichteten über deutliche Fortschritte des Kindes im Spielverhalten und in der geistigen Entwicklung des Kindes gegenüber dem Zustand vor Implantation. Unterstützt wurde dies durch regelmäßige heilpädagogische Frühförderung und Krankengymnastik.

Im 32. Monat nach Schrittmacheroperation wurde das Kind erstmalig im Sinne einer regulären Revision bei Batterieerschöpfung revisionspflichtig.

Bei einem Alter von 36 Monaten wurde bei dem Patienten die implantierte Biotronik-Elektrode vom Typ DM50-UP bei ausreichenden Schwellenwerten in situ belassen.

Es wurde lediglich das ursprüngliche Biotronik-Aggregat vom Typ Picos E01 durch ein Medtronic-Aggregat vom Typ Thera SR8940i ersetzt und dieses in der alten Schrittmachertasche in links-retrorektaler Lage untergebracht.

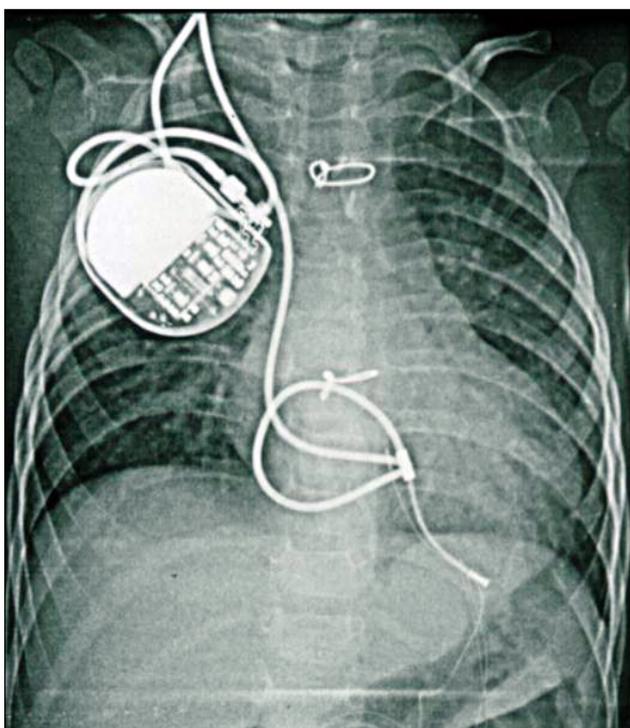


**Abbildung 19:**  
Z. n. Aggregatwechsel bei Batterieerschöpfung im 32. Monat nach Erstimplantation  
(Patient B.S.-V.)

Der postoperative Verlauf stellte sich komplikationslos dar, so dass das Kind bereits am vierten postoperativen Tag wieder in die ambulante Weiterbetreuung entlassen werden konnte.

21 Monate später kam es bei dem Patienten zu einer erneuten Revision:

Nachdem die letzte halbjährliche Kontrolle unauffällig gewesen war, kam es bei der nachfolgenden Kontrolluntersuchung zu einer Verschlechterung der Stimulations- und Wahrnehmungswerte. Bei einem Reizschwellenanstieg auf  $> 3,5 \text{ V} / 0,5 \text{ ms}$  und niedrigen Wahrnehmungswerten zwischen 2,3 und 2,7 mV wurde entschieden, das neue System transvenös zu implantieren.



**Abbildung 20:**  
**Beispiel für Z. n. transvenöser Schrittmacherimplantation über die V. jugularis der rechten Seite und subpektorale Aggregatlokalisierung rechts**

Bei einem Körpergewicht von 16 kg und einer Körperlänge von 111 cm wurde hierfür der Zugang über die V.cephalica in der Mohrenheim-Grube gewählt.

Implantiert wurde eine 52 cm lange steroid-eluierende Medtronic-CapSureFix-Schraubelektrode vom Typ 4068. Durch die Verwendung der Schraubelektrode war die Anlage einer ausreichenden Reserveschlaufe möglich, ohne dass bei deren Abwicklung im Rahmen des weiteren Körperlängenwachstum eine Dislokation aus dem ventrikulären Myokard drohte. Die alte epikardiale Elektrode wurde in situ belassen, abisoliert und in der alten Aggregattasche versenkt.

Das neue Schrittmacher-Aggregat vom Typ Medtronic Thera SR8960i wurde linksseitig unter dem M.pectoralis implantiert. Auf ein 2-Kammer-Sytem musste aus anatomischen Gründen zunächst noch verzichtet werden.

Die Entlassung des Kindes erfolgte bei komplikationslosem stationären Aufenthalt am 5. postoperativen Tag.

Der Patient zeigte bis zum Ende der Nachbeobachtung 46 Monate nach dem Revisionseingriff einen regelrechten Verlauf aller klinischen und technischen Parameter. Die kardiopulmonale Belastbarkeit stellte sich gut dar. Ernsthafte Erkrankungen traten nicht auf. Bei steigender Tendenz lag das Kind bei der letzten Kontrolluntersuchung (fast 9 Jahre alt) mit einem Körpergewicht von 26,2 kg zwischen der 10er und 25er Perzentile, mit einer Größe von 138,5 cm lag es zwischen der 50er und 75er Perzentile.

- Der zweite Patient (C.S.) wurde trotz frühen Aggregataustausches im 6. postoperativen Monat der Gruppe der Kinder mit regulärem Verlauf zugeordnet, da sich die Versorgung des Patienten ab dem Zeitpunkt der Betreuung durch die Universitätsklinik Münster regelrecht gestaltete.

Das Kind wurde mit plötzlichem schnellen Reizschwellenanstieg bis 5,0 V revisionspflichtig, nachdem es in einer Kölner Klinik bereits erstmalig mit einem epikardialen Schrittmacher versorgt worden war. Bei einer Batterie-Restlaufzeit von ca. 3 Monaten wurde die Entscheidung zur Anlage eines neuen Schrittmachersystems getroffen. Das zuvor auswärts implantierte Medtronic-Aggregat vom Typ S8964i wurde explantiert und durch den Typ Thera SR8960i ersetzt.

Bei der implantierten epikardialen Elektrode handelte es sich um eine Medtronic-Noppenelektrode vom Typ 10366.

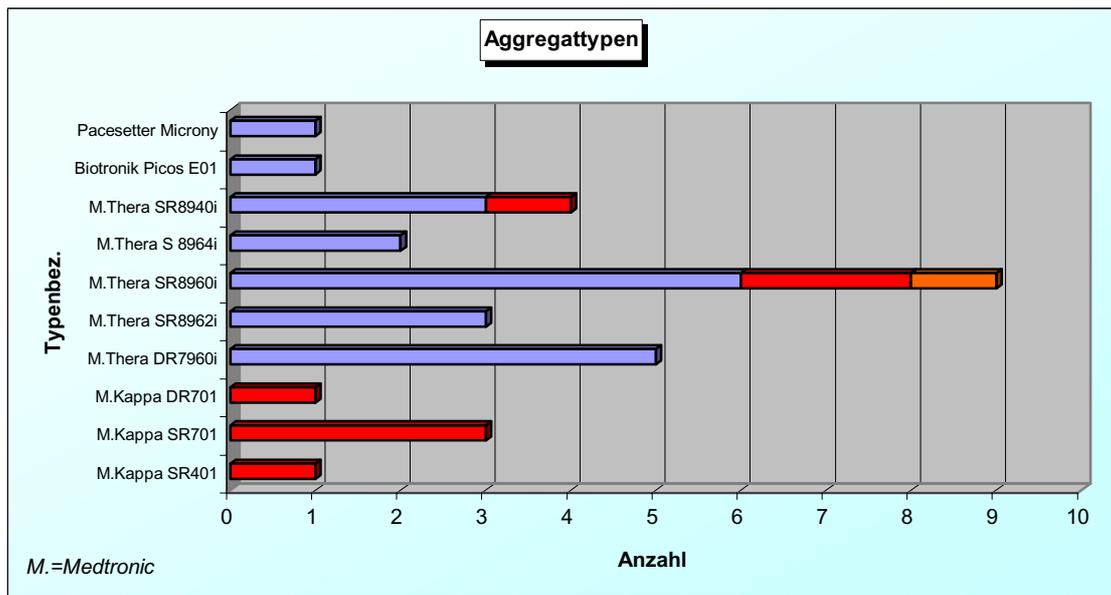
Der intra- und perioperative Verlauf stellte sich unkompliziert dar, so dass die Entlassung in die ambulante Weiterbetreuung bereits am sechsten postoperativen Tag stattfinden konnte.

Der weitere Verlauf der Entwicklung des Kindes stellte sich im Hinblick auf die kardiale Problematik regelrecht dar.

Das Kind war nach Angaben der Eltern zunehmend körperlich belastbar. Unter verbessertem Nahrungsverhalten konnte das Kind deutlich an Gewicht und Grösse zulegen: Während es in beiden Parametern vor der Schrittmacherimplantation deutlich unter der 3. Perzentile gelegen hatte, lag das Kind 18 Monate später mit einem Körpergewicht von 10.300 g bereits zwischen der 3. und 10. Perzentile, mit einer Körperlänge von 80 cm lag es nur noch 2 cm unter der 3. Perzentile.

Die Wundheilung verlief regelrecht. Die Narben waren reizlos sowohl im Bereich des operativen Zugangs zum Herzen, als auch im Bereich der Aggregattasche.

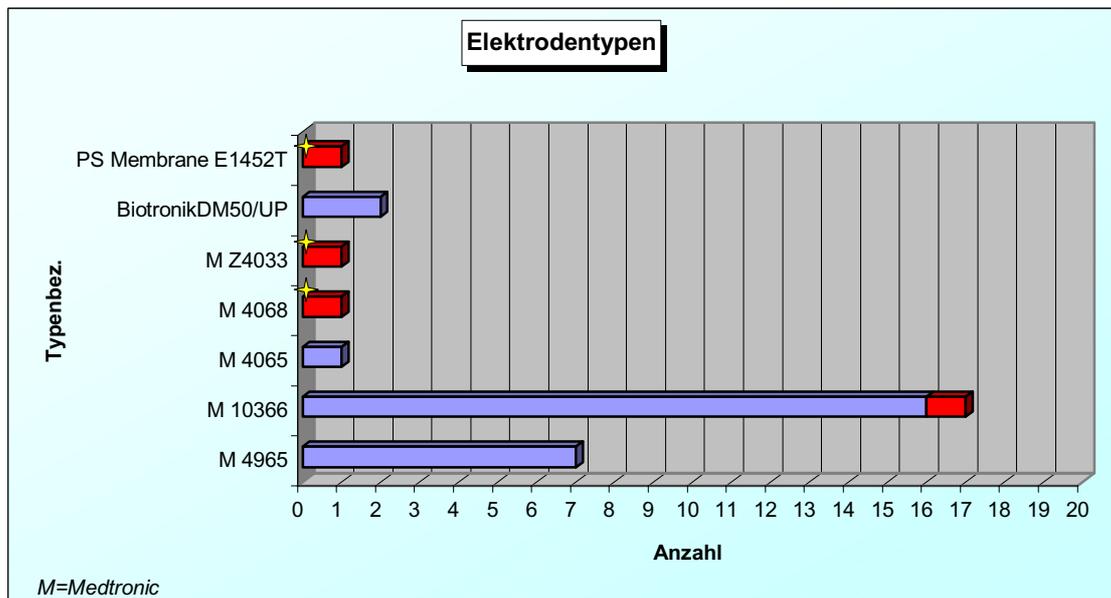
Nebenbefundlich kam es mehrfach zu Synkopen, die als Folge rezidivierender Luftwegsinfekte interpretiert wurden. Unter Inhalationsbehandlung mit NaCl und Sultanolzusatz, sowie unter DNCG-Therapie dreimal täglich ging die Infektneigung ab dem siebten postoperativen Monat zunehmend zurück; die neurologische Symptomatik sistierte damit ebenfalls.



**Abbildung 21: Aggregattypen: Spezifität und Häufigkeit der implantierten Aggregattypen.**

*Blau: Aggregattypen bei Schrittmacher-Erstimplantation.*

*Rot/Orange: Aggregattypen, die im Rahmen eines ersten/zweiten Revisionseingriffs implantiert wurden.*



**Abbildung 22: Elektrodentypen: Spezifität und Häufigkeit der implantierten Elektrodentypen.**

*Rot: Elektrodentypen, die im Rahmen eines Revisionseingriffs implantiert wurden.*

*Elektrodenaustausche fanden nur in Kombination im Zuge einer vollständigen Systemrevision statt.*

*Transvenöse Elektroden sind mit gelbem Stern gekennzeichnet.*

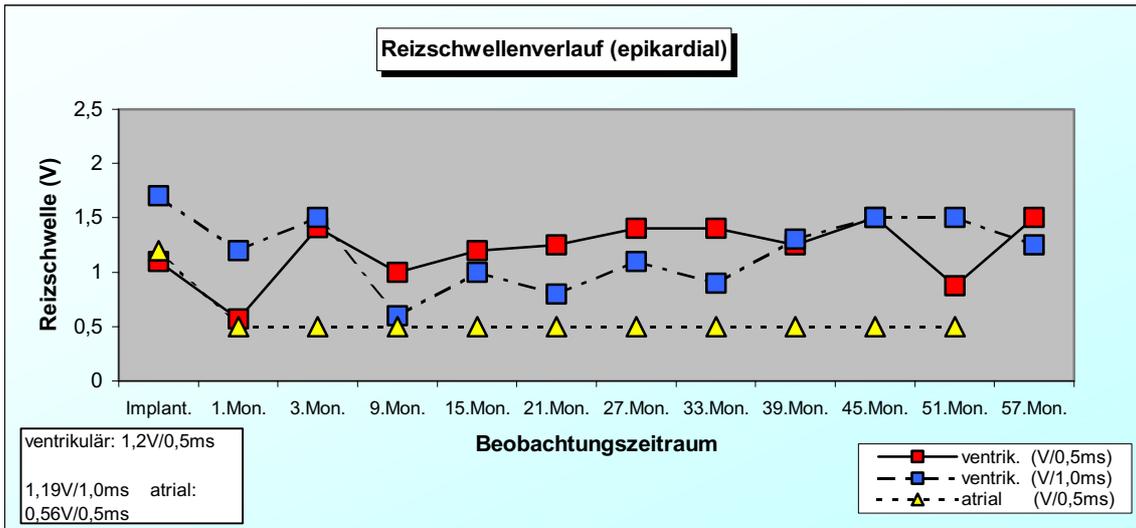


Abbildung 23: Reizschwellenverlauf

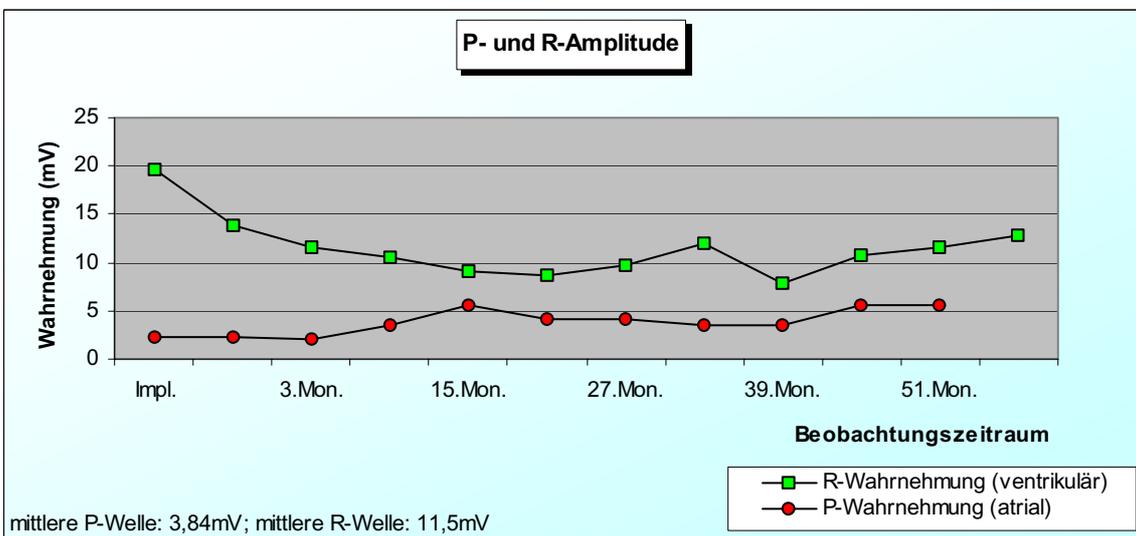


Abbildung 24: Wahrnehmungsverhalten der Elektroden

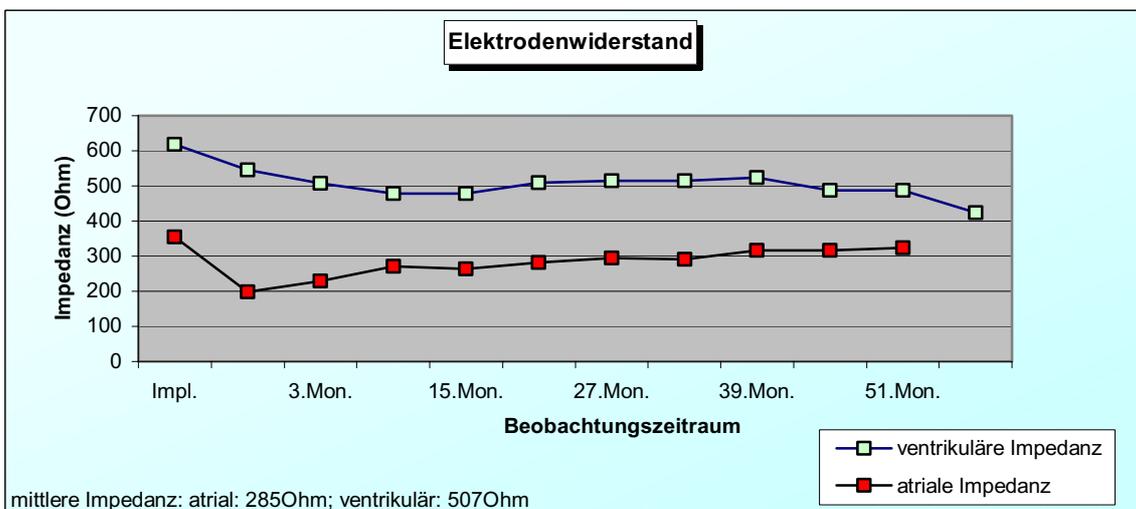


Abbildung 25: Elektrodenwiderstand

#### 4.4.2. Komplizierter Verlauf

Insgesamt zeigten **sechs** von 21 Kindern einen **komplizierten Verlauf** (C.G.; L.Kr.; J.S.; L.S.; M.P.; T.W.) .

Hierunter kam es bei **vier Kindern** zu **schrittmacherassoziierten Auffälligkeiten** der klinischen und technischen Parameter (vgl.Tab.10 und 11 / Kap. 3).

**Zwei** (L.Kr.; J.S.) der sechs Kinder mit Komplikationen **verstarben** im perioperativen, bzw. im Langzeitverlauf. In beiden Fällen ergab die Obduktion aber **keinen Hinweis** auf einen **kausalen Zusammenhang mit der erfolgten Herzschrittmacherversorgung**, so dass diese beiden Fälle nicht als echte Komplikationen im Sinne der unter Kap. 3 angegebenen Kriterien zur Klassifizierung des Verlaufs eingeordnet werden können. Ihr postoperativer Verlauf wird gesondert dargestellt (Kapitel 4.4.3.).

Abbildung 26 gibt einen Überblick über die Art und Häufigkeit der aufgetretenen Komplikationen.

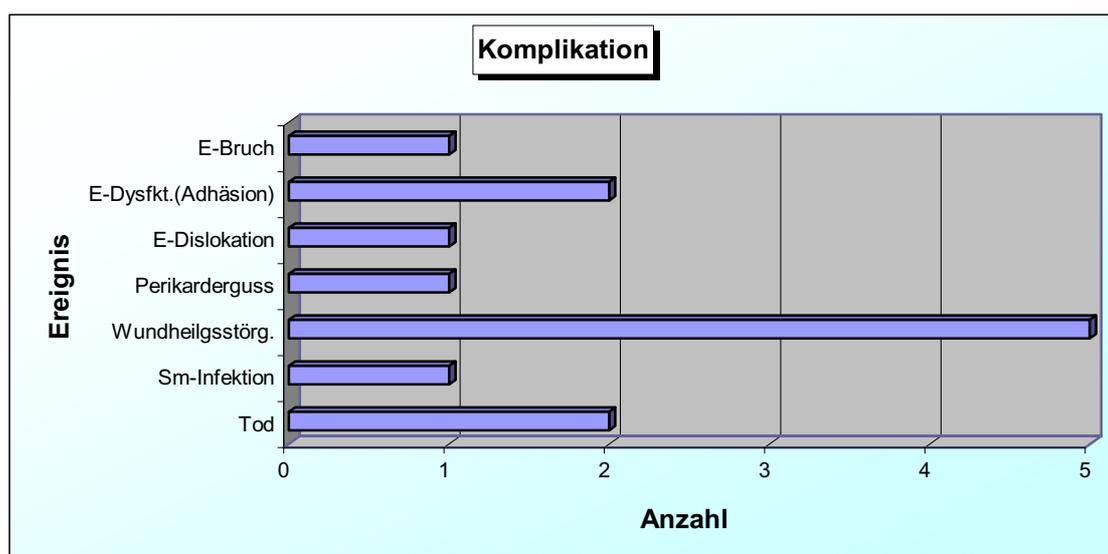


Abbildung 26: Häufigkeit und Spezifität der Komplikationen im postoperativen Verlauf.

#### 4.4.2.1. Komplizierter Verlauf

##### ■ Patientenfall 1:

Fall 1	
Revision	1
Komplikation	Elektrodenbruch
zeitl.Abstand (zur SM-OP/ zum vorausgehenden Ereignis)	17 Monate nach Schrittmacherimplantation
Alter	40 Monate
Körpergewicht	11.000 g
Körperlänge	88 cm
Therapie	transvenöse Systemneueimplantation
Aggregattyp	Medtronic Thera SR 8960i
Elektrodentyp	Pacesetter Membrane E1452T
Verlauf nach Revision	regelrecht

- Bei dem ersten (C.G.) der sechs Kinder mit kompliziertem Verlauf erfolgte die Implantation eines Medtronic-Aggregates vom Typ SR8962i im Alter von 23 Monaten. Bei Sinusknotenfunktionsstörung wurde der Eingriff mit der Korrektur einer Fallot-Pentalogie kombiniert. Der perioperative Verlauf gestaltete sich regelrecht, die Entlassung konnte bereits am 14. postoperativen Tag erfolgen. Das Kind gedieh nach Angaben der Eltern deutlich besser: Während es in Körpergewicht und –länge vor der Schrittmacherversorgung unter der 3. Perzentile lag, konnte es diese bereits 2 Monate nach Implantation mit einem Körpergewicht von 9000 g und einer Körperlänge von 95cm überschreiten.

Abbildung 27: Fall 1

Das Kind war zunehmend besser belastbar, eine Lippenzyanose, Dyspnoe oder belastungsabhängiges Schwitzen traten nicht mehr auf.

Auch der Wundheilungsverlauf gestaltete sich regelrecht: Es fanden sich stets reizlose Wundverhältnisse im Bereich der medianen Sternotomienarbe.

Zu einer ersten Revision kam es etwa 17 Monate nach Implantation:

Im Rahmen einer Routineuntersuchung war ein Exitblock der epimyokardialen Ventrikelelektrode aufgefallen. Bei Verdacht auf Elektrodenbruch wurde bei einem Körpergewicht von 11 kg die Entscheidung zur Neuanlage einer transvenösen Elektrode getroffen.

Die Implantation der bipolaren Pacesetter-Elektrode vom Typ Membrane E1452T erfolgte über die linke V.subclavia. Diese Steroid-Elektrode enthält 13 µg Dexamethason, die kontinuierlich an der Elektrodenspitze eluiert werden, wodurch die Fibrose am Implantationsort reduziert wird und so niedrige Reizschwellenwerte erzielt werden sollen.

Das alte Medtronic-Aggregat vom Typ SR8962i wurde durch den Typ SR8960i ersetzt und in links-subpektoraler Lage untergebracht. In der alten Aggregattasche in links-retrorektaler Lage wurde die alte epimyokardiale Elektrode versenkt, nachdem sie abisoliert und mit einer Schutzkappe versehen worden war.

Der peri- und postoperative Verlauf gestaltete sich komplikationslos. Das Kind konnte bereits am 5. postoperativen Tag in die ambulante Weiterbetreuung entlassen werden.

Einen Monat später wurde ein Rest-ASD verschlossen. Gleichzeitig wurde bei Verdacht auf einen Thrombus am Schrittmacherkabel bei hereditärem Protein-C-Mangel mit niedermolekularem Heparin (Clexane ®) in therapeutischer Dosierung behandelt. Die Clexane-Therapie wurde über 6 Monate fortgeführt, auch weil es kurz vor diesem Eingriff zu einer Symptomatik im Sinne einer transitorisch ischämischen Attacke (TIA) gekommen war. Der Thrombus am Schrittmacherkabel war bei der Kontrolle einen Monat nach Operation nicht mehr nachweisbar. Auch eine TIA-Symptomatik zeigte sich im weiteren Verlauf nicht mehr.

## ■ Patientenfall 2:

<b>Fall 2</b>		
<b>Revision</b>	<b>1</b>	<b>2</b>
<b>Komplikation</b>	Perikarderguss	funktionelle Elektrodenverkürzung
<b>zeitl.Abstand (zur SM-OP/ zum vorausgehenden Ereignis)</b>	1 Monat	27 Monate
<b>Alter</b>	6 Monate	33 Monate
<b>Körpergewicht</b>	4.900 g	16.000 g
<b>Körperlänge</b>	62 cm	100 cm
<b>Therapie</b>	- Perikardektomie u. Resektion eines präkard.Hygromes	- Elektrodenverlängerung durch Adhäsolyse
<b>Verlauf nach Revision</b>	- regelrecht	-DCM des linken Herzens - totalorthotope Herztransplantation im 46.LM - Explantation d. SM-Systems

**Abbildung 28: Fall 2**

- Das zweite Kind (M.P.) mit kompliziertem Verlauf wurde im Alter von fünf Monaten wegen postoperativem AV-Block III° nach Verschluss eines großen perimembranösen VSD schrittmacherpflichtig.

Implantiert wurde ein 2-Kammer-System der Firma Medtronic, Typ DR7960i.

Es wurden Medtronic-Elektroden der Länge 25 cm (atrial, Typ 4965) und 35 cm (ventrikulär, Typ10366) eingebracht.

Einen Monat später ergab sich die Indikation zur operativen Revision bei rezidivierendem Perikarderguss. Eine zuvor durchgeführte forcierte Diurese war erfolglos geblieben. Echokardiographisch fand sich enddiastolisch ein Erguss von 8 mm, zusätzlich eine retrosternale Flüssigkeitsansammlung oberhalb der Herzbasis und linkslateral.

Über eine mediane Sternotomie erfolgte die Perikardektomie und die Resektion eines präkardialen Hygromes. Da sich postoperativ eine Wundinfektion durch Staph.aureus

einstellte, wurde über 8 Tage mit Gentamicin (Refobacin®) und Flucloxacillin (Staphylex®) antibiotisch behandelt. Die Entlassung erfolgte am 11. postoperativen Tag.

Im weiteren Verlauf zeigte das Kind keine kardialen Belastungszeichen, es erschien rosig und in Vigilanz, Motorik und Muskeltonus normal. Auch die Entwicklung von Körpergewicht und Körperlänge war mit einem Verlauf über der 10er Perzentile regelrecht.

Im 27. Monat wurde im Rahmen eines Re-VSD-Direktverschlusses auch gleichzeitig die durch Adhäsionen funktionell verkürzte atriale Elektrode durch Freipräparation wieder um 4 cm verlängert. Hierdurch konnte einer Systemrevision vorgebeugt werden.

Bei dem Patienten hatte sich schon seit der Geburt eine zunehmende Linksherzvergrößerung abgezeichnet. Daher kam es 41 Monate nach Systemerstimplantation – im Alter von 46 Monaten - zur totalorthotopen Herztransplantation wegen dilatativer Kardiomyopathie. Das Kind erhielt das Herz eines etwa 5 kg leichteren Mädchens. Im Rahmen dieses Eingriffs wurde das Schrittmachersystem explantiert.

Die Betrachtung des weiteren postoperativen Verlaufs endet mit dem Datum der Systemexplantation.

### ■ Patientenfall 3:

<b>Fall 3</b>				
<b>Revision</b>	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>4</b>
<b>Komplikation</b>	V.a.Elektrodenbruch	WHS i.Aggregatbereich	Undersensing (Elektrodenmikrodisokation)	funktionelle Elektrodenverkürzung
<b>zeitl.Abstand</b> (zur SM-OP/ zum vorausgehenden Ereignis)	1 Tag	30 Tage	2, 5 Monate	13 Monate
<b>Alter</b>	3 Monate	4 Monate	7 Monate	20 Monate
<b>Körpergewicht</b>	3.000 g	3.420 g	4.400 g	8.000 g
<b>Körperlänge</b>	49 cm	49 cm	60,5 cm	79 cm
<b>Therapie</b>	- Umpositionieren d. Elektrode	- Aggregatumsatzung auf die kontralat. Seite	- Hemi-Fontan u. - Korrektur d. Elektrodenlage	- Fontan-Komplettierung - fkt. Elektrodenverlängerung durch Adhäsionolyse
<b>Verlauf nach Revision</b>	- schlechte Wundheilung	- regelrecht	-schwierige Ernährung bei schlechter Trennungstoleranz von der Mutter - psychosomat. Betreuung; - KG/KL entlang 3.PZ	- regelrecht - Kindergartenbesuch möglich

Abbildung 29: Fall 3

- Ein drittes Kind (L.S.) mit kompliziertem Verlauf war im Alter von drei Monaten schrittmacherpflichtig geworden, da es im Rahmen eines RSV-Infektes als Komplikation eine AV-Rhythmusstörung mit intermittierendem AV-Block III° entwickelte.

Bei einem Körpergewicht von 3.000g wurde über einen subxiphoidalen Zugang eine epikardiale Medtronic-Elektrode vom Typ 10366 implantiert. Das Medtronic-Aggregat vom Typ SR8960i wurde in abdomineller Lage untergebracht.

Nachdem intraoperativ gute Reizschwellen- (2,0 V / 0,5 ms) und Wahrnehmungswerte (R-Welle: 6,4 mV) gemessen wurden, wurde das Kind bereits am ersten postoperativen Tag revisionspflichtig. Bei mangelnder Wahrnehmung wurde ein Elektrodenbruch vermutet .

Obwohl nach Anschluss der Elektrode an ein Testsystem gute Werte gemessen werden konnten, entschied man sich nach mehrfach dokumentierter Fehlfunktion, die vorhandene Elektrode umzupositionieren.

Über die Narbe der medianen Sternotomie konnte erneut eingegangen werden, die Verwachsungen über den diaphragmalen Ventrikelanteilen wurden gelöst und die Befestigungsnähte der Elektrode durchtrennt. Die Neuanlage erfolgte auf der diaphragmalen Ventrikelfläche mit 5x0 Prolene-Nähten. Bei guten Reizschwellenwerten (1,5 V / 0,5 ms) und guter Wahrnehmungsfunktion (11,2 mV) wurde das vorhandene Aggregat wieder in der präformierten Tasche eingebracht.

Aufgrund von Wundheilungsstörungen kam es am 30.postoperativen Tag zur erneuten Revision im Aggregatbereich. Bei noch weiter verbesserter Reizschwelle (1,0 V / 0,5 ms) und stabiler Wahrnehmungsfunktion (11,2 mV) musste bei drohender Perforation das Aggregat auf die kontralaterale Seite verlagert werden.

Bereits kurz nach der 2. Revision fiel eine mangelnde Wahrnehmungsfunktion für supraventrikuläre Extrasystolen auf – was sich besonders in Unruhe des Kindes bemerkbar machte. Die Schrittmacherinterventionsfrequenz wurde bis auf 40 / min reduziert. Es zeigte sich aber, dass das Kind in teils längeren Phasen eines AV-Block II° - III° klinisch symptomatisch wurde und eine Interventionsfrequenz von 100 / min. erforderlich war. Die Wahrnehmungsempfindlichkeit des Systems wurde von 2,8 mV auf 1,0 mV erhöht. Hierunter traten keine weiteren Probleme auf. Aufgrund der unmittelbar vorausgegangenen Operationen wurde eine sofortige Revision der Elektrodenlage nicht angestrebt. Man entschloss sich, zunächst eine Körpergewichtszunahme bis auf etwa 5 kg abzuwarten, und dann diesen Eingriff mit einer Hemi-Fontan-Operation zu kombinieren.

Dies wurde 2,5 Monate nach der Aggregatumssetzung durchgeführt. Der operative und postoperative Verlauf gestaltete sich komplikationslos. Bei verbesserter Elektrodenposition konnte eine Reizschwelle von 1,5V / 0,5ms und eine sehr gute R-Wellen-Amplitude von

15,7mV gemessen werden. Die Wahrnehmungsfunktion konnte im Rahmen dieser Operation wieder von 1,0 mV auf 2,8 mV, später sogar auf 4,0mV umprogrammiert werden.

Die Entlassung erfolgte am 18. postoperativen Tag.

Im Weiteren stellte sich der klinische Verlauf des Patienten gut dar:

Bei zufriedenstellender kardialer Funktion hatte das Kind einen ruhigen Schlaf und zeigte keine Schwitzneigung mehr.

Die Wundheilung verlief regelrecht, die Wundverhältnisse waren stets reizlos.

Nach Angaben der Eltern war das Kind zunehmend belastbar. Auch in der neurologischen und intellektuellen Entwicklung zeigte es eine altersentsprechende Entwicklung.

Lediglich die Ernährung gestaltete sich schwierig, weil es rezidivierend zu postprandialem Erbechen kam. Dies wurde auf eine schlechte Trennungstoleranz von der Mutter erklärt. Im Rahmen einer nachfolgend eingeleiteten psychosomatischen Betreuung konnte hier eine gewisse Verbesserung erzielt werden.

Der Körpergewichtsverlauf fand entlang der 3. Perzentile statt.

13 Monate später wurde im Rahmen der Fontan-Komplettierung schließlich noch eine Verlängerung der durch Adhäsion funktionell verkürzten Elektrode durch Lösung der Verwachsungen vorgenommen.

Der weitere Verlauf des Patienten bis zum Ende der Nachbeobachtung (55 Monate nach Erstimplantation) war bezüglich der klinischen und technischen Parameter regelrecht. Es konnte eine konstante Reizschwelle zwischen 0,5 V / 0,6 ms und 1,5 V / 0,4 ms gemessen werden.

Das Kind konnte den Kindergarten besuchen.

Die Mutter berichtete, das Kind sei abends besonders erschöpft, finde aber nachts allerdings keine Ruhe. Daher wurde 27 Monate nach Fontan-Operation die Nachtfrequenz von 20 Uhr bis 7 Uhr von 100 / min. auf 80 / min. abgesenkt.

Darüberhinaus wurde eine pädiatrische Untersuchung auf Hyperaktivität vorgeschlagen.

### ■ Patientenfall 4:

Fall 4					
Revision	1	2	3	4	5
<b>Komplikation</b>	Schrittmacherinfektion mit RS-Anstieg	Wundabsezs i.B. des subxiphoidalen Zugangs	Fadengranulom i.B. Thorakotomienarbe	Systemaustausch b. persistierender Wundheilungsstörung	Wundinfektion i.B. d. belassenen epikardialen Elektrode
<b>zeitl.Abstand</b> (zur SM-OP/ zum vorausgehenden Ereignis)	16 Tage	27 Tage	25 Tage	3 Monate	4,5 Monate
<b>Alter</b>	1 Monat (Frühgeborenes d. 28 5/7 SSW)	4 Monate	5 Monate	9 Monate	14 Monate
<b>Körpergewicht</b>	2.482g	3.400g	3.510g	4.540g	6.230g
<b>Körperlänge</b>	47cm	49cm	51cm	59cm	65cm
<b>Therapie</b>	- Vancomycin - Imipenem - Cilastatin über 14 Tage	- Abszesseröffnung - Cefamandol über 4 Tage - Cefaclor über 10 Tage	- lokal Betaisodona - Cefaclor (b. pos. Staph. aureus)	- <b>transvenöse</b> SM-Implantation - Reserve-schleufe im rechten Vorhof	- Revision Kabelkanäle - Entfernung Elektrode - postop. Cefamandol über 10 Tage
<b>Aggregattyp</b>				Medtr.Kappa SR 701	
<b>Elektrodentyp</b>				Medtr. Z 4033	
<b>Verlauf nach Revision</b>	-schlechte Wundheilung	-schlechte Wundheilung	Wundheilungsstörung i.B. d. Aggregattasche	-Rötung im Oberbauch	-regelrecht

Abbildung 30: Fall 4

- Das vierte Kind (T.W.) mit kompliziertem Verlauf erhielt aufgrund eines kongenitalen AV-Blocks III° im ersten Lebensmonat ein Schrittmachersystem.

Das Frühgeborene der 28. Schwangerschaftswoche wies zum Zeitpunkt der Implantation ein Körpergewicht von 1.400 g bei einer Körperlänge von 40 cm auf.

Über einen subxiphoidalen Zugang wurde bei geringem Körpergewicht das besonders kleine und leichte Pacesetter-Aggregat vom Typ Microny SR +2425T (siehe Tabelle 8; Kapitel 3.4) implantiert. Bei der Elektrode handelte es sich um eine bipolare Medtronic-Noppenelektrode vom Typ 10366. Die intraoperativen technischen Parameter waren regelrecht (Reizschwelle: 0,7V / 0,5ms; R-Welle: 40 mV; Wahrnehmungsempfindlichkeit: 4,0 mV).

Auffälligkeiten zeigten sich bei dem Kind erstmalig am 16. perioperativen Tag, als es im Rahmen einer Schrittmacherinfektion zur Schrittmacherfehlfunktion kam. Die Reizschwelle stieg auf 2,4 V / 1,0 ms an; die Impulsdauer musste bei einer Impulsamplitude von 4,5 V von 0,3 ms auf 1,0 ms erhöht werden. Bei fehlendem Keimnachweis wurde aufgrund des unauffälligen Lokalbefundes von einer operativen Schrittmacherrevision abgesehen.

Es erfolgte eine antibiotische Therapie mit Vancomycin (Vancomycin®) und Imipenem + Cilastatin (Zienam®), die nach 14 Tagen bei negativem CRP beendet wurde.

Unter Auslassen der antimikrobiellen Therapie kam es erneut zu einem CRP-Anstieg, so dass eine Antibiose mit Vancomycin für weitere drei Wochen erforderlich wurde. Hierunter stabilisierte sich das klinische Bild bei schwankenden CRP-Werten zwischen 1,3 und 9,0 mg / dl.

Die Reizschwelle verbesserte sich unter der antibiotischen Therapie auf 0,9V / 0,5ms. Die Wahrnehmung war mit einer R-Welle von 7,5mV gut.

Am 84. postoperativen Tag konnte der Patient mit einem Gewicht von 2800g aus der stationären Behandlung entlassen werden.

27 Tage nach Entlassung kam es aufgrund eines Wundabszesses am distalen Ende der Thorakotomie erneut zur stationären Aufnahme.

Nach Abszesseröffnung erfolgte eine antimikrobielle Therapie mit Cefamandol (Mandokef®). Eine Cefaclor (Panoral®) -Antibiose wurde angeschlossen und über insgesamt 10 Tage durchgeführt. Bei reizlosem Lokalbefund konnte das Kind am 9. stationären Tag entlassen werden.

Wegen wiederholter Entzündungen erfolgte weitere 25 Tage später eine erneute stationäre Aufnahme. Das entzündete Fadengranulom im Bereich der Thorakotomienarbe wurde aufgrund der Nähe zum gut funktionierenden Schrittmacher nicht chirurgisch angegangen.

Neben der lokalen Behandlung mit Betailsodona wurde aufgrund des mikrobiologischen Nachweises eines Staph. aureus im Wundgebiet eine erneute systemische Antibiose mit Cefaclor (Panoral®) durchgeführt.

Bei weiterhin stabiler Reizschwelle (0,3V / 0,5ms) und einer R-Amplituden-Wahrnehmung von 12,3mV erfolgte am 18. Tag die Entlassung des Patienten in die ambulante Betreuung.

Obwohl der Verlauf der technischen Parameter sich regelrecht darstellte, war die Wundheilung weiterhin problematisch:

So kam es drei Monate nach dem letzten stationären Aufenthalt und 8 Monate nach Erstimplantation zu einer operativen Revision des betroffenen Wundbereichs. Diesmal wurde der ehemals epigastrisch lokalisierte Schrittmacher nach subpektoral versetzt.

Da die isolierte operative Revision des implantierten Schrittmachers unrealistisch erschien, erfolgte die Implantation des neuen Systems bei einem Körpergewicht von über 4500g *transvenös*.

Für die Aufnahme der unipolaren Medtronic-Elektrode vom Typ Z 4033-52 wurde die linke V.subclavia ausgewählt, da die V.cephalica keinen ausreichenden Gefäßquerschnitt für die Aufnahme einer Elektrode aufwies. Es wurde für das weitere Körperlängenwachstum eine Reserveschleife im rechten Vorhof angelegt. Das alte Kabel wurde bis zur Einmündungsstelle ins Perikard freipräpariert, hier gekappt, abisoliert und in situ belassen.

Das alte Aggregat wurde durch ein Medtronic-Gerät vom Typ Kappa SR701 ersetzt.

Bei guten Reizschwellenwerten (0,25V / 0,5ms) und guten Wahrnehmungseigenschaften (R-Amplitude: 15,7mV) wurde das Kind am 14. postoperativen Tag entlassen.

Letztmalig revisionspflichtig wurde das Kind 4,5 Monate später, diesmal wegen Wundinfektion im Bereich der belassenen epimyokardialen Elektrode. Bei ansonsten gutem klinischen Zustand erfolgte die Freipräparation und Entfernung der alten Elektroden. Anschließend wurden die Kabelkanäle und das alte Schrittmacheraggregatbett revidiert. Unter Cefamandol-Antibiose (Mandokef®) kam es zu einem regelrechten Wundheilungsverlauf. Das Kind konnte in gutem Allgemeinzustand am 13. postoperativen Tag entlassen werden.

#### 4.4.3. Todesfälle

Nur in **zwei** (L.Kr.; J.S.) von sechs Fällen kam es zu einem **tödlichen Verlauf**. Bei der Obduktion konnte allerdings bei beiden Patienten **kein direkter kausaler Zusammenhang mit dem Eingriff der Schrittmacherimplantation oder einer insuffizienten Schrittmacherversorgung** im postoperativen Verlauf gefunden werden. Aus diesem Grund werden diese beiden Fälle nicht als echte Komplikation im Sinne der unter Kap.3 angegebenen Kriterien zur Klassifizierung des Verlaufs eingeordnet.

- Das erste Kind (L.Kr.) war im Alter von zwei Monaten bei Zustand nach VSD-Verschluss und Aortenbogenerweiterung mit postoperativem AV-Block III° schrittmacherpflichtig geworden.

Die Schrittmacherimplantation wurde mit einem ASD II-Verschluss kombiniert. Bei einem Körpergewicht von 3280 g und einer Körperlänge von 51 cm wurde ein Medtronic Thera SR8960i-Aggregat mit bipolarer Noppenelektrode (Medtronic CapSure 10366) implantiert. Der intraoperative Verlauf gestaltete sich komplikationslos, es fand sich eine gute Reizschwelle (0,8 V / 0,5 ms) und eine gute R-Amplituden-Wahrnehmung (8,5 mV).

Am ersten postoperativen Tag kam es nach zunächst problemloser Extubation und normalen Laborparametern zur akuten Entwicklung einer generalisierten Zyanose mit starker Unruhe. Auch unter erneuter Intubation und Beatmung erholte sich das Kind nicht. Auf eine probatorische Sedierung mit Chloralhydrat sprach es nicht an. Echokardiographisch ließ sich nur noch eine minimale Kontraktilität darstellen. Stimulationsversuche mit einem externen Schrittmacher waren vergeblich. Das Kind verstarb nach über einer Stunde frustraner Reanimationsbemühungen.

Durch die Obduktion ergaben sich Hinweise auf ein akutes myokardiales Versagen auf dem Boden ausgeprägter degenerativer Myokardveränderungen bei myokardialer Hypertrophie. Diskutiert wurde auch eine elektromechanische Entkoppelung, die sich in Form eines akuten Herzversagens manifestierte.

- Das zweite Kind (J.S.) wurde im Alter von vier Monaten (KG: 3400 g; KL: 54 cm) wegen postoperativem AV-Block III° nach VSD-Verschluss mit einem Medtronic Thera DR7960i versorgt. Als Elektroden wurde atrial eine unipolare Metronic-Noppenelektrode vom Typ 4965, auf ventrikulärer Ebene eine bipolare Metronic-Noppenelektrode vom Typ 10366 implantiert.

Der intra- und der perioperative Verlauf gestaltete sich komplikationslos. Es wurden gute Reizschwellen (atrial: 1,4 V / 0,5 ms; ventrikulär: 1,7 V / 0,5 ms) gemessen; auch die Wahrnehmungseigenschaften waren gut (P-Amplitude: 1,3 mV; R-Welle: 6,6 mV).

Bei primärer Wundheilung und stabilen Reizschwellen- und Wahrnehmungseigenschaften konnte das Kind am 8. postoperativen Tag in die ambulante Weiterbetreuung entlassen werden.

Im folgenden gestaltete sich auch der weitere Verlauf des Patienten regelrecht:

Bei einwandfreier Schrittmacherfunktion, die bei diesem Aggregattypen im DDD-Modus eine vorhofgesteuerte Ventrikelfunktion ermöglichte, war eine tageszeit- und belastungsabhängige Frequenzmodulation möglich. Ausfälle oder Parasystolien traten unter Schrittmachertherapie nicht auf. Ventrikuläre Extrasystolen wurden vom Schrittmacher regelrecht erkannt.

Die Reizschwellen- und Wahrnehmungseigenschaften blieben auch im Langzeitverlauf stabil. Die körperliche Entwicklung verlief regelrecht: Während präoperativ eine Gedeihstörung des Kindes bestand, verbesserte sich nach Implantation das Trinkverhalten, so dass bei zunächst niedrigem Ausgangsgewicht und geringer Ausgangsgröße zumindest ein zur 3. Perzentile paralleler Verlauf gefunden werden konnte.

Erstmalige Auffälligkeiten zeigten sich im 27. Monat nach Schrittmacherimplantation: Echokardiographisch fiel hier ein grenzwertig vergrößerter linker Ventrikel mit leichter Mitralinsuffizienz auf. Bei dieser Kontrolle wurde eine Digitalis-Medikation (Lanitop®) mit 6 Tropfen / Tag begonnen. Hierunter konnte die Progredienz der Ventrikeldilatation lediglich gebremst werden. Im 47. Monat nach Implantation wurde die Digitalis-Medikation um einen ACE-Hemmer (Captopril (Lopirin®)) erweitert.

Leider zeigten sich auch hierunter echokardiographisch keine deutlichen Befundbesserungen, so dass die Therapie zwei Monate später zusätzlich um einen niedrigdosierten Betablocker (Metoprolol 2 x 2 mg) ergänzt wurde.

Zusätzlich musste wegen Luftwegsinfekten antimikrobiell therapiert werden. Dabei wurde die erhöhte Infektneigung als Folgeerkrankung der Lungenstauung durch progrediente Herzinsuffizienz gedeutet.

Im Folgenden zeigte sich das Fortschreiten der myokardialen Insuffizienz in Stauungshusten und Leberkapseldruckschmerz. Eine leichte vorübergehende Befundbesserung konnte sich kurzfristig unter diuretischer Therapie mit Furosemid (Lasix®) einstellen.

Im 55. Monat nach Schrittmacherimplantation wurde das Kind notfallmäßig stationär aufgenommen, nachdem es in der vorangegangenen Nacht stark dyspnoisch und unruhig geworden war. Die bisherige Medikation wurde noch einmal leicht angehoben und als intravenöse Therapie fortgeführt.

Agrund der schlechten Gesamtsituation und Prognose des Kindes wurde in Absprache mit den Eltern auf eine Intensivtherapie verzichtet. Bei gleichzeitig bestehendem Verdacht auf Harnwegsinfekt wurde unmittelbar antibiotisch anbehandelt.

Die Patientin verstarb noch am gleichen Tag.

Das Gerhard-Domagk-Institut für Pathologie / Münster interpretiert den Tod des Kindes als Ergebnis einer Kombination aus Myokardinsuffizienz, infektbedingter Myokardischämie und terminaler Niereninsuffizienz.

Die Schrittmacherversorgung verlief im gesamten Zeitraum regelrecht ohne Hinweis auf Defekte oder Wundheilungsstörungen im Bereich des subxiphoidalen Zugangs oder des Aggregatbetts.

## 5. Diskussion

### 5.1. Kollektivgröße

In Deutschland leben mehr als 200000 Patienten mit einem permanenten Herzschrittmacher – die Tendenz ist steigend: 1997 wurden an 850 deutschen Einrichtungen insgesamt 41700 Schrittmacheroperationen durchgeführt, im darauffolgenden Jahr waren es bereits 45300 [35]. Der Anteil der kindlichen Patienten an diesem Gesamtkollektiv ist aber noch immer verschwindend gering: 1997 betrafen nur 104 von den o.a. 41700 Implantationsmeldungen Patienten, die jünger als 20 Jahre waren [23].

Da nur selten bereits im Kindesalter die Implantation eines Schrittmachers erforderlich ist, haftet einer Betrachtung des Verlaufs nach Herzschrittmacherimplantation im Kindesalter bei kleinsten Fallzahlen noch immer etwas Kasuistisches an [2].

Eine Übersicht über verschiedene Studien der letzten zehn Jahre, die auf Möglichkeiten und Probleme in der kindlichen Herzschrittmachertherapie fokussieren, zeigt, dass mehrheitlich Patientenkollektive mit einer durchschnittlichen Kollektivgröße von 24 Patienten betrachtet werden [3] [20] [25] [37] [38] [42] [44] [45] [48]. Legt man das Durchschnittsalter der hier betrachteten Studienkollektive zugrunde, dann weist das Patientenkollektiv dieser Arbeit bei etwa durchschnittlicher Kollektivgröße eindeutig das geringste Durchschnittsalter auf (49 Monate vs. 6 Monate) (siehe Abbildung 31).

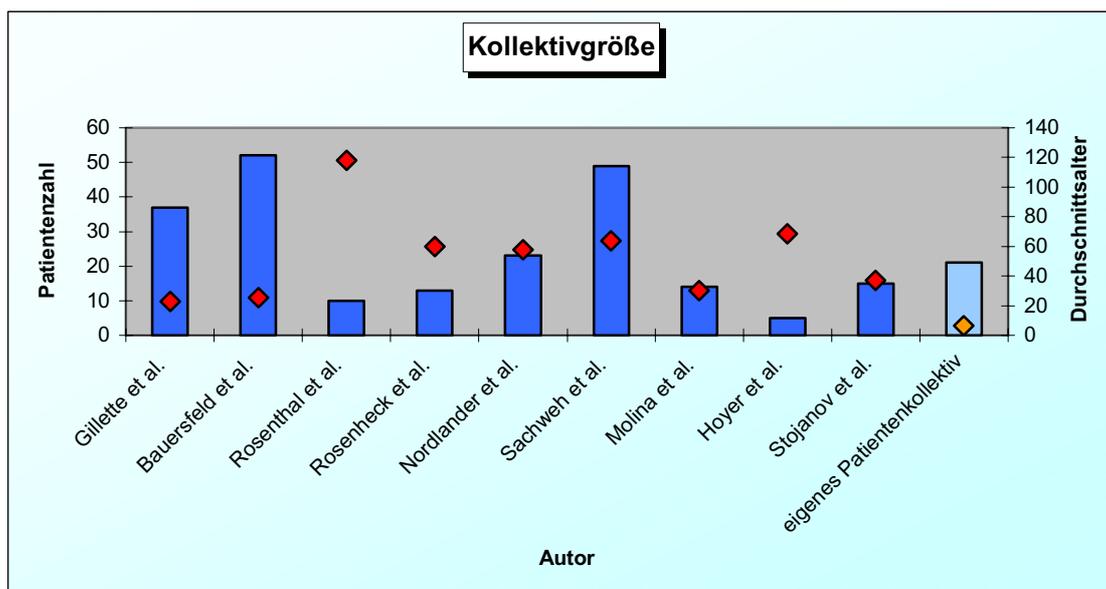


Abbildung 31: Durchschnittliche Kollektivgröße in Studien verschiedener Autoren.

Legende: blaue Säulen = Patientenzahl; rote Rauten = Durchschnittsalter der Patienten

## 5.2. Beobachtungszeitraum

Darüberhinaus ist in einer Vielzahl der Studien der Zeitraum der Nachbeobachtung nur sehr kurz (siehe Abbildung 32) und erlaubt auch deshalb, nur eingeschränkt signifikante Aussagen über den Erfolg einer permanenten Schrittmacherversorgung zu machen. Dabei bemisst sich der klinische Nutzen der kindlichen Schrittmacherimplantation – mehr als im Erwachsenenalter – an der Entwicklung des Patienten nicht nur in den ersten postoperativen *Tagen*, sondern besonders auch in den nachfolgenden *Monaten und Jahren* der ambulanten Kontrolle.

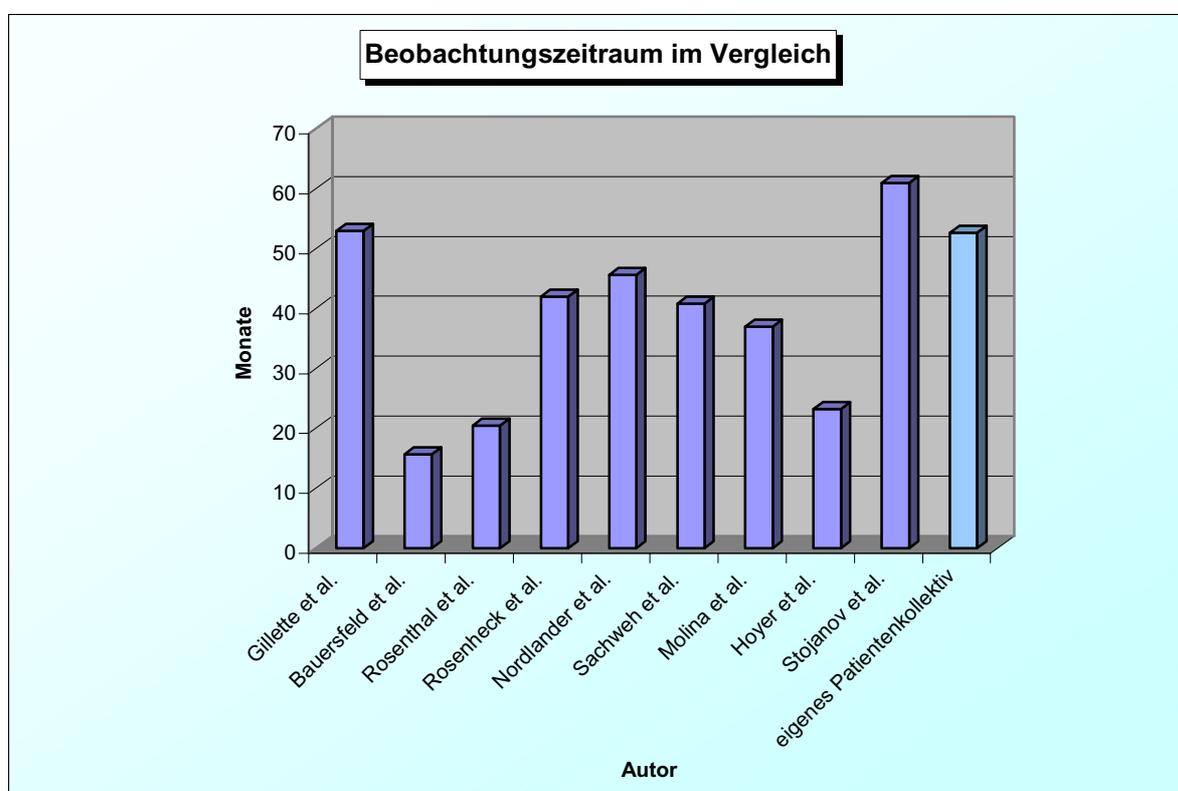


Abbildung 32: Durchschnittlicher Beobachtungszeitraum (Follow-up) in Studien verschiedener Autoren.

Anders als im Jugend- und Erwachsenenalter ist die Schrittmachertherapie im Kindesalter längst nicht ohne Komplikationen, und umfasst hierbei eine substantiell höhere Rate von operativen Revisionen [6] - dies bezieht sich sowohl auf die transvenöse, als auch auf die epikardiale Herzschrittmacherversorgung.

Im Folgenden werden die Ergebnisse des peri-, des postoperativen und des Langzeitverlaufs des eigenen Patientenkollektivs mit solchen aus der nationalen und internationalen Literatur diskutiert, und zwar in Bezug auf die Möglichkeiten und Schwierigkeiten der permanenten Schrittmacherversorgung im Säuglings- und Kleinkindalter.

In besonderer Weise wird dabei dem Umstand der epikardialen Schrittmacherimplantation Rechnung getragen und dieses Vorgehen mit den Ergebnissen der transvenösen Implantationstechnik verglichen.

### 5.3. Indikation zur Schrittmacherimplantation

► Die postoperative AV-Blockierung stellt mit 15 Fällen (71,4 %) die häufigste Indikation zur Schrittmachertherapie im eigenen Patientenkollektiv dar. In 4 Fällen (19 %) war die Schrittmacherversorgung wegen kongenitalem AV-Block indiziert. Weiter fand die Schrittmacherimplantation bei einem Patienten wegen RS-Virus-induzierter AV-Blockierung statt, in einem weiteren Fall wegen angeborener Sinusknotenfunktionsstörung (jeweils 4,8 %). Damit weist die eigene Arbeit im Bezug auf die Indikationsstellung zur Herzschrittmachertherapie wesentliche Parallelen zu einer Vielzahl nationaler und internationaler Studien der letzten zehn Jahre auf. Einen Überblick über die Indikationsstellungen zur permanenten Herzschrittmachertherapie im Kindesalter in Studien verschiedener Autoren gibt Abbildung 33 [2] [3] [11] [20] [23] [25] [37] [38] [42] [48].

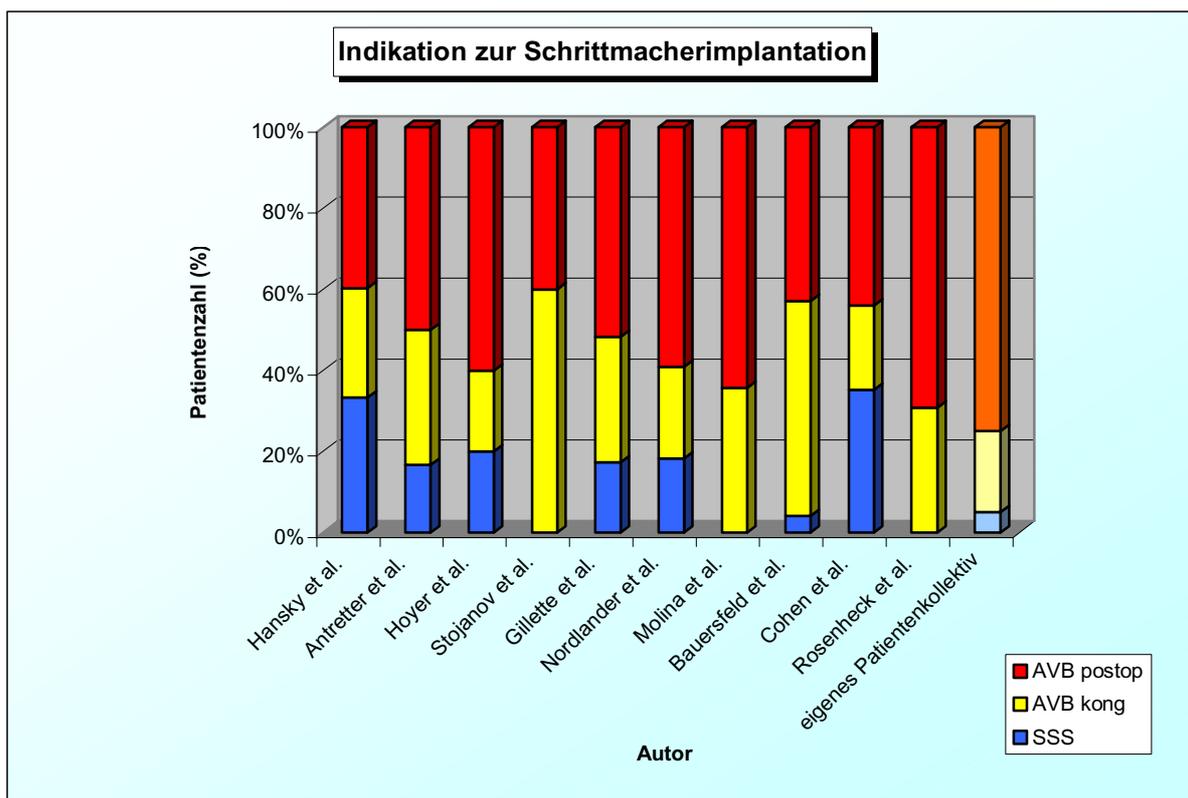


Abbildung 33: Indikation zur Schrittmacherimplantation: Vergleich mit Studienergebnissen anderer

**Autoren**

- Legende: SSS = Sinusknotenfunktionsstörung (Sick-Sinus-Syndrome)  
 AVB kong = AV-Blockierung kongenital  
 AVB postop = AV-Blockierung postoperativ

#### 5.4. Epikardiale vs. transvenöse Schrittmacherimplantation

Für eine permanente Schrittmacherversorgung bieten sich grundsätzlich zwei verschiedene Implantationsverfahren an: die transvenöse und die epikardiale Schrittmacherimplantation.

Das transvenöse Vorgehen stellt im Jugend- und Erwachsenenalter die Methode der Wahl dar, weil es den therapeutischen Nutzen bei geringstem Operationstrauma und damit – risiko erfüllt.

Bei ausgewachsener Anatomie und ausreichenden Gefäßquerschnitten ist die Implantation über die V.cephalica, V.subclavia (Punktion in Seldinger-Technik) oder V.jugularis (selten) möglich.

Während der Zugang über die V.cephalica bei Erwachsenen und älteren Kindern die Methode der Wahl darstellt, wird bei kleinen Kindern die Implantation über die linke V.subclavia bevorzugt, da die Elektrode so in einem C-förmigen Bogen verläuft [23]:

► Im eigenen Patientenkollektiv wurde im Rahmen von Revisionseingriffen einmal die V.cephalica und zweimal die V.subclavia der linken Seite für die transvenöse Elektrodenimplantation gewählt.

■ Findet der Eingriff im Jugend- oder Erwachsenenalter statt, so ist er im Allgemeinen in Lokalanästhesie möglich (außer bei unkooperativen Patienten), und kann teilstationär oder sogar ambulant durchgeführt werden. Bei Kindern findet der Eingriff in Allgemeinnarkose statt [48]. Es ist also meist ein kürzerer stationärer Aufenthalt indiziert.

► Im eigenen Patientenkollektiv betrug die mittlere Hospitalisationsdauer nach transvenöser Elektrodenimplantation (i.R. eines Revisionseingriffs) 9 Tage ( $\pm$  5,2 Tage; Min. 6 Tage; Max. 15 Tage).

Die **epikardiale** Schrittmacherimplantation bedeutet gegenüber dem transvenösen Zugang zwar das eindeutig größere operative Trauma, ist aber insbesondere bei einem Kollektiv aus Neugeborenen und Kleinkindern oft nur so überhaupt möglich.

Der Zugang zum Herzen erfolgt hierbei entweder über eine links-anteriore Thorakotomie, über eine Sternotomie oder subxiphoidal.

► In unserem Patientenkollektiv wurde in 18 Fällen der subxiphoidale Zugang gewählt. Bei drei Patienten wurde eine mediane Sternotomie durchgeführt, da hier die Schrittmacherimplantation mit der Korrektur eines kongenitalen Herzfehlers kombiniert wurde.

■ Für dieses Vorgehen sprechen Ergebnisse, die COHEN et al. [11] an 123 Patienten mit einem durchschnittlichen Alter von 4,1 Jahren (Min: 1Tag; Max: 21 Jahre) machte: Sie konnten einen signifikanten Zusammenhang zwischen operativem Zugang und Elektrodendysfunktion finden:

Von 29 subxiphoidal implantierten Elektroden traten im Beobachtungszeitraum von durchschnittlich 20 Monaten (Min:1 Mon.; Max:162 Mon.) keine Elektrodenrevisionen auf.

Die Entscheidung für das Operationsverfahren zur Schrittmacherimplantation im Säuglings- und Kleinkindalter wird letztlich durch eine Vielzahl von Determinanten bestimmt. Hierüber gibt Tabelle 13 einen Überblick.

**Tabelle 13: Determinanten für die Entscheidung der Art der Schrittmacherimplantation**

<b>Determinanten des Verfahrens zur Schrittmacherimplantation</b>	
<b>epikardiale Schrittmacherimplantation</b>	<b>transvenöse Schrittmacherimplantation</b>
<ul style="list-style-type: none"> <li>▶ absolut oder relativ zu kleiner Gefäßquerschnitt (Risiko von Thrombose/Embolie) (bei Kindern eher schleichende Okklusion; Symptomatik eher diskret) [37, 47]</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▶ ausreichender Gefäßquerschnitt für die Aufnahme der Elektrode(n) ohne Risiko einer Obstruktion/Thrombose und ohne das Risiko der Störung der Gefäß-/ Klappenintegrität; meist in höherem Kindesalter</li> </ul>
<ul style="list-style-type: none"> <li>▶ komplexe kongenitale Herzfehler (Rechts-Links-Shunt) und Gefäßanomalien (Fehlmündung der V.cava) [6]</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▶ kleiner operativer Eingriff mit entsprechend niedrigem Operationsrisiko und kurzer Hospitalisation</li> </ul>
<ul style="list-style-type: none"> <li>▶ kongenitaler AVB III° bei Neugeborenen [6, 45]</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▶ Vernarbung des Epikards durch wiederholte epikardiale Schrittmacherimplantation</li> </ul>
<ul style="list-style-type: none"> <li>▶ Schonung der Gefäße für eine transvenöse Schrittmacherversorgung im Jugend-/ Erwachsenenalter [2]</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▶ Elektrodenaustausch i.R. einer Elektrodenrevision bei bereits zuvor transvenöser Schrittmacherimplantation</li> </ul>
<ul style="list-style-type: none"> <li>▶ Risiko der unsicheren Elektrodenfixation endokardialer Elektroden im fragilen Trabekelwerk des kindlichen Herzen, v.a. nach Voroperation kongenitaler Herzfehler</li> </ul>	
<ul style="list-style-type: none"> <li>▶ Gefahr der Elektrodendislokation transvenöser Elektroden durch heftige Armbewegungen, wie sie in der kindlichen Entwicklung auftreten können [37]</li> </ul>	
<ul style="list-style-type: none"> <li>▶ eingeschränkte Armbeweglichkeit und Missempfinden durch Implantation über die V.cephalica [10]</li> </ul>	
<ul style="list-style-type: none"> <li>▶ Risiko der funktionellen Elektrodenverkürzung durch kindliches Längenwachstum [11] [1] [40] [16]</li> </ul>	
<ul style="list-style-type: none"> <li>▶ Risiko der Störung der AV-Klappen-Integrität [11] [1] [40] [16]</li> </ul>	
<ul style="list-style-type: none"> <li>▶ Röntgendurchleuchtung bei transvenöser Elektrodenimplantation [23]</li> </ul>	

## 5.4.1. Determinanten des Implantationsverfahrens

### 5.4.1.1. *Kardiale Grunderkrankung*

Das Kollektiv schrittmacherpflichtiger Kinder lässt sich nach der Ätiologie der zugrundeliegenden Rhythmusstörung in drei Gruppen einteilen:

- Kinder mit angeborener Reizleitungsstörung  
(z.B. AV-Blockierung, Sinusknotenfunktionsstörung)
- Kinder mit postoperativer Reizleitungsstörung  
(z.B. AV-Blockierung, Sinusknotenfunktionsstörung)
- Kinder mit anderer Ursache einer Reizleitungsstörung  
(z.B. infektbedingt)

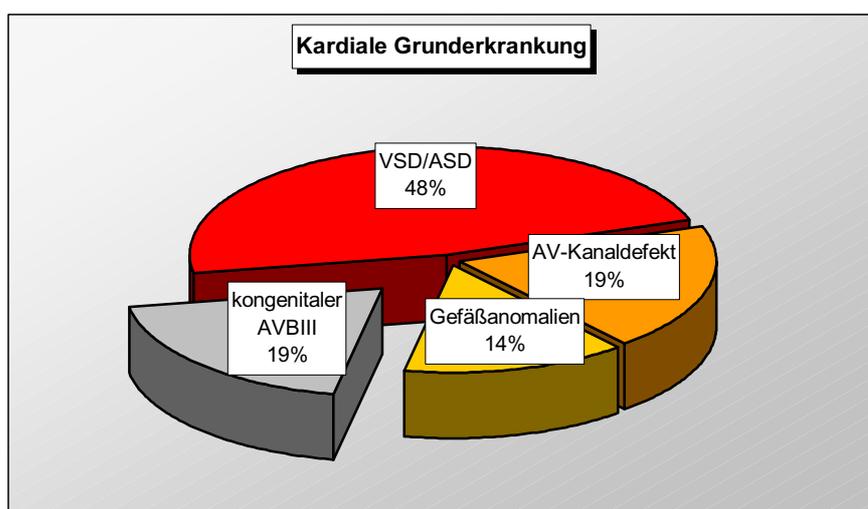
Für jede dieser drei Gruppen wird die Entscheidung über das Implantationsverfahren individuell getroffen und dann von einer Reihe weiterer wesentlicher Faktoren beeinflusst (z.B. Gefäßquerschnitt, Lebensalter, Körpergröße, Körpergewicht, Art und Ausmaß der Rhythmusstörung, u.a.) (siehe auch Tabelle 12).

Während in der einen Gruppe die angeborene Reizleitungsstörung die kardiale Grunderkrankung darstellt, entwickelt sich die Rhythmusstörung im anderen Kollektiv als postoperative Folge eines chirurgischen Korrektureingriffs angeborener anatomischer Herzfehler (z.B. Septumdefekte, Klappenerkrankungen, Fehlmündung von Gefäßen).

■ Dabei geht BINK-BOELKENS et al. [7] davon aus, dass es durch Präparation und Anlage von Nähten im Bereich von Sinus- und AV-Knoten zu Schädigungen von Reizleitungsgewebe kommt, was schließlich unter Berücksichtigung der derzeitigen Leitlinien zur Schrittmachertherapie im Kindesalter [22] die permanente Schrittmacherversorgung erforderlich macht. Diese Annahmen werden durch weitere Studien [8] [45] bestätigt, die eine Schädigung am Reizleitungsgewebe nach Operation am offenen Herzen als Hauptursache einer permanenten Herzschrittmachertherapie fanden.

► Im eigenen Patientenkollektiv ergab sich die Indikation zur Schrittmacherversorgung in 15 von 21 Fällen aufgrund einer Rhythmusstörung als Folge eines vorausgegangenen anatomischen Korrekturingriffs (vgl. Abbildung 34).

In 4 Fällen lag eine angeborene Rhythmusstörung vor. Aufgrund anderer Determinanten (Körpergröße, -gewicht, Gefäßquerschnitt) fand die Implantation epikardial statt.



**Abbildung 34:**  
Überblick über die dem jeweiligen Eingriff zugrundeliegende kardiale Grunderkrankung.

Die Entscheidung über das Implantationsverfahren wird insofern durch die kardiale Grunderkrankung mitbeeinflusst, als die Schrittmacheroperation und der Korrekturingriff

- bei kongenitaler Rhythmusstörung + anatomischem Herzfehler *oder*
- bei postoperativer Rhythmusstörung + *weiterem* anatomischen Herzfehler  
(z.B. zweizeitiger Korrekturingriff)

dann unter Umständen kombiniert stattfinden können und das operative Risiko so relativ kleiner gehalten werden kann.

► In unserem Patientenkollektiv wurde ein solcher Kombinationseingriff bei zwei Kindern durchgeführt:

Im ersten Fall (C.G.) wurde die Korrektur einer Fallot-Tetralogie mit der Implantation eines VVIR-Schrittmachers bei bekannter Sinusknotenfunktionsstörung kombiniert.

Im zweiten Fall (L.Kr.) wurde die anatomische Korrektur einer Hohlvenenfehleitmündung und eines atrialen Septumdefektes (ASD II) mit einer VVIR-Schrittmacherimplantation bei postoperativem AV-Block III° verbunden.

#### 5.4.1.2. *Lebensalter*

Mit zunehmenden Fortschritt von Schrittmachersystemen (sog. Hardware) und Operationstechnik wächst das Bestreben, die Implantation auch bei jungen Patienten transvenös durchzuführen. Hierbei stellt aber das Alter des Kindes insofern einen limitierenden Faktor dar, als es nämlich Körpergröße, Körpergewicht und schließlich auch den Gefäßquerschnitt des kindlichen Patienten determiniert.

In den frühen 80er Jahren wurden vier Kriterien [18] für die transvenöse Schrittmacherimplantation gefordert. Dies waren

- Mindestalter von 4 Jahren
- Körpergewicht von mindestens 15 kg
- Fehlen eines rechts-links-Shunts und regelrechte Einmündung der V.cava sup. in den rechten Vorhof
- keine gleichzeitige Korrekturoperation anatomischer Herzfehler.

Mit gewissen Modifizierungen schließen sich diesen Vorgaben eine Reihe von Autoren aktueller Studien auch heute noch an:

■ MOLINA et al. [37] zieht in seinen Studien für die Entscheidung des transvenösen Zugangs das Alter als Kriterium heran und untersucht dessen Zusammenhang mit dem Venenquerschnitt und dem resultierenden Risiko einer Venenthrombose. Er nahm präoperativ Doppler-Ultraschalluntersuchungen zur Bestimmung des venösen Gefäßquerschnittes vor. Unter Berücksichtigung des Verhältnisses von Elektrode und ermitteltem Venenquerschnitt (s. Tabelle 13; Kap. 5.4.1.4.) versorgte er 14 Patienten im Alter zwischen 7 Monaten und 7 Jahren mit einem transvenösen Schrittmacher und konnte so die Inzidenz der Venenthrombose auf Null senken.

Nach Studienergebnissen von TILL et al. [51] bietet sich die Möglichkeit der transvenösen Systemimplantation ab einem Alter von 3 Jahren.

► In unserer Arbeit lag das mittlere Alter bei den drei Patienten mit transvenöser Schrittmacherimplantation bei 35,3 Monaten (Min. 9 Mon.; Max. 57 Mon.). In keinem Fall traten im Verlauf Thrombosen auf. Damit liegen die Kinder deutlich unter der Vorgabe von 4 Jahren, die GILLETTE et al. [18] noch in den 80er Jahren gemacht haben (s.o.).

Für das Gesamtkollektiv unserer Arbeit lag das Durchschnittsalter bei Erstimplantation bei 6,5 Monaten (Minimum: 11 Tage; Maximum: 29 Monate).

### 5.4.1.3. Körpergewicht

Das Körpergewicht wird von einer Vielzahl von Autoren als eine Determinante des Implantationsverfahrens herangezogen. Dies liegt sicherlich auch daran, dass gerade in einem Patientenkollektiv mit kardialer Grunderkrankung die sonst enge Korrelation von Alter und Körpergewicht nicht immer besteht und deshalb besonders Berücksichtigung finden muss.

■ Aufgrund technischer Modernisierungen von Aggregat und Elektroden definieren SACHWEH et al. [45] eine Untergrenze von 2800g Körpergewicht für die transvenöse VVI-Schrittmacherimplantation. Daneben betont SACHWEH et al. die Notwendigkeit eines ausreichenden Gefäßquerschnitts für die Passagemöglichkeit der Elektrode.

HOORNTJE et al. [24] berichten von zwei Neugeborenen mit kongenitaler AV-Blockierung, die sie bereits am 2.Lebenstag bei einem Körpergewicht von 2100g und 2600g mit einem transvenösen Schrittmacher über die linke V.subclavia versorgten. Bei einer Nachbeobachtungszeit von 4, bzw. 28 Monaten zeigten beide Kinder einen unkomplizierten Verlauf mit sehr guten Wahrnehmungseigenschaften und Reizschwellenwerten. Die Autoren weisen aber auf mögliche spätere Probleme durch funktionelle Elektrodenverkürzungen bei Längenwachstum und das Risiko venöser Thrombosierung hin.

ANTRETTNER et al. [2], ELLENBOGEN et al. [15], HANSKY et al. [23] und SUTTON et al. [50] setzen diese Gewichtsgrenze mit 5 – 8 kg hingegen noch deutlich höher an.

COHEN et al. [11] kommen zu dem Schluss, dass der Aspekt der unter Umständen lebenslangen Schrittmachertherapie bei der Entscheidung des Implantationsverfahrens im Vordergrund stehen muss, auch wenn die grundsätzliche Möglichkeit der transvenösen Schrittmacherimplantation bestehe. Mit Hinblick auf eine langfristige Schonung von Gefäße und Herzklappen plädieren sie daher für eine möglichst späte transvenöse Versorgung.

► Im eigenen Patientenkollektiv wurde als Untergrenze einer transvenösen Implantation ein Körpergewicht von 4500 g gefordert. Die Umsetzung von der epikardialen zur transvenösen Schrittmacherstimulation fand bei unseren Patienten bei einem Durchschnittsgewicht von 10510 g statt. Bei dem jüngsten der drei Kinder fand die transvenöse Implantation im 9. Lebenmonat bei einer durchschnittlichen Körpergröße von 59 cm und einem durchschnittlichen Körpergewicht von 4540 g statt. (2. Patient: 40. LM / 88 cm / 11.000 g; 3. Patient: 57. LM / 111 cm / 16.000 g).

#### 5.4.1.4. Venöser Gefäßquerschnitt

Der venöse Gefäßquerschnitt ist dann ein limitierender Faktor der transvenösen Schrittmacherimplantation, wenn ein absolutes oder relatives Missverhältnis zwischen Elektrode und Vene besteht. Bei relativem Missverhältnis ist die transvenöse Implantation auszuschließen, wenn das Risiko einer Gefäßokklusion durch Thrombose oder eine Gefäßwandschädigung zu groß ist.

Die Angaben über die Inzidenz von Thromboseereignissen nach transvenöser Implantation gehen auseinander:

■ MOLINA et al. [37] berichten über vier Fälle mit totaler Obstruktion der V.subclavia und der V.cava superior. Bei präoperativer Bestimmung des Gefäßquerschnitts fanden sie bei Kindern mit einem Implantationsalter zwischen 6 und 12 Monaten einen mittleren Querschnitt der V.subclavia von  $2,5 \text{ mm} \pm 0,6$  und von  $9 \text{ mm} \pm 2$  der V.jugularis int.. Die V.cephalica benutzten MOLINA et al. nicht, und zwar wegen der Befürchtung einer eingeschränkten Armbeweglichkeit, eines Zuges an der Elektrode oder einer Elektrodendislokation. Unter Berücksichtigung bestimmter Vorgaben (siehe Tabelle 14) konnte so die Inzidenz der Venenthrombose bei transvenöser Schrittmacherimplantation in seinem Kollektiv auf Null gesenkt werden.

**Tabelle 14:**

Empfehlungen für die transvenöse Schrittmacherimplantation in Abhängigkeit vom Lebensalter (nach MOLINA et al. [37]; 1995)		
Alter	venöser Zugang	Elektrode
< 3 Jahre	V.jugularis interna	einfach („single“)
4 – 7 Jahre	V.jugularis interna	zweifach („double“)
	V.subclavia	einfach („single“)
> 7 Jahre	V.subclavia	einfach oder zweifach
	V.jugularis interna	einfach oder zweifach

SACHWEH et al. [45] beschreiben bei *absolut* zu kleiner V.cephalica oder V.subclavia erfolgreiche Implantationen bei zwei Patienten auch über die V.jugularis interna. Das Risiko einer Venenthrombose durch *relatives* Missverhältnis zwischen Elektrode und Gefäßquerschnitt wird von ihnen mit 30-45 % angegeben.

FIGA et al. [16] hingegen gehen von einem maximalen Thromboserisiko von 21 % aus.

Dabei wird unterschieden zwischen *akuter* und *chronischer* Thrombosierung:

Akute Ereignisse konnten SACHWEH et al., TILL et al. [51] und GILLETTE et al. [19] in ihrem Patientenkollektiv nicht finden.

Die chronische Thrombose bleibt wegen Kollateralenbildung meist asymptomatisch. Oft fällt die Gefäßokklusion erst i.R. von Revisionen auf. Das Risiko hierfür kann nur durch Ultraschalluntersuchungen beurteilt werden.

Unter Venographie konnten STONEY et al. [49] und SPITTEL et al. [47] bei 30% bis 79% der Patienten eine Venenthrombose finden. Eine klinische Symptomatik war aber nur in 2% - 5% der Fälle vorhanden.

Bei Elektrodendurchmessern von 2 - 2,3 mm empfehlen HANSKY et al. [23] als Mindestmaß für eine transvenöse Implantation einen dopplersonographischen Venenquerschnitt von 5 mm für eine Elektrode und von 7 mm für zwei Elektroden.

► In unserem Patientenkollektiv wurde bei drei Kindern (40 Mon. / 57 Mon. / 9 Mon.) im Rahmen einer Systemrevision das neue System transvenös implantiert. Hier zeigen sich, was die Wahl des venösen Zugangs betrifft, Abweichungen von den Vorgaben MOLINAS et al. [37].

Während die V.jugularis interna in unserem Kollektiv keinmal genutzt wurde, fand die Elektrodenimplantation bei den beiden jüngeren Kindern über die V.subclavia der linken Seite statt. Bei dem älteren Kind wurde hierfür die V.cephalica ausgewählt.

Thromboseereignisse traten in keinem Fall auf. Der peri- und postoperative Verlauf nach transvenöser Systemneuimplantation war bei allen drei Patienten komplikationslos.

### 5.4.1.5. *Schrittmachersystem-Auswahl*

#### 5.4.1.5.1. *Elektroden*

Mit dem Implantationsverfahren entscheidet sich auch die Frage der Verwendung *endo-* oder steroid-eluierender *epikardialer* Elektroden. In einer Vielzahl von Studien werden beide Elektrodentypen miteinander verglichen und auf Vor- und Nachteile untersucht.

■ CUTLER et al. [12] untersuchten 6 Jahre lang den Verlauf von 22 Patienten (Mittelwert 3,5 Jahre; Min: 2 Tage; Max: 18,5 Jahre), bei denen wegen symptomatischer Sinusknotenfunktionsstörung, bzw. AV-Blockierung die Schrittmacherimplantation unter Verwendung steroideluierender epikardialer Elektroden stattfand.

Betrachtet wurden Wahrnehmungs- und Reizschwellenverhalten.

Über den gesamten Beobachtungszeitraum fanden sich konstante Reizschwellen ohne signifikante Unterschiede zum Implantationszeitpunkt ( $0,1 \text{ ms} \pm 0,05 \text{ ms} / 2,5 \text{ V}$ ). Ebenfalls fanden sich keine Reizschwellenunterschiede zwischen kardial voroperierten und nicht-voroperierten Patienten.

Diese Ergebnisse werden auf die lokale antiinflammatorische Gewebewirkung des Steroids zurückgeführt. Es wird hierdurch eine langfristige energiearme Stimulation möglich, was die Batterielebensdauer erhöht und damit auch die Revisionshäufigkeit senkt. Außerdem wird durch Verwendung epikardialer Elektroden der transvenöse Zugang geschont, der für die Schrittmacherversorgung im Jugend- oder Erwachsenenalter wegen des kleinen operativen Eingriffs – der meist ambulant möglich ist – die größere Bedeutung hat.

ANGELI et al. [1] und OLD et al. [40] berichten in diesem Zusammenhang über Gefäßwand- und Klappenschädigungen in bis zu 50 % bei transvenöser Schrittmacherimplantation - selbst im Erwachsenenalter.

SACHWEH et al. [45] versorgten 49 / 71 Schrittmacher-Patienten (69 %) mit epikardialen Steroidelektroden. 22 / 71 Patienten (31 %) erhielten ein transvenöses System. Das mittlere Alter seines Kollektivs lag bei 5,4 Jahren (Min: 1 Tag; Max: 13,7 Jahre).

Die akute ventrikuläre Reizschwelle lag bei  $0,87 \text{ V} / 0,5 \text{ ms} (\pm 0,12)$  bei den epikardialen Elektroden und bei  $0,72 \text{ V} / 0,5 \text{ ms} (\pm 0,43)$  im transvenösen System.

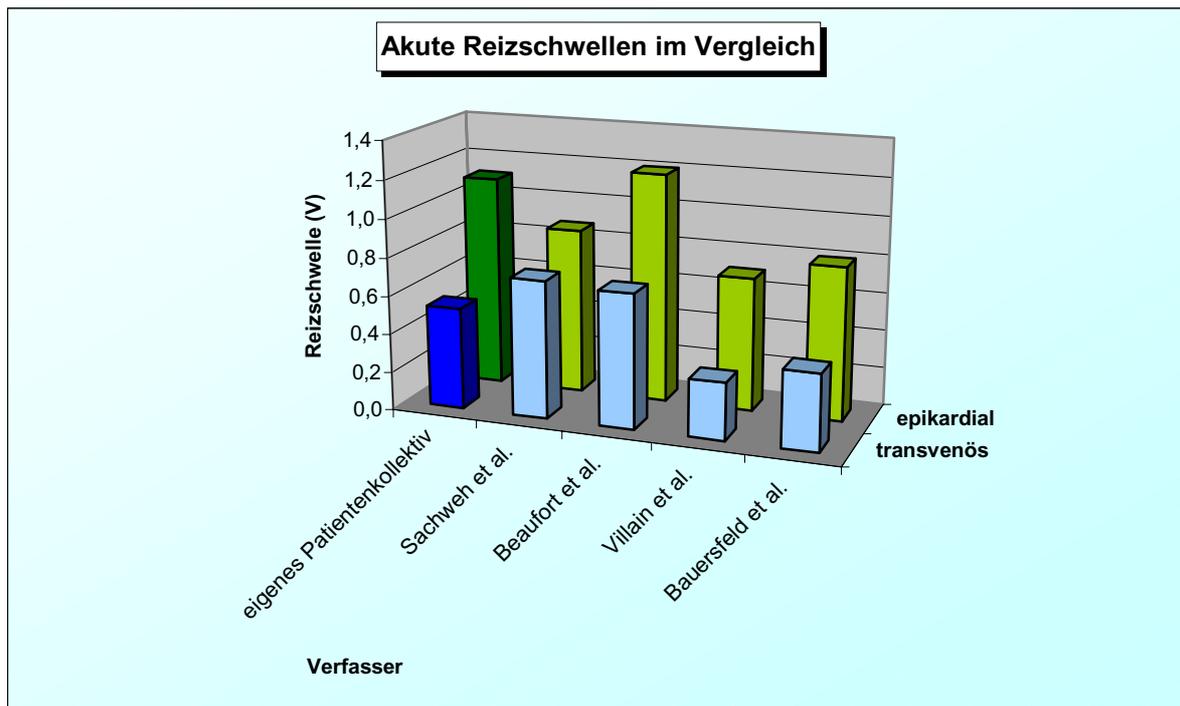
Diesen Unterschied führen SACHWEH et al. [45] darauf zurück, dass der Anteil der epikardial versorgten Patienten sich mehrheitlich einer Voroperation unterzogen habe, was zu variablen Schweregraden an Fibrosierung und/oder Perikardadhäsionen führe und somit zu höheren Reizschwellenwerten führe.

BEAUFORT-KROL et al. [4] finden ähnliche Ergebnisse im Vergleich des Reizschwellenverhaltens steroid-epikardialer und endovenöser Elektroden. Bei konstantem Reizschwellenverlauf über einen Zeitraum von etwa 5 Jahren räumen sie der steroid-epikardialen Schrittmacherimplantation im Kleinkindalter den Vorrang ein. Im Hinblick auf eine lebenslange Schrittmacherpflichtigkeit schone dies die Gefäße für eine spätere transvenöse Systemimplantation.

SCHMID et al. [46] führten bei zwei Frühgeborenen der 35. und 36. SSW am 2. und 3. Lebens-tag, und bei einem Neugeborenen im Alter von 4 Wochen erfolgreich eine epikardiale Schrittmacherimplantation (SJM Microny SR +2425T; Medtr. CapSure Epi 10366) durch. Der postoperative Verlauf war über 12 Monate regelrecht - inklusive Reizschwellen- und Wahrnehmungsverhalten.

Vergleichbare Ergebnisse berichten auch NOWAK et al. [39], die zwei Frühgeborene der 35.SSW am 2.Lebenstag mit dem gleichen System wie SCHMID et al. (Aggregat und Elektroden) versorgten. Auch hier war der postoperative Verlauf (Nachbeobachtung 26 Wochen) mit Reizschwellen- und Wahrnehmungsverhalten regelrecht.

Über das Risiko einer Myokardperforation mit Perikardtampnade durch transvenöse Elektroden berichten KIVINIEMI et al. [34], TRIGANO et al. [52], GLIKSON et al. [21] und PARSONNET et al. [41]. In ihren Studien wird dieses Risiko mit 0,6 % - 1,2 % angegeben.



**Abbildung 35: Vergleich akuter Reizschwellendes eigenen Patientenkollektivs mit denen nationaler und internationaler Studien.**

► In unserem Patientenkollektiv wurden zu 100 % steroideluirende epikardiale Elektroden implantiert. Die akuten Reizschwellen- und Wahrnehmungswerte sind mit den Ergebnissen der o.a. Studien vergleichbar (siehe auch Abbildung 35).

Im Langzeitverlauf über einen Beobachtungszeitraum von 57 Monaten waren Reizschwellen- und Wahrnehmungsverhalten in unserem Patientenkollektiv ebenfalls konstant. Die mittlere ventrikuläre Reizschwelle lag bei 1,2 V / 0,5 ms (Min: 0,5 V / 0,5 ms; Max: 1,5 V / 0,5 ms) bzw. bei 1,19 V / 1,0 ms (Min: 0,6 V / 1,0 ms; Max: 1,7 V / 1,0 ms) (1- und 2-Kammer-Schrittmacher). Für 2-Kammer-Schrittmacher betrug die mittlere atriale Reizschwelle 0,56 V / 0,5 ms (Min: 0,5 V / 0,5 ms; Max: 1,2 V / 0,5 ms).

Ursache einer Elektrodenrevision war in unserem Kollektiv die funktionelle Elektrodenverkürzung durch Verwachsungen (n=2), gefolgt von Mikrodislokation (n=1) und Elektrodenbruch (n=1).

Im ersten, bzw. zweiten Fall konnte durch Adhäsilyse, bzw. durch Umpositionierung die Integrität der Elektrodenspitze wieder hergestellt werden. Im letzten Fall wurde die epikardiale durch eine transvenöse Elektrode ersetzt.

Während der Elektrodenbruch in unserem Kollektiv eine eher seltene Komplikation darstellt, beschreiben SACHWEH et al. [45] diesen als häufiges Ereignis nach epikardialer Schrittmacherimplantation.

Die Ergebnisse von SCHMID et al. [46] aus der Schrittmacherversorgung Frühgeborener der 35. und 36. SSW (s.o.) sind mit einem Fall in unserem Kollektiv vergleichbar:

In unserem Kollektiv erhielt ein ehemaliges Frühgeborenes der 28. SSW bei angeborenem AV-Block III° das gleiche System (SJM Microny II SR+ und bipolare Medtronic-Elektrode Typ 10366) am 19. Lebenstag. Auch bei unserem Patienten war der postoperative Verlauf bezüglich der Schrittmacherversorgung bei konstanten Reizschwellen- und Wahrnehmungswerten regelrecht. Allerdings kam es rezidivierend zu Wundheilungsstörungen im Bereich der Sternotomienarbe.

#### 5.4.1.5.2. *Revisionsicherheit der Elektroden*

Schrittmacherrevisionen betreffen das Aggregat, die Elektroden oder den Wundbereich des operativen Zugangs, bzw. den Bereich der Aggregatlokalisierung.

Elektrodenrevisionen sind in den meisten Fällen verursacht durch Elektrodenbrüche, Epikardfibrose im Bereich der Elektrodenkopf-Implantation, adhäsionsbedingte oder durch Längenwachstum verursachte relative Elektrodenverkürzung oder Infektionen durch in situ belassene epikardiale Elektroden nach transvenöser Neuimplantation.

Seltener kommt es zu Mikrodislokationen, während „echte“ Dislokationen bei transvenösen Elektroden relativ häufig sind.

■ NORDLANDER et al. [38] und SUTTON et al. [50] berichten über die Anlage von atrialen Reserveschleifen endokardialer Elektroden zur Vorbeugung der Elektrodenstreckung oder –dislokation im Rahmen des kindlichen Längenwachstums.

Dabei betonen ROSENTHAL et al. [44], dass bei Implantation im Säuglingsalter die Elektrodenlänge maximal für ein Längenwachstum von 5 Jahren reiche und die Revision dann im Rahmen eines elektiven Aggregataustausches stattfinden müsse.

ANTRETTNER et al. [2] weisen im Zusammenhang mit der Anlage von Elektrodenschleifen auf das Risiko der Verlagerung dieser Reservelängen in den rechten Ventrikel mit der Folge gesteigerter Extrasystolieneigung hin.

Daneben seien bei vorgegebener Elektrodenüberlänge Verlagerungen in den Pulmonalisausflußtrakt mit konsekutiver Klappeninsuffizienzen beobachtet worden.

Die Autoren plädieren daher für eine regelmäßige röntgenologische Kontrolle der Elektrodenlänge, so dass die Revision mit Nachschieben der Elektrode rechtzeitig erfolgen kann.

DODGE-KHATAMI et al. [14] konnten in einem Vergleich von steroidhaltigen epikardialen Elektroden und transvenösen Elektroden keinen signifikanten Unterschied im Reizschwellenverhalten finden. Anders als bei den konventionellen epikardialen Elektroden (ohne Steroid) waren die chronischen Reizschwellenwerte der epikardialen Steroidelektroden besser als die der transvenösen [11] [46].

Dies berechtigt eine möglichst späte transvenöse Elektrodenimplantation und damit Schonung des transvenösen Zugangs, was insbesondere bei lebenslanger Schrittmacherpflichtigkeit sinnvoll ist.

BEAUFORT-KROL et al. [4] fanden eine vergleichbare Elektrodenlebensdauer für transvenöse und steroid-eluierende epikardiale Elektroden. Sie favorisieren die epikardiale Implantation im Kindesalter wegen möglicher Probleme, die bei der Extraktion endovenöser Elektroden auftreten können und die im weiteren Verlauf – insbesondere bei intravasalem Verbleib der alten Elektrode – die langfristige transvenöse Schrittmacherversorgung behindern können.

MOLINA et al. [37] vermieden in ihrem Kollektiv die transvenöse Implantation über die V.cephalica, da ansonsten die Armbeweglichkeit eingeschränkt, bzw. das Risiko einer Elektrodendislokation durch Armbewegung erhöht sei [10] [37].

Darüberhinaus nimmt die Elektrode bei diesem Zugang einen oberflächlichen Verlauf, was auch unangenehm für den Patienten sein kann [10].

► In unserem Patientenkollektiv fand die transvenöse Schrittmacherimplantation in einem mittleren Alter von 35,3 Monaten (Min: 9 Mon.; Max: 57 Mon.) statt.

Dies bedeutet eine mittlere Elektroden-„Lebensdauer“ von 26 Monaten (Min: 8 Mon.; Max: 53 Mon.), was den Erwartungen ROSENTHALS et al. [43] entspricht.

Bei einer mittleren Körperlänge von 59 cm wurde jeweils eine atriale Reserveschleife angelegt. Im Rahmen des weiteren Längenwachstums kam es zur Elektrodenabwicklung. In allen drei Fällen konnte so bei guter Schrittmacherfunktion eine Revision durch funktionelle Elektrodenverkürzung umgangen werden. Rhythmusstörungen durch Verlagerung der Vorhofschleife, wie von ANTRETTTER et al. [2] befürchtet, traten in unserem Kollektiv nicht auf.

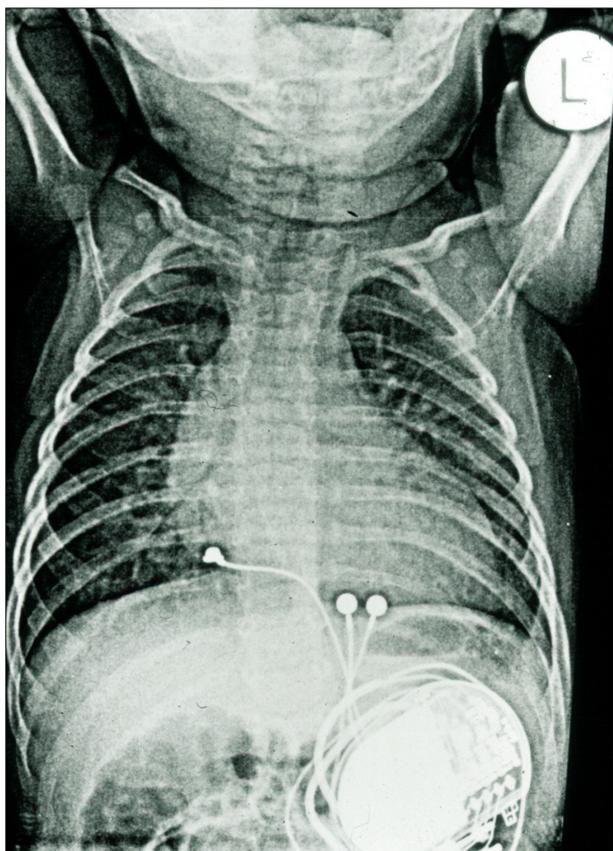
Als venösen Zugang für transvenöse Elektrodenimplantationen wurde in unserem Kollektiv in zwei Fällen die linke V.subclavia, und in einem Fall die V.cephalica gewählt. Einschränkungen der Armmotilität oder Elektrodendislokation durch heftige Armbewegungen konnten wir bei unseren Patienten nicht finden.

Dabei ist sicherlich gerade im Kindesalter von häufigen, forcierten Armbewegungen auszugehen, wie sie beim Spielen und Erlernen der Körpermotorik auftreten können.

#### 5.4.1.5.3. *Schrittmacheraggregat*

Kinder-Schrittmacher müssen klein, dünn und leicht sein, sollen dabei möglichst lange fehlerfrei funktionieren und hohe Stimulationsfrequenzen (bis 150 /min.) mit eventuell hohen Impulsamplituden und langer Impulsdauer ermöglichen.

In diesen Forderungen spiegeln sich die wesentlichen Aggregatkomplikationen der permanenten Schrittmacherversorgung wider [2].



**Abbildung 36:**  
Röntgen-Bild eines Säuglings (3900g), bei dem eine epikardiale Schrittmacherimplantation mit links-abdominaler Aggregatlokalisierung erfolgte.

Die Auswahl des geeigneten Schrittmacheraggregates richtet sich nach der zugrundeliegenden kardialen Symptomatik und den Anforderungen, die der kindliche Organismus an Maße und technische Möglichkeiten des Generators stellt. Die klinische Erfahrung des implantierenden und des nachsorgenden Arztes sind hier sicherlich miteinscheidend.

■ BAUERSFELD et al. [3] implantierten fünf verschiedene Aggregattypen des Herstellers St.Jude-Medical (SJM). Im einzelnen waren dies die Typen Microny SR +2425T, Regency SR 2400L, Affinity SR 5130, Affinity DR 5330 und Integrity AfxDR 5346. Diese Generatoren unterscheiden sich im Wesentlichen in ihrer Größe (Min: 5,9cm<sup>3</sup>; Max: 11cm<sup>3</sup>), dem (VVI(R) vs. DDD(R)) Stimulationsmodus und der Batteriekapazität (Min: 0,37 Ah; Max: 1,0 Ah).

COHEN et al. [11] verwandten bei der Schrittmacherversorgung von 123 Patienten 21 verschiedene Generatormodelle von insgesamt 5 verschiedenen Herstellern. Aus der Medtronic-Baureihe wurden 14 verschiedene Typen implantiert:

Vom Typ Thera wurden die Modelle 7940, 7950, 7960 und 8960 in einer Häufigkeit von 49,32 % (n=73) eingesetzt.

Medtronic Kappa-Modelle vom Typ 700 erhielten 8,78 % (n=13) der Patienten.

Auch hier sind wesentliche Unterscheidungsmerkmale die Aggregatgröße, der Stimulationsmodus und die Batteriekapazität. (Vgl. auch Tabelle 15)

► In beiden Arbeiten finden sich Übereinstimmungen zu unserem Patientenkollektiv: Bei uns implantierte man mehrheitlich die Medtronic-Aggregate der Thera-Baureihe (n=28 / 30). Darunter wurden – wie bei COHEN et al. – die Typen 7960 (n=5) und 8960 (n=9) am häufigsten eingesetzt.

Daneben wurden die Typen 8940 (n=4), 8962 (n=3) und 8964 (n=2) verwendet. Außerdem wurden die Kappa-Modelle 401 (n=1) und 701 (n=4) implantiert.

Außerdem wurde je ein Biotronik-Aggregat, Typ Picos E01 und – analog zu COHEN et al. und BAUERSFELD et al. – ein Pacesetter-Microny-Generator eingesetzt.

**Tabelle 15: Maße der von COHEN et al. [11] und im eigenen Kollektiv verwandten Schrittmacheraggregate.**

Hersteller	Typ	Höhe (mm)	Breite (mm)	Tiefe (mm)	Volumen (mm <sup>3</sup> )	Masse (g)
<b>Medtronic</b>	<i>Thera 7960</i>	44,7	47,9	7,5	12,1	27,1
	<i>Thera 8940</i>	38,9	42,4	7	9,1	20,7
	<i>Thera 8960/ 62/ 64</i>	40,2	42,9	7,5	9,7	21,5
	<i>Kappa SR401</i>	43,1	47,9	7,6	11,6	28
	<i>Kappa SR 700</i>	40,2	42,9	7,5	9,7	21,5
	<i>Kappa SR701</i>	40,2	42,9	7,5	9,7	21,5
	<i>Kappa DR701</i>	44,7	47,9	7,5	12,1	27,1
<b>Pacesetter (SJM)</b>	<i>Microny II SR+</i>	33	33	6	5,9	12,8

#### 5.4.1.5.4. *Revisionsicherheit des Schrittmacheraggregates*

Bei der Betrachtung der Indikationen zur Aggregatrevision kann man unterscheiden zwischen regulären und irregulären Revisionen.

Als reguläre Revision ordnen wir den Aggregataustausch bei Erreichen der Batterieaustauschkriterien („End-of-life“-Kriterien) ein.

Irreguläre Aggregatrevisionen hingegen betreffen meist dessen Lokalisation und Wundheilungsstörungen, die eine Schrittmacherinfektion nach sich ziehen können.

##### 5.4.1.5.4.1. *Reguläre Revisionen*

■ VILLAIN et al. [54] berichten in einem Patientenkollektiv von 34 Patienten mit epikardialer Schrittmacherversorgung über eine Spannweite der Batterielebensdauer von 3 – 8,5 Jahren nach Implantation.

Bei SACHWEH et al. [45] war bei 12 von 49 Patienten eine reguläre Batterieerschöpfung Revisionsindikation, und zwar bei einer mittleren Batterielebensdauer von  $3,4 \pm 2,5$  Jahren.

Bei 75 % der Patienten lag die Batterielaufzeit unter 4 Jahren.

Zu einer vorschnellen Batterieentleerung oder erhöhter ventrikulärer Reizschwelle kam es bei 10 Patienten, die allerdings mit epikardialen Non-Steroid-Elektroden ausgestattet worden waren.

Einer dieser 10 Patienten erhielt bei Revision eine Steroidelektrode, zwei Kinder wurden transvenös umgerüstet. Bei den übrigen sieben Patienten wurden entweder nur die Batterie oder aber zusätzlich die Non-Steroid-Elektroden ausgetauscht.

6 dieser 7 Patienten wurden wegen Batterieerschöpfung oder Reizschwellenanstieg nach  $3,4 \pm 2,3$  Jahren erneut revidiert. Diesmal erhielten 3 Kinder ein transvenöses System, ein Patient erhielt epikardiale Steroidelektroden. Bei zwei Patienten wurde ein einfacher Systemaustausch mit Non-Steroid-Elektroden vorgenommen.

► In unserem Patientenkollektiv war die häufigste Indikation für eine Revision die Batterieerschöpfung.

Dabei traten in 6 Fällen Revisionen bei regulärer Batterieerschöpfung („End-of-life“) auf. Die mittlere Laufzeit betrug bei diesen Patienten 44 Monate (Min: 6 Mon.; Max: 62 Mon.). Damit weist diese Arbeit zu den o.a. Studien vergleichbare Batterielaufzeiten auf.

Es muss bei der Betrachtung der Batterielaufzeiten in der kindlichen Schrittmachertherapie grundsätzlich die schnellere Entladung durch physiologisch höhere erforderliche Stimulationsfrequenzen berücksichtigt werden [18].

Bei den Patienten mit kompliziertem Verlauf (n=6) hingegen betrug die mittlere Batterielaufzeit nur 31,75 Monate. Diese verkürzte Laufzeit war aber nicht Reizschwellenbedingt, sondern durch erforderliche Systemrevisionen bei Elektrodenbruch (n=1) und Wundheilungsstörung (n=1) verursacht.

Die vier übrigen Kinder mit kompliziertem Verlauf wiesen Auffälligkeiten auf, die aber eine operative System(teil-)revision nicht erforderlich machten:

In zwei Fällen konnten durch Freipräparation die adhäsionsbedingt relativ verkürzten Elektroden wieder verlängert werden.

Die beiden übrigen Kinder verstarben im peri- und postoperativen Verlauf, wobei sich aber durch die Obduktion in beiden Fällen lediglich ein vermuteter Zusammenhang mit der *Grunderkrankung*, nicht aber mit der Schrittmacherversorgung herstellen ließ.

#### 5.4.1.5.4.2. Irreguläre Revisionen

■ VAN HARE et al. [53] berichten über ein 4 Monate altes Kind, das am 6. Lebenstag mit einem epikardialen Schrittmacher versorgt wurde. Bei diesem Kind trat vier Monate nach Implantation eine Aggregatverlagerung aus retrorektaler, abdominaler Lage auf. Es erfolgte die operative Revision mit Unterbringung des Generators in einer neuen Aggregattasche, subkutan über dem M.rectus abdominis. Danach gestaltete sich der weitere Verlauf regelrecht. Auch wenn selten, sollte die Möglichkeit der Aggregatwanderung vor allem bei der kindlichen Schrittmacherimplantation berücksichtigt werden. Berichtet wurde in diesem Zusammenhang auch von Dislokationen in andere Bereiche des Abdomens, darunter ins Retroperitoneum, in die Blase, in das Kolon und in das Jejunum.

SCHMID et al. [46] weisen darauf hin, dass die Aggregatunterbringung mit abnehmender Größe des Kindes kritischer wird. Wegen des geringes Subkutangewebes und der sowieso dünneren Haut Neugeborener empfehlen sie die Implantation kleinstmöglicher Geräte in abdominaler, retrorektaler Lage. Dem schließen sich auch ANTRETTTER et al. [2] an. Durch diese Aggregatlokalisation können das Risiko für Logennekrosen gering gehalten werden.

MOLINA et al. [37] raten aus dem gleichen Grund von einer subkutanen Implantation ab und ziehen die Möglichkeit der subpektoralen Implantation in Betracht. Dies ergebe auch ein kosmetisch und vom Tragekomfort günstiges Ergebnis für das Kind.

VILLAIN et al. [54] berichten über 2 Patienten, die im postoperativen Verlauf wegen Wundinfektion revisionspflichtig wurden:

Im Bereich der Aggregatlokalisation kam es im ersten Fall zur Wundinfektion mit E.coli, im 2. Fall mit Staphylokokken. Beide Kinder erhielten eine Systemrevision mit transvenöser Umsetzung.

Daneben fand sich bei VILLAIN et al. ein Kind mit Überempfindlichkeit gegen das Schrittmachermaterial. Bei konstant negativem Bakterienstatus, aber den klinischen Zeichen einer Entzündung über dem Aggregatbereich fand schließlich die Implantation eines vergoldeten Medtronic-Schrittmachers statt. Hierunter gestaltete sich der weitere Verlauf regelrecht.

► Der Vergleich mit anderen Studien zeigt, dass Hinweise auf mögliche Komplikationen im Bereich der Aggregatlokalisierung Berücksichtigung finden müssen.

Zwar wurde bei unseren Patienten in 100 % von der subkutanen zugunsten der retrorektalen Implantation abgesehen, dennoch kam es bei zwei Patienten im postoperativen Verlauf zu Wundheilungsstörungen im Bereich der Generatorlokalisierung.

Im ersten Fall wurde das Aggregat bei drohender Perforation auf die kontralaterale Seite verlagert, im anderen Fall wurde nach wiederholter Entzündung im Bereich der Thorakotomienarbe das Aggregat nach subpektoral umgesetzt.

Aggregatwanderungen im o.a. Sinne konnten durch rechtzeitige Revision mit Umsetzung des Aggregates verhindert werden.

Bei uns gestaltete sich der postoperative Verlauf für zwei Patienten kompliziert, und zwar i.S. von rezidivierenden Wundheilungsstörungen. Dies lässt sich unter Umständen aus dem deutlich jüngeren Implantationsalter – und konsekutiv aus einem niedrigeren Body-Mass-Index (BMI) mit dünnerer und empfindlicherer Haut – des Kindes erklären. In diesem Zusammenhang fanden KIVINIEMI et al. [34] in einer retrospektiven Betrachtung des Langzeitverlaufs von 446 Schrittmacherpatienten, dass der BMI bei Patienten mit Wundheilungsstörung (WHS) signifikant niedriger war, als bei Patienten mit regelrechtem Wundheilungsverlauf ( $21,6 \pm 6,4$  bei Patienten mit Wundheilungsstörung vs.  $26,3 \pm 4,8$  bei Patienten ohne WHS;  $P < 0,05$ ).

Der BMI unserer beiden Patienten mit Wundheilungsstörung liegt mit einem Wert von 8,75, bzw. 12,49, bei beiden Patienten deutlich unter den Werten von KIVINIEMI et al..

#### 5.4.1.5.4.3. Vorgehen bei Schrittmacherinfektion

Infektionen antiarrhythmischer Implantate sind eine schwerwiegende Komplikation, über die mit zunehmender Häufigkeit berichtet wird, möglicherweise aufgrund der gleichfalls gestiegenen absoluten Zahl an Implantationen, und zwar bei Fortschritten auf dem Technologiesektor auch bei Kindern.

■ MOLINA et al. [36] untersuchten 21 Patienten bezüglich des Auftretens von Schrittmacherinfektionen.

Bei 15 dieser Patienten traten Infektionen nach Erstimplantation auf, bei weiteren 6 Patienten kam es zur Reinfektion nach Systemaustausch.

Es kamen drei verschiedene Therapiepläne zur Anwendung, hiervon einer mit Aggregatumsetzung und i.v.-Antibiose, die beiden anderen jeweils mit Systemaustausch und unterschiedlich langer i.v.-Antibiose.

Bei einem Follow-up mit einer Spannweite von 8 Monaten bis 5 Jahren traten Todesfälle nur in der Gruppe der Patienten mit Aggregatumsetzung auf; hier war auch die Hospitalisationsdauer mit 104 Tagen deutlich länger als in den beiden Vergleichsgruppen, bei denen jeweils ein vollständiger Systemaustausch durchgeführt wurde (n= 7 Tage, bzw. n= 65 Tage wg. längerer stationärer Antibiose).

MOLINA et al. leiten hiervon die Empfehlung der vollständigen Implantatentfernung im Falle einer SM-Infektion ab. Im Einzelfall könne die Elektrodenrevision umgangen werden, wenn durch rechtzeitigen Aggregataustausch und sofortige Antibiose ein Übergreifen auf die SM-Kabel verhindert werde.

Zu dem gleichen Ergebnis kommen auch WILHELM et al. [55] in einer Arbeit über Herzschrirtmacherinfektionen:

Sie berichten über 12 Patienten mit Schrittmacherinfektion, von denen 4 Patienten nur eine lokale Aggregattascheninfektion aufwiesen und bei denen deshalb das Aggregat aus der ursprünglichen Lokalisation umgesetzt wurde.

Für die übrigen Patienten mit Elektroden- oder Systeminfektion wird die Explantation des ganzen SM-Systems als die verlässlichste Methode zur vollständigen Eradikation angesehen.

► Der Vergleich mit dem eigenen Patientenkollektiv zeigt, dass es bei 2 von 21 Patienten insgesamt 5 mal zu Wundheilungsstörungen kam (1x L.S.; 4x T.W.), die sich aber in nur einem Fall in Form einer offensichtlichen Schrittmacherinfektion mit konsekutiver Fehlfunktion manifestierte.

Hierbei handelte es sich um ein ehemaliges Frühgeborenes der 28. SSW, das zum Zeitpunkt der Infektion am 16. Tag post implantationem ein Körpergewicht von 1310 g aufwies. Bei fehlendem Keimnachweis und unauffälligem Lokalbefund wurde zunächst von einer SM-Revision abgesehen und eine Antibiose mit Vancomycin und Zienam über 14 Tage durchgeführt; diese konnte bei negativem CRP nach 14 Tagen wieder abgesetzt werden.

Unglücklicherweise kam es im weiteren Verlauf wiederholt zu CRP-Anstiegen bis 9,0 mg / dl, die unter erneuter lokaler und systemischer Antibiose wieder rückläufig waren. Das Kind war klinisch stabil und auch lokal ohne Infektionszeichen.

Die weiteren Wundheilungsstörungen, die sich im Langzeitverlauf der Patientin einstellten, betrafen eher den Bereich der Thorakotomienarbe, als den der Aggregatlokalisation. Dennoch wurde das gesamte SM-System 8 Monate nach SM-Implantation wegen seiner Nähe zum Areal der Wundheilungsstörung durch ein transvenöses System bei veränderter Aggregatlokalisation ersetzt.

Ungünstigerweise kam es 5 Monate später noch einmal zu einer Infektion, diesmal im Bereich der belassenen epimyokardialen Elektrodenreste. Dies machte eine operative Revision der ehemaligen Kabelkanäle und Aggregattasche und eine 10tägige Antibiose mit Mandocef® erforderlich. Anschließend gestaltete sich der weitere Verlauf der Patientin regelrecht.

Es ist fraglich, ob die sofortige vollständige Systemrevision in diesem Fall den komplizierten Langzeitverlauf entschärft hätte, zumal hier nicht nur eine isolierte Schrittmacherinfektion im engeren Sinne bestand, sondern sich darüberhinaus eine Wundinfektion im Bereich der benachbarten Thorakotomienarbe einstellte, die unabhängig von der Schrittmacherinfektion betrachtet werden kann.

Darüberhinaus gibt es neben den Erfahrungen MOLINAs et al. [36] eine Reihe von Berichten, in denen durch kontinuierliche antibiotische Spülung der Aggregattasche über einige Tage, oder auch durch einfache Aggregatumsetzung das Schrittmachersystem „gerettet“ werden konnte, was das hier gezeigte Vorgehen – insbesondere bei einem Frühgeborenen mit deutlich unternormalem Körpergewicht – durchaus rechtfertigt.

## 6. Schlussfolgerung

Anders als in der Erwachsenenmedizin birgt die Schrittmachertherapie im Kindesalter eine Reihe von Schwierigkeiten, die an Bedeutung und Zahl mit abnehmendem Patientenalter zunehmen.

Die Schwierigkeiten gründen sich im Wesentlichen auf anatomische Bedingungen zum Zeitpunkt der Schrittmacherimplantation.

Daneben entstehen veränderte Bedingungen der Schrittmachertherapie häufig auch erst im postoperativen Langzeitverlauf, was ein vorausschauendes Handeln und eine frühzeitige Erkennung von Problementwicklungen erfordert.

Eine Vielzahl von Studien propagiert die transvenöse Schrittmacherimplantation als Methode der Wahl, mit der sich – in meist kleinen Patientenkollektiven – gute Ergebnisse im Hinblick auf Reizschwellen- und Stimulationsverhalten erzielen lassen und die häufig eine niedrige Rate an elektrodenbedingten Revisionen aufweisen. Hierbei wird aber häufig nicht ausreichend berücksichtigt, dass Patientenalter, -größe, Herzanatomie und Gefäßquerschnitt limitierende Faktoren für ein solches Vorgehen sein können.

In unserem Patientenkollektiv lag das durchschnittliche Lebensalter bei Erstimplantation bei 6,5 Monaten (Min: 11 Tage; Max: 29 Mon.) bei einem Durchschnittskörpergewicht von 4694 g (Min: 1400 g; Max: 10100 g). Alle Kinder erhielten primär ein epikardiales Schrittmachersystem.

Neben einer zunehmenden Zahl von Studien, die die epikardialen Streoelektroden den transvenösen Elektroden in Lebensdauer, Reizschwellen- und Wahrnehmungsverhalten gleichsetzen [4] [12], sprechen eine Vielzahl von Gründen für eine epikardiale Schrittmacherimplantation im Neugeborenen- und Kleinkindalter (s.u.).

1. In einigen Fällen wird der Korrekturingriff anatomischer Herzfehler mit der Implantation eines permanenten Herzschrittmachers kombiniert. Dies gilt insbesondere für Fälle, in denen die Reizleitungsstörung angeboren ist, und damit eine Zweiterkrankung darstellt (n=1), oder für solche Patienten, bei denen die Reizleitungsstörung postoperativ entstanden ist und die Implantation im Rahmen eines weiteren Korrekturingriffs (hier Re-ASD) stattfinden kann (n=1).

In unserem Kollektiv wurde ein solches kombiniertes Vorgehen bei zwei Patienten gewählt. Das operative Risiko kann hierdurch relativ kleiner gehalten werden.

2. Gerade bei sehr kleinen Kindern, die lebenslang auf eine permanente Schrittmacherversorgung angewiesen sind, muss damit gerechnet werden, dass es zu mehrfachen System- oder –teilrevisionen kommt (z.B. im Rahmen von funktionellen Elektrodenverkürzungen durch körperliches Längenwachstum). Die frühe transvenöse Implantation bietet in diesem Zusammenhang eine Reihe von Nachteilen:

- bei absolut und relativ zu kleinem Gefäßquerschnitt besteht das Risiko der Zerstörung der Gefäßwandintegrität, von Klappenschädigungen und von elektrodenbedingter Venenobstruktion und Thrombose.
- für den Fall einer notwendigen Elektrodenexplantation gibt es spezielle Extraktoren; die bisher damit erzielten Ergebnisse sind vielversprechend [17]. Bei komplizierter Elektrodenexplantation ist aber unter Umständen sogar das unverhältnismäßig große Risiko einer Operation am offenen Herzen einzugehen [9].
- bei frustraner Elektrodenextraktion verbleibt die „alte“ Elektrode in der Vene. Dies kann die Neuimplantation über denselben Zugang verwehren, oder – bei Implantation einer „zusätzlichen“ Elektrode das Risiko einer Venenobstruktion/Thrombose zumindest deutlich erhöhen [4] [16].

Hieraus lässt sich die Empfehlung einer möglichst späten transvenösen Elektrodenimplantation ableiten, was der Schonung der Gefäße und damit auch der einfacheren transvenösen Schrittmacherversorgung im höheren Alter zugute kommt.

In unserem Patientenkollektiv wurden transvenöse Elektroden implantiert, wenn dies

- a) im Rahmen von Revisionseingriffen stattfand, und wenn
- b) ein Mindestkörpergewicht von 4500 g erreicht worden war.

3. Während bestimmte anatomische Gefäß- (z.B. totale cavo-pulmonale Anastomose) oder Herzfehlbildungen (intrakardiale Shunts durch Scheidewanddefekte) ein Ausschlusskriterium für die transvenöse Schrittmacherimplantation darstellen können, können epikardiale Schrittmacher prinzipiell bei allen Patienten implantiert werden.

4. Nach Korrekturoperation anatomischer Herzfehler kommt es häufig zu entzündlichen, bzw. posttraumatisch bedingten Schwellungen, die auch das Trabekelwerk im Herzen miteinbeziehen können. Dies kann eine sichere endokardiale Elektrodenverankerung erschweren oder sogar unmöglich machen. Unter Berücksichtigung der großen Zahl postoperativer AV-Blockierungen als Indikation zur Schrittmacherimplantation – im eigenen Kollektiv 15 Patienten – muss die Schrittmacherimplantation in erster Linie als lebenserhaltende Maßnahme ihre Funktion erfüllen können.

Dislokationen epikardialer Elektroden, die aufgenäht werden, sind in diesem Zusammenhang eine Seltenheit; sie treten meist nur als Mikrodislokationen auf (n=1), so dass die Integrität der Elektrodenspitze erhalten bleiben kann, dann allerdings bei meist schlechteren Reizschwellenwerten. Oftmals verbirgt sich hinter einer vermuteten Mikrodislokation auch eine vermehrte Fibrosierung im Implantationsbereich der epikardialen Elektrode.

5. Während die Aggregatlokalisation bei transvenöser Elektrodenimplantation meist subpektoral erfolgt, kann der Generator bei epikardialer Implantation auch retrorektal untergebracht werden.

Bei generell dünnerer und damit empfindlicherer Haut von Kleinkindern, kann dies das Risiko von Wundheilungsstörungen oder revisionspflichtigen Aggregatperforationen senken.

In unserem Kollektiv fand bei allen Patienten die Aggregatimplantation bei epikardialer Schrittmacheranlage in retrorektaler Lage statt. Dennoch traten Wundheilungsstörungen bei zwei Patienten auf.

Während der Bereich der Aggregatlokalisierung in nur einem Fall betroffen war, bezog sich die Wundheilungsstörung im anderen Fall auf den Bereich des subxiphoidalen Zugangs.

Aus dem Alter der Kinder von 1 und 4 Monaten, und einem Körpergewicht von 2482 g und 3400 g wird ersichtlich, dass durch abdominale Aggregatimplantation das Risiko der Wundheilungsstörung nicht ausgeschlossen werden kann. Es ist aber zu vermuten, dass bei Lokalisation im subpektoralen Bereich diese Komplikation auch bei älteren Kindern aufgetreten wäre.

Die Ergebnisse dieser Arbeit sind mit denen nationaler und internationaler Studien bei einer Kollektivgröße von 21 Patienten vergleichbar.

Während die meisten Arbeiten nur Patientenkollektive mit einem höheren durchschnittlichen Implantationsalter untersuchen und daher meist schwerpunktmäßig auf die Entscheidung zwischen epikardialer und transvenöser Schrittmacherimplantation fokussieren, ist das Durchschnittsalter des hier betrachteten Patientenkollektivs auch im internationalen Vergleich als sehr niedrig einzustufen. Aus dem gleichen Grund kann aber für das Kollektiv dieser Arbeit die Entscheidung des Implantationsverfahrens nur bedingt diskutiert werden.

Die eigenen Ergebnisse der Versorgung Neugeborener und Kleinkinder mit epikardialen Steroidelektroden weisen eine nur geringe Zahl von Komplikationen durch Wundheilungsstörung, Elektrodenbruch und –verkürzung durch Adhäsionen auf. Störungen im Sinne einer insuffizienten Schrittmacherversorgung traten nicht auf.

Die epikardiale Schrittmacherversorgung mit falls notwendiger transvenöser Umsetzung – bei uns ab einem Körpergewicht von 4500 g – kann danach weiterhin als Methode der Wahl gelten für ein Patientenkollektiv, für das sich aus anatomischen oder Altersgründen eine transvenöse Implantation zunächst ausschließt.

Darüberhinaus können die eigenen Ergebnisse mit stabilen Reizschwellen- und Wahrnehmungswerten, sowie einer insgesamt guten klinischen Entwicklung der Patienten, durchaus auch ein Argument für eine späte transvenöse Schrittmacherversorgung sein, was der Schonung der Gefäße und Herzklappen bei lebenslang schrittmacherpflichtigen Patienten zugute kommt.

## 7. Literatur

1. Angeli, S., *Superior vena cava syndrome following pacemaker insertion post atrial septal defect repair*. Am Heart J, 1990. **120**: p. 433-435.
2. Antretter, H., M. Fritz, J. Bonatti, C. Fink, P. Mair, and W. Furtwangler, *Standards in pediatric pacemaker therapy*. Wien Med Wochenschr, 1995. **145**(24): p. 651-6.
3. Bauersfeld, U., O. Przibille, Z. Gajic, T. Fahraeus, C. Kampmann, M. Rahn-Schönbeck, and H. Schüller, *Alternative to the transvenous approach in pediatric pacing - long-term experience with bipolar epicardial pacing leads*. Herzschr Elektrophys, 2001. **12**: p. 158-162.
4. Beaufort-Krol, G., H. Mulder, D. Nagelkerke, T. Waterbolk, and M. Bink-Boelkens, *Comparison of longevity, pacing, and sensing characteristics of steroid-eluting epicardial versus conventional endocardial pacing leads in children*. J Thorac Cardiovasc Surg, 1999. **117**(3): p. 523-8.
5. Bernstein, A., A. Camm, R. Fletcher, R. Gold, A. Rickards, N. Smyth, S. Spielman, and R. Sutton, *The NASPE/BPEG generic pacemaker code for antibradyarrhythmia and adaptive-rate pacing and antitachyarrhythmia devices*. PACE, 1987. **10**: p. 794-799.
6. Bevilacqua, L. and A. Hordof, *Cardiac pacing in children*. Curr Opin Cardiol, 1998. **13**(1): p. 48-55.
7. Bink-Boelkens, M., H. Velvis, J. van der Heide, A. Eygelaar, and R. Hardjowijono, *Dysrhythmias after atrial surgery in children*. Am Heart J, 1983(July): p. 125-130.

8. Bonatti, V., A. Agnetti, and U. Squarcia, *Early and late postoperative complete heart block in pediatric patients submitted to open heart surgery for congenital heart disease*. *Pediatr Med Chir*, 1998. **20**(3): p. 181-186.
9. Byrd, C., S. Schwartz, and N. Hedin, *Intravascular techniques for extraction of permanent pacemaker leads*. *J Thorac Cardiovasc Surg*, 1991. **101**: p. 989-997.
10. Campbell, R., A. Raviele, E. Hulse, D. Auld, G. McRae, V. Tam, and K. Kanter, *Experience with a low profile bipolar, active fixation pacing lead in pediatric patients*. *Pacing Clin Electrophysiol*, 1999. **22**(8): p. 1152-7.
11. Cohen, M., D. Bush, V. Vetter, R. Tanel, T. Wieand, J. Gaynor, and L. Rhodes, *Permanent epicardial pacing in pediatric patients: seventeen years of experience and 1200 outpatient visits*. *Circulation*, 2001. **103**(21): p. 2585-90.
12. Cutler, N., P. Karpawich, D. Cavitt, M. Hakimi, and H. Walters, *Steroid-eluting epicardial pacing electrodes: six year experience of pacing thresholds in a growing pediatric population*. *Pacing Clin Electrophysiol*, 1997. **20**(12 Pt 1): p. 2943-8.
13. Deutsche Gesellschaft für Kardiologie, Herz- u. Kreislaufforschung, *Richtlinien zur Herzschrittmachertherapie; Indikationen, Systemwahl, Nachsorge*. *Z. Kardiol*, 1996. **85**: p. 611-628.
14. Dodge-Khatami, A., C. Johnsrude, C. Backer, B. Deal, J. Strasberger, and C. Mavroudis, *A comparison of steroid-eluting epicardial versus transvenous pacing leads in children*. *J Card Surg*, 2000. **15**(5): p. 323-9.
15. Ellenbogen, K., *Pediatric Pacing*. *Clinical Cardiac Pacing*, ed. K.G. Ellenbogen KA, Wilkoff BL. 1995, Philadelphia-London-Toronto-Montreal-Sydney-Tokyo: Saunders.

16. Figa, F., B. McCrindle, J.L. Bigras, R.M. Hamilton, and R.M. Gow, *Risk factors for venous obstruction in children with transvenous pacing leads*. *Pacing Clin Electrophysiol*, 1997. **20**(pt1): p. 1902-1909.
17. Friedman, R., H. Van Zandt, E. Collins, M. LeGras, and J. Perry, *Lead extraction in young patients with and without congenital heart disease using the subclavian approach*. *PACE*, 1996. **19**: p. 778-783.
18. Gillette, P., C. Shannon, and H. Blair, *Transvenous pacing in pediatric patients*. *Am Heart J*, 1983. **105**: p. 843-847.
19. Gillette, P., V. Zeigler, and G. Bradham, *Pediatric transvenous pacing: A concern for venous thrombosis?* *PACE*, 1988. **11**(1935-1939).
20. Gillette, P., V. Zeigler, A. Winslow, and J. Kratz, *Cardiac Pacing in Neonates, Infants and Preschool Children*. *PACE*, 1992. **15**(Part II): p. 2046-2049.
21. Glikson, M., L. von Feldt, V.J. Suman, and D.L. Hayes, *Clinical surveillance of an active fixation, bipolar, polyurethane insulated pacing lead, Part I: The atrial lead*. *PACE*, 1994. **17**(1399-1404).
22. Gregoratos, G., M. Cheitlin, A. Conill, A. Epstein, C. Fellows, T. Ferguson, R. Freedman, M. Hlatky, G. Naccarelli, S. Saksena, R. Schlant, and M. Silka, *ACC/AHA Guidelines for Implantation of Cardiac Pacemakers and Antiarrhythmia Devices: Executive Summary--a report of the American College of Cardiology/American Heart Association Task Force on Practice Guidelines (Committee on Pacemaker Implantation)*. *Circulation*, 1998. **97**(13): p. 1325-35.
23. Hansky, B., T. Breymann, E. Welisch, M. Kazutomo, E. Crespo-Martinez, H. Meyer, and R. Körfer, *Herzschrittmachertherapie im Kindesalter*. *Deutsches Ärzteblatt*, 1999. **96**(42): p. 2660-2669.

24. Hoorntje, T., J. Kammeraad, G. Bennink, and N. Sreeram, *Transvenous permanent pacemaker implantation in neonates*. *Int J Cardiol*, 2000. **75**(1): p. 103-4.
25. Hoyer, M., L. Beerman, J. Ettetdgui, S. Park, P. del Nido, and R. Siewers, *Transatrial lead placement for endocardial pacing in children*. *Ann Thorac Surg*, 1994. **58**(1): p. 97-101; discussion 101-2.
26. <http://medweb.uni-muenster.de/institute/achir/ueberblick/index.html>, *Klinik und Poliklinik für Allgemeine Chirurgie der WWU Münster: Geschichte der Klinik*.
27. [http://www.bnk.de/herz\\_neu/d/1607.html](http://www.bnk.de/herz_neu/d/1607.html), *Moderne Herzschrittmachertherapie*.
28. <http://www.focusondiabetes.com/script/main/Art.asp?li=MNI&ArticleKey=7475>, *Artificial pacemaker*.
29. <http://www.hdz-nrw.de/Htg/index.cfm?ccs=87&cs=344>, *Pioniere aus Europa*.
30. <http://www.hdz-nrw.de/Kardiologie/index.cfm?ccs=133&cs=99>, *Entwicklung der Herzschrittmachertherapie*.
31. <http://www.m-ww.de/enzyklopaedie/medizingeraete/herzschrittmacher.html>, *Herzschrittmacher*.
32. <http://www.m-ww.de/persoenlichkeiten/greatbatch.html>, *Biographie: Wilson Greatbatch - Ingenieur, Physiologe, Erfinder, Unternehmer*.
33. Kirk, J. and P. V, *Cardiac Pacing, 1960-1985*. *Circulation*, 1998. **97**(19): p. 1978-1991.
34. Kiviniemi, M., M. Pirnes, H. Eranen, R. Kettunen, and J. Hartikainen, *Complications related to permanent pacemaker therapy*. *Pacing Clin Electrophysiol*, 1999. **22**(5): p. 711-20.

35. Löhr, H., *Herzschriltmacherimplantation*. Der Chirurg, 2001. **72**: p. 203-221.
36. Molina, J., *Undertreatment and overtreatment of patients with infected antiarrhythmic implantable devices*. Ann Thorac Surg, 1997. **63**(2): p. 504-9.
37. Molina, J., A. Dunnigan, and J. Crosson, *Implantation of transvenous pacemakers in infants and small children*. Ann Thorac Surg, 1995. **59**(3): p. 689-94.
38. Nordlander, R., S. Pehrsson, K. Book, P. Zetterqvist, and I. Fahlen-Vepsa, *Clinical experience of pacemaker treatment in children*. Scand J Thorac Cardiovasc Surg, 1992. **26**(1): p. 69-72.
39. Nowak, B., C. Kampmann, F. Schmid, O. Przibille, F. Wippermann, E. Himmrich, and J. Meyer, *Pacemaker Therapy in Premature Children with High Degree AV Block*. PACE, 1998. **21**: p. 2695-2698.
40. Old, W., W. Paulsen, S. Lewis, and J. Nixon, *Pacemaker lead induced tricuspid stenosis: diagnosed by Doppler echocardiography*. Am Heart J, 1990. **117**: p. 1105-1107.
41. Parsonnet, V., A. Bernstein, and D. Neglia, *Nonthoracotomy ICD implantation: Lessons to be learned from permanent pacemaker implantation*. PACE, 1995. **18**(1): p. 1597-1600.
42. Rosenheck, S., D. Leibowitz, and Z. Sharon, *Three-year follow-up of atrial sensing efficacy in children and adults with a single lead VDD pacing system*. Pacing Clin Electrophysiol, 2000. **23**(8): p. 1226-31.
43. Rosenthal, E. and J. Bostock, *Use of an atrial loop to extend the duration of endocardial pacing in a neonate*. Pacing Clin Electrophysiol, 1997. **20**(10 Pt 1): p. 2489-91.

44. Rosenthal, E. and J. Bostock, *VDD pacing in children with congenital complete heart block: advantages of a single pass lead*. Pacing Clin Electrophysiol, 1997. **20**(8 Pt 2): p. 2102-6.
45. Sachweh, J., J. Vazquez-Jimenez, F. Schondube, S. Daebritz, H. Dorge, E. Muhler, and B. Messmer, *Twenty years experience with pediatric pacing: epicardial and transvenous stimulation*. Eur J Cardiothorac Surg, 2000. **17**(4): p. 455-61.
46. Schmid, F., B. Nowak, C. Kampmann, M. Hilker, and H. Oelert, *Cardiac pacing in premature infants and neonates: steroid eluting leads and automatic output adaptation*. Ann Thorac Surg, 1999. **67**(5): p. 1400-2.
47. Spittel, P. and D. Hayes, *Venous complications after insertion of a transvenous pacemaker*. Mayo Clin Proc, 1992. **67**: p. 258-265.
48. Stojanov, P., D. Velimirovic, V. Hrnjak, S. Pavlovic, M. Zivkovic, and Z. Djordjevic, *Absorbable suture technique: solution to the growth problem in pediatric pacing with endocardial leads*. Pacing Clin Electrophysiol, 1998. **21**(1 Pt 1): p. 65-8.
49. Stoney, W., R. Addlestone, W. Alford, G. Burrus, R. Frist, and C. Thomas, *The incidence of venous thrombosis following long-term transvenous pacing*. Ann Thorac Surg, 1976. **41**: p. 438-439.
50. Sutton, R. and I. Bourgeois, *Pacemaker implantation in children*. The Foundations of Cardiac Pacing. Part 1: An illustrated Practical Guide to basic Pacing. 1991, Mount Kisco/NY: Futura Publishing.
51. Till, J., S. Jones, E. Rowland, E. Shinebourne, and D. Ward, *Endocardial pacing in infants and children 15kg or less in weight: Medium-term follow-up*. PACE, 1990. **13**: p. 1385-1392.

52. Trigano, A., V. Taramasco, F. Paganelli, R. Gerard, and S. Levy, *Incidence of perforation and other mechanical complications during dual active fixation*. PACE, 1996. **19**(1828-1831).
53. Van Hare, G., C. Witherell, and S. Merrick, *Migration of an epicardial pacemaker to the pericardial space in an infant*. PACE, 1994. **17**(1): p. 1808-1810.
54. Villain, E., H. Martelli, D. Bonnet, L. Iserin, G. Butera, and J. Kachaner, *Characteristics and results of epicardial pacing in neonates and infants*. Pacing Clin Electrophysiol, 2000. **23**(12): p. 2052-6.
55. Wilhelm, M., C. Schmid, D. Hammel, S. Kerber, H. Loick, M. Herrmann, and H. Scheld, *Cardiac pacemaker infection: surgical management with and without extracorporeal circulation*. Ann Thorac Surg, 1997. **64**(6): p. 1707-12.

## 8. Curriculum Vitae

Name: Peter Rusch  
Geburtsdatum: 03.05.1976  
Geburtsort: Meschede  
Wohnort: Altstadt 7  
59581 Warstein

Eltern: Elisabeth Rusch, geb. Mook, Lehrerin  
Ulrich Rusch, Dipl.-Verwaltungswirt

Geschwister: Ute Rusch, Studentin  
Dörthe Rusch, Studentin

### Schulbildung:

1982-1986 Kath.Grundschule Belecke  
1986-1995 Gymnasium der Stadt Warstein  
1995 Abitur

07. 1995 – 04.1996 Grundwehrdienst

### Studium:

04. 1996 Aufnahme des Medizinstudiums an der Westfälischen  
Wilhelms-Universität Münster

03. 1998 Physikum

03. 1999 1. Staatsexamen

03. 2001 2. Staatsexamen

11. 2002 3. Staatsexamen

### Praktisches Jahr:

10.2001 – 10.2002 Praktisches Jahr am Stadtkrankenhaus Soest

Famulaturen, Praktika:

06.07. – 19.08.1998	Allgemein- und Unfallchirurgie am Maria – Hilf – Krankenhaus Warstein
20.07. – 20.08.1999	Innere Medizin am Stadtkrankenhaus Soest, Akademisches Lehrkrankenhaus der Universität Münster
06.09. – 06.10.1999	Gynäkologie und Geburtshilfe am Luton and Dunstable - Hospital, Luton/Großbritannien
01.03. – 28.03.2000	Klinik und Poliklinik für Herz-Thorax- und Gefäßchirurgie des Universitätsklinikums Münster

Sonstige Tätigkeiten:

06.2000 – 10.2002	Lehrtätigkeit an der Timmermeister-Schule für Physiotherapie, Münster
seit 2000	freier Mitarbeiter des medizinischen Online-Dienstes <i>Stethosglobe.de</i> / Berlin
2001	Beginn einer Ausbildung in Akupunktur und TCM an der Deutschen Akademie für Akupunktur und Aurikulotherapie

zur Zeit

seit 01.01.2003 Tätigkeit als Arzt im Praktikum in der Abteilung für Gynäkologie und Geburtshilfe des Stadtkrankenhauses Soest

Münster, den 14.04.2003

## 9. Danksagung

Mein besonderer Dank gilt Herrn Prof. Dr. med. Dieter Hammel für die freundliche Überlassung dieses Themas, seine Ratschläge und die Möglichkeit, an der Klinik und Poliklinik für Thorax-, Herz- und Gefäßchirurgie die notwendigen Auswertungen durchzuführen.

Herrn Prof. Dr. med. H. H. Scheld möchte ich danken für die Möglichkeit der Promotion an seiner Klinik.

Herrn Prof. Dr. med. E. Harms und Herrn Prof. Dr. med. J. Vogt möchte ich danken für die Möglichkeit der Einsichtnahme in die Akten der Klinik und Poliklinik für Kinderheilkunde, Allgemeine Kinderheilkunde und Kinderkardiologie.

Daneben möchte ich meinen herzlichen Dank aussprechen gegenüber Frau Dr. med. Carmen Beyer, die mich mit viel Engagement und konstruktiver Kritik bei der Fertigstellung dieser Arbeit unterstützt hat.

Außerdem möchte ich mich herzlich bedanken bei Herrn Martin Dumann, Senior-Produktmanager der Firma Biotronik, und Frau Dipl.-Ing. Claudia Schumann-Hübl, Firma Medtronic, die mir wichtige Daten liefern und sinnvolle Erläuterungen zu den in dieser Arbeit genannten Schrittmachersystemen geben konnten.

Sehr dankbar bin ich auch meiner guten Freundin Dr. med. Ulrike Schamberger für das mühevollen Lektorat und die konstruktive Kritik zu dieser Arbeit.

Unendlich dankbar bin ich meinen Eltern, dass sie mir die Möglichkeit gegeben haben, mein Medizinstudium zu absolvieren. Wie auch meine Geschwister haben sie mich in allen Höhen und Tiefen begleitet und mich immer wieder mit neuer Motivation gestärkt.