

UNIVERSITÄTSKLINIKUM HAMBURG-EPPENDORF

Klinik für Allgemeine und Interventionelle Kardiologie

Direktor: Prof. Dr. med. Stefan Blankenberg

Ventrikuläre Tachykardien bei ischämischer und nicht-ischämischer Kardiomyopathie – Intraprozedurale Prädiktoren für eine erfolgreiche Ablation

Dissertation

zur Erlangung des Grades eines Doktors der Medizin
an der Medizinischen Fakultät der Universität Hamburg.

vorgelegt von:

Art Wilhelm Krüger
aus Hamburg

Hamburg 2019

**Angenommen von der
Medizinischen Fakultät der Universität Hamburg am: 08.11.2019**

**Veröffentlicht mit Genehmigung der
Medizinischen Fakultät der Universität Hamburg.**

Prüfungsausschuss, der/die Vorsitzende: Prof. Dr. Boris Hoffmann

Prüfungsausschuss, zweite/r Gutachter/in: Prof. Dr. Robert Bähring

Abkürzungsverzeichnis

Abb.	Abbildung
ACS	Akutes Koronarsyndrom
ACT	Aktivierte Koagulationszeit
aHT	Arterielle Hypertonie
AK	Aortenklappentasche
ARVC	Arrhythmogene rechtsventrikuläre Kardiomyopathie
BMI	Body-Mass-Index
bpm	Beats per minute (Schläge pro Minute)
cGy	Zentigray
cm	Zentimeter
CPR	Kardiopulmonale Reanimation
CRT	Kardiale Resynchronisationstherapie
DCM	Dilatative Kardiomyopathie
dl	Deziliter
DM	Diabetes mellitus
EF	Ejektionsfraktion
eGFR	Estimated glomerular filtration rate (Geschätzte glomeruläre Filtrationsrate)
EKG	Elektrokardiogramm
EPU	Elektrophysiologische Untersuchung
ES	Elektrischer Sturm
ESC	European Society of Cardiology
et al.	et alii
g	Gramm
GCV	Great cardiac vein (Große Herzvene, Vena cardiaca magna)
Fr	French
ICD	Implantierbarer Kardioverter-Defibrillator
ICM	Ischämische Kardiomyopathie
INR	International Normalized Ratio
J	Joule
kg	Kilogramm
KHK	Koronare Herzkrankheit

KI	Konfidenzintervall
LAVA	Lokale abnormale ventrikuläre Aktivität
LSB	Linksschenkelblock
LV	Linker Ventrikel
LVEF	Linksventrikuläre Ejektionsfraktion
m	Meter
MI	Myokardinfarkt
MDRD-Formel	„Modification of Diet in Renal Disease“-Formel nach Levey et al. (1999)
mg	Milligramm
min	Minute
ml	Milliliter
mm	Millimeter
ms	Millisekunde
μU	Mikroenzymeinheit
mV	Millivolt
n	Anzahl
neg.	Negativ
NICM	Nicht-ischämische Kardiomyopathie
nsVT	non-sustained Ventricular tachycardia (nicht-anhaltende ventrikuläre Tachykardie)
OR	Odds Ratio
PPI	Postpacing-Intervall
Reg. Ko.	Regressionskoeffizient
RV	Rechter Ventrikel
RSB	Rechtsschenkelblock
s	Sekunde
s.	siehe
S.	Seite
SCD	Sudden cardiac death (Plötzlicher Herztod)
SD	Standardabweichung
SM	Herzschrittmacher
SMASH-VT	Substrate Mapping and Ablation in Sinus Rhythm to Halt Ventricular Tachycardia-Studie von Reddy et al. (2007)

S-QRS	Zeitlicher Abstand zwischen Stimulation und QRS-Komplex
sVT	Sustained Ventricular tachycardia (anhaltende ventrikuläre Tachykardie)
TIA	Transitorisch ischämische Attacke
TSH	Thyreoidea-stimulierendes Hormon
UHZ	Universitäres Herzzentrum Hamburg
UKE	Universitätsklinikum Hamburg-Eppendorf
USA	Vereinigte Staaten von Amerika
u. v. a.	und viele andere
u. v. a. m.	und viele andere mehr
VES	Ventrikuläre Extrasystole
VF	Kammerflimmern
vgl.	vergleiche
VHF	Vorhofflimmern
VT	Ventrikuläre Tachykardie
VTACH	Ventricular Tachycardia Ablation in Coronary Heart Disease-Studie von Kuck et al. (2010)
VTs	Ventrikuläre Tachykardien
W	Watt

Inhaltsverzeichnis

1	Einleitung	9
1.1	Ventrikuläre Tachykardie	9
1.1.1	Definition	9
1.1.2	Einteilungen	9
1.1.3	Epidemiologie	11
1.1.4	Ätiologie	12
1.1.4.1	Kardiomyopathien	12
1.1.4.1.1	Ischämische Kardiomyopathie	12
1.1.4.1.2	Nicht-ischämische Kardiomyopathie	12
1.1.4.1.2.1	Dilatative Kardiomyopathie	12
1.1.4.1.2.2	Andere Kardiomyopathien	13
1.1.4.2	Andere Ursachen	14
1.1.4.3	Idiopathisch	14
1.1.5	Pathophysiologie	14
1.1.5.1	Fokaler Mechanismus	15
1.1.5.2	Reentry-Mechanismus	15
1.1.6	Klinik	17
1.1.7	Diagnostik	17
1.1.7.1	Nicht-invasive Diagnostik	17
1.1.7.2	Invasive Diagnostik	17
1.1.8	Therapie	18
1.1.8.1	Akuttherapie	18
1.1.8.2	Rezidivprophylaxe und Behandlung der Grunderkrankung	19
1.1.8.2.1	Antiarrhythmische Pharmakotherapie	19
1.1.8.2.2	Implantierbarer Kardioverter-Defibrillator	20
1.1.8.2.3	Katheterablation	21
1.1.8.2.3.1	Indikationen	21
	Ischämische Kardiomyopathie	21
	Nicht-ischämische Kardiomyopathie	21
	Andere Ursachen	22
	Besondere Patienten	22
1.1.8.2.3.2	Ablationstechniken	23
	Entrainment-Mapping	23
	Pace-Mapping	24
	Elektroanatomisches Mapping	25
	LAVA-Mapping	26
1.1.8.2.3.3	Komplikationen	26
1.2	Ziel der Untersuchung	27

2	Material und Methoden	29
2.1	Beschreibung des Patientenkollektivs.....	29
2.1.1	Basischarakteristika	30
2.1.2	Prozedurale Charakteristika.....	31
2.2	Statistische Methoden.....	34
2.3	Materialien	34
3	Ergebnisse.....	36
3.1	Basischarakteristika der Patienten	36
3.2	Prozedurale Charakteristika: Vergleich der beiden Patientengruppen	40
3.2.1	Intraprozedurale Parameter.....	40
3.2.2	Periprozedurale Parameter.....	41
3.2.3	Mappingverfahren	43
3.2.4	Induktionsversuch.....	45
3.2.5	Morphologie der ventrikulären Tachykardie	46
3.2.6	Ablationsparameter.....	48
3.2.7	Erfolg der Ablationsbehandlung.....	50
3.3	Prozedurale Charakteristika: Erfolg der Ablationsbehandlung	51
3.3.1	Intraprozedurale Parameter.....	52
3.3.2	Periprozedurale Parameter.....	56
3.3.3	Mappingverfahren	59
3.3.4	Induktionsversuch.....	62
3.3.5	Morphologie der ventrikulären Tachykardie	65
3.3.6	Ablationsparameter der einzelnen VTs	68
3.3.7	Prädiktoren für eine voll erfolgreiche Ablationsprozedur	72
4	Diskussion.....	74
4.1	Basischarakteristika im Vergleich zu ähnlichen Studien	74
	Studien zur Katheterablation bei ICM	75
	Studien zur Katheterablation bei DCM.....	76
	Studien zur Katheterablation bei DCM und ICM	77
4.2	Patienten mit und ohne ICD bei Ablation	79
4.3	Parameter mit einem positiven Effekt auf den Erfolg der Ablationsprozedur	81
	Studien zur Katheterablation bei ICM	82
	Studien zur Katheterablation bei DCM.....	84
	Studien zur Katheterablation bei DCM und ICM	85
4.4	Limitationen der Studie	92
5	Zusammenfassung	93
5.1	Abstract	94

6	Literaturverzeichnis	95
7	Danksagung.....	103
8	Lebenslauf	104
9	Eidesstattliche Versicherung	105

1 Einleitung

1.1 Ventrikuläre Tachykardie

1.1.1 Definition

Eine ventrikuläre Tachykardie (VT) ist eine tachykarde Herzrhythmusstörung, die ihren Ursprung in den Herzkammern hat. Sobald im Elektrokardiogramm (EKG) drei oder mehr aufeinanderfolgende Komplexe mit einem Ursprung aus den Ventrikeln und einer Herzfrequenz von ≥ 100 Schlägen pro Minute (bpm) auftreten, spricht man von einer VT (vgl. Priori et al., 2015: Web abbenda, 2). Eine VT kann zu einem plötzlichen Herztod (SCD) führen (Priori et al., 2015: 2847).

1.1.2 Einteilungen

Es gibt verschiedene Einteilungen der VT, die sich nach elektrokardiografischen, pathophysiologischen und klinischen Kriterien richten können.

Tabelle 1.1.2: Definitionen der European Society of Cardiology.

Definition	EKG-Merkmal
Ventrikuläre Tachykardie (VT)	Arrhythmie mit drei oder mehr Komplexen in Folge, einer Herzfrequenz von ≥ 100 bpm und einem Ursprung aus den Ventrikeln
Anhaltende VT	VT mit einer Dauer ≥ 30 s und/oder Notwendigkeit der Terminierung der VT bei einem hämodynamischen Kollaps in < 30 s
Nicht-anhaltende VT	Drei oder mehr Kammerkomplexe in Folge, die spontan in < 30 s terminieren
Monomorphe VT	Stabile singuläre QRS-Morphologie während VT
Pleomorphe VT	Mehr als eine stabile QRS-Morphologie während einer VT-Episode

Polymorphe VT	Wechselnde oder multiforme QRS-Morphologie mit einer Herzfrequenz zwischen 100 und 300 bpm während einer VT-Episode
Kammerflattern	Regelmäßige VT (Zykluslängenvariabilität ≤ 30 ms), mit einer Herzfrequenz von etwa 300 bpm und einem monomorphen Erscheinungsbild; kein isoelektrisches Intervall zwischen den aufeinanderfolgenden QRS-Komplexen
Kammerflimmern	Sehr schneller, unregelmäßiger, ventrikulärer Rhythmus, mit großen Schwankungen in Zykluslänge, Morphologie und Amplitude. Die Herzfrequenz beträgt gewöhnlich > 300 bpm, die Zykluslänge beträgt meist ≤ 200 ms
Torsade-de-pointes-Tachykardie	VT gekennzeichnet durch wellenförmig um die isoelektrische Linie verlaufende QRS-Komplexe, häufig bei erworbenem oder angeborenem Long-QT-Syndrom
Ventrikuläre Extrasystole (VES)	Früher als im EKG erwartete ventrikuläre Depolarisation, die als vorzeitiger, verbreiteter QRS-Komplex ohne vorausgehende P-Welle erscheint

Tabelle 1.1.2: Quelle: Modifiziert nach *European Heart Journal*, Volume 36, Issue 41, 2015: Guidelines for the management of patients with ventricular arrhythmias and the prevention of sudden cardiac death – Web addenda, S. 2, Tabelle 3. bpm = beats per minute = Schläge pro Minute; EKG = Elektrokardiogramm; VT = ventrikuläre Tachykardie; VES = ventrikuläre Extrasystole; ms = Millisekunde; s = Sekunde.

Ventrikuläre Tachykardien (VTs) können in anhaltende und nicht-anhaltende Tachykardien unterteilt werden. Sobald eine VT 30 Sekunden (s) oder länger anhält, spricht man von einer *anhaltenden* VT (sustained VT, sVT). Eine VT, die unter 30 s anhält, bezeichnet man dementsprechend als *nicht-anhaltende* VT (non-sustained VT, nsVT).

Aufgrund der Anzahl und Stabilität der Morphologie im EKG werden VTs in *monomorphe*, *pleomorphe* und *polymorphe* VTs eingeteilt (s. Tabelle 1.1.2). Monomorphe VTs sind typisch für narbenbezogene Reentry-Tachykardien (vgl. Kapitel 1.1.5.2), während polymorphe VTs mit anderen Erkrankungen wie akuten Myokardinfarkten (MI), Kanalopathien und ventrikulärer Hypertrophie assoziiert sind (Priori et al., 2015: 2814).

Eine besondere Form der VT stellt das *Kammerflattern* da. Es ist gekennzeichnet durch eine regelmäßige VT mit einer Herzfrequenz von etwa 300 bpm und einem monomorphen Erscheinungsbild (s. Tabelle 1.1.2). Beträgt die Herzfrequenz > 300 bpm und bestehen große Schwankungen bezüglich Zykluslänge, Morphologie und Amplitude der ventrikulären Arrhythmie, spricht man von einem *Kammerflimmern* (VF).

Eine Sonderform der VT ist die *Torsade-de-pointes-Tachykardie*. Diese VT ist gekennzeichnet durch wellenförmig um die isoelektrische Linie verlaufende QRS-Komplexe, häufig bei erworbenem oder angeborenem Long-QT-Syndrom, bei QT-Verlängerung durch Medikamente oder Elektrolytverschiebungen (Schwartz, Crotti, & Insolia, 2012).

Von der VT, die definitionsgemäß erst ab drei aufeinander folgenden Kammerkomplexen im EKG besteht (s. Tabelle 1.1.2), abzugrenzen ist die *ventrikuläre Extrasystole* (VES). Bei der VES handelt es sich um eine früher als im EKG erwartete, ventrikuläre Depolarisation, die als vorzeitiger, verbreiteter QRS-Komplex ohne vorausgehende P-Welle erscheint. Nach einem MI können VES die Entstehung einer VT triggern (Bogun et al., 2008; Peichl et al., 2010).

Darüber hinaus können VTs nach dem Pathomechanismus in fokale VT und Reentry-VT eingeteilt werden (s. Kapitel 1.1.5).

1.1.3 Epidemiologie

Die Inzidenz des SCD wird in den Vereinigten Staaten von Amerika (USA) auf 300.000 – 350.000/Jahr geschätzt (Zipes, Jalife, Stevenson, Myerburg, & Goldberger, 2018). Dabei gehen etwa 26,9 % auf akute und 35,3 % auf chronische ischämische Herzerkrankungen zurück (Zheng, Croft, Giles, & Mensah, 2001). Bei bis zu 6 % aller Patienten mit akutem Koronarsyndrom (ACS) entsteht in den ersten 48 Stunden nach Symptombeginn eine VT oder ein VF (Priori et al., 2015: 2816). Nach einem abgelaufenen MI weisen etwa 1 – 2 % aller Patienten VTs auf (Priori et al., 2015: 2821).

Nicht-anhaltende VTs wurden allerdings bei fast 4 % aller asymptomatischen Erwachsenen im mittleren Lebensalter im Belastungs-EKG gefunden und haben keine Auswirkung auf die Mortalität (Marine et al., 2013).

1.1.4 Ätiologie

1.1.4.1 Kardiomyopathien

1.1.4.1.1 Ischämische Kardiomyopathie

Nach einem MI kann sich ein Narbengebiet, bestehend aus nekrotischem und fibrotischem Gewebe sowie überlebenden Myozyten, entwickeln, in dem keine physiologische elektrische Erregungsausbreitung mehr stattfindet (de Bakker et al., 1993). Dabei sind die überlebenden, teilweise geschädigten, Myozyten, umgeben von nekrotischem Gewebe, hauptverantwortlich für eine verlangsamte, heterogene Erregungsweiterleitung (Zipes, Jalife, Stevenson, Frankel, & Marchlinski, 2018). Dieses sich innerhalb von einigen Tagen etablierende Narbengebiet ermöglicht das Auftreten von VTs (s. Kapitel 1.1.5.2). Allerdings entwickelt nur ein kleiner Anteil aller Patienten mit MI im Verlauf VTs (Priori et al., 2015: 2821). Bloch Thomsen et al. (2010) stellten innerhalb der ersten zwei Jahre nach einem MI bei 13 % der Patienten nicht-anhaltende und bei 3 % anhaltende VTs fest (Bloch Thomsen et al., 2010).

1.1.4.1.2 Nicht-ischämische Kardiomyopathie

1.1.4.1.2.1 Dilatative Kardiomyopathie

Eine Form der nicht-ischämischen Kardiomyopathie (NICM) ist die dilatative Kardiomyopathie (DCM). Sie ist definiert als eine Dilatation des linken Ventrikels mit eingeschränkter systolischer Pumpfunktion, die nicht, bzw. nur teilweise durch abnormale Herzbelastungen (wie Hypertension und Herzklappenfehler) oder eine KHK erklärt werden kann (Elliott et al., 2008). Der rechte Ventrikel kann dabei mitbetroffen sein. Die DCM wird in familiär und nicht-familiär bedingte Subgruppen unterteilt (Elliott et al., 2008), wobei die familiäre DCM häufig auf bestimmte Genmutationen (LMNA-Gen, TTN-Gen, TAZ-Gen, u. v. a.) zurückgeführt werden kann (Zipes, Jalife, Stevenson, Dinov, et al., 2018). Die nicht-familiäre DCM kann diverse Ursachen haben. Hierzu zählen Myokarditiden (toxisch, infektiös, autoimmun), systemische Erkrankungen wie Sarkoidose, endokrine Erkrankungen wie Diabetes mellitus (DM) u. v. a. m. (Zipes, Jalife, Stevenson, Dinov, et al., 2018). Häufig ist jedoch keine genaue Ursache für die DCM zu eruieren. In diesem Fall wird auch von einer primären oder idiopathischen DCM gesprochen (Zipes, Jalife, Stevenson, Dinov, et al., 2018).

Die DCM ist mit einem erhöhten Risiko für Herzrhythmusstörungen assoziiert. Bei etwa 40 – 60 % der Patienten mit DCM treten nicht-anhaltende, und bei etwa 5 % anhaltende VTs auf (Liuba & Marchlinski, 2013).

Im Gegensatz zu der Genese der VT bei einer ischämischen Kardiomyopathie (ICM), ist die genaue Genese der ventrikulären Arrhythmien bei der DCM gegenwärtig weniger gut verstanden und eher multifaktoriell bedingt. Zu diesen arrhythmogenen Faktoren zählen strukturelle Abweichungen, wie Fibrose und Dilatation des linken Ventrikel (LV) sowie elektrophysiologische Veränderungen (Zipes, Jalife, Stevenson, Dinov, et al., 2018).

Die Prävalenz der DCM beträgt etwa 36,5/100.000, wobei Männer häufiger betroffen sind als Frauen (Codd, Sugrue, Gersh, & Melton, 1989).

1.1.4.1.2.2 Andere Kardiomyopathien

Viele weitere nicht-ischämische Kardiomyopathien können das Auftreten einer VT verursachen. Dazu zählt die arrhythmogene rechtsventrikuläre Kardiomyopathie (ARVC). Sie ist gekennzeichnet durch funktionelle und strukturelle Veränderungen des rechten Ventrikels, wobei in über 50 % der Fälle der linke Ventrikel mitbetroffen ist (Priori et al., 2015: 2831). Die geschätzte Prävalenz liegt bei 1:1000 – 1:5000 (Priori et al., 2015: 2831). Es sind häufig Patienten zwischen dem 20. und 40. Lebensjahr betroffen (Priori et al., 2015: 2831) und etwa Zweidrittel der Patienten mit ARVC entwickeln VTs (Priori et al., 2015: 2831). Diese weisen eine Linksschenkelblock-Morphologie auf (Priori et al., 2015: 2831 ff.) und sind meist monomorph (Link et al., 2014).

Weitere Kardiomyopathien, die eine VT induzieren können, sind die hypertrophe Kardiomyopathie, die infiltrative Kardiomyopathien (z. B. kardiale Amyloidose), die restriktive Kardiomyopathie, Chagas-Kardiomyopathie u. v. a. m. (vgl. Priori et al., 2015: 2829 ff.; Caforio et al., 2013).

1.1.4.2 Andere Ursachen

Neben Kardiomyopathien können viele andere Ursachen zu einer VT führen. Zunächst ist das ACS zu nennen, bei dem es häufig zu ventrikulären Arrhythmien wie einer VT oder einem VF kommt (Priori et al., 2015: 2816 ff.).

Weitere Ursachen für die Entwicklung von VTs können Kanalopathien (Long-QT-Syndrom, Short-QT-Syndrom, Brugada-Syndrom), angeborene und erworbene Herzfehler, katecholaminerge polymorphe ventrikuläre Tachykardien, Intoxikationen und Elektrolytentgleisungen wie Hypokaliämie und Hypomagnesiämie (vgl. Sjögren, Edvinsson, & Fallgren, 1989) sein. Auch eine akute Myokarditis kann zu lebensbedrohlichen ventrikulären Tachykardien führen (Priori et al., 2015: 2845 f.).

Darüber hinaus können VTs iatrogen (z. B. nach Herzklappenoperationen) entstehen (Narasimhan et al., 1997).

1.1.4.3 Idiopathisch

Bei vielen Patienten ist die genaue Ätiologie der VTs unklar. Die meisten dieser idiopathischen VTs entspringen dem rechtsventrikulären Ausflusstrakt (RVOT) (Priori et al., 2015: 2841). Ebenso sind Ursprungsorte wie die Sinus valsalvae, der linksventrikuläre Ausflusstrakt (LVOT), die große Herzvene (GCV), das Epikard, die aortomitrale Kontinuität, die Pulmonalvenen, der linke Ventrikel, der Mitral- oder Trikuspidalanulus und die Papillarmuskeln möglich (Priori et al., 2015: 2841 f.).

1.1.5 Pathophysiologie

Es gibt unterschiedliche Mechanismen, die zu der Entstehung einer VT führen können. Zum einen kann ein fokaler Mechanismus eine VT verursachen und zum anderen kann ein Reentry-Mechanismus zur Entstehung einer VT führen.

1.1.5.1 Fokaler Mechanismus

Liegt einer VT ein fokaler Mechanismus zugrunde, entsteht die VT entweder wegen einer abnormalen Automatie oder wegen einer getriggerten Aktivität des Herzgewebes (Hoffman & Rosen, 1981). Dies schließt nicht aus, dass sich bei einer VT mit fokalem Mechanismus im Herzgewebe gelegentlich auch Mikroreentry- oder transmurale Reentry-Mechanismen finden (Zipes, Jalife, Stevenson, Jackson, et al., 2018).

Bei der *gesteigerten Automatie* der Herzzellen kommt es durch eine lokale Erniedrigung des Ruhemembranpotenzials der Myozyten konsekutiv zu der Entstehung spontaner Aktionspotenziale (Zipes, Jalife, Stevenson, Jackson, et al., 2018).

Bei der *getriggerten Aktivität* des Herzgewebes werden zwei Subtypen unterschieden (Zipes, Jalife, Stevenson, Jackson, et al., 2018). Zum einen kann es zu einer getriggerten Aktivität von Myozyten kommen, wenn das vorherige Aktionspotenzial nicht vollständig repolarisiert (sog. *early afterdepolarizations triggered activity*), zum anderen, nachdem nach einem Aktionspotenzial wieder das Ruhemembranpotenzial erreicht worden ist (sog. *delayed afterdepolarizations triggered activity*), wobei der genaue Mechanismus der verzögerten getriggerten Aktivität unbekannt ist (Zipes, Jalife, Stevenson, Jackson, et al., 2018).

1.1.5.2 Reentry-Mechanismus

Bei Patienten mit einer strukturellen Herzerkrankung wie einer ICM oder DCM kann im Myokard eine inhomogene Narbe zu einer nicht physiologischen elektrischen Erregungsleitung führen (s. Abb. 1.1.5.2).

In der Übergangszone zwischen dem erregbaren vitalen Myokard und der nicht mehr erregbaren Myokardnarbe kann ein Bereich mit einer verlangsamten Erregungsüberleitung entstehen (de Bakker et al., 1993). Dieser Bereich ist gekennzeichnet durch einen „Eingang“ (*entrance*), einen Bereich mit verlangsamter Erregungsausbreitung (*inner loop*) und einem „Ausgang“ (*exit*), auf den die Erregungsausbreitung über den Ventrikel (*outer loop*) erfolgt (Stevenson et al., 1997). Dabei läuft die Refraktärzeit des „gesunden“ Myokards ab, während im Bereich des *inner loop* die Erregung langsam weitergeleitet wird, und das „gesunde“

Myokard ist erneut erregbar, sobald die Erregung den *exit* des *inner loops* erreicht hat. Nach Erregung des „gesunden“ Myokards tritt dann die Erregung über den *entrance* wieder in den *inner loop* ein (*reentry* – engl. für Wiedereintritt) und der Kreislauf beginnt von vorne.

Abbildung 1.1.5.2: Schematische Zeichnung des Reentry-Mechanismus

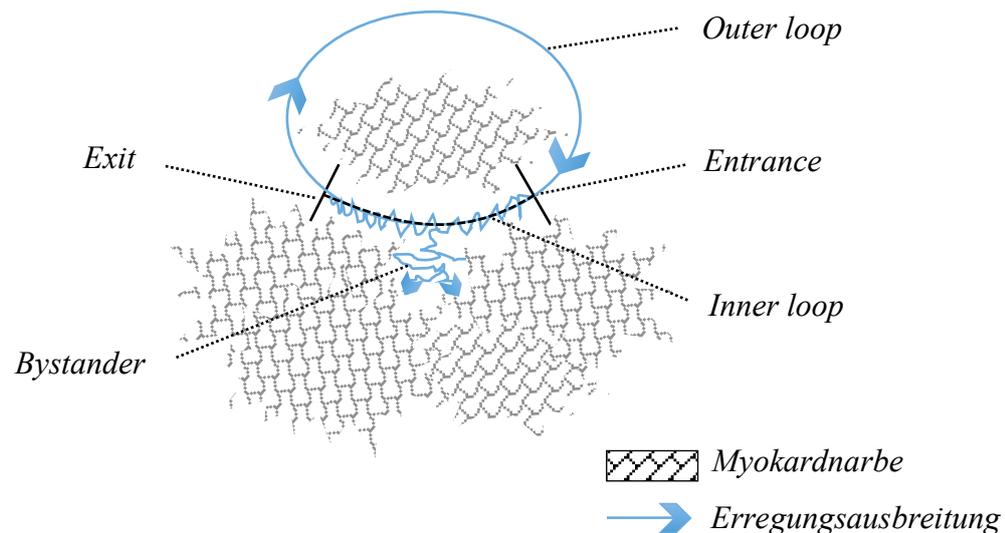


Abbildung 1.1.5.2: Die Darstellung ist vereinfacht nach dem Modell von Stevenson et al. (1997). Zwischen *entrance* und *exit* findet sich der Bereich des *inner loop*, in dem eine verlangsamte Erregungsausbreitung stattfindet. Es ist zu beachten, dass es sich um eine zweidimensionale Darstellung für ein dreidimensionales Phänomen handelt.

Der Bereich im *inner loop*, in dem schon eine kleine Manipulation eine Unterbrechung der Aufrechterhaltung der VT zur Folge haben kann, wird auch als *kritischer Isthmus* bezeichnet (Stevenson et al., 1997). Dieser kritische Isthmus stellt häufig das Ziel einer kathetergesteuerten Ablation dar. An der Erhaltung der Reentry-VT nicht beteiligte „Seitenpfade“ im Bereich der Narbe werden *bystander* (engl. für Zuschauer) genannt (Stevenson et al., 1997).

Sowohl bei der ICM als auch bei der DCM liegt im Falle des Auftretens von einer oder mehrerer VTs meist ein Reentry-Mechanismus zugrunde. Die bei der DCM vorliegende Narbe des Myokards ist häufig heterogener konfiguriert als bei der ICM (Fernandez-Armenta et al., 2012). Der *exit* des *inner loop* muss dabei nicht zwangsläufig endokardial sein. Vor allem bei Patienten mit DCM liegt oft eine VT mit einem epikardialen Exit vor (Cano 2009; Liuba & Marchlinski, 2013; Priori et al., 2015: 2814).

1.1.6 Klinik

Eine VT kann sich sehr unterschiedlich präsentieren. Das klinische Bild reicht von leichtem Herzklopfen bis hin zum klinischen Notfall mit sofortigem Handlungsbedarf.

Typische Symptome einer laufenden VT sind Palpitationen, Herzrasen, Präsynkopen und Synkopen (Priori et al., 2015: 2801 ff.). Typisch für das Vorliegen einer VT ist außerdem ein plötzliches Auftreten und ebenso plötzliches wieder Verschwinden der Symptome (Priori et al., 2015: 2803). Weitere Symptome, die im Zusammenhang mit einer VT auftreten können, sind Dyspnoe, Müdigkeit und Angina pectoris (Priori et al., 2015: 2803). Vor allem das Vorliegen eines MI in der Krankengeschichte sollte bei typischen Symptomen auch an eine VT denken lassen (Priori et al., 2015: 2821).

Bei Verdacht auf eine VT sollte eine ausführliche Medikamenten- und Familienanamnese erhoben werden, um eine medikamentös induzierte VT oder eine hereditäre Ursache der Herzrhythmusstörung zu eruieren (Priori et al., 2015: 2801 ff.). Ergibt die Anamnese den Verdacht auf eine VT, sollten sich nicht-invasive und invasive diagnostische Maßnahmen anschließen.

1.1.7 Diagnostik

1.1.7.1 Nicht-invasive Diagnostik

Die Leitlinien der European Society of Cardiology (ESC) empfehlen jedem Patienten mit Verdacht auf ventrikuläre Arrhythmien ein Ruhe-EKG, ein Langzeit-EKG und eine Echokardiografie (Priori et al., 2015: 2803 ff.). Bei Patienten mit Verdacht auf ventrikuläre Arrhythmien und erhöhtem Risiko für eine koronare Herzkrankheit (KHK) empfiehlt die ESC außerdem ein Belastungsechokardiographie (oder Myokardszintigraphie). Mit der Frage nach Elektrolytentgleisungen sollten bei Patienten mit unklarer ventrikulärer Arrhythmie die Elektrolyte bestimmt werden (Priori et al., 2015: 2806).

1.1.7.2 Invasive Diagnostik

Überlebende eines SCD mit lebensbedrohlichen Arrhythmien und einem erhöhten Risiko für eine KHK sollten mit der Frage nach einer möglichen Revaskularisation eine Koronarangiografie erhalten (Priori et al., 2015: 2804).

Liegt bei einem Patienten mit einer KHK ein MI zurück und treten typische Symptome einer VT auf, sollte der Patient eine elektrophysiologische Untersuchung (EPU) erhalten (Priori et al., 2015: 2804).

Des Weiteren sollten alle Patienten, die eine Synkope erlitten haben und bei denen aufgrund der Anamnese oder den Ergebnissen der nicht-invasiven Diagnostik der dringende Verdacht auf eine tachy- oder bradykarde Genese besteht, eine EPU erhalten, insbesondere, wenn der Patient unter einer strukturellen Herzerkrankung leidet (Priori et al., 2015: 2804).

Bei sporadisch, d. h. nicht täglich auftretenden Symptomen, können implantierbare Event-Rekorder helfen, um VTs zu diagnostizieren (Volosin, Stadler, Wyszynski, & Kirchhof, 2013).

1.1.8 Therapie

Zunächst ist zwischen der Akuttherapie und der Behandlung der zugrunde liegenden Grunderkrankung (z. B. KHK oder Myokardinfarkt) sowie der Behandlung bei rezidivierend auftretenden VTs zu unterscheiden.

1.1.8.1 Akuttherapie

Die akut auftretende, hämodynamische relevante und anhaltende VT, die beispielsweise im Rahmen eines akuten Koronarsyndroms (ACS) auftreten kann, ist ein klinischer Notfall. Nach dem Advanced-Life-Support-Schema, sollte neben einer kardiopulmonalen Reanimation (CPR) die VT mit einer Kardioversion beendet und reversible Ursachen therapiert werden (z. B. Revaskularisationstherapie bei koronarer Stenose) (Priori et al., 2015: 2812 f.).

In der Akutbehandlung von VTs bei MI senken Beta-Blocker die Mortalität (Piccini et al., 2008). Die ESC empfiehlt darüber hinaus Amiodaron 300 mg i. v. bei ACS und polymorphen, hämodynamisch instabilen VTs, wenn diese nicht erfolgreich durch Beta-Blocker und elektrische Kardioversion kontrolliert werden können (Priori et al., 2015: 2817 f.). Insofern Patienten mit ACS und rekurrierenden VTs weder auf Betablocker noch auf Amiodaron ansprechen, kann die Therapie mit Lidocain versucht werden (Piccini et al., 2011).

Automatische Geräte zur elektrischen Kardioversion sollten in Krankenhäusern frei zugänglich sein und Mitarbeiter sollten für den Gebrauch dieser geschult werden (Zafari et al., 2004).

1.1.8.2 Rezidivprophylaxe und Behandlung der Grunderkrankung

Wie zur akuten Therapie gehört auch zur Prophylaxe erneuter VTs eine optimale Behandlung der zugrunde liegenden Erkrankung sowie eine adäquate Behandlung etwaiger Komorbiditäten. Dazu zählen z. B. Erwägungen wie eine Revaskularisationstherapie bei KHK, eine leitliniengerechte Medikation bei einer Herzinsuffizienz und eine optimale Blutdruck- und Blutcholesterineinstellung (Priori et al., 2015: 2809).

Neben der Behandlung der zugrunde liegenden Erkrankung stehen zur Therapie wiederkehrender VTs *Medikamente*, die Implantation eines *implantierbaren Kardioverter-Defibrillators* (ICD) und die *Katheterablation* zur Verfügung. Dabei können Belastungstests hilfreich sein, um zwischen einer pharmakologischen Therapie und einer Katheterablation abzuwägen (Zipes et al., 2006).

1.1.8.2.1 Antiarrhythmische Pharmakotherapie

Pharmakologisches Mittel der ersten Wahl bei Behandlung rezidivierender ventrikulärer Arrhythmien sind *Beta-Blocker* (Priori et al., 2015: 2807). Sowohl bei einer ICM als auch bei einer DCM sind Betablocker fester Bestandteil der antiarrhythmischen Therapie (Priori et al., 2015: 2820 ff.).

Neben Beta-Blockern steht *Amiodaron* zur antiarrhythmischen Medikation zur Verfügung. Es senkt in Kombination mit Beta-Blockern signifikant die Entladungshäufigkeit bei ICD-implantierten Patienten (Connolly et al., 2006) und wird bei häufigen ICD-Entladungen wegen VTs von der ESC empfohlen (Priori et al., 2015: 2826). Allerdings konnten Brady et al. (2005) zeigen, dass mit Amiodaron behandelte Patienten mit linksventrikulärer Herzinsuffizienz keinen Überlebensvorteil gegenüber einer Placebo-Gruppe hatten. Insgesamt reduziert Amiodaron bei Patienten zwar das Risiko für einen SCD, der Benefit sollte aber mit

dem ausgeprägten Nebenwirkungsprofil abgewogen werden (Piccini, Berger, & O'Connor, 2009).

Flecainid ist bei ventrikulären Arrhythmien nach MI kontraindiziert, da es mit einer erhöhten Mortalität assoziiert ist (Echt et al., 1991). Durch eine Verlangsamung der myokardialen Überleitungszeit bei gleichzeitig fast unveränderter Refraktärzeit des Myokards hat Flecainid nach einem MI einen proarrhythmischen Effekt und begünstigt die Entstehung von Reentry-VTs (Restivo et al., 1995).

Bei idiopathischen VTs hängt die Wahl der Therapie von dem Ort und dem Entstehungsmechanismus der VT ab. Bei idiopathischen VTs mit Ursprung aus den Papillarmuskeln oder im Mitral- oder Trikuspidalanulus ist eine Pharmakotherapie mit Betablockern, Verapamil, oder Natriumkanalblockern (Klasse IC, z. B. Flecainid) einer Katheterablation primär vorzuziehen (Priori et al., 2015: 2842 f.).

1.1.8.2.2 Implantierbarer Kardioverter-Defibrillator

Allen Patienten, bei denen eine *häodynamisch nicht tolerierte* VT aufgrund von irreversiblen Ursachen oder innerhalb von 48 Stunden nach einem MI dokumentiert worden ist, empfiehlt die ESC eine ICD-Implantation, insofern eine optimale medikamentöse Therapie vorliegt und die Lebenserwartung des Patienten nicht weniger als ein Jahr beträgt (Priori et al., 2015: 2809 ff.). Des Weiteren empfiehlt die ESC allen Patienten mit ICM und *rekurrierenden, anhaltenden* VTs (außer in den ersten 48 Stunden nach MI) trotz optimaler medikamentöser Therapie die Implantation eines ICD, insofern die Ejektionsfraktion (EF) normal ist und die Lebenserwartung des Patienten über ein Jahr beträgt.

Auch Patienten mit DCM wird bei häodynamisch relevanter VT oder VF ein ICD empfohlen (Priori et al., 2015: 2828).

Es konnte gezeigt werden, dass eine ICD-Implantation die Mortalität von Patienten mit VT senkt (K.-H. Kuck, Cappato, Siebels, & Ruppel, 2000). Allerdings sind häufige Schockabgaben mit einer erhöhten Mortalität (Poole et al., 2008; Qian et al., 2016), verminderten Lebensqualität (Kamphuis, 2003) und vermehrter Angst (Qintar et al., 2015) assoziiert.

1.1.8.2.3 Katheterablation

1.1.8.2.3.1 Indikationen

Neben der antiarrhythmischen Pharmakotherapie und der Implantation eines ICD stellt die Katheterablation eine weitere (und häufig einzige) Möglichkeit der Therapie von rezidivierenden VTs dar.

Die ESC stellte in ihren Leitlinien zur Prävention und Therapie des SCD verschiedene Indikationen für die Katheterablation von VTs auf (Priori et al., 2015). Bei einer strukturellen Herzerkrankung mit VTs senkt eine Katheterablation die Mortalität (Tung et al., 2015) und es gibt Hinweise dafür, dass eine frühe Ablation gegenüber einer Eskalation der Pharmakotherapie bei struktureller Herzerkrankung und VTs zu bevorzugen ist (Frankel et al., 2011). Dies konnte von Sapp et al. (2016) für Patienten mit einer ICM bereits gezeigt werden.

Ischämische Kardiomyopathie

In großen multizentrischen Studien konnte gezeigt werden, dass durch interventionelle Katheterablation das Auftreten von VTs und die Mortalität von Patienten mit ICM gesenkt werden kann (William G Stevenson et al., 2008; Tanner et al., 2010). Bei Patienten mit einer ICM und anhaltenden VTs bzw. Elektrischen Stürmen (ES) oder mehrfachen ICD-Entladungen aufgrund von anhaltenden VTs empfiehlt die ESC dringend eine interventionelle Katheterablation (Priori et al., 2015: 2826 f.).

Sapp et al. (2016) konnten zeigen, dass eine Katheterablation gegenüber einer Eskalation der antiarrhythmischen Therapie das Risiko einer Rekurrenz einer VT bei Patienten mit ICM senkt.

Nicht-ischämische Kardiomyopathie

Bei einer DCM ist die Wahrscheinlichkeit auf Erfolg einer Ablation geringer als bei der ICM (Dinov et al., 2014; Proietti et al., 2015). Die ESC spricht eine Empfehlung einer Ablation nur bei klar beschriebenen Pathomechanismus der VT aus (z. B. bei Schenkelblock-Reentry-

Tachykardie), die nicht medikamentös kontrolliert werden können (Priori et al., 2015: 2828 f.).

Bei anderen Formen von VT bei DCM sollte laut ESC eine Katheterablation erwogen werden, wenn die antiarrhythmische Pharmakotherapie versagt. Die Ablation von VTs bei DCM sollte nur in spezialisierten Zentren erfolgen (Priori et al., 2015: 2829). Auch bei anderen NICM wie der ARCV kann eine Katheterablation indiziert sein (Priori et al., 2015: 2831 ff.).

Andere Ursachen

Neben der ICM und der NICM gibt es diverse weitere Erkrankungen, bei denen eine Katheterablation eine Therapieoption darstellt, wenn VTs auftreten. Dazu zählen idiopathische VTs (Priori et al., 2015: 2841 ff.) und iatrogenen VTs nach Herzklappenoperation (Priori et al., 2015: 2847).

Im Rahmen eines ACS treten häufig polymorphe und hämodynamisch nicht tolerierte VTs auf. Im Zentrum der Therapie des ACS mit VTs steht die optimale Revaskularisation, Kardioversion und antiarrhythmische Pharmakotherapie (Priori et al., 2015: 2816 f.). Sollten trotz optimaler Revaskularisation, optimaler antiarrhythmischen Pharmakotherapie und adäquatem Ausgleich von Elektrolytentgleisungen weiterhin rekurrende VTs auftreten, kann auch innerhalb der ersten 48 Stunden nach einem ACS eine Katheterablation indiziert sein (Priori et al., 2015: 2817).

Besondere Patienten

Für Kinder mit symptomatischen tachykarden Arrhythmien gibt es ebenfalls Indikationen für eine Ablation, wenn eine medikamentöse Behandlung nicht ausreichend oder nicht erwünscht ist (Priori et al., 2015: 2838 ff.). Gleiches gilt für Patienten mit angeborenen Herzerkrankungen, die aufgrund der in den letzten Jahrzehnten deutlich verbesserten Therapiemöglichkeiten das Erwachsenenalter erreichen (Priori et al., 2015: 2839 f.).

Eine Schwangerschaft schließt eine Katheterablation nicht aus (Regitz-Zagrosek et al., 2018).

1.1.8.2.3.2 Ablationstechniken

Eine notwendige Bedingung für die erfolgreiche Ablation einer VT ist die Bestimmung des Ursprungsortes und des Entstehungsmechanismus der VT. Hierfür gibt es verschiedene sogenannte *Mapping*-Verfahren (*mapping* engl. für Kartierung), mit deren Hilfe Ursprungsort und -mechanismus der VT bestimmt werden können.

Das Ziel des Mappings ist es,

- a) im Falle eines fokalen Mechanismus den genauen Ort des Erregungsursprungs zu finden, bzw.
- b) im Falle eines Reentry-Mechanismus den kritischen Isthmus der VT ausfindig zu machen,

damit anschließend gezielt und kontrolliert mittels Hochfrequenzstromablation die Entstehung bzw. Fortleitung der VT unterbunden werden kann. Dabei können verschiedene Mapping-Verfahren teilweise kombiniert werden. Ein wichtiges Auswahlkriterium des Mapping-Verfahrens ist dabei die Frage, ob die VT hämodynamisch toleriert wird, d. h. ob ein Mapping unter laufender VT möglich ist, oder ob die VT hämodynamisch nicht toleriert wird, und ein Mapping nur im Sinusrhythmus möglich ist.

Entrainment-Mapping

Beim *Entrainment*-Mapping (*entrainment*, engl. für Mitreißen, Mitnahme) versucht man den Ursprung der VT zu bestimmen, indem man mit einem Stimulationskatheter mit einer bestimmten Frequenz die laufende VT „überlagert“, bzw. überstimuliert. Diese Überstimulation der VT kann unterbrochen werden und anschließend kann die Zeit gemessen werden, bis am Ort der Stimulation wieder eine Erregung eintrifft. Dies ist das sogenannte Postpacing-Intervall (PPI) und ist ein Maß für die Nähe des Ortes, an dem stimuliert wird, zu dem Reentry-Kreislauf (W. G. Stevenson et al., 1997). Anhand der Differenz aus Zykluslänge der Tachykardie und dem PPI lässt sich die Entfernung des Stimulationskatheters zum Reentry-Kreislauf bestimmen (W. G. Stevenson et al., 1997).

Befindet sich der Stimulations- und Messkatheter genau innerhalb des Reentry-Kreislaufs, ist das PPI genauso lang wie die Zykluslänge der VT. Eine Differenz aus Zykluslänge und PPI von unter 30 ms ist dabei mit einer Termination der VT bei Ablation an dieser Stelle assoziiert (W. G. Stevenson et al., 1993).

Ein Entrainment-Mapping ist nur bei hämodynamisch tolerierten VTs möglich (W. G. Stevenson et al., 1997). Kreislaufunterstützende Systeme wie ein Impella[®] oder TandemHeart[™] können allerdings den Anteil der Patienten, bei denen ein Entrainment-Mapping möglich ist, erhöhen (Y. M. Reddy et al., 2014).

Pace-Mapping

Bei dem *Pace-Mapping* (*pacing* – engl. für Frequenzstimulation) wird es sich zunutze gemacht, dass bei einer Stimulation innerhalb des *inner loop* einer Myokardnarbe (s. Kapitel 1.1.5.2) eine VT aufgezeichnet wird, die mehr oder weniger mit der vorher bereits im EKG aufgezeichneten VT übereinstimmt (W. G. Stevenson et al., 1995). Der QRS-Komplex unter Stimulation gibt dabei Aufschlüsse über die Position des Stimulationskatheters zum kritischen Isthmus. Zeigt der QRS-Komplex unter Stimulation die gleiche Morphologie, wie der QRS-Komplex der bekannten VT, befindet sich der Katheter innerhalb der Narbe im *inner loop* des Reentry-Kreislaufs. Im *outer loop* dagegen verändert sich die QRS-Formation, da die Stimulationswellen mit denen der Tachykardie fusionieren (W. G. Stevenson et al., 1995).

Eine Stimulation genau innerhalb des *exits* des *inner loops* führt dabei im Idealfall zu einem mit der klinische dokumentierten VT identischem EKG. Man spricht dann von einer perfekten Übereinstimmung des Pacemap. Eine Stimulation im Bereich der Übergangszone zwischen *entrance* und *exit* kann ebenfalls eine mit der klinischen VT übereinstimmendes EKG auslösen, allerdings ist hierbei der zeitliche Abstand zwischen Stimulation und QRS-Komplex (S-QRS) erhöht, da vor Erregung des Ventrikels noch der Bereich der langsamen Erregungsleitung überwunden werden muss. Das S-QRS-Intervall ist also ein Maß für die Entfernung des Stimulationskatheters zum *exit* des Reentry-Kreislaufs (W. G. Stevenson et al., 1997).

Elektroanatomisches Mapping

Mithilfe von elektroanatomischen Kartierungssystemen kann eine dreidimensionale, virtuelle Karte einer betroffenen Herzstruktur erstellt werden. Je nach System kann mittels mehrerer elektrischer Felder (EnSite-NavX[®]) oder mehrerer magnetischer Felder (CARTO[®]) geringer Intensität die genaue Position der diagnostischen und therapeutischen Katheter im Herzen bestimmt werden. Dabei können simultan anatomische und elektrische Parameter gespeichert und einer dreidimensionalen Karte zugeordnet werden (Zipes, Jalife, Stevenson, Deshmukh, et al., 2018).

Abbildung 1.1.8.2: CARTO[®] Voltagemap

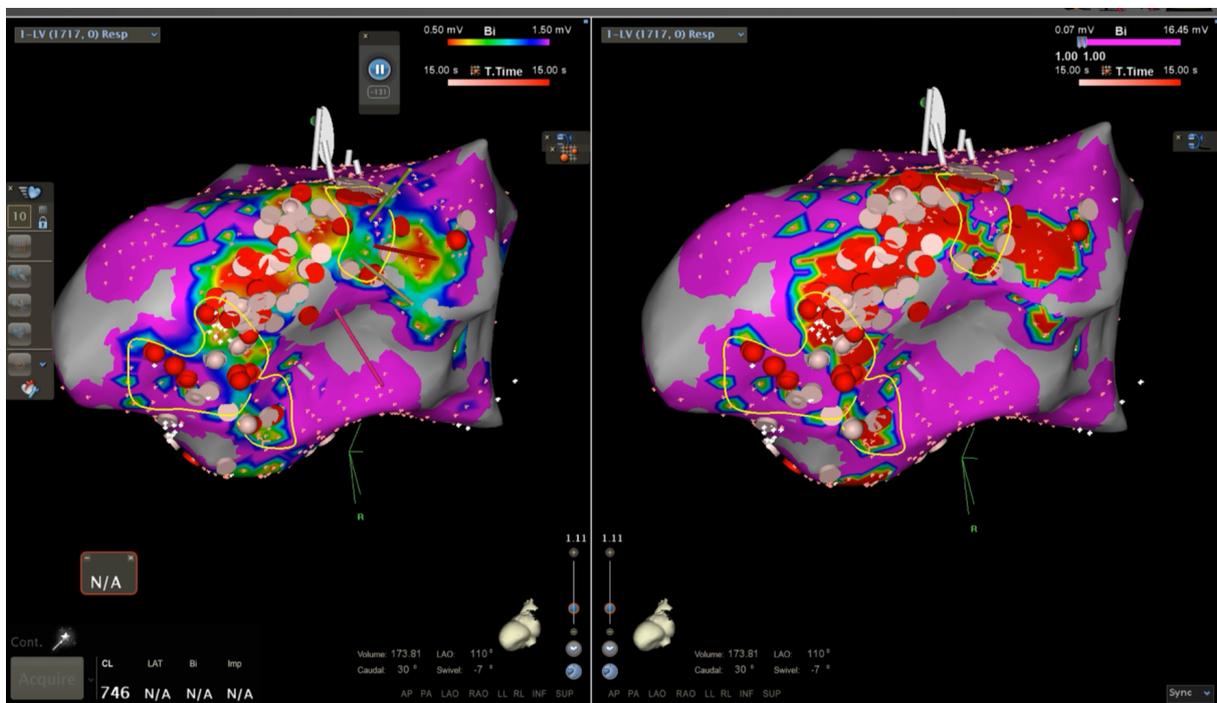


Abbildung 1.1.8.2: CARTO[®] Voltagemap des LV eines Patienten im Sinusrhythmus. Bei den roten und hellrosa Punkten handelt es sich um Punkte, an denen ablatiert wurde. Die Narbe (roter Bereich) ist inferolateral gelegen. Der gelbe bis hellblaue Rand der Narbe stellt indirekt durch eine vordefinierte, lokal gemessene Spannung des Gewebes (in Millivolt) die Übergangszone zwischen dem erregbaren Myokard und der nicht mehr erregbaren Myokardnarbe dar (s. Kapitel 1.1.5.2).

Die am meisten gebräuchlichen elektroanatomischen Mapping-Systeme sind CARTO[®], EnSite-NavX[®] und Rhythmia[™] (Zipes, Jalife, Stevenson, Deshmukh, et al., 2018).

Eine Möglichkeit des elektroanatomischen Mappings ist die Erstellung eines *Voltagemap* (Marchlinski, Callans, Gottlieb, & Zado, 2000). Dabei wird anatomischen Bereichen des Ventrikels die jeweils gemessene Spannung des Gewebes zugeordnet (s. Abb. 1.1.8.2).

Das Voltagemap hilft so, den kritischen Isthmus der Reentry-Tachykardie nach Infarkt zu detektieren und ermöglicht anschließend eine *substratbasierte Ablation* (de Chillou, 2001). Hierbei werden aufgrund der anatomischen Konfiguration der Narbe kathetergesteuerte Ablationsläsionen gesetzt, um die Entstehung einer VT zu unterbinden. Der Vorteil dieses Vorgehens ist, dass die substratbasierte Ablation auch im Sinusrhythmus stattfinden kann und somit auch hämodynamisch nicht tolerierte VTs ablatiert werden können.

Eine weitere Möglichkeit des elektroanatomischen Mappings ist die Erstellung eines sogenannten *Aktivierungs-Mappings*. Dabei wird die „Frühzeitigkeit“ der VT, d. h. die Zeit von Entstehung der Erregung bis zum Erreichen der jeweiligen anatomischen Lokalisation, durch eine Farbkodierung dargestellt, wodurch der Ursprung der VT visualisiert werden kann. Bevor ein Entrainment-Mapping erstellt wird, nähert man sich meist dem Ursprungsort an, indem man ein solches Aktivierungsmapping durchführt. Das Aktivierungsmapping ist wie das Entrainment-Mapping nur bei einer hämodynamisch tolerierten VT möglich.

LAVA-Mapping

Lokale abnormale ventrikuläre Aktivität (LAVA) sind abnormale Nahfeldsignale, die einen Hinweis auf Narben mit langsamer Erregungsüberleitung und der Möglichkeit eines Isthmus darstellen (Sacher et al., 2015). Sie finden sich im Narbengewebe oder in der Übergangszone von Narbe zu gesundem Myokard der meisten narbenbezogenen VTs und treten meist als hochfrequente Niedrigpotentiale (1,5 mV bis 0,05 mV) auf (Sacher et al., 2015). Es konnte gezeigt werden, dass bei etwa 90 % der Patienten LAVA vorhanden sind, und dass eine Radiofrequenzablation der LAVA die Rekurrenz von VTs signifikant reduziert (Di Biase et al., 2012; Jaïs et al., 2012).

1.1.8.2.3.3 Komplikationen

Die periprozedurale Mortalität der Katheterablation variiert je nach Studie von 0 – 3 % (Priori et al., 2015: 2814). Mögliche spezifische Komplikationen der Prozedur sind unkontrollierbare VTs, zerebrale ischämische Ereignisse, Beschädigungen der Herzklappen, Herzbeutelamponaden und die Entstehung eines AV-Blocks (Priori et al., 2015: 2814).

Die häufigsten Komplikationen sind allerdings die Beschädigung von Zugangsgefäßen und thrombembolische Ereignisse (Peichl et al., 2014). Dabei ist bei Patienten mit strukturellen Herzerkrankungen wie einer ICM oder DCM das Komplikationsrisiko höher als bei Patienten mit einer idiopathischen Genese der VT (Peichl et al., 2014). Auch das Alter und der Kreatinin-Wert des Patienten sowie die Erfahrung des Operateurs beeinflussen die Komplikationsrate (Peichl et al., 2014).

Bei epikardialer Punktion im Zuge einer epikardialen Ablation sind außerdem Komplikationen wie die Verletzung von Gefäßen (insbesondere Koronargefäßen), Organen und Nerven sowie Blutungen mit der Entstehung einer Herzbeutelamponade möglich (Priori et al., 2015: 2814). Sacher et al. (2010) ermittelten bei Prozeduren mit epikardialer Ablation in 5 % der Prozeduren akute und in 2 % der Prozeduren im Verlauf schwere Komplikationen.

1.2 Ziel der Untersuchung

Ziel dieser Arbeit ist es festzustellen, welche prozeduralen Messgrößen mit einer erfolgreichen Prozedur assoziiert sind, und ob es bei diesen Parametern Unterschiede zwischen Patienten mit einer ICM und einer DCM gibt.

Verschiedene Studien konnten zeigen, dass ein akuter Erfolg einer Ablationsprozedur bei Patienten mit strukturellen Herzerkrankungen und VT mit einer verringerten Wahrscheinlichkeit einer Rekurrenz einer VT assoziiert ist (Della Bella et al., 2013; Karl-Heinz Kuck et al., 2010; V. Y. Reddy et al., 2007; Tung et al., 2015).

Wären prozedurale Parameter bekannt, die Prädiktoren für eine erfolgreiche Prozedur sind, könnte dies eine Entscheidungshilfe bei der Durchführung einer kathetergesteuerten Ablation bei Patienten mit ICM oder DCM darstellen.

Die in dieser Arbeit untersuchten Hypothesen lauten:

- a) Es gibt Unterschiede in Bezug auf prozedurale Parameter zwischen Patienten mit ICM oder DCM.
- b) Es gibt prozedurale Parameter, die zwischen voll, partiell und nicht erfolgreichen Prozeduren verschieden sind.

- c) Es gibt prozedurale Parameter, die Prädiktoren für eine erfolgreich verlaufende Prozedur darstellen.

Der akute Erfolg einer Ablation soll nach der Induzierbarkeit der klinisch relevanten VT nach Ablation gemessen werden. Als voller Erfolg wird das Ergebnis gewertet, wenn nach der Prozedur keine VT mehr induzierbar war. Als partieller Erfolg, wenn die klinische relevante VT nicht mehr induzierbar war, aber weiterhin mindestens eine nicht klinisch relevante VT induzierbar war. Als nicht erfolgreich wird eine Prozedur gewertet, wenn die klinische VT am Ende der Prozedur weiterhin induzierbar war.

2 Material und Methoden

2.1 Beschreibung des Patientenkollektivs

In diese Arbeit wurden 142 konsekutive Patienten eingeschlossen, die in dem Zeitraum vom 01. Januar 2007 bis zum 31. Mai 2015 an dem Universitären Herzzentrum Hamburg (UHZ) des Universitätsklinikums Hamburg-Eppendorf (UKE) eine kathetergesteuerte Ablationsprozedur erhalten hatten und entweder an einer ICM oder an einer DCM erkrankt waren. Die Erfassung der Patientendaten erfolgte retrospektiv. Grundlage der Erhebung waren die Patientenakten sowie die Protokolle der EPU. Diese wurden aus dem Archiv sowie aus dem Klinikinformationssystem des UKEs erhoben.

Von der statistischen Erhebung ausgeschlossen wurden alle Patienten mit einer idiopathischen Genese der VT und alle Patienten, bei denen die Ursache der VT nicht mehr eruierbar war. Ebenso wurden Patienten, bei denen ein Mischtyp aus ICM und DCM, oder bei denen ausschließlich eine ARVC vorlag, ausgeschlossen.

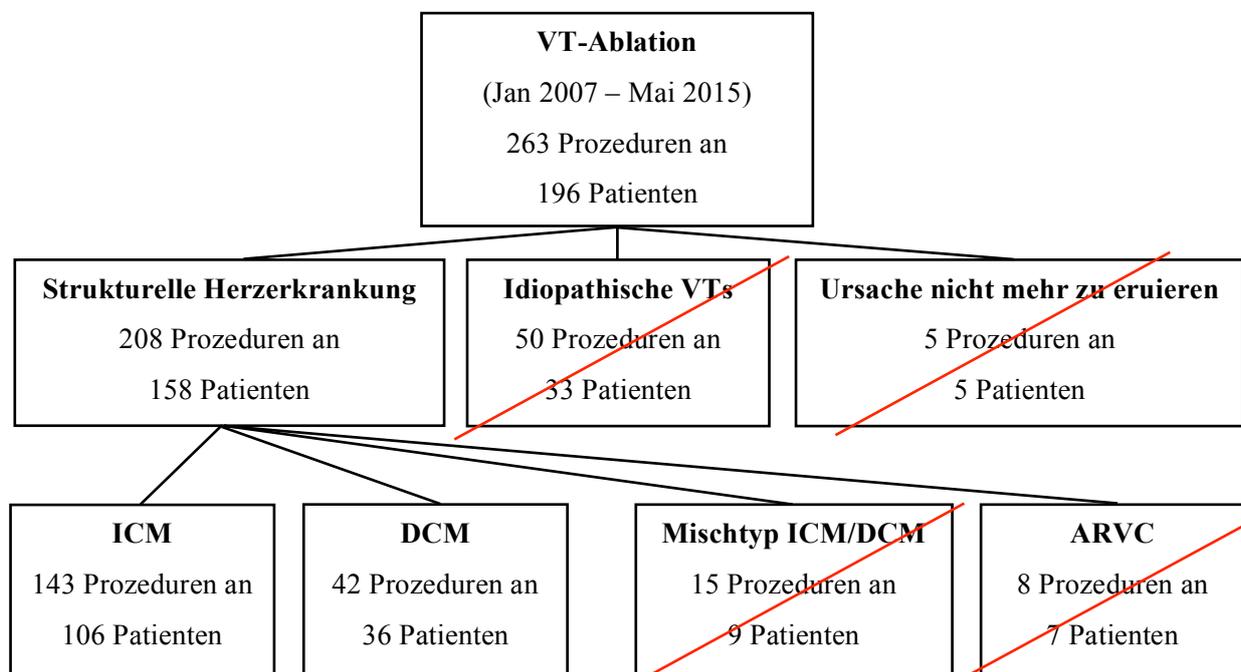


Abb. 2.1. Rot durchgestrichen: von der statistischen Erhebung exkludierte Patienten. VT= ventrikuläre Tachykardie; ICM= ischämische Kardiomyopathie; DCM= dilatative Kardiomyopathie; ARVC= arrhythmogene rechtsventrikuläre Kardiomyopathie.

An den 142 konsekutiven Patienten waren im o. g. Zeitraum 185 Ablationsprozeduren durchgeführt worden. 106 der Patienten waren an einer ICM und 36 Patienten an einer DCM erkrankt.

In vier der 185 (2,2 %) Prozeduren war eine CPR während der Prozedur dokumentiert. In einem Fall (0,5 %) kam es unter laufender Prozedur zum Tod eines Patienten. In einem Fall war der Tod eines Patienten (0,5 %) drei Tage nach erfolgter Ablation dokumentiert. Bei einem Patienten (0,5 %) traten postinterventionell zwei subakute Mediainfarkte auf.

Erfasst wurden anamnestische, laborchemische, echokardiographische und prozedurale Parameter der Patienten.

2.1.1 Basischarakteristika

Folgende Patientendaten wurden der Patientenakte entnommen:

	Alter (Jahre)
	Geschlecht
	Gewicht (kg)
	Body-Mass-Index (BMI) (kg/m ²)
Komorbiditäten:	Arterielle Hypertonie (aHT)
	Koronare Herzkrankheit (KHK)
	Vorhofflimmern (VHF)/ Vorhofflattern
	Diabetes mellitus (DM)
	Synkope
	Schlaganfall/ transitorisch ischämische Attacke (TIA)
	Chron. Lungenerkrankung
Geräte:	Implantierter Kardioverter-Defibrillator (ICD)
	– Anzahl an Schocks in Anamnese
	kardialer Resynchronisationstherapie (CRT)
	Herzschritmacher (SM)
Medikation:	Betablocker
	Amiodaron
	Flecainid

	Digitalis-Glykoside
	Dronedaron
Laborwerte:	Hämoglobin (g/dl)
	Kalium (mmol/l)
	Natrium (mmol/l)
	Kreatinin (mg/dl)
	Thyreoidea stimulierendes Hormon (TSH) (μ U/ml)
	International Normalized Ratio (INR)
	Geschätzte glomeruläre Filtrationsrate (eGFR) berechnet nach der „Modification of Diet in Renal Disease“-Formel (MDRD-Formel) (ml/min) (Levey et al., 1999)
Echokardiografie:	LVEF (%)
	Aneurysma

2.1.2 Prozedurale Charakteristika

Folgende Daten wurden den Prozedurprotokollen entnommen:

Intraprozedurale Parameter:

Prozedurdauer (min)
Radiofrequenzstromimpulse
– Anzahl
– Dauer (s)
Durchleuchtung
– Dosis (cGycm ²)
– Dauer (s)
Maximale durchschnittliche Leistung (W)
Insgesamt applizierte Energie (J)

Periprozedurale Parameter:

Redo-Prozedur (Wiederholte Prozedur, d. h. Folgeeingriff)
Art des Zugangs
– retrograd
– transseptal
– epikardial

Sinusrhythmus

- vor Prozedurbeginn
- bei Prozedurbeginn

Anzahl spontaner VT vor Prozedur

- Durchschnitt
- Maximum

Kardiopulmonale Reanimation (CPR)

Supportive Systeme

Mappingverfahren: Mappingsystem

- Carto[®]
- NavX[™]

Mappingkatheter

- Pentaray[®]-Katheter

Mapping

- Entrainment-Mapping
- Pace-Mapping

Ursprung und Mechanismus der VT:

VT-Ursprung

- Linker Ventrikel (LV)
- Rechter Ventrikel (RV)
- Aortenklappentasche (AK)
- Große Herzvene (GCV)

Mechanismus

- Reentry
- Fokal
- Faszikulär

Induktionsversuch: Anzahl induzierter VTs

- Maximum
- Minimum

Induzierbarkeit der klinischen VT

Morphologie der behandelten VTs:

VT-1

- Zykluslänge (ms)
- Morphologie

- Linksschenkelblock (LSB)-Typ
- Rechtsschenkelblock (RSB)-Typ
- neg. konkordant

VT-2

- Zykluslänge (ms)
- Morphologie
 - LSB-Typ
 - RSB-Typ
 - neg. konkordant

VT-3

- Zykluslänge (ms)

Ablationsparameter:

Anzahl behandelter VTs

Epikardiale Ablation

Ablation von VT-1

- VT terminiert
- Entrainment-Mapping
 - PPI (ms)
- Pacemap-Qualität
 - perfekt

Ablation von VT-2

- VT terminiert
- Entrainment-Mapping
- Pacemap-Qualität
 - perfekt

Behandlungserfolg der Prozedur:

- voll erfolgreich (keine VT mehr induzierbar)
- partiell erfolgreich (klinische VT nicht mehr induzierbar)
- nicht erfolgreich (klinische VT weiterhin induzierbar)

Weiterhin induzierbare VT

- Anzahl
- Zykluslänge (ms)

2.2 Statistische Methoden

Für metrische Variablen sind der Mittelwert und die Standardabweichung (Standard deviation; SD) angegeben worden. Für binäre Variablen sind die absolute Anzahl und der prozentuale Anteil bestimmt worden. Zur Ermittlung der Signifikanz wurde im Falle von metrischen Variablen ein t-Test und im Falle von binären Variablen ein Chi-Quadrat-Test durchgeführt. Für ausgewählte Parameter erfolgte die Bestimmung der Eignung zum Prädiktor für den vollen Erfolg der Prozedur mithilfe einer binären logistischen Regression. Da bei manchen Patienten mehrere Prozeduren durchgeführt worden waren und eine Unabhängigkeit nicht garantiert werden kann, erfolgte die logistische Regression mit robusten Varianzschätzern. Alle Variablen sind in einem Schritt in das Modell integriert worden. Das Signifikanzniveau wurde für alle Tests auf $p < 0,05$ festgelegt.

Die statistische Erfassung und Auswertung erfolgte mithilfe von Microsoft[®] Excel[®] für Mac 2011 (Version 14.7.2) und IBM[®] SPSS[®] Statistics (Version 23.0.0.0).

2.3 Materialien

Aktivierte Koagulationszeit (ACT)-Messgerät:

- Hemochron[®] Signature Elite, International Technidyne Corporation, Edison, Vereinigte Staaten von Amerika (USA)

Katheter:

- CARTO[®]:
 - Cordis Celsius Thermistor D-Curve 4 mm 7 French (Fr), Biosense-Webster, Irvine, Kalifornien, USA
 - Cordis Navi-Star Thermocool 3,5 mm D-Curve 7 Fr, Biosense-Webster, Irvine, Kalifornien, USA
 - SJM IBI Inquiry 10 pol 6 Fr CS, St. Jude Medical, St. Paul, Minnesota, USA
- EnSite Velocity[™]:
 - Cordis Thermocool D-Curve 3,5 mm 7 Fr, Biosense-Webster, Irvine, Kalifornien, USA

Mapping-Systeme:

- CARTO[®], Biosense-Webster, Diamond Bar, Kalifornien, USA
- EnSite-NavX[®], St. Jude Medical, St. Paul, Minnesota, USA

Medikamente:

- Propofol-Lipuro 2 %, 20 mg/ml, B. Braun Melsungen AG, Melsungen, Deutschland
- Fentanyl Janssen, 0,05 mg/ml, Janssen-Cilag GmbH, Neuss, Deutschland
- Heparin ROTEXMEDICA 5 ml Injektionslösung, ROTEXMEDICA GmbH Arzneimittelwerk, Trittau, Deutschland

Schleusen:

- CARTO[®]:
 - SJM Ultimium 6 und 8 Fr 12 cm, St. Jude Medical, St. Paul, Minnesota, USA
 - SJM Fast-Cath SR0 8 Fr 63 cm, St. Jude Medical, St. Paul, Minnesota, USA
 - Terumo Introducer II 8 und 9 Fr 25 cm, Terumo Medical Corporation, Somerset, New Jersey, USA
 - Terumo Radiofocus Introducer 100 mm 4 Fr, Terumo Medical Corporation, Somerset, New Jersey, USA

Spritzenpumpe:

- Perfusor[®] Space, B. Braun Melsungen AG, Melsungen, Deutschland

3 Ergebnisse

3.1 Basischarakteristika der Patienten

Von den 142 untersuchten Patienten mit VTs waren 106 Patienten an einer ICM und 36 Patienten an einer DCM erkrankt.

Im Durchschnitt waren in dem Patientenkollektiv die DCM-Patienten ($65,6 \pm 13,1$ Jahre) nicht signifikant jünger als die ICM-Patienten ($67,3 \pm 9,5$ Jahre; $p = 0,480$). Sowohl in der Gruppe der DCM als auch der Gruppe der ICM sind die meisten Patienten männlich (86,11 % bzw. 93,4 %; $p = 0,175$) und im Mittel leicht übergewichtig (BMI $27,2 \pm 4,3$ kg/m² bzw. $27,9 \pm 4,1$ kg/m²; $p = 0,419$).

In der Gruppe der ICM ist zwar der Anteil der Patienten mit einem BMI über 30 kg/m² etwas höher (21,9 %) als in der DCM-Gruppe (14,7 %), dieser Unterschied war jedoch nicht signifikant ($p = 0,309$).

Die Patienten der ICM-Gruppe leiden signifikant häufiger an arterieller Hypertonie (aHT) (79,0 %; $p < 0,001$) und KHK (99,1 %; $p < 0,001$) als die Patienten mit DCM. Demgegenüber leiden DCM-Patienten in dem Kollektiv fast doppelt so häufig an einem VHF (63,9 %) als die ICM-Patienten (34,0 %). Dieser Unterschied war signifikant ($p = 0,002$). Der Anteil an Diabetikern war in der ICM-Gruppe (23,6 %) etwas höher als in der DCM-Gruppe (16,7 %). Dieser Unterschied war nicht signifikant ($p = 0,385$). Bei dem anamnestischen Vorliegen einer Synkope (DCM 16,1 % vs. ICM 18,5 %), eines ischämischen zerebralen Ereignisses (19,4 % vs. 20,0 %) oder einer chronischen Lungenerkrankung (11,1 % vs. 10,4 %) unterschieden sich die beiden Gruppen ebenfalls nicht signifikant ($p = 0,768$ bis $0,943$).

Bei ICM-Patienten war häufiger ein ICD implantiert (84,9 %) als bei den Patienten mit einer DCM (72,2 %), dieser Unterschied war jedoch nicht signifikant ($p = 0,089$). Bei den DCM-Patienten, bei denen ein ICD implantiert war, wurde etwa genauso oft von einem ICD-Ereignis in der Anamnese berichtet. Neun (42,9 %) DCM- und 29 (37,7 %) ICM-Patienten hatten nie ein ICD-Ereignis in der Anamnese ($p = 0,665$).

Tabelle 3.1.a: Basischarakteristika der Patienten mit DCM und ICM

Merkmal	DCM (n = 36)		ICM (n = 106)		p-Wert
Alter (Jahre)		65,6 ± 13,1		67,3 ± 9,5	0,480
Männlich	31	86,1 %	99	93,4 %	0,175
Gewicht (kg)		85,6 ± 13,7		86,2 ± 14,6	0,809
BMI (kg/m ²)		27,2 ± 4,3		27,9 ± 4,1	0,419
– Davon ≥ 30 kg/m ²	5	14,7 %	24	21,9 %	0,309
Komorbiditäten					
aHT	16	44,4 %	83	79,0 %	< 0,001
KHK	6	16,7 %	105	99,1 %	< 0,001
VHF	23	63,9 %	36	34,0 %	0,002
DM	6	16,7 %	25	23,6 %	0,385
Synkope	31	16,1 %	92	18,5 %	0,768
Schlaganfall/TIA	7	19,4 %	21	20,0 %	0,943
Chron. Lungenerkrankung	4	11,1 %	11	10,4 %	0,902
Geräte					
ICD	26	72,2 %	90	84,9 %	0,089
– Schocks in Anamnese					
0	9	42,9 %	29	37,7 %	0,665
1	5	23,8 %	27	35,1 %	0,330
2	3	14,3 %	7	9,1 %	0,486
≥ 3	4	19,2 %	14	18,1 %	0,928
CRT	12	33,3 %	31	30,4 %	0,743
Herzschrittmacher	14	38,9 %	32	31,1 %	0,391

Medikation					
Betablocker	30	83,3 %	93	89,4 %	0,335
Amiodaron	23	63,9 %	57	54,8 %	0,343
Flecainid	1	2,8 %	3	2,9 %	0,974
Digitalis-Glykoside	0		1	1,0 %	0,555
Dronedaron	0		0		-
Laborwerte					
Hämoglobin (g/dl)		13,19 ± 1,80		13,32 ± 1,73	0,703
Kalium (mmol/l)		4,24 ± 0,46		4,24 ± 0,37	0,996
Natrium (mmol/l)		139,69 ± 4,16		140,04 ± 3,70	0,658
Kreatinin (mg/dl)		1,27 ± 0,35		1,39 ± 0,80	0,236
TSH (µU/ml)		3,63 ± 4,72		2,01 ± 1,55	0,062
INR		1,34 ± 0,56		1,28 ± 0,47	0,546
eGFR (ml/min)		63,26 ± 21,04		63,30 ± 21,12	0,993
Echokardiografie					
LVEF (%)		31,3 ± 14,7		31,6 ± 12,2	0,925
Aneurysma	0		26	27,1 %	< 0,001

Tabelle 3.1.a: aHT = arterieller Hypertonus, BMI = Body-Mass-Index, Chron. = Chronische, CRT = kardiale Resynchronisationstherapie, DCM = nicht-ischämische dilatative Kardiomyopathie, DM = Diabetes mellitus, eGFR = geschätzte glomeruläre Filtrationsrate, ICD = implantierbarer Kardioverter-Defibrillator, ICM = ischämische Kardiomyopathie, INR = International Normalized Ratio, KHK = koronare Herzkrankheit, LVEF = linksventrikuläre Ejektionsfraktion, n = Anzahl an Patienten, TIA = transitorisch ischämische Attacke, TSH = Thyreoidea stimulierendes Hormon, VHF = Vorhofflimmern. Die Berechnung der geschätzten glomerulären Filtrationsrate erfolgte nach der MDRD-Formel nach Levey et al. (1999).

Fünf (23,8 %) DCM- und 27 (35,1 %) ICM-Patienten hatten ein einmaliges ICD-Ereignis in der Anamnese ($p = 0,330$), drei (14,3 %) DCM- und sieben (9,1 %) ICM-Patienten hatten zweimal ein Ereignis in der Anamnese ($p = 0,486$) und vier (19,2 %) DCM- und 14 (18,1 %) ICM-Patienten hatten drei oder mehr Ereignisse in der Anamnese ($p = 0,928$).

In beiden Patientengruppen war bei etwa einem Drittel der Patienten ein Gerät zur kardialen Resynchronisationstherapie (CRT) implantiert (DCM 33,3 % bzw. ICM 30,4 %; $p = 0,743$). DCM-Patienten hatten etwas häufiger einen Herzschrittmacher (SM) implantiert (38,9 %) als die ICM-Patienten (30,1 %), allerdings war auch dieser Unterschied nicht signifikant ($p = 0,391$).

Die beiden Patientengruppen unterschieden sich nicht signifikant in der Medikation vor der Ablation ($p = 0,335$ bis $0,974$). Fast alle Patienten der ICM-Gruppe erhielten Betablocker (89,4 %) als Medikation und etwas mehr als die Hälfte erhielten Amiodaron (54,8 %). In der DCM-Gruppe erhielten etwas weniger Patienten einen Betablocker (83,3 %), allerdings etwas häufiger Amiodaron (63,9 %). Flecainid wurde insgesamt nur vier Patienten (2,8 % bzw. 2,9 %) verabreicht. Ein Patient (1,0 %) der ICM-Gruppe erhielt Digitalis-Glykoside. Bei keinem Patienten war eine Dronedaron-Applikation dokumentiert.

Kein Laborwert unterschied sich zwischen den ICM- und DCM-Patienten signifikant ($p = 0,062$ bis $0,996$). Sowohl der Hämoglobin- (DCM $13,19 \pm 1,80$ g/dl vs. ICM $13,32 \pm 1,73$ g/dl) als auch der Kalium- ($4,24 \pm 0,46$ mmol/l vs. $4,24 \pm 0,37$ mmol/l) und der Natriumwert ($139,69 \pm 4,16$ mmol/l vs. $140,04 \pm 3,70$ mmol/l) waren im Mittel fast gleich. Der Kreatininwert war in der Gruppe der ICM-Patienten zwar etwas höher ($1,39 \pm 0,80$ mg/dl) als in der DCM-Gruppe ($1,27 \pm 0,35$ mg/dl), die nach Modification of Diet in Renal Disease-Formel (Levey et al., 1999), kurz MDRD-Formel, errechnete glomeruläre Filtrationsrate (eGFR) unterschied sich aber in den Patientengruppen im Mittel kaum (DCM $63,26 \pm 21,04$ ml/min vs. ICM $63,30 \pm 21,12$ ml/min). In der Gruppe der DCM war der TSH-Wert im Mittel höher ($3,63 \pm 4,72$ μ U/ml) als in der ICM-Gruppe ($2,01 \pm 1,55$ μ U/ml). Dieser Unterschied war nicht signifikant ($p = 0,062$). Die International Normalized Ratio (INR) war im Mittel bei den DCM-Patienten ($1,34 \pm 0,56$) geringfügig höher als bei den ICM-Patienten ($1,28 \pm 0,47$).

Die durchschnittliche LVEF von DCM- ($31,3 \pm 14,7 \%$) und ICM-Patienten ($31,6 \pm 12,2 \%$) war nicht unterschiedlich ($p = 0,925$). Kein DCM-Patient, aber 26 (27,1 %) der ICM-Patienten litten an einem Herzaneurysma. Dieser Unterschied war signifikant ($p < 0,001$).

3.2 Prozedurale Charakteristika: Vergleich der beiden Patientengruppen

3.2.1 Intraprozedurale Parameter

Von den 185 ausgewerteten Ablationsprozeduren lag bei 143 Patienten eine ICM und bei 42 Patienten eine DCM zugrunde.

Tabelle 3.2.1.a: Intraprozedurale Parameter der Patienten mit DCM und ICM

Merkmal	DCM (n = 42)		ICM (n = 143)		p-Wert
	n		n		
Prozedurdauer (min)	42	$200,45 \pm 67,90$	143	$196,66 \pm 70,45$	0,753
Radiofrequenzstromimpulse					
– Anzahl	40	$14,30 \pm 9,17$	138	$15,42 \pm 11,40$	0,523
– Dauer (s)	33	$1574,27 \pm 1002,10$	121	$1649,31 \pm 1093,03$	0,710
Durchleuchtung					
– Dosis ($\text{cGy} \cdot \text{cm}^2$)	41	$4279,47 \pm 3410,90$	134	$3811,69 \pm 2869,94$	0,429
– Dauer (min)	42	$26,78 \pm 13,46$	141	$23,19 \pm 13,78$	0,137
Maximale durchschnittliche Leistung (W)	33	$41,00 \pm 7,14$	122	$44,26 \pm 13,91$	0,068
Insgesamt applizierte Energie (J)	33	$60105,7 \pm 44327,4$	121	$65198,1 \pm 48284,3$	0,569

Tabelle 3.2.1.a: Ø = durchschnittlicher Wert, $\text{cGy} \cdot \text{cm}^2$ = Zentigray · Quadratzentimeter, DCM = nicht-ischämische dilatative Kardiomyopathie, ICM = ischämische Kardiomyopathie, J = Joule, n = Anzahl an Prozeduren, s = Sekunde, W = Watt.

Die beiden Patientengruppen unterschieden sich in keinem der in Tabelle 3.2.1.a genannten Parameter signifikant ($p = 0,068$ bis $0,753$).

Im Durchschnitt dauerten die Prozeduren bei den DCM-Patienten fast genauso lang ($200,45 \pm 67,90$ min), wie bei den ICM-Patienten ($196,66 \pm 70,45$ min). Es wurden in der DCM-Gruppe durchschnittlich etwas weniger Radiofrequenzstromimpulse pro Prozedur durchgeführt ($14,30 \pm 9,17$) als in der ICM-Gruppe ($15,42 \pm 11,40$) und die Dauer der Radiofrequenzstromimpulse war in der DCM-Gruppe etwas kürzer ($1574,27 \pm 1002,10$ s) als in der ICM-Gruppe ($1649,31 \pm 1093,03$ s).

Durchleuchtungsdosis und -dauer waren bei den Prozeduren der DCM-Patienten etwas höher ($4279,47 \pm 3410,90$ cGycm²) und länger ($26,78 \pm 13,46$ min), als bei den Prozeduren der ICM-Patienten ($3811,69 \pm 2869,94$ cGycm² bzw. $23,19 \pm 13,78$ min).

Die maximale durchschnittliche Leistung war in der DCM-Gruppe im Durchschnitt etwas geringer ($41,00 \pm 7,14$ W) als in der ICM-Gruppe ($44,26 \pm 13,91$ W). Das Gleiche gilt für die insgesamt applizierte Energie ($60105,73 \pm 44327,43$ J bei Prozedur der DCM-Patienten gegenüber $65198,06 \pm 48284,30$ J bei Prozeduren der ICM-Patienten).

3.2.2 Periprozedurale Parameter

13 (31,0 %) der DCM- und 51 (35,7 %) der ICM-Patienten waren Redo-Prozeduren (*redo* engl. für nochmals durchführen), d. h. keine De-novo-Prozeduren sondern Folgeeingriffe. Diese vorherigen Ablationsprozeduren waren zum Teil innerhalb des Untersuchungszeitraums dieser Studie, zum Teil aber auch vor dem Untersuchungszeitraum durchgeführt worden. Der Ort der vorherigen Ablationsbehandlung war nicht immer das UHZ des UKE. Der Anteil an Redo-Prozeduren war in den beiden Patientengruppen nicht signifikant unterschiedlich ($p = 0,572$).

In den meisten Prozeduren wurde ein retrograder Zugang gewählt. Dies war in 36 (85,7 %) Prozeduren der DCM- und in 124 (88,6 %) Prozeduren der ICM-Patienten der Fall. Bei zwei (4,8 %) DCM-Patienten und bei 19 (13,6 %) ICM-Patienten wurde ein transseptaler Zugang genutzt.

Tabelle 3.2.2.a: Periprozedurale Parameter

Merkmal	DCM (n = 42)		ICM (n = 143)		p-Wert
Redo	13	31,0 %	51	35,7 %	0,572
Zugang					
– retrograd	36	85,7 %	124	88,6 %	0,618
– transseptal	2	4,8 %	19	13,6 %	0,117
– epikardial	6	14,3 %	1	0,7 %	< 0,001
Sinusrhythmus					
– vor Prozedurbeginn	38	92,7 %	124	88,6 %	0,450
– bei Prozedurbeginn	26	66,7 %	83	60,6 %	0,490
Anzahl spontaner VT vor Prozedur	6	14,3 %	21	14,7 %	
– Durchschnitt		1,33 ± 0,82		1,00 ± 0,00	0,363
– Maximum		3		1	
CPR	2	4,9 %	2	1,4 %	0,186
Supportive Systeme	0	0,0 %	2	1,4 %	0,440

Tabelle 3.2.2.a: CPR = kardiopulmonale Reanimation während der Prozedur, DCM = nicht-ischämische dilatative Kardiomyopathie, ICM = ischämische Kardiomyopathie, n = Anzahl an Prozeduren, Redo = Folgeeingriff, VT = ventrikuläre Tachykardie.

In der DCM-Gruppe (sechs Prozeduren, bzw. 14,3 %) ist häufiger ein epikardialer Zugang gewählt worden als in der ICM-Gruppe (eine Prozedur, bzw. 0,7 %). Dieser Unterschied war deutlich signifikant ($p < 0,001$).

38 (92,7 %) der DCM-Patienten und 124 (88,6 %; $p = 0,450$) der ICM-Patienten waren *vor* dem Prozedurbeginn, und 26 (66,7 %) DCM- bzw. 83 (60,6 %; $p = 0,490$) waren *bei* Prozedurbeginn im Sinusrhythmus. Bei den DCM-Patienten traten in sechs (14,3 %) Prozeduren spontan VTs auf. Bei einem DCM-Patienten traten drei VTs auf, woraus sich ein Durchschnitt von $1,33 \pm 0,82$ VTs ergab. Bei den ICM-Patienten traten in 21 (14,7 %)

Prozeduren spontan VTs auf, in allen Fällen trat aber nur je eine VT spontan auf. Bei den DCM-Patienten traten zwar mehr VTs spontan auf als bei den ICM-Patienten, allerdings ergibt sich dieser Unterschied nur aus einer Prozedur an einem DCM-Patienten mit drei spontanen VTs und war nicht signifikant ($p = 0,363$).

In zwei (4,9 %) der Prozeduren an DCM- und in zwei (1,4 %; $p = 0,186$) der Prozeduren an ICM-Patienten war eine CPR, die während der Prozedur durchgeführt werden musste, dokumentiert. In keiner Prozedur an DCM- und in zwei (1,4 %; $p = 0,44$) Prozeduren an ICM-Patienten waren kreislaufunterstützende Systeme dokumentiert.

3.2.3 Mappingverfahren

Sowohl in der DCM- (29 bzw. 69,0 %) als auch in der ICM-Patientengruppe (102 bzw. 71,3 %) wurde in den meisten Fällen das Mappingsystem Carto[®] verwendet. In beiden Patientengruppen wurde in einigen Prozeduren das Mappingsystem NavX[™] benutzt (Bei 5 bzw. 11,9 % der DCM- und 20 bzw. 14,0 % der ICM-Patienten). Die Wahl des Mapping-Systems unterschied sich nicht signifikant in den beiden Patientengruppen ($p = 0,729$ bis $0,775$).

In drei (7,1 %) der Prozeduren an DCM-Patienten und in zwölf (8,4 %; $p = 0,794$) der Prozeduren an ICM-Patienten wurde ein Pentaray[®]-Mappingkatheter verwendet.

Durchschnittlich wurde in beiden Patientengruppen etwa in der Hälfte der Prozeduren ein Entrainment-Mapping eingesetzt. In 20 (48,0 %) Prozeduren an DCM-Patienten und in 75 (52,0 %) Prozeduren an ICM-Patienten kam dieses Mappingverfahren zum Einsatz. In den Prozeduren der DCM-Patientengruppe wurde signifikant häufiger ($p = 0,006$) ein Pacemap erstellt als in der ICM-Gruppe. In 35 (92,1 %) der DCM-Prozeduren bzw. in 95 (70,4 %) der ICM-Prozeduren war der Einsatz eines Pace-Mapping dokumentiert.

In Bezug auf den anatomischen Ursprung der VT zeigte sich in den beiden Patientengruppen ein Unterschied. Am häufigsten war in beiden Patientengruppen der Ursprung der VT der linke Ventrikel (LV). In 35 (83,3 %) der DCM-Prozeduren und in 132 (92,3 %; $p = 0,084$) der ICM-Prozeduren war mindestens eine VT mit einem Ursprung aus dem LV dokumentiert. Am zweithäufigsten war sowohl bei den DCM- (9 bzw. 21,4 %) als auch bei den ICM-Patienten (7 bzw. 4,9 %) ein Ursprung der VT aus dem rechten Ventrikel (RV) dokumentiert.

Allerdings war der Ursprung der VT aus dem RV signifikant häufiger bei Patienten, die an einer DCM erkrankt waren ($p = 0,001$).

Tabelle 3.2.3.a: Mapping der VT

Merkmal	DCM (n = 42)		ICM (n = 143)		p-Wert
Mappingssystem					
– Carto [®]	29	69,0 %	102	71,3 %	0,775
– NavX [™]	5	11,9 %	20	14,0 %	0,729
Besondere Mappingkatheter					
– Pentaray [®] -Katheter	3	7,1 %	12	8,4 %	0,794
Mapping					
– Entrainment-Mapping	20	48,0 %	75	52,0 %	0,669
– Pace-Mapping	35	92,1 %	95	70,4 %	0,006
VT-Ursprung					
– LV	35	83,3 %	132	92,3 %	0,084
– RV	9	21,4 %	7	4,9 %	0,001
– AK	0	0,0 %	1	0,7 %	0,587
– GCV	0	0,0 %	0	0,0 %	-
Mechanismus					
– reentry	33	80,5 %	133	94,3 %	0,006
– fokal	5	11,9 %	6	4,3 %	0,073
– faszikulär	2	4,8 %	2	1,4 %	0,193

Tabelle 3.2.3.a: AK = Aortenklappentasche, DCM = nicht-ischämische dilatative Kardiomyopathie, GCV = Great cardiac vein = große Herzvene (Vena cardiaca magna), ICM = ischämische Kardiomyopathie, LV = linker Ventrikel, n = Anzahl an Prozeduren, RV = rechter Ventrikel, VT = ventrikuläre Tachykardie.

Bei einer Prozedur an einem ICM-Patienten war ein Ursprung einer VT aus den Aortenklappentaschen (AK) dokumentiert. Bei den Prozeduren an DCM-Patienten lag kein Ursprung einer VT aus den AK vor ($p = 0,587$). Weder bei den Prozeduren der DCM- noch bei jenen der ICM-Patienten war ein Ursprung einer VT aus der großen Herzvene (Vena cardiaca magna) dokumentiert.

Bezüglich des Entstehungsmechanismus der VT zeigten sich zwischen den Patientengruppen Differenzen. Zwar war in beiden Patientengruppen ein Reentry-Mechanismus mit 33 (80,5 %) bei DCM-Patienten und 133 (94,3 %) bei ICM-Patienten der häufigste Entstehungsmechanismus der VTs, allerdings war dieser Mechanismus signifikant häufiger bei Patienten mit einer ICM als bei Patienten mit einer DCM ($p = 0,006$). Bei DCM-Patienten war demgegenüber ein fokaler Mechanismus (5 bzw. 11,9 %) oder eine faszikuläre Beteiligung (2 bzw. 4,8 %) häufiger als bei den ICM-Patienten (fokal sechs bzw. 4,3 %; $p = 0,073$ und faszikulär zwei bzw. 1,4 %; $p = 0,193$).

3.2.4 Induktionsversuch

Bei allen 42 (100,0 %) DCM-Prozeduren und bei 138 (96,0 %; $p = 0,174$) ICM-Prozeduren ist ein Induktionsversuch durchgeführt worden.

Tabelle 3.2.4: Induktionsversuch

Merkmal	DCM (n = 42)		ICM (n = 143)		p-Wert
Induktionsversuch	42	100,0 %	138	96,0 %	0,174
– Anzahl induzierter VTs	41	1,78 ± 1,03	130	2,41 ± 1,20	0,002
– Maximum		5		7	
– Minimum		0		0	
– klinische VT induzierbar	33*	93,9 %	109	94,5 %	0,903

Tabelle 3.2.4: * = In sieben Fällen Angabe fehlend. DCM= nicht-ischämische dilatative Kardiomyopathie, ICM=ischämische Kardiomyopathie, n = Anzahl an Prozeduren, VT=ventrikuläre Tachykardie.

Es waren durchschnittlich signifikant mehr VTs bei Patienten mit ICM als bei Patienten mit DCM induzierbar ($p = 0,002$). Im Durchschnitt waren bei den DCM-Patienten $1,76 \pm 1,03$ und bei den ICM-Patienten $2,41 \pm 1,20$ VTs induzierbar. Bei den DCM-Patienten war das Maximum an induzierbaren VTs fünf, während bei den ICM-Patienten das Maximum an induzierbaren VTs sieben war. Die beiden Patientengruppen unterschieden sich nicht in Bezug auf die Induzierbarkeit der klinisch relevanten VT. Bei 33 (93,9 %) Prozeduren an DCM-Patienten und bei 109 (94,5 %) Prozeduren an ICM-Patienten ist die klinische VT im Induktionsversuch induzierbar gewesen.

3.2.5 Morphologie der ventrikulären Tachykardie

In 33 Prozeduren an Patienten mit DCM war die Zykluslänge der zuerst behandelten VT (VT-1) dokumentiert. Diese VT-1 wies im Durchschnitt eine Zykluslänge von $443,09 \pm 122,75$ ms auf. Bei 23 dieser Prozeduren an DCM-Patienten war auch die Morphologie der VT-1 beschrieben worden. Diese war in 17 Prozeduren (73,9 %) eine VT vom Rechtsschenkelblocktyp (RSB-Typ), in sechs Prozeduren (26,1 %) eine vom Linksschenkelblocktyp (LSB-Typ) und in keiner Prozedur war die VT-1 in allen Ableitungen negativ konkordant.

In den 119 Prozeduren an Patienten mit ICM, bei denen die Zykluslänge der VT-1 dokumentiert worden war, ergab sich eine durchschnittliche Zykluslänge von $433,18 \pm 107,93$ ms. Bei 84 dieser VT-1 war die Morphologie beschrieben. Bei den ICM-Patienten handelte es sich bei 63 (75,0 %) der VT-1 um eine Morphologie vom RSB-Typ, bei 14 (16,7 %) vom LSB-Typ und in 7 (8,3 %) Fällen war die Morphologie der VT-1 negativ konkordant.

Bei den DCM-Patienten betrug die Zykluslänge der als zweites behandelten VT (VT-2) im Durchschnitt $440,80 \pm 142,88$ ms. In neun Fällen war die Morphologie der VT-2 beschrieben. Diese war in sieben (77,8 %) Prozeduren vom RSB-Typ und in zwei (22,2 %) Prozeduren vom LSB-Typ. Auch keine der VT-2 wies bei den DCM-Patienten eine negative Konkordanz auf.

Bei den ICM-Patienten betrug die Zykluslänge der VT-2 im Durchschnitt $408,18 \pm 112,77$ ms. In 37 Fällen war die Morphologie der VT-2 beschrieben. Diese war in 22 (59,5 %)

Prozeduren vom RSB-Typ, in acht (21,6 %) Prozeduren vom LSB-Typ und in sieben (18,9 %) Prozeduren negativ konkordant.

Tabelle 3.2.5: Morphologie der behandelten VT

Merkmal	DCM		ICM		p-Wert
	n		n		
VT-1					
– Zykluslänge (ms)	33	443,09 ± 122,75	119	433,18 ± 107,93	0,676
– Morphologie					
– LSB-Typ	6	26,1 %	14	16,7 %	0,305
– RSB-Typ	17	73,9 %	63	75,0 %	0,915
– neg. konkordant	0	0,0 %	7	8,3 %	0,152
VT-2					
– Zykluslänge (ms)	15	440,80 ± 142,88	67	408,18 ± 112,77	0,418
– Morphologie					
– LSB-Typ	2	22,2 %	8	21,6 %	0,802
– RSB-Typ	7	77,8 %	22	59,5 %	0,875
– neg. konkordant	0	0,0 %	7	18,9 %	0,187
VT-3					
– Zykluslänge (ms)	3	403,33 ± 148,44	19	425,16 ± 67,58	0,824

Tabelle 3.2.5: VT-1 ist die zuerst behandelte VT, VT-2 die als zweites behandelte VT und VT-3 die als drittes behandelte VT. n = Anzahl an Prozeduren, DCM = nicht-ischämische dilatative Kardiomyopathie, ICM = ischämische Kardiomyopathie, LSB = Linksschenkelblock-Typ, ms = Millisekunde, neg. = negativ, RSB = Rechtsschenkelblock-Typ, VT = ventrikuläre Tachykardie.

Bei drei DCM-Patienten und bei 19 ICM-Patienten waren mehr als zwei VTs behandelt worden. In diesem Fall ist nur noch die Zykluslänge der dritten behandelten VT festgehalten worden. Diese betrug im Durchschnitt bei den DCM-Patienten $403,33 \pm 148,44$ ms und bei den ICM-Patienten $425,16 \pm 67,58$ ms.

Weder die Zykluslängen noch die Morphologie der behandelten VT-1, VT-2 und VT-3 unterschieden sich zwischen den Patientengruppen signifikant ($p = 0,152$ bis $0,915$).

3.2.6 Ablationsparameter

In den 185 Prozeduren an DCM- und ICM-Patienten wurden 288 VTs behandelt. Davon wurden 54 VTs an DCM- und 234 VTs an ICM-Patienten abladiert.

Bei Patienten mit einer DCM waren durchschnittlich signifikant weniger VTs behandelt worden als bei Patienten mit einer ICM ($p = 0,006$). Bei den DCM-Patienten waren pro Prozedur im Durchschnitt $1,29 \pm 0,81$ VTs, bei den ICM-Patienten im Durchschnitt $1,70 \pm 0,89$ VTs therapiert worden.

Bei DCM-Patienten kam es signifikant häufiger zu einer epikardialen Ablation als bei ICM-Patienten ($p < 0,001$). Bei DCM-Patienten kam es in sechs Prozeduren zu epikardialen Ablationen. Dies machte 15 % aller Prozeduren an DCM-Patienten aus. Bei den ICM-Patienten kam es in keiner Prozedur zu einer epikardialen Ablation. Wie in Tabelle 3.2.2.a (s. o.) ersichtlich, war bei den ICM-Patienten ebenfalls nur bei einer einzigen Prozedur ein epikardialer Zugang gewählt worden.

Die VT-1 terminierte in 21 (72,4 %) Prozeduren bei den DCM-Patienten unter Ablation und in 79 (76,0 %) Prozeduren bei ICM-Patienten ($p = 0,696$). Bei den ICM-Patienten wurde zur Ablation der VT-1 etwas häufiger ein Entrainment-Mapping verwendet als bei den DCM-Patienten. Dieser Unterschied war aber nicht signifikant ($p = 0,165$). Bei 15 (39,5 %) der behandelten VT-1 bei den DCM- und bei 71 (52,2 %) der behandelten VT-1 der ICM-Patienten war ein Entrainment-Mapping benutzt worden. Das PPI war selten dokumentiert. In dem einzig dokumentierten Fall betrug das PPI bei einem DCM-Patienten 10 ms. In 21 Fällen war das PPI bei ICM-Patienten dokumentiert und betrug $12,19 \pm 18,95$ ms. Insofern ein Pacemap während der Prozedur angefertigt worden war, war die Qualität des Pace-Mapping in den Prozeduren an ICM-Patienten etwas besser. Bei 18 (69,2 %) der VT-1 von DCM-Patienten und bei 71 (83,5 %) der VT-1 von ICM-Patienten lag ein perfektes Pacemap vor. Allerdings war dieser Unterschied nicht signifikant ($p = 0,109$).

Tabelle 3.2.6: Termination der VT und Mapping-Qualität

Merkmal	DCM		ICM		p-Wert
	n		n		
Behandelte VTs	54	1,29 ± 0,81	234	1,70 ± 0,89	0,006
Epikardiale Ablation	6*	15,0 %	0*		< 0,001
Ablation von VT-1					
– VT terminiert	21	72,4 %	79	76,0 %	0,696
– Entrainment-Mapping	15	39,5 %	71	52,2 %	0,165
– PPI (ms)	1	10,00	21	12,19 ± 18,95	-
– Pacemap-Qualität					
– perfekt	18	69,2 %	71	83,5 %	0,109
Ablation von VT-2					
– VT terminiert	9	75,0 %	38	86,4 %	0,342
– Entrainment-Mapping	7	46,7 %	34	49,3 %	0,855
– Pacemap-Qualität					
– perfekt	5	50,0 %	22	64,7 %	0,401

Tabelle 3.2.6: VT-1 ist die zuerst behandelte VT und VT-2 die als zweites behandelte VT. n = Anzahl an VTs bis auf * = Anzahl an Prozeduren. DCM = nicht-ischämische dilatative Kardiomyopathie, ICM = ischämische Kardiomyopathie, PPI = Postpacing-Intervall, VT = ventrikuläre Tachykardie.

Insofern eine VT-2 behandelt worden war, terminierte diese in neun (75,0 %) Prozeduren bei DCM-Patienten und in 38 (86,4 %) Prozeduren bei ICM-Patienten. Dieser Unterschied war nicht signifikant ($p = 0,342$). Dabei war in sieben (46,7 %) der Prozeduren bei DCM-Patienten und in 34 (49,3 %) der Prozeduren bei ICM-Patienten ein Entrainment-Mapping durchgeführt worden. Die Pacemap-Qualität war in fünf (50 %) der behandelten VT-2 bei DCM- und in 22 (64 %) der behandelten VT-2 bei ICM-Patienten perfekt ($p = 0,401$).

3.2.7 Erfolg der Ablationsbehandlung

Bei den 185 untersuchten Prozeduren konnte in neun Fällen der Erfolg nicht angegeben werden, da dieser entweder nicht genau dokumentiert oder die Prozedur wegen der Instabilität des Patienten abgebrochen worden war. Dabei war der Erfolg bei zwei von 42 (4,8 %) Prozeduren an DCM-Patienten und bei sieben von 143 (4,9 %) bei ICM-Patienten nicht festgehalten worden.

Tabelle 3.2.7: Erfolg der Prozedur bei Patienten mit DCM und ICM

Merkmal	DCM (n = 40)		ICM (n = 136)		p-Wert
Behandlung					
– voll erfolgreich	22	55 %	66	49 %	0,472
– partiell erfolgreich	11	28 %	54	40 %	0,160
– nicht erfolgreich	7	18 %	16	12 %	0,344
Weiterhin induzierbare VT					
– Anzahl	7	1,43 ± 0,79	19	1,74 ± 0,81	0,397
– Zykluslänge (ms)	2	404,0 ± 118,8	6	406,7 ± 169,9	0,982

Tabelle 3.2.7: DCM= nicht-ischämische dilatative Kardiomyopathie, ICM=ischämische Kardiomyopathie, n = Anzahl an Prozeduren. Eine erfolgreiche Behandlung bedeutet, dass keine VT mehr induzierbar war. Eine partiell erfolgreiche Behandlung bedeutet, dass nur die klinische VT nicht mehr induzierbar war.

Zwischen den Prozeduren der Patienten mit DCM und den Patienten mit ICM gab es in unserer Untersuchung keinen signifikanten Unterschied in Bezug auf den Behandlungserfolg. Bei den DCM-Patienten waren in 22 (55 %) der Prozeduren am Ende der Behandlung keine VTs mehr induzierbar, während bei den ICM-Patienten in 66 Prozeduren (49 %) keine VTs mehr induzierbar waren. Dieser Unterschied war nicht signifikant ($p = 0,472$).

Bei den Prozeduren an den DCM-Patienten waren elf (18 %) zumindest noch partiell erfolgreich, d. h. die klinische VT war zum Ende der Prozedur nicht mehr induzierbar,

allerdings waren im Induktionsversuch nach Ablationsende noch andere als die klinische VT induzierbar. Bei den Prozeduren an den ICM-Patienten waren 54 (40 %) der Prozeduren partiell erfolgreich. Dieser Unterschied war allerdings nicht signifikant ($p = 0,160$).

Bei sieben (18 %) DCM-Patienten und bei 16 (12 %) ICM-Patienten war die Ablationsprozedur nicht erfolgreich und die klinische VT weiterhin induzierbar ($p = 0,344$).

Die Anzahl und die Zykluslänge der weiterhin induzierbaren VTs im Falle von partiell oder nicht erfolgreichen Prozeduren waren nicht immer dokumentiert. Bei den DCM-Patienten waren durchschnittlich $1,43 \pm 0,79$ und bei den ICM-Patienten $1,74 \pm 0,81$ VTs weiterhin induzierbar. Die Anzahl an weiterhin induzierbaren VTs war nicht signifikant unterschiedlich ($p = 0,397$). Die Zykluslänge der noch induzierbaren VTs war bei DCM-Patienten nur in zwei Fällen ($404,0 \pm 118,8$ ms) und bei den ICM-Patienten in sechs der Fälle ($406,7 \pm 169,9$ ms) dokumentiert. Auch hier war kein signifikanter Unterschied feststellbar ($p = 0,982$).

3.3 Prozedurale Charakteristika: Erfolg der Ablationsbehandlung

Von den 185 Prozeduren an Patienten, die an einer ICM oder DCM erkrankt waren, war bei 176 Prozeduren der Erfolg der Prozedur dokumentiert. Diese Prozedur war als voller Erfolg gewertet worden, wenn am Ende der Behandlung keine VT mehr induzierbar war.

Zunächst werden die Prozeduren, bei denen am Ende keine VT mehr induzierbar, war mit denen verglichen, bei denen noch mindestens eine VT induziert werden konnte.

Anschließend wird in der Gruppe, in der am Ende der Prozedur noch eine VT induzierbar gewesen ist, differenziert, ob es sich um die Morphologie der klinisch relevanten VT oder eine VT mit einer anderen Morphologie handelt (s. Abb. 3.3).

War die klinisch relevante VT nicht mehr induzierbar, wurde dies als partieller Erfolg gewertet. Die Patienten mit einem partiellen Erfolg sollen mit denen verglichen werden, bei denen kein Erfolg der Prozedur vorlag, d. h., dass am Ende der Prozedur selbst noch die klinisch relevante VT induzierbar war.

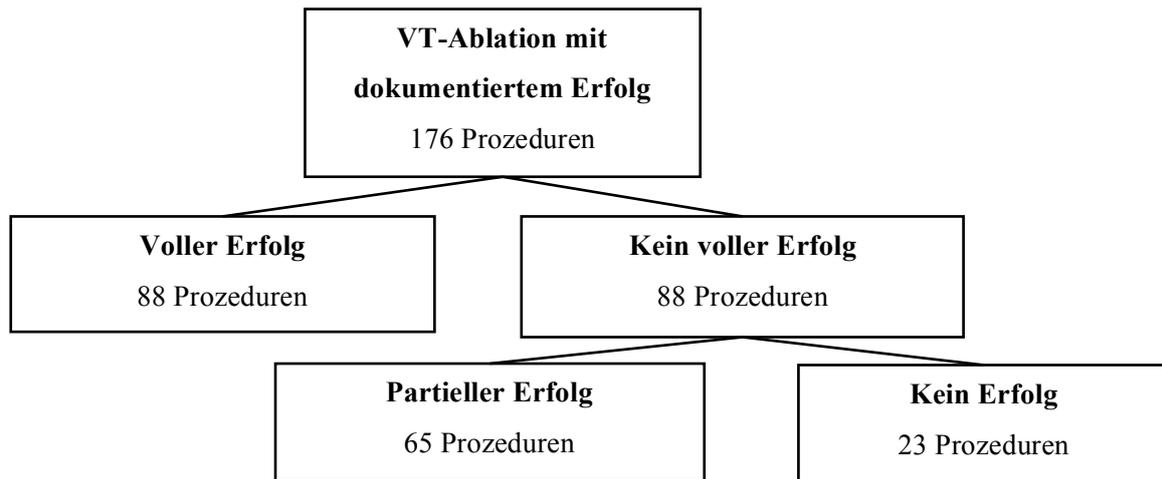


Abb. 3.3. Darstellung der Unterteilung der Prozeduren nach akutem Erfolg. VT= ventrikuläre Tachykardie.

Von den 176 Prozeduren waren 88 (50,0 %) Prozeduren voll erfolgreich (keine VT mehr induzierbar). In 88 (50,0 %) Fällen lag nur ein partieller Erfolg (klinische VT nicht mehr induzierbar) oder kein Erfolg (klinische VT induzierbar) der Prozedur vor. 65 (36,9 %) Prozeduren waren noch partiell erfolgreich. 23 (13,1 %) Prozeduren hatten keinen Erfolg.

3.3.1 Intraprozedurale Parameter

Zunächst werden die intraprozeduralen Parameter zwischen den Prozeduren mit vollem und ohne vollen Erfolg verglichen (s. Tabelle 3.3.1.a).

Prozeduren mit vollem Erfolg dauerten durchschnittlich $192,4 \pm 63,7$ min und Prozeduren ohne vollen Erfolg dauerten durchschnittlich $195,7 \pm 63,6$ min. Dieser Unterschied war nicht signifikant ($p = 0,733$).

In Prozeduren mit vollem Erfolg erfolgten durchschnittlich $16,11 \pm 12,26$ und in Prozeduren ohne vollen Erfolg erfolgten durchschnittlich $14,38 \pm 9,53$ Radiofrequenzstromimpulse. Dieser Unterschied war nicht signifikant ($p = 0,300$).

Die durchschnittliche Dauer aller Radiofrequenzstromimpulse betrug bei voll erfolgreichen Prozeduren $1681,8 \pm 1163,4$ s und bei nicht voll erfolgreichen Prozeduren $1541,9 \pm 936,1$ s. Dieser Unterschied war nicht signifikant ($p = 0,417$).

Tabelle 3.3.1.a: Intraprozedurale Parameter bei vollem Erfolg

Merkmal	Voller Erfolg		Kein voller Erfolg		p-Wert
	n		n		
Prozedurdauer (min)	88	192,4 ± 63,7	88	195,7 ± 63,6	0,733
Radiofrequenz- stromimpulse					
– Anzahl	87	16,11 ± 12,26	85	14,38 ± 9,53	0,300
– Minimum		3		0	
– Maximum		88		52	
– Dauer (s)	81	1681,8 ± 1163,4	68	1541,9 ± 936,1	0,417
Durchleuchtung					
– Dosis (cGycm ²)	86	3631,1 ± 2897,9	82	4136,1 ± 3001,1	0,269
– Dauer (min)	87	23,19 ± 12,69	87	23,26 ± 13,22	0,971
Maximale durchschnittliche Leistung (W)	81	44,98 ± 16,46	69	42,09 ± 6,68	0,151
Insgesamt applizierte Energie (J)	81	65629,2 ± 49591,2	68	60555,8 ± 43640,8	0,508

Tabelle 3.3.1.a: cGycm² = Zentigray · Quadratzentimeter, J = Joule, n = Anzahl an Prozeduren, s = Sekunde, W = Watt.

Das Dosisflächenprodukt betrug im Durchschnitt 3631,1 ± 2897,9 cGycm² bei voll erfolgreichen Prozeduren und 4136,1 ± 3001,1 cGycm² bei nicht voll erfolgreichen Prozeduren. Dieser Unterschied war nicht signifikant (p = 0,269). Die gesamte Dauer der Durchleuchtung betrug durchschnittlich 23,19 ± 12,69 min bei voll erfolgreichen und 23,26 ± 13,22 min bei nicht voll erfolgreichen Prozeduren und war nicht signifikant unterschiedlich (p = 0,971).

Die maximale durchschnittliche Leistung betrug 44,98 ± 16,46 W bei voll erfolgreichen Ablationsprozeduren und 42,09 ± 6,68 W bei nicht voll erfolgreichen Ablationsprozeduren. Dieser Unterschied war nicht signifikant (p = 0,151).

In voll erfolgreichen Prozeduren betrug die insgesamt applizierte Energie $65629,2 \pm 49591,2$ J und bei nicht erfolgreichen Prozeduren $60555,8 \pm 43640,8$ J und war nicht signifikant unterschiedlich ($p = 0,508$).

Im Folgenden sind die intraprozeduralen Parameter der 88 nicht voll erfolgreichen Prozeduren nochmals unterteilt in Prozeduren mit noch partiellem Erfolg und Prozeduren ohne Erfolg (s. Tabelle 3.3.1.b).

Auch innerhalb der nicht voll erfolgreichen Prozeduren, d. h. zwischen den partiell und den nicht erfolgreichen Prozeduren, zeigte sich kein signifikanter Unterschied der in Tabelle 3.3.1.b genannten Parameter ($p = 0,091$ bis $0,990$).

Die partiell erfolgreichen Prozeduren dauerten im Durchschnitt $193,4 \pm 56,1$ min und sind damit mit der Länge der voll erfolgreichen Prozeduren vergleichbar (vgl. Tabelle 3.3.1.a). Die nicht erfolgreichen Prozeduren dauerten im Durchschnitt $202,1 \pm 82,3$ min und waren etwas länger als die partiell erfolgreichen Prozeduren, dieser Unterschied war jedoch nicht signifikant ($p = 0,641$).

In partiell erfolgreichen Prozeduren waren durchschnittlich $14,39 \pm 7,69$, in nicht erfolgreichen Prozeduren durchschnittlich $14,35 \pm 13,51$ Radiofrequenzstromimpulse durchgeführt worden. Die Anzahl an Radiofrequenzstromimpulsen waren nicht signifikant unterschiedlich ($p = 0,990$).

In partiell erfolgreichen Prozeduren wurden insgesamt durchschnittlich $1492,9 \pm 905,6$ s lang Radiofrequenzstromimpulse abgegeben. In nicht erfolgreichen Prozeduren wurden insgesamt durchschnittlich $1715,1 \pm 1052,0$ s lang abladiert. Dieser Unterschied war nicht signifikant ($p = 0,465$).

Bei nicht erfolgreichen Prozeduren wurde bei der Durchleuchtung durchschnittlich ein höheres Dosisflächenprodukt verabreicht und eine längere Dauer der Durchleuchtung angegeben. Diese Unterschiede waren aber nicht signifikant ($p = 0,251$ und $p = 0,091$). In partiell erfolgreichen Prozeduren wurde durchschnittlich $3830,2 \pm 2344,1$ cGycm² und in nicht erfolgreichen Prozeduren wurde durchschnittlich $4921,0 \pm 4216,5$ cGycm² Dosisflächenprodukt appliziert.

Tabelle 3.3.1.b: Intraprozedurale Parameter bei partiellem Erfolg

Merkmal	Partieller Erfolg		Kein Erfolg		p-Wert
	n		n		
Prozedurdauer (min)	65	193,4 ± 56,1	23	202,1 ± 82,3	0,641
Radiofrequenz- stromimpulse					
– Anzahl	62	14,39 ± 7,69	23	14,35 ± 13,51	0,990
– Minimum		4		0	
– Maximum		52		48	
– Dauer (s)	53	1492,9 ± 905,6	15	1715,1 ± 1052,0	0,465
Durchleuchtung					
– Dosis (cGycm ²)	59	3830,2 ± 2344,1	23	4921,0 ± 4216,5	0,251
– Dauer (min)	64	21,35 ± 10,01	23	28,56 ± 18,76	0,091
Maximale durchschnittliche Leistung (W)	54	42,67 ± 6,35	15	40,00 ± 7,64	0,230
Insgesamt applizierte Energie (J)	53	59541,7 ± 42846,5	15	64138,8 ± 47729,1	0,740

Tabelle 3.3.1.b: Ø = durchschnittlicher Wert, cGycm² = Zentigray · Quadratcentimeter, J = Joule, n = Anzahl an Prozeduren, s = Sekunde, W = Watt.

Bei Prozeduren mit partiellem Erfolg wurde durchschnittlich 21,35 ± 10,01 min durchleuchtet, während bei Prozeduren ohne Erfolg durchschnittlich 28,56 ± 18,76 min durchleuchtet wurde.

Die maximale durchschnittliche Leistung bei der Ablationsprozedur betrug bei partiell erfolgreichen Prozeduren 42,67 ± 6,35 W und bei nicht erfolgreichen Prozeduren 40,00 ± 7,64 W. Die Gruppen unterschieden sich nicht signifikant in Bezug auf die maximale durchschnittliche Leistung (p = 0,230).

In den partiell erfolgreichen Prozeduren war die durchschnittliche insgesamt applizierte Energie 59541,7 ± 42846,5 J und in nicht erfolgreichen Prozeduren 64138,8 ± 47729,1 J.

Auch die durchschnittlich insgesamt applizierte Energie der Prozedur unterschied sich nicht signifikant zwischen partiell und nicht erfolgreichen Prozeduren ($p = 0,740$).

3.3.2 Periprozedurale Parameter

Zunächst ist aufgeführt, wie sich die periprozeduralen Parameter bei Prozeduren mit vollem bzw. ohne vollen Erfolg unterschieden haben.

Tabelle 3.3.2.a: Periprozedurale Parameter bei vollem Erfolg der Prozedur

Merkmal	Voller Erfolg (n = 88)		Kein voller Erfolg (n = 88)		p-Wert
	n		n		
Redo	32	36,4 %	30	34,1 %	0,752
Zugang					
– retrograd	78	88,6 %	77	87,5 %	0,816
– transseptal	9	10,2 %	12	13,6 %	0,485
– epikardial	4	4,5 %	1	1,1 %	0,173
Sinusrhythmus					
– vor Prozedurbeginn	79	89,8 %	79	89,8 %	1,000
– bei Prozedurbeginn	52	59,8 %	53	62,4 %	0,728
Spontane VT vor Prozedur	11	12,5 %	16	18,1 %	0,423
– Durchschnitt		1,00 ± 0,0		1,13 ± 0,5	0,333
– Maximum		1		3	

Tabelle 3.3.2.a: n = Anzahl an Prozeduren, Redo = Folgeeingriff, VT = ventrikuläre Tachykardie.

In 32 (36,4 %) der Prozeduren mit vollem Erfolg und 30 (34,1 %) der Prozeduren ohne vollen Erfolg war eine wiederholte Prozedur (Redo-Prozedur) durchgeführt worden. Dieser Unterschied war nicht signifikant ($p = 0,752$).

In 78 (88,6 %) der Prozeduren mit vollem Erfolg und in 77 (87,5 %) der Prozeduren ohne vollen Erfolg war ein retrograder Zugang, in neun (10,2 %) bzw. zwölf (13,6 %) war ein transseptaler Zugang und in vier (4,5 %) bzw. einer (1,1 %) Prozedur war ein epikardialer Zugang gewählt worden. Keiner dieser Unterschiede war signifikant ($p = 0,173$ bis $0,816$).

Sowohl in den voll erfolgreichen Prozeduren als auch in den nicht voll erfolgreichen Prozeduren lag in je 79 (89,8 %) vor Prozedur ein Sinusrhythmus vor. In 52 (59,8 %) der voll erfolgreichen und in 53 (62,4 %) der nicht voll erfolgreichen Prozeduren lag während des Prozedurbeginns ein Sinusrhythmus vor. Auch das Vorliegen eines Sinusrhythmus vor und bei Beginn war nicht signifikant verschieden in Bezug auf den Erfolg der Prozedur ($p = 0,728$ bis $1,000$).

In elf (12,5 %) Prozeduren mit vollem Erfolg und in 16 (18,1 %) Prozeduren ohne vollen Erfolg traten vor der Prozedur spontane VTs auf. Dieser Unterschied war nicht signifikant ($p = 0,423$). In Prozeduren ohne vollen Erfolg traten durchschnittlich nicht signifikant mehr spontane VTs auf ($p = 0,333$). Der Unterschied ergab sich nur durch einen DCM-Patienten, bei dem drei spontane VTs auftraten und die Prozedur nicht erfolgreich verlief.

Im Folgenden wird die Gruppe ohne vollen Erfolg noch differenzierter betrachtet und unterteilt in Prozeduren mit zumindest noch partiellem Erfolg und solche ohne Erfolg.

In 56 (86,2 %) der Prozeduren mit partiellem Erfolg und in 21 (91,3 %) der Prozeduren ohne Erfolg war ein retrograder Zugang, in zehn (15,4 %) bzw. zwei (8,7 %) war ein transseptaler Zugang gewählt worden. In einer (1,5 %) partiell erfolgreichen und in keiner nicht erfolgreichen Prozedur war ein epikardialer Zugang gewählt worden. Keiner dieser Unterschiede war signifikant ($p = 0,422$ bis $0,550$).

In 22 (33,8 %) der Prozeduren mit partiellem Erfolg und acht (34,8 %) der Prozeduren ohne Erfolg war eine Redo-Prozedur durchgeführt worden. Dieser Unterschied war nicht signifikant ($p = 0,935$).

Tabelle 3.3.2.b: Periprozedurale Parameter bei partiellem Erfolg der Prozedur

Merkmal	Partieller Erfolg (n = 65)		Kein Erfolg (n = 23)		p-Wert
	n		n		
Redo	22	33,8 %	8	34,8 %	0,935
Zugang					
– retrograd	56	86,2 %	21	91,3 %	0,521
– transseptal	10	15,4 %	2	8,7 %	0,422
– epikardial	1	1,5 %	0	0,0 %	0,550
Sinusrhythmus					
– vor Prozedurbeginn	57	87,7 %	22	95,7 %	0,279
– bei Prozedurbeginn	39	60,9 %	14	60,9 %	0,638
Spontane VT vor Prozedur	11	16,9 %	5	21,7 %	0,243
– Durchschnitt		1 ± 0		1,4 ± 0,89	0,374
– Maximum		1		3	

Tabelle 3.3.2.b: n = Anzahl an Prozeduren, Redo = Folgeeingriff, VT = ventrikuläre Tachykardie.

Bei partiell erfolgreichen Prozeduren lag in 57 (87,7 %) Fällen und bei nicht erfolgreichen Prozeduren in 22 (95,7 %) vor Beginn der Prozedur ein Sinusrhythmus vor. In 39 (60,9 %) der partiell erfolgreichen und in 14 (60,9 %) der nicht erfolgreichen Prozeduren lag während des Prozedurbeginns ein Sinusrhythmus vor. Keiner dieser Unterschiede war signifikant (p = 0,279 bis 0,638).

In elf (16,9 %) Prozeduren mit partiellem Erfolg und in fünf (21,7 %) Prozeduren ohne Erfolg traten vor der Prozedur spontane VTs auf. Dieser Unterschied war nicht signifikant (p = 0,243). In Prozeduren ohne Erfolg traten durchschnittlich nicht signifikant mehr spontane VTs auf (p = 0,374).

3.3.3 Mappingverfahren

Zunächst werden im Folgenden die Prozeduren in voll erfolgreiche und nicht voll erfolgreiche Prozeduren unterteilt und verschiedenen Mapping-Parametern gegenübergestellt.

Tabelle 3.3.3.a: Mapping bei Prozeduren mit und ohne vollen Erfolg

Merkmal	Voller Erfolg (n = 88)		Kein voller Erfolg (n = 88)		p-Wert
	n		n		
Mappingssystem					
– Carto [®]	67	76,1 %	58	65,9 %	0,135
– NavX [™]	10	11,4 %	13	14,8 %	0,502
Mapping					
– Entrainment-Mapping	50	57,5 %	42	50,6 %	0,369
– Pace-Mapping	64	75,3 %	62	74,7 %	0,929
VT-Ursprung					
– LV	82	93,2 %	80	90,9 %	0,577
– RV	6	6,8 %	9	10,2 %	0,418
– AK	0	0,0 %	1	1,1 %	0,316
– GCV	0	0,0 %	0	0,0 %	-
Mechanismus					
– reentry	79	91,9 %	79	89,8 %	0,634
– fokal	4	4,7 %	7	8,1 %	0,350
– faszikulär	2	2,3 %	2	2,3 %	0,991

Tabelle 3.3.3.a: AK = Aortenklappentasche, GCV = Great cardiac vein = große Herzkvene (Vena cardiaca magna), LV = linker Ventrikel, n = Anzahl an Prozeduren, RV = rechter Ventrikel, VT = ventrikuläre Tachykardie.

In 67 (76,1 %) der Prozeduren mit vollem Erfolg und in 58 (65,9 %) der Prozeduren ohne vollen Erfolg war das Mappingssystem Carto[®] und in zehn (11,4 %) bzw. 13 (14,8 %) war das

Mappingsystem NavX™ eingesetzt worden. Die Wahl des Mappingsystems unterschied sich zwischen vollen und nicht voll erfolgreichen Prozeduren nicht signifikant ($p = 0,135$ und $0,502$).

In 50 (57,5 %) Prozeduren mit vollem Erfolg und in 42 (50,6 %) Prozeduren ohne vollen Erfolg kam das Entrainment-Mapping zum Einsatz. Dieser Unterschied war nicht signifikant ($p = 0,369$). In etwa gleich vielen Prozeduren mit vollem Erfolg (64 bzw. 75,3 %) und ohne vollen Erfolg (62 bzw. 74,7 %) kam Pace-Mapping zum Einsatz.

In den meisten Fällen kam die VT aus dem LV. In 82 (93,2 %) Prozeduren mit vollem Erfolg und in 80 (90,9 %) Prozeduren ohne vollen Erfolg war der LV der Ursprung der VT. In sechs (6,8 %) voll erfolgreichen und in neun (10,2 %) nicht voll erfolgreichen Prozeduren kam die VT aus dem RV. In einer (1,1 %) nicht voll erfolgreichen Prozedur kam die VT aus einer AK. In keiner Prozedur kam die VT aus der GCV. Keiner dieser Unterschiede war signifikant ($p = 0,316$ bis $0,577$).

In 79 (91,9 %) der voll erfolgreichen und in 79 (89,8 %) der nicht voll erfolgreichen Prozeduren lag mindestens einer der VTs ein Reentry-Mechanismus zugrunde. In 4 (4,7 %) voll erfolgreichen und sieben (8,1 %) nicht voll erfolgreichen Prozeduren lag mindestens einer der VTs ein fokaler Mechanismus und in je zwei (2,3 %) Prozeduren lag mindestens einer der VTs ein faszikulärer Mechanismus zugrunde. Keiner dieser Unterschiede war signifikant ($p = 0,350$ bis $0,991$).

Im Folgenden werden die oben aufgeführten Mappingparameter daraufhin untersucht, ob zumindest noch ein partieller Erfolg erzielt werden konnte.

In 43 (66,2 %) der Prozeduren mit partiellem Erfolg und in 15 (65,2 %) der Prozeduren ohne Erfolg war das Mappingsystem Carto® und in zehn (15,4 %) bzw. drei (13,0 %) war das Mappingsystem NavX™ eingesetzt worden. Diese Unterschiede waren nicht signifikant ($p = 0,935$ und $0,786$).

In 33 (50,8 %) Prozeduren mit partiellem Erfolg und in neun (50,0 %) Prozeduren ohne Erfolg kam das Entrainment-Mapping zum Einsatz. In 47 (75,8 %) partiell erfolgreichen

Prozeduren und in 15 (71,4 %) nicht erfolgreichen Prozeduren war das Pace-Mapping verwendet worden.

Tabelle 3.3.3.b: Mapping bei Prozeduren mit und ohne partiellen Erfolg

Merkmal	Partieller Erfolg (n = 65)		Kein Erfolg (n = 23)		p-Wert
	n		n		
Mappingsystem					
– Carto [®]	43	66,2 %	15	65,2 %	0,935
– NavX [™]	10	15,4 %	3	13,0 %	0,786
Mapping					
– Entrainment-Mapping	33	50,8 %	9	50,0 %	0,954
– Pace-Mapping	47	75,8 %	15	71,4 %	0,690
VT-Ursprung					
– LV	61	93,8 %	19	82,6 %	0,107
– RV	5	7,7 %	4	17,4 %	0,187
– AK	1	1,5 %	0	0,0 %	0,550
– GCV	0	0,0 %	0	0,0 %	-
Mechanismus					
– reentry	61	93,8 %	18	78,3 %	0,034
– fokal	4	6,3 %	3	13,0 %	0,315
– faszikulär	1	1,5 %	1	4,3 %	0,437

Tabelle 3.3.3.b: AK = Aortenklappentasche, GCV = Great cardiac vein = große Herzwene (Vena cardiaca magna), LV = linker Ventrikel, n = Anzahl an Prozeduren, RV = rechter Ventrikel, VT = ventrikuläre Tachykardie.

Die Unterschiede in Bezug auf den anatomischen Ursprung waren nicht signifikant ($p = 0,107$ bis $0,550$). Bei den partiell erfolgreichen Prozeduren kam die VT in 61 (93,8 %) Fällen und bei den nicht erfolgreichen Prozeduren in 19 (82,6 %) aus dem LV. In fünf (7,7 %) partiell erfolgreichen und in vier (17,4 %) nicht erfolgreichen Prozeduren kam die VT aus dem RV.

In einer (1,5 %) partiell erfolgreichen Prozedur kam die VT aus einer AK, in keinem Fall war dies bei einer nicht erfolgreichen Prozedur der Fall. In keiner Prozedur kam die VT aus der GCV.

Bei partiell erfolgreichen Prozeduren traten signifikant häufiger VTs mit einem Reentry-Pathomechanismus auf als bei den nicht erfolgreichen Prozeduren ($p = 0,034$). In 61 (93,8 %) der partiell erfolgreichen Prozeduren und in 18 (78,3 %) der nicht erfolgreichen Prozeduren lag ein Reentry-Mechanismus der VT vor. In vier (6,3 %) der Prozeduren mit partiellem Erfolg und in drei (13,0 %) der Prozeduren ohne Erfolg lag ein fokaler Mechanismus vor. Dieser Unterschied war nicht signifikant ($p = 0,315$). In je einer Prozedur mit partiellem Erfolg (1,5 %) und einer ohne Erfolg (4,3 %) trat eine VT mit faszikulärer Beteiligung auf. Dieser Unterschied war nicht signifikant ($p = 0,437$).

3.3.4 Induktionsversuch

In fast allen voll erfolgreichen (84 bzw. 96,6 %) und nicht voll erfolgreichen (85 bzw. 97,7 %) Prozeduren war ein Induktionsversuch durchgeführt worden.

Tabelle 3.3.4.a: Induktionsversuch bei voll erfolgreicher Ablation

Merkmal	Voller Erfolg (n = 88)		Kein voller Erfolg (n = 88)		p-Wert
	n		n		
Induktionsversuch	84	96,6 %	85	97,7 %	0,650
– Anzahl induzierter VTs		1,88 ± 1,08		2,67 ± 1,18	< 0,001
– Maximum		5		7	
– Klinische VT induzierbar	63	95,5 %	68	93,2 %	0,560

Tabelle 3.3.4.a: n = Anzahl an Prozeduren, VT = ventrikuläre Tachykardie.

Bei voll erfolgreichen Prozeduren waren signifikant weniger VTs induzierbar als bei nicht voll erfolgreichen Prozeduren ($p < 0,001$). Bei voll erfolgreichen Prozeduren sind durchschnittlich $1,88 \pm 1,08$ und maximal fünf VTs induzierbar gewesen. Bei nicht voll

erfolgreichen Prozeduren waren durchschnittlich $2,67 \pm 1,18$ und maximal sieben VTs induzierbar gewesen.

Die klinisch relevante VT war in 63 (95,5 %) der voll erfolgreichen und in 68 (93,2 %) der nicht voll erfolgreichen Prozeduren induzierbar.

Die Differenzierung der Gruppe der nicht voll erfolgreichen Prozeduren ergab folgendes Bild (s. Tabelle 3.3.4.b).

Tabelle 3.3.4.b: Induktionsversuch bei partiell erfolgreicher Ablation

Merkmal	Partieller Erfolg (n = 65)		Kein Erfolg (n = 23)		p-Wert
	n		n		
Induktionsversuch	62	96,9 %	23	100,0 %	0,391
– Anzahl induzierter VTs		$2,70 \pm 1,15$		$2,61 \pm 1,27$	0,765
– Maximum		7		5	
– Klinische VT induzierbar	49	96,1 %	19	86,4 %	0,132

Tabelle 3.3.4.b: n = Anzahl an Prozeduren, VT = ventrikuläre Tachykardie.

In 62 partiell erfolgreichen (96,9 %) und in allen 23 (100 %) nicht erfolgreichen Prozeduren war ein Induktionsversuch durchgeführt worden. Im Gegensatz zu den voll sowie nicht voll erfolgreichen Prozeduren, unterschied sich die durchschnittliche Anzahl induzierbarer VTs nicht signifikant zwischen den noch partiell erfolgreichen und den nicht erfolgreichen Prozeduren ($p = 0,765$). Bei partiell erfolgreichen Prozeduren sind durchschnittlich $2,70 \pm 1,15$ und maximal sieben VTs induzierbar gewesen. Bei nicht erfolgreichen Prozeduren waren durchschnittlich $2,61 \pm 1,27$ und maximal fünf VTs induzierbar gewesen.

In 49 (96,1 %) der partiell erfolgreichen und in 19 (86,4 %) der nicht erfolgreichen Prozeduren war die klinisch relevante VT induzierbar gewesen. Auch dieser Unterschied war nicht signifikant ($p = 0,132$).

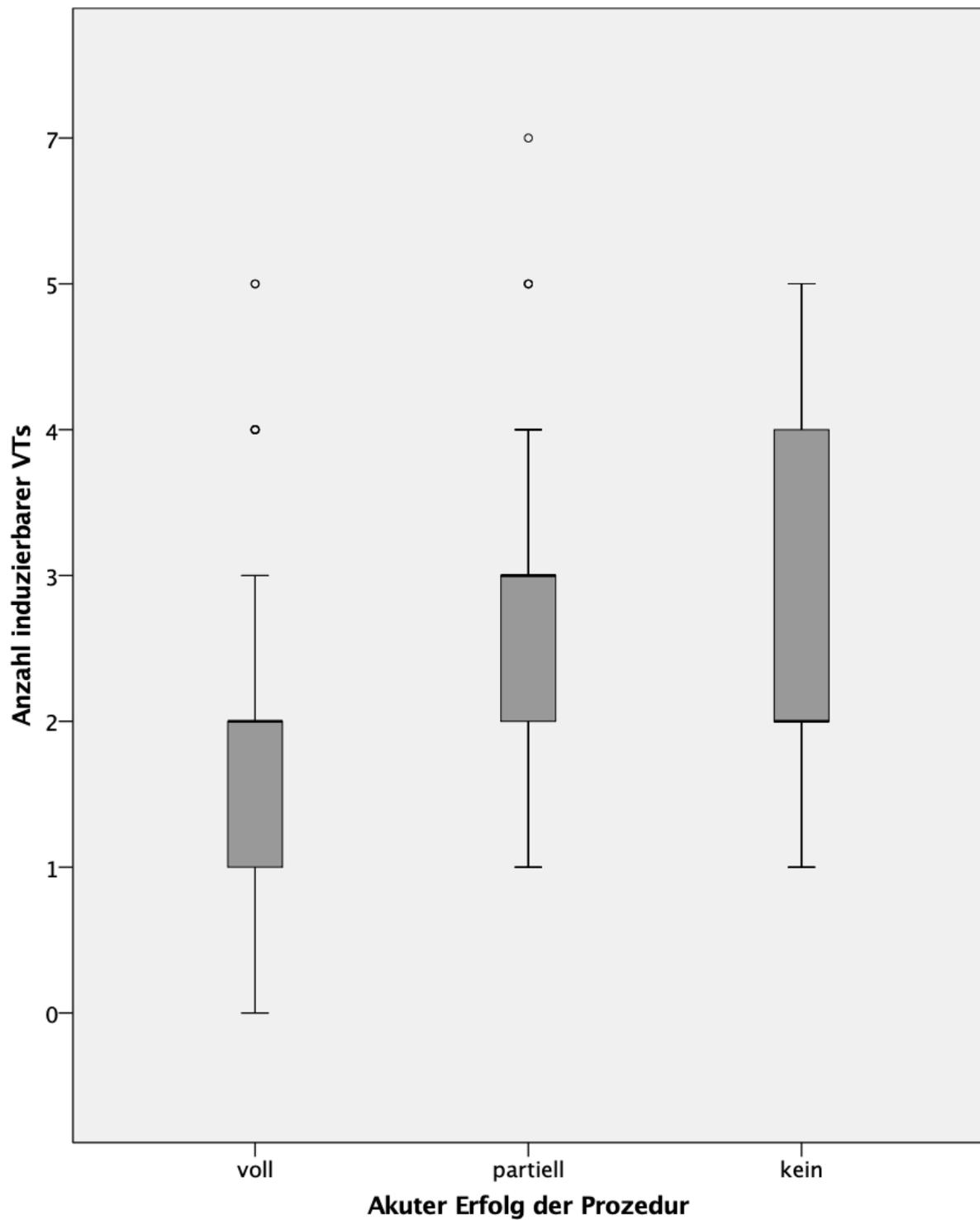
Abbildung 3.3.4: Anzahl induzierbarer VTs in Abhängigkeit vom Prozedurerfolg

Abb. 3.3.4: Boxplot der Anzahl an induzierbaren VTs im Induktionsversuch. Box: unteres und oberes Quartil, Whiskers (Antennen): 1,5x Box. Dicker Strich: Median. Kreise: einzelne Werte.

Wie in Abbildung 3.3.4 ersichtlich ist die Anzahl an induzierbaren VTs im Induktionsversuch tendenziell geringer bei voll erfolgreichen Prozeduren gegenüber partiell und nicht erfolgreichen Prozeduren. In der Hälfte aller voll erfolgreichen Prozeduren waren nur ein bis zwei VTs induzierbar ($1,88 \pm 1,08$). In der Hälfte der partiell erfolgreichen Prozeduren waren dagegen zwei bis drei ($2,70 \pm 1,15$) und in der Hälfte der nicht erfolgreichen Prozeduren zwei bis vier ($2,61 \pm 1,27$) VTs induzierbar.

3.3.5 Morphologie der ventrikulären Tachykardie

Keiner der in Tabelle 3.3.5.a genannten morphologischen Eigenschaften der behandelten VTs unterschied sich signifikant zwischen Prozeduren mit vollem oder ohne vollen Erfolg ($p = 0,244$ bis $0,981$).

Die durchschnittliche Zykluslänge der zuerst behandelten VT-1 betrug in voll erfolgreichen Prozeduren $441,64 \pm 114,38$ ms und in nicht voll erfolgreichen Prozeduren $430,79 \pm 109,62$ ms.

Sowohl in den voll erfolgreichen (41 bzw. 77,4 %) als auch in den nicht voll erfolgreichen (38 bzw. 73,1 %) Prozeduren handelte es sich bei der VT-1 meist um eine VT vom RSB-Typ. In neun (17,0 %) der voll erfolgreichen und in elf (21,2 %) der nicht voll erfolgreichen Prozeduren handelte es sich um eine VT vom LSB-Typ. In drei (5,7 %) der voll erfolgreichen und in drei (5,8 %) der nicht voll erfolgreichen Prozeduren handelte es sich um eine negativ konkordante Morphologie der VT.

Die durchschnittliche Zykluslänge der als zweites behandelten VT-2 betrug in voll erfolgreichen Prozeduren $435,56 \pm 104,62$ ms und in nicht voll erfolgreichen Prozeduren $404,91 \pm 127,06$ ms. In den voll erfolgreichen (15 bzw. 71,4 %) wie auch in den nicht voll erfolgreichen (13 bzw. 54,2 %) Prozeduren handelte es sich bei der VT-2 meist um eine VT vom RSB-Typ. In vier (19,0 %) der voll erfolgreichen und in sechs (25,0 %) der nicht voll erfolgreichen Prozeduren lag bei der VT-2 eine VT vom LSB-Typ vor. In zwei (9,5 %) voll erfolgreichen und in fünf (20,8 %) nicht voll erfolgreichen Prozeduren handelte es sich um eine negativ konkordante Morphologie der VT.

Tabelle 3.3.5.a: Morphologie der behandelten VT bei vollem Erfolg der Prozedur

Merkmal	Voller Erfolg		Kein voller Erfolg		p-Wert
	n		n		
VT-1					
– Zykluslänge (ms)	74	441,64 ± 114,38	75	430,79 ± 109,62	0,555
– Morphologie					
– LSB-Typ	9	17,0 %	11	21,2 %	0,586
– RSB-Typ	41	77,4 %	38	73,1 %	0,863
– neg. konkordant	3	5,7 %	3	5,8 %	0,981
VT-2					
– Zykluslänge (ms)	34	435,56 ± 104,62	45	404,91 ± 127,06	0,244
– Morphologie					
– LSB	4	19,0 %	6	25,0 %	0,515
– RSB	15	71,4 %	13	54,2 %	0,680
– neg. konkordant	2	9,5 %	5	20,8 %	0,247
VT-3					
– Zykluslänge (ms)	5	438,40 ± 72,47	16	414,13 ± 82,40	0,546

Tabelle 3.3.5.a: VT-1 ist die zuerst behandelte VT, VT-2 die als zweites behandelte VT und VT-3 die als drittes behandelte VT. n = Anzahl an Prozeduren, LSB = Linksschenkelblock-Typ, ms = Millisekunde, neg. = negativ, RSB = Rechtsschenkelblock-Typ, VT = ventrikuläre Tachykardie.

Sofern in der Prozedur eine dritte VT behandelt worden war, war die Zykluslänge der VT festgehalten worden. Bei voll erfolgreichen Prozeduren betrug die durchschnittliche Zykluslänge der VT-3 438,40 ± 72,47 ms und bei den nicht voll erfolgreichen Prozeduren 414,13 ± 82,40 ms.

Auch innerhalb der Gruppe der nicht voll erfolgreichen Prozeduren, d. h. zwischen partiellem und keinem Erfolg, war keiner der in Tabelle 3.3.5.b genannten morphologischen Eigenschaften der behandelten VTs signifikant unterschiedlich (p = 0,083 bis 0,995).

Die durchschnittliche Zykluslänge der zuerst behandelten VT-1 betrug in partiell erfolgreichen Prozeduren $443,56 \pm 111,11$ ms und in nicht erfolgreichen Prozeduren $395,65 \pm 99,71$ ms.

Tabelle 3.3.5.b: Morphologie der behandelten VT bei partiellem Erfolg der Prozedur

Merkmal	Partieller Erfolg		Kein Erfolg		p-Wert
	n		n		
VT-1					
– Zykluslänge (ms)	55	$443,56 \pm 111,11$	20	$395,65 \pm 99,71$	0,083
– Morphologie					
– LSB-Typ	9	23,1 %	2	15,4 %	0,556
– RSB-Typ	28	71,8 %	10	76,9 %	0,718
– neg. konkordant	2	5,1 %	1	7,7 %	0,731
VT-2					
– Zykluslänge (ms)	33	$400,36 \pm 129,10$	12	$417,42 \pm 125,94$	0,694
– Morphologie					
– LSB	6	30,0 %	0	0,0 %	0,131
– RSB	10	50,0 %	3	75,0 %	0,786
– neg. konkordant	4	20,0 %	1	25,0 %	0,748
VT-3					
– Zykluslänge (ms)	10	$414,00 \pm 52,96$	6	$414,33 \pm 123,78$	0,995

Tabelle 3.3.5.b: VT-1 ist die zuerst behandelte VT, VT-2 die als zweites behandelte VT und VT-3 die als drittes behandelte VT. n = Anzahl an Prozeduren, LSB = Linksschenkelblock-Typ, ms = Millisekunde, neg. = negativ, RSB = Rechtsschenkelblock-Typ, VT = ventrikuläre Tachykardie.

In 28 (71,8 %) der partiell erfolgreichen und in zehn (76,9 %) der nicht erfolgreichen Prozeduren handelte es sich um eine Morphologie der VT-1 vom RSB-Typ. In neun (23,1 %) der partiell erfolgreichen und in zwei (15,4 %) der nicht erfolgreichen Prozeduren handelte es sich um eine VT vom LSB-Typ. In zwei (5,1 %) der partiell erfolgreichen und in einer (5,8

%) der nicht erfolgreichen Prozeduren handelte es sich um eine negativ konkordante Morphologie der VT.

Die durchschnittliche Zykluslänge der als zweites behandelten VT-2 betrug in partiell erfolgreichen Prozeduren $400,36 \pm 129,10$ ms und in nicht erfolgreichen Prozeduren $417,42 \pm 125,94$ ms. In zehn (50,0 %) der partiell erfolgreichen und in drei (75,0 %) der nicht erfolgreichen VTs handelte es sich bei der VT-2 um eine Morphologie vom RSB-Typ. In sechs (30,0 %) der partiell erfolgreichen und in keiner der nicht erfolgreichen Prozeduren handelte es sich bei der VT-2 um eine VT vom LSB-Typ. In vier (20,0 %) der partiell erfolgreichen und in einer (25,0 %) der nicht erfolgreichen Prozeduren wies die behandelte VT-2 eine negativ konkordante Morphologie auf.

Ließ sich bei der Prozedur eine VT-3 induzieren, war die durchschnittliche Zykluslänge der VT bei partiell erfolgreichen ($414,00 \pm 52,96$ ms) und bei nicht erfolgreichen ($414,33 \pm 123,78$ ms) Prozeduren nahezu identisch.

3.3.6 Ablationsparameter der einzelnen VTs

Bei den 185 Prozeduren an DCM- und ICM-Patienten wurden 288 VTs behandelt. Davon wurden 150 VTs in voll erfolgreichen und 133 VTs in nicht voll erfolgreichen Prozeduren behandelt.

In voll erfolgreichen Prozeduren waren im Durchschnitt $1,70 \pm 0,91$ VTs behandelt worden, während in nicht voll erfolgreichen VTs im Durchschnitt $1,53 \pm 0,87$ VTs behandelt worden sind. Dieser Unterschied war nicht signifikant ($p = 0,195$).

Eine epikardiale Ablation hatte keinen signifikanten Einfluss auf den vollen Erfolg der Prozedur ($p = 0,306$). Drei der sechs Prozeduren mit epikardialer Ablation verliefen voll erfolgreich, während eine der sechs Prozeduren nicht voll erfolgreich verlief. Allerdings gehörten zwei der sechs Prozeduren mit epikardialer Ablation zu den wenigen Prozeduren, bei denen der Erfolg der Prozedur nicht mehr ermittelt werden konnte.

Tabelle 3.3.6.a: Ablationsparameter bei vollem Erfolg der Prozedur

Merkmal	Voller Erfolg		Kein voller Erfolg		p-Wert
	n		n		
Behandelte VTs	150	1,70 ± 0,91	133	1,53 ± 0,87	0,195
Epikardiale Ablation	3*	3,5 %	1*	1,1 %	0,306
Ablation von VT-1					
– VT terminiert	56	77,8 %	43	72,9 %	0,516
– Entrainment-Mapping	44	51,2 %	39	47,0 %	0,587
– PPI (ms)	14	10,07 ± 10,96	8	15,63 ± 27,96	0,604
– Pacemap-Qualität					
– perfekt	48	84,2 %	40	76,9 %	0,445
Ablation von VT-2					
– VT terminiert	26	89,7 %	21	77,8 %	0,227
– Entrainment-Mapping	21	46,7 %	20	51,3 %	0,673
Pacemap-Qualität					
– perfekt	14	63,6 %	13	59,1 %	0,757

Tabelle 3.3.6.a: VT-1 ist die zuerst behandelte VT und VT-2 die als zweites behandelte VT. n = Anzahl an VTs bis auf * = Anzahl an Prozeduren. PPI = Postpacing-Intervall, VT = ventrikuläre Tachykardie.

Bei der Ablation der VT-1 terminierte die VT in 56 (77,8 %) der voll erfolgreichen und in 43 (72,9 %) nicht voll erfolgreichen Prozeduren. Bei voll erfolgreichen Prozeduren war in 44 (51,2 %), bei nicht voll erfolgreichen Prozeduren war in 39 (47,0 %) Fällen das Entrainment-Mapping bei der Ablation der VT-1 zum Einsatz gekommen. Insofern das PPI bei Ablation dokumentiert war, betrug diese bei voll erfolgreichen Prozeduren $10,07 \pm 10,96$ ms und bei nicht voll erfolgreichen Prozeduren $15,63 \pm 27,96$ ms. Dieser Unterschied war nicht signifikant ($p = 0,604$). Die Pacemap-Qualität bei der Ablation der VT-1 war in 48 (84,2 %) der voll erfolgreichen und in 40 (76,9 %) der nicht voll erfolgreichen Prozeduren perfekt.

War in der Prozedur eine VT-2 abladiert worden, terminierte diese in 26 (89,7 %) der voll erfolgreichen Prozeduren und in 21 (77,8 %) der nicht voll erfolgreichen Prozeduren. Bei der Ablation der VT-2 war in 21 (46,7 %) Prozeduren mit vollem Erfolg und in 20 (51,3 %) Prozeduren ohne vollen Erfolg Entrainment-Mapping verwendet worden. In voll erfolgreichen Prozeduren war die Pacemap-Qualität bei Ablation der VT-2 bei 14 (63,6 %) perfekt und in nicht voll erfolgreichen Prozeduren war die Pacemap-Qualität der VT-2 in 13 (59,1 %) Prozeduren perfekt. Dieser Unterschied war nicht signifikant ($p = 0,757$).

In der Differenzierung zwischen voll und nicht voll erfolgreicher Prozedur war keiner der in Tabelle 3.3.6.a aufgelisteten Ablationsparameter signifikant unterschiedlich. In der Untergruppierung der nicht voll erfolgreichen Prozeduren, zwischen partiell und nicht erfolgreichen Prozeduren, war dies anders.

Bei den 88 Prozeduren an DCM- und ICM-Patienten, die nicht voll erfolgreich waren, wurden 133 VTs behandelt. Davon wurden 106 VTs in noch partiell erfolgreichen und 27 VTs in nicht erfolgreichen Prozeduren behandelt. In partiell erfolgreichen Prozeduren waren im Durchschnitt $1,66 \pm 0,80$ VTs behandelt worden, während in nicht erfolgreichen Prozeduren im Durchschnitt nur $1,17 \pm 0,98$ VTs behandelt worden sind. Dieser Unterschied war signifikant ($p = 0,042$).

Bei einer (1,6 %) partiell erfolgreichen Prozedur war eine epikardiale Ablation durchgeführt worden. Bei keiner nicht erfolgreichen Prozedur war epikardial abladiert worden.

Die Ablation der zuerst behandelten VT-1 führte in 37 (78,7 %) Prozeduren zu einer Terminierung der VT-1. Dies entsprach in etwa dem Ergebnis der voll erfolgreichen Prozeduren (vgl. Tabelle 3.3.5.a). In sechs (50,0 %) nicht erfolgreichen Prozeduren führte die Ablation der VT-1 zu einer Terminierung der VT-1. Dies war signifikant geringer als in den partiell erfolgreichen Prozeduren ($p = 0,046$).

In 30 (46,2 %) partiell erfolgreichen und in neun (50,0 %) nicht erfolgreichen Prozeduren war ein Entrainment-Mapping durchgeführt worden. Dieser Unterschied war nicht signifikant ($p = 0,084$). Das PPI betrug bei partiell erfolgreichen Prozeduren im Durchschnitt $6,43 \pm 11,07$ ms. Bei nicht erfolgreichen Prozeduren war nur bei einer Prozedur das PPI dokumentiert und betrug 80 ms.

Tabelle 3.3.6.b: Ablationsparameter bei partiellem Erfolg der Prozedur

Merkmal	Partieller Erfolg		Kein Erfolg		p-Wert
	n		n		
Behandelte VTs	106	1,66 ± 0,80	27	1,17 ± 0,98	0,042
Epikardiale Ablation	1*	1,6 %	0*		0,547
Ablation von VT-1					
– VT terminiert	37	78,7 %	6	50,0 %	0,046
– Entrainment-Mapping	30	46,2 %	9	50,0 %	0,084
– PPI (ms)	7	6,43 ± 11,07	1	80,00	-
– Pacemap-Qualität					
– perfekt	33	84,6 %	7	53,8 %	0,023
Ablation von VT-2					
– VT terminiert	19	82,6 %	2	50,0 %	0,148
– Entrainment-Mapping	17	54,8 %	3	37,5 %	0,382
– Pacemap-Qualität					
– perfekt	10	58,8 %	3	60,0 %	0,962

Tabelle 3.3.6.b: VT-1 ist die zuerst behandelte VT und VT-2 die als zweites behandelte VT. n = Anzahl an VTs bis auf * = Anzahl an Prozeduren. Ø = durchschnittlicher Wert, PPI = Postpacing-Intervall, VT = ventrikuläre Tachykardie.

Im Gegensatz zu der Gegenüberstellung von voll erfolgreichen und nicht voll erfolgreichen Prozeduren, zeigten sich bei der Pacemap-Qualität deutliche Unterschiede zwischen den partiell und den nicht erfolgreichen Prozeduren. In 33 (84,6 %) Prozeduren mit partiellem Erfolg zeigte sich eine perfekte Qualität des Pace-Mapping bei der Ablation der VT-1. Dies entsprach ziemlich genau dem Anteil an perfekten Pace-Mapping bei der Ablation der VT-1 bei den Prozeduren mit vollem Erfolg (vgl. Tabelle 3.3.6.a). Dagegen zeigte sich nur in sieben (53,8 %) nicht erfolgreichen Prozeduren eine perfekte Pacemap-Qualität bei Ablation der VT-1. Dies war signifikant geringer als bei partiell erfolgreichen Prozeduren ($p = 0,023$).

Eine etwaige VT-2 terminierte in 19 (82,6 %) partiell erfolgreichen Prozeduren und in zwei (50,0 %) nicht erfolgreichen Prozeduren. Dieser Unterschied war nicht signifikant ($p = 0,148$).

In 17 (54,8 %) partiell und in drei (37,5 %) nicht erfolgreichen Prozeduren war ein Entrainment-Mapping für die Behandlung der VT-2 verwendet worden. Dieser Unterschied war nicht signifikant ($p = 0,382$). Bei zehn (58,8 %) Prozeduren war bei der Behandlung einer VT-2 bei partiell erfolgreichen und in drei (60,0 %) bei nicht erfolgreichen Prozeduren eine perfekte Pacemap-Qualität erzielt worden.

3.3.7 Prädiktoren für eine voll erfolgreiche Ablationsprozedur

Für sechs Parameter (ICM oder DCM, Alter, Implantation eines ICD, wiederholte Prozedur, klinische VT im Induktionsversuch induzierbar, die Anzahl an induzierbaren VTs im Induktionsversuch) erfolgte eine Analyse des Einflusses auf den akuten Erfolg der Ablationsprozedur. Hierfür erfolgte eine binäre logistische Regression mit der abhängigen Variable „voller Erfolg der Prozedur“ (s. Tabelle 3.3.7.a). Als voll erfolgreich war eine Prozedur gewertet worden, wenn am Ende der Prozedur keine VT mehr induzierbar war.

Das Vorliegen einer ICM stellte keinen signifikanten positiven Prädiktor für eine voll erfolgreiche Ablationsprozedur dar ($p = 0,265$). Auch das Alter des Patienten zum Prozedurzeitpunkt war kein signifikanter Prädiktor für einen vollen Prozedurerfolg ($p = 0,827$).

Ebenso stellte die Implantation eines ICD zum Zeitpunkt der Prozedur keinen signifikanten Prädiktor für den akuten Erfolg der Prozedur dar ($p = 0,257$). War die Patientin oder der Patient zum wiederholten Male ablatiert worden, hatte dies keinen signifikanten Einfluss auf den vollen Erfolg der Prozedur ($p = 0,307$). Auch die Induzierbarkeit der klinischen VT im Induktionsversuch stellte keinen positiven Prädiktor für eine voll erfolgreiche Prozedur dar ($p = 0,507$).

Eine hohe Anzahl induzierbarer VTs im Induktionsversuch war ein negativer Prädiktor für den vollen Erfolg der Ablationsprozedur. Waren im Induktionsversuch zwei VTs induzierbar, betrug die Odds Ratio 0,23 (95 %-KI; 0,09 – 0,60). Sind zwei VTs im Induktionsversuch

induzierbar, so verringert sich die relative Wahrscheinlichkeit für eine voll erfolgreiche Ablationsprozedur um 77 % (95 %-KI; 91 – 40 %). Dieses Ergebnis war signifikant ($p = 0,003$).

Tabelle 3.3.7.a: Prädiktoren für eine voll erfolgreiche Ablationsprozedur

Variable	OR \pm SD	95 %-KI		p-Wert
ICM	1,75 \pm 0,88	0,65	4,68	0,265
Alter	1,01 \pm 0,02	0,96	1,05	0,827
ICD	0,56 \pm 0,28	0,21	1,52	0,257
Redo	1,48 \pm 0,57	0,70	3,13	0,307
Klinische VT induzierbar	1,77 \pm 1,53	0,33	9,59	0,507
Anzahl induzierbarer VTs				
– 2	0,23 \pm 0,11	0,09	0,60	0,003
– 3	0,18 \pm 0,11	0,05	0,61	0,006
– ≥ 4	0,08 \pm 0,05	0,02	0,24	< 0,001

Tabelle 3.3.7.a: Binäre logistische Regression mit der abhängigen Variable „voller Erfolg“. In die logistische Regression wurden 139 Prozeduren aufgenommen. Wegen einzelner fehlender Angaben sind 46 (24,9 %) der 185 Prozeduren nicht in das Modell aufgenommen worden. ICD = implantierbarer Kardioverter-Defibrillator, ICM = ischämische Kardiomyopathie, KI = Konfidenzintervall, SD = robuste Standardabweichung, Redo = Folgeeingriff, VT = ventrikuläre Tachykardie. OR = Odds Ratio = Chancenverhältnis: Nimmt die Einheit der Variable um eins zu, steigt die Wahrscheinlichkeit für eine voll erfolgreiche Prozedur, wenn das Chancenverhältnis >1 ist und fällt die Wahrscheinlichkeit für eine voll erfolgreiche Prozedur, wenn das Chancenverhältnis <1 ist.

Bei drei induzierbaren VTs betrug die Odds Ratio 0,18 (95 %-KI; 0,05 – 0,61) und die relative Wahrscheinlichkeit für eine voll erfolgreichen Prozedur sinkt damit um 82 % (95 %-KI; 95 – 39 %). Auch dieses Ergebnis war signifikant ($p = 0,006$). Bei vier oder mehr induzierbaren VTs war die Odds Ratio mit 0,08 (95 %-KI; 0,02 – 0,24) noch geringer. Bei vier oder mehr induzierbaren VTs fällt die relative Wahrscheinlichkeit für eine voll erfolgreiche Prozedur um 92 % (95 %-KI; 98 – 76 %). Dieses Ergebnis war signifikant ($p < 0,001$)

4 Diskussion

4.1 Basischarakteristika im Vergleich zu ähnlichen Studien

In den Basischarakteristika der Patienten dieser Untersuchung zeigten sich in Bezug auf die Komorbiditäten signifikante Unterschiede bei aHT, KHK und VHF zwischen den DCM- und ICM-Patienten. Dass eine aHT und eine KHK signifikant häufiger in der ICM-Gruppe war, ist dadurch zu erklären, dass definitionsgemäß eine DCM nur vorliegt, wenn die Dilatation des Ventrikels nur teilweise durch eine KHK oder aHT erklärt werden kann (Elliott et al., 2008).

Der Anteil an ICM-Patienten mit VHF war mit 34,0 % mit anderen Studien (Sapp et al., 2016; W. G. Stevenson et al., 2008) vergleichbar. Der Anteil an Patienten mit einem VHF war unter den DCM-Patienten mit 63,9 % signifikant höher ($p = 0,002$). In der Echokardiografie fanden sich ausschließlich bei ICM-Patienten kardiale Aneurysmen; dieser Unterschied war signifikant ($p < 0,001$).

In den letzten Jahren sind viele Studien erschienen, die den Kurz- und Langzeiterfolg einer Katheterablation an Patienten mit strukturellen Herzerkrankungen untersuchten. Einige dieser Studien untersuchten den Kurz- und/oder Langzeiterfolg bei ICM (Karl-Heinz Kuck et al., 2010; V. Y. Reddy et al., 2007; Sapp et al., 2016; W. G. Stevenson et al., 2008; Tanner et al., 2010). Weniger großzügig ist die Studienlage zur Katheterablation bei nicht-ischämischen Herzerkrankungen wie der DCM (Cano et al., 2009; Tokuda et al., 2012).

Zudem gibt es einige Studien, die dieser Arbeit am nächsten kommen, und die Katheterablation unter Patienten mit ICM und nicht-ischämischen strukturellen Herzerkrankungen wie der DCM vergleichen (Calkins et al., 2000; Carbucicchio et al., 2008; Della Bella et al., 2013; Dinov et al., 2014; Jaïs et al., 2012; Muser et al., 2017; Proietti et al., 2015; Tung et al., 2015).

Im Folgenden sollen die Basischarakteristika unseres Patientenkollektivs mit den Patienten in ähnlichen Studien verglichen werden.

Studien zur Katheterablation bei ICM

In der „Substrate Mapping and Ablation in Sinus Rhythm to Halt Ventricular Tachycardia-Studie“-Studie (SMASH-VT) von Reddy et al. (2007) wurde bei Patienten mit einer ICM und einer VT oder VF die Implantation eines ICD mit oder ohne einer zusätzlichen Katheterablation verglichen. Das Patientenkollektiv der Ablationsgruppe war in Bezug auf Alter, Geschlecht, LVEF und das Vorliegen einer aHT mit den ICM-Patienten dieser Arbeit vergleichbar. Etwas mehr Patienten litten bei Reddy et al. an einem DM (38 vs. 24 %), etwas weniger hatten zuvor einen Schlaganfall erlitten (5 vs. 20 %). Außerdem erhielten etwas mehr Patienten bei Reddy et al. Betablocker (94 %), kein Patient erhielt Amiodaron. Einschränkend ist anzumerken, dass bei Reddy et al. bei mindestens 20 % der Patienten ein VF und keine VT vorlag.

Ein Jahr später publizierten Stevenson et al. (2008) ihre Studie zur Katheterablation bei Patienten mit einer ICM. Die Patienten waren in Bezug auf Alter, Geschlecht, Komorbiditäten wie DM, chronisch obstruktive Lungenerkrankungen und VHF mit den ICM-Patienten der hier durchgeführten Untersuchung vergleichbar. Bei Stevenson et al. waren weniger der Patienten an einer aHT (58 vs. 79 % der ICM-Patienten dieser Untersuchung) erkrankt und bei weniger der Patienten war ein Schlaganfall (8 vs. 20 %, wobei in unserer Untersuchung auch eine TIA in die Gruppe der Schlaganfälle eingeschlossen wurde) bekannt. Die Patienten der Studie von Stevenson et al. hatten eine niedrigere LVEF als die ICM-Patienten dieser Arbeit (Median 25 % vs. $31,6 \pm 12,2$ %). Es waren bei Stevenson et al. weniger Patienten mit Betablockern behandelt (60 vs. 89,4 %) und mehr Patienten mit Amiodaron therapiert (70 vs. 54,8 %) worden.

In der multizentrischen, prospektiven und kontrollierten Studie „Ventricular Tachycardia Ablation in Coronary Heart Disease“-Studie (VTACH) von Kuck et al. (2010) war der Langzeiterfolg bei Patienten mit ICM und ICD mit oder ohne Katheterablation verglichen worden. Die Patienten der Ablationsgruppe waren in Bezug auf Alter, Geschlecht, LVEF und Medikation mit der vorliegenden Arbeit vergleichbar.

Auch in der prospektiven, multizentrischen Studie von Tanner et al. (2010) zur Katheterablation bei 63 Patienten mit ICM waren die Patienten bezogen auf Alter,

Geschlecht, LVEF und Medikation mit Amiodaron mit der zugrunde liegenden Studie vergleichbar.

In der multizentrischen randomisierten, prospektiven und kontrollierten „Ventricular Tachycardia Ablation versus Escalated Antiarrhythmic Drug Therapy in Ischemic Heart Disease“-Studie (VANISH) von Sapp et al. (2016) war bei Patienten mit ICM, ICD und rekurrierenden VTs die Katheterablation mit einer Eskalation der antiarrhythmischen Medikation verglichen worden. Auch die ICM-Patienten in der Ablationsgruppe von Sapp et al. waren in Bezug auf Alter, Geschlecht, LVEF und Medikation mit den ICM-Patienten dieser Untersuchung vergleichbar. Ähnlich viele der Patienten litten an einem DM (28 %) und einem VHF (39,4 %), etwas weniger an einem aHT (69,7 %). Die LVEF war mit $31,1 \pm 10,4$ % mit der LVEF der ICM-Patienten vergleichbar. Die eGFR der ICM-Patienten war in der Studie von Sapp et al. etwas höher ($75,8 \pm 29,0$ ml/min vs. $63,30 \pm 21,12$ ml/min). Der Natrium- ($138,5 \pm 3,0$ mmol/l) und Kaliumwert ($4,3 \pm 0,4$ mmol/l) war mit den Laborwerten dieser Studie vergleichbar.

Studien zur Katheterablation bei DCM

In einer kleinen Studie beschrieben Cano et al. (2009) ein Kollektiv von 22 Patienten mit DCM und VT in Bezug auf epi- und endokardiale Narben. Die durchschnittliche LVEF war mit 30 ± 12 % der durchschnittlichen LVEF der DCM-Patienten der vorliegenden Untersuchung vergleichbar. Etwa gleich viele der DCM-Patienten erhielten bei Cano et al. Amiodaron (59,1%). Einschränkend ist anzumerken, dass viele der Patienten bei Cano et al. zuvor eine erfolglose endokardiale Ablation erhalten hatten. Es handelte sich also fast ausschließlich um Patienten mit einer epikardialen Beteiligung der Narbe.

Tokuda et al. (2012) verglichen die Ergebnisse von nicht-ischämischen Herzerkrankungen wie der DCM, ARVC und Herzklappenerkrankungen untereinander. Die DCM-Patienten waren im Durchschnitt etwas jünger (56 ± 13 Jahre) als in dieser Untersuchung. LVEF (30 ± 13 %), der Anteil an Patienten mit DM (18 %) und der Anteil mit Beta-Blockern behandelter Patienten (82 %) war in etwa vergleichbar mit dem Anteil an Patienten in dieser Studie. Prozentual erhielten bei Tokuda et al. etwas mehr Patienten Amiodaron (73 %).

Studien zur Katheterablation bei DCM und ICM

In einer ersten multizentrischen, prospektiven Studie von Calkins et al. (2000) war die Katheterablation an Patienten mit strukturellen Herzerkrankungen untersucht worden. 119 (82 %) der Patienten litten an einer ICM, die Form der strukturellen Herzerkrankung der anderen Patienten war leider nicht angegeben worden, weshalb die Ergebnisse nur eingeschränkt mit der hier durchgeführten Arbeit verglichen werden können. Das durchschnittliche Alter ($65 \pm 12,6$ Jahre) und die durchschnittliche LVEF (31 ± 13 %) der Patienten ähnelten dem Alter und der LVEF des hiesigen Patientenkollektivs.

Auch Carbucicchio et al. (2008) verglichen den Kurzzeit- und Langzeiterfolg der Katheterablation nach Ablation bei Patienten mit strukturellen Herzerkrankungen. In die Studie waren 72 Patienten mit ICM und zehn Patienten mit DCM, allerdings auch 13 Patienten mit ARVC eingeschlossen, weshalb auch diese Ergebnisse nur bedingt der vorliegenden Arbeit gegenübergestellt werden können. Das Durchschnittsalter der Patienten (64 ± 13 Jahre) war etwas geringer und die LVEF etwas höher (36 ± 11 %). Es waren mehr Patienten mit Betablockern (97 %) und deutlich mehr Patienten mit Amiodaron (94 %) therapiert als in dieser Studie.

Jaïs et al. (2012) untersuchten ebenfalls die Katheterablation an 70 Patienten mit strukturellen Herzerkrankungen. Die Patienten waren in Bezug auf Alter, Geschlecht mit dem hier untersuchten Patientenkollektiv vergleichbar. 80 % der Patienten litten an einer ICM und 20 % an einer DCM. Es lag etwas seltener eine aHT (44 %), vergleichbar häufig ein DM (26 %) und durchschnittlich eine größere LVEF (35 ± 10 %) als in dieser Untersuchung vor. Etwas weniger Patienten wurden mit Betablockern (80 %) und etwas mehr mit Amiodaron (60 %) therapiert.

In einer verhältnismäßig großen Studie bestimmten Della Bella et al. (2013) den Kurzzeit- und Langzeiterfolg der Katheterablation bei Patienten mit strukturellen Herzerkrankungen.

Im Gegensatz zu dieser Arbeit waren bei Della Bella et al. alle Patienten mit fokaler oder faszikulärer VT exkludiert worden. Nicht exkludiert wurden dagegen Patienten mit ARVC, Herzklappenerkrankungen und anderen strukturellen Herzerkrankungen. Daher ist das Patientenkollektiv der Studie nur bedingt mit dieser Studie vergleichbar. Das

Patientenkollektiv von Della Bella et al. war etwas jünger ($62,1 \pm 14$ Jahre) und die durchschnittliche LVEF war etwas größer ($38,5 \pm 13$ %) als in dieser Untersuchung.

Das Patientenkollektiv in der Studie von Dinov et al. (2014) entsprach in großen Teilen dem Patientenkollektiv dieser Untersuchung. Die DCM-Patienten waren allerdings mit $59,2 \pm 13,47$ Jahren etwas jünger als die DCM-Patienten in der vorliegenden Studie ($65,6 \pm 13,1$ Jahre). Auch bei Dinov et al. waren die meisten Patienten männlich, es litten etwa gleich viele Patienten an aHT in der DCM- ($47,6$ %) und etwa gleich viele Patienten an aHT in der ICM-Gruppe ($82,3$ %) wie in dieser Arbeit. Im Gegensatz zu dieser Untersuchung litten bei Dinov et al. in der ICM-Gruppe deutlich mehr Patienten an einem VHF oder Vorhofflattern ($34,0$ vs. $50,6$ %). Außerdem litten bei Dinov et al. mehr Patienten an einem DM ($28,6$ % der DCM-Patienten und $40,2$ % der ICM-Patienten) als in dem Patientenkollektiv dieser Untersuchung ($16,7$ % DCM- und $23,6$ % ICM-Patienten). In Bezug auf die LVEF unterschied sich das Patientenkollektiv von Dinov et al. nicht von dem Patientenkollektiv der vorliegenden Studie. Die Patienten von Dinov et al. erhielten deutlich seltener Amiodaron ($33,3$ % der DCM- und 39 % der ICM-Patienten) als die Patienten der vorliegenden Arbeit ($63,9$ % DCM- und $54,8$ % ICM-Patienten).

Proietti et al. (2015) untersuchten in ihrer Studie zur substrat-basierten Ablation bei 87 Patienten mit ICM und 55 Patienten mit DCM den akuten und längerfristigen Erfolg der Behandlung. Es waren deutlich weniger Patienten männlich (72 %) als in dieser Studie. Das Alter und die LVEF waren mit denen dieses Patientenkollektivs vergleichbar. Es erhielten etwas mehr Patienten Betablocker (DCM: 96 %; ICM: 97 %) als in der hier ausgewerteten Untersuchung (DCM: $83,3$ %; ICM: $89,4$ %). Etwa gleich viele Patienten erhielten bei Proietti et al. Amiodaron (DCM: 64 %; ICM; 56 %) wie in dieser Studie (DCM: $63,9$ %, ICM: $54,8$ %).

Auch Tung et al. (2015) untersuchten den Zusammenhang von rezidivierender VT nach Katheterablation und Mortalität bei Patienten mit strukturellen Herzerkrankungen. In Bezug auf Alter, Geschlecht und LVEF waren die Patienten mit den Patienten in der vorliegenden Studie vergleichbar. Allerdings waren neben der ICM und DCM auch diverse andere Formen der nicht-ischämischen Herzerkrankungen (ARVC, HCM u. a.) in die Studie eingeschlossen. Weshalb die Studie von Tung et al. nur eingeschränkt mit dieser Arbeit vergleichbar ist.

Muser et al. (2017) untersuchten das Kurz- und Langzeitergebnis von Ablationen an Patienten mit DCM und ICM. Die Patienten mit DCM waren im Durchschnitt etwas jünger (60 ± 15 Jahre). Der Anteil männlicher Patienten entsprach sowohl bei den DCM- als auch bei den ICM-Patienten in etwa dem Anteil männlicher Patienten in dieser Arbeit. Anteilig etwa genauso viele DCM- (44 %) und ICM-Patienten (75 %) litten an einer aHT. Bei Muser et al. litten deutlich weniger DCM-Patienten an einem VHF (34 %) und deutlich mehr ICM-Patienten an einem VHF (49 %). Dieses Ergebnis steht im Kontrast zu der vorliegenden Arbeit, bei der bei DCM-Patienten signifikant häufiger ein VHF vorlag. Etwa gleich viele DCM- (14 %) und ICM-Patienten (31 %) wie in dieser Arbeit litten an einem DM.

Die LVEF der DCM-Patienten war etwas größer (32 ± 14 %), die LVEF der ICM-Patienten war etwas geringer (28 ± 12 %) als in dieser Untersuchung. Etwas mehr Patienten erhielten Betablocker (86 % der DCM- und 92 % ICM-Patienten) und etwas mehr Patienten erhielten Amiodaron (75 % der DCM- und 82 % der ICM-Patienten) vor der Prozedur.

4.2 Patienten mit und ohne ICD bei Ablation

Von den Patienten der hier durchgeführten Untersuchung hatten insgesamt 32 (17 %) zum Zeitpunkt der Ablationsprozedur keinen ICD implantiert. Dagegen hatten 72 % der Patienten mit DCM und 85 % der Patienten mit ICM zum Zeitpunkt der Ablation einen ICD implantiert. In dieser Studie stellte ein implantiertes ICD keinen signifikant negativen oder positiven Prädiktor für eine erfolgreiche Ablation dar ($p = 0,257$).

Tabelle 4.2.a stellt dieses Ergebnis dem Anteil an Patienten mit ICD zum Zeitpunkt der Ablation anderen Studien gegenüber.

In der SMASH-VT-Studie von Reddy et al. (2007) wurden die meisten Patienten mit einem bereits implantierten ICD ablatiert (87 %), was in etwa dem Anteil an Patienten mit ICD dieser Arbeit entspricht. Reddy et al. konnten zeigen, dass die Katheter zu einer signifikanten Reduktion an Rekurrenz einer VT bei gleichbleibender Mortalität im Follow-up ($22,5 \pm 5,5$ Monate) führte. Allerdings hatten noch 12 % der ICM-Patienten mit ICD und Katheterablation Ereignisse wie Schocks oder antitachykardes Pacing durch den ICD im Follow-up (Reddy et al., 2007).

Tabelle 4.2.a: Anteil an Patienten mit ICD bei Ablation

Studie	DCM		ICM		Total	
	n		n		n	
UKE/UHZ	36	72 %	106	85 %	142	82 %
Calkins et al. (2000)					106	71 %
Reddy et al. (2007)			64	87 %		
Stevenson et al. (2008)			231	94 %		
Tanner et al. (2010)			63	67 %		
Kuck et al. (2010)			52	8 %		
Tokuda et al. (2012)	119	87 %				
Della Bella et al. (2013)					432	82 %
Dinov et al. (2014)	63	95 %	149	91 %	227	92 %
Tung et al. (2015)					2061*	87 %

Tabelle 4.2.a: * = neben DCM auch andere nicht-ischämischen Herzerkrankungen eingeschlossen (ARVC, HCM u. a.) n = Anzahl an Patienten in der Studie, UKE = Universitätsklinikum Hamburg-Eppendorf, UHZ = Universitäres Herzzentrum Hamburg.

Diese Ergebnisse bestätigte die Studie von VTACH-Studie von Kuck et al. (2010). Auch hier kam es zu einer signifikanten Reduktion der Wahrscheinlichkeit einer Rekurrenz der VT bei Patienten mit ICM und ICD, die abladiert worden waren gegenüber Patienten, die nicht abladiert worden waren.

Im Unterschied zu Reddy et al. waren die meisten Patienten (bis auf vier) bei Kuck et al. abladiert worden, *bevor* die Implantation eines ICD erfolgte. Aktuell liegen keine Studien vor, die untersuchen, ob der Zeitpunkt der ICD-Implantation vor oder nach der Katheterablation einen Einfluss auf das Kurz- und Langzeitergebnis der Katheterablation hat.

Die ESC rät zu einer Implantation eines ICD nach Katheterablation bei ICM und VT und verweist auf die Notwendigkeit von weiteren Studien mit der Frage, ob gut tolerierte, monomorphe VTs bei Patienten mit LVEF > 40% in Zukunft auch ohne konsekutive ICD-Implantation abladiert werden könnten: „Whether primary ablation of well-tolerated sustained

monomorphic VT in patients with an LVEF > 40% without a backup ICD is beneficial deserves further study“ (Priori et al., 2015: 2821).

4.3 Parameter mit einem positiven Effekt auf den Erfolg der Ablationsprozedur

In der hier durchgeführten Studie lag kein signifikanter Unterschied zwischen Patienten mit einer DCM oder einer ICM in Bezug auf den akuten Erfolg der Prozedur vor. Etwa die Hälfte der Prozeduren an DCM- und ICM-Patienten war voll erfolgreich. 28 % der Prozeduren an DCM- und 40 % der Prozeduren an ICM-Patienten waren noch partiell erfolgreich und 18 % der Prozeduren DCM- und 12 % der Prozeduren ICM-Patienten hatten keinen Erfolg.

Zwar kam ein Pace-Mapping häufiger bei Patienten mit einer DCM als mit einer ICM zum Einsatz ($p = 0,006$), bei DCM-Patienten war der RV signifikant häufiger der Ursprung der VT als bei ICM ($p = 0,001$) und dazu passend war der LV häufiger der Ursprung der VT bei ICM-Patienten als bei DCM-Patienten ($p = 0,084$), allerdings war keiner dieser Parameter signifikant unterschiedlich in Bezug auf voll, partiell oder nicht erfolgreiche Prozeduren ($p = 0,107$ bis $0,929$).

In der vorliegenden Studie lag der VT bei ICM-Patienten signifikant häufiger ein Reentry-Mechanismus zugrunde als bei DCM-Patienten ($p = 0,006$). Dieser Parameter war zwischen voll und nicht voll erfolgreichen Prozeduren nicht unterschiedlich ($p = 0,634$). Bei partiell erfolgreichen Prozeduren lag häufiger ein Reentry-Mechanismus zugrunde, als bei Prozeduren ohne Erfolg ($p = 0,034$). Demgegenüber lag bei nicht erfolgreichen Prozeduren häufiger eine fokale (13 %) oder eine faszikuläre (4,3 %) Beteiligung der VT vor.

Bei partiell erfolgreichen Prozeduren war das Pacemap der VT-1 signifikant häufiger perfekt, als bei nicht erfolgreichen Prozeduren ($p = 0,023$). Allerdings war die Pacemap-Qualität (perfekt vs. nicht perfekt) bei voll (84 %) und nicht voll (77 %) erfolgreichen Prozeduren nicht signifikant unterschiedlich ($p = 0,445$). Eine mögliche Erklärung wären die nicht voll erfolgreichen Prozeduren, bei denen die VT-1 erfolgreich behandelt worden war. Diese partiell erfolgreichen Prozeduren wiesen mit 85 % etwa gleich häufig ein perfektes Pacemap wie die voll erfolgreichen Prozeduren auf.

Die Induzierbarkeit der klinisch relevanten VT stellte keinen positiven Prädiktor für eine erfolgreiche Ablationsprozedur dar ($p = 0,507$).

Eine hohe Anzahl an induzierbaren VTs im Induktionsversuch zu Beginn der Prozedur ein stellte allerdings einen negativer Prädiktor für eine voll erfolgreiche Prozedur. Dabei war auffällig, dass bei steigender Anzahl an induzierbaren VTs auch die relative Wahrscheinlichkeit für eine voll erfolgreiche Prozedur fällt. In dem Patientenkollektiv der vorliegenden Arbeit waren bei ICM-Patienten im Induktionsversuch signifikant mehr VTs induzierbar als bei den DCM-Patienten ($p = 0,002$).

Verschiedene Studien haben den akuten und längerfristigen Erfolg der Katheterablation bei Patienten mit strukturellen Herzerkrankungen untersucht.

Studien zur Katheterablation bei ICM

In einigen Studien wurde untersucht, ob es Parameter gibt, die den akuten Erfolg der Katheterablation bei Patienten mit ICM beeinflussen.

In der Studie von Stevenson et al. (2008) zur Katheterablation bei ICM-Patienten war wie in der hier durchgeführten Studie die Induzierbarkeit der klinisch relevanten VT am Ende der Prozedur zur Bestimmung des akuten Erfolgs der Prozedur verwendet worden. In deutlich weniger Fällen war eine klinische VT induzierbar gewesen (65 vs. 94,5 %). Etwa gleich viele Prozeduren an ICM-Patienten waren Redo-Prozeduren (37 % bei Stevenson et al. vs. 35,7 % in dieser Untersuchung). Der Median der Zykluslänge der VT, bei der ein Mapping durchgeführt werden konnte, betrug bei Stevenson et al. 428 ms (373 – 476 ms) und war damit in etwa der Zykluslänge der VT der Patienten der vorliegenden Untersuchung (VT-1: $433,18 \pm 107,93$ ms) vergleichbar. Bei Stevenson et al. war die Anzahl an applizierten Radiofrequenzstromimpulsen deutlich höher (Median 24 (12 – 35) vs. $15,42 \pm 11,40$ in dieser Untersuchung). Die maximale durchschnittliche Leistung war vergleichbar (45 W (38 – 49 W) vs. $44,26 \pm 13,91$ W). Die Durchleuchtungsdauer war deutlich länger als in den Prozeduren dieser Arbeit (45 min (30 – 71 min) vs. $23,19 \pm 13,78$ min), ebenso wie die Prozedurdauer (315 min (254 – 395 min) vs. $196,66 \pm 70,45$ min). Bis auf die Anzahl der Radiofrequenzstromimpulse hatte bei Stevenson et al. keine der genannten intraprozeduralen Parameter einen Einfluss auf einen Erfolg der Prozedur im Follow-up (sechs Monate).

In 43 % der Prozeduren war bei Stevenson et al. am Ende der Prozedur noch eine VT induzierbar. Dieses Ergebnis entsprach dem nicht vollen Erfolg (partiell und kein Erfolg zusammen) in unserer Arbeit, der bei 51 % der Prozeduren vorlag. Allerdings waren die Patienten bei Stevenson et al. in bis zu drei Prozeduren abladiert worden, während in der hier vorliegenden Studie der akute Erfolg jeder einzelnen Prozedur gemessen worden war. Diese Tatsache kann den deutlichen besseren akuten Erfolg der Studie von Stevenson et al. im Gegensatz zu dieser Untersuchung erklären.

Im Follow-up überlebten 53 % der Patienten ohne eine Rekurrenz einer VT und die Ablation führte bei 67 % der Patienten zu einer ≥ 75 %igen Reduktion von Episoden mit VT. Bei Stevenson et al. betrug die Mortalität nach Ablationsprozedur nach einem Jahr 18 %. DCM-Patienten waren in die Studie nicht eingeschlossen.

In der Studie von Tanner et al. (2010) waren bei den ICM-Patienten durchschnittlich mehr VTs (4 ± 4 vs. $2,41 \pm 1,20$) induzierbar gewesen. Die durchschnittliche Prozedur- (290 ± 158 min vs. $196,66 \pm 70,45$ min) und Durchleuchtungsdauer (43 ± 51 min vs. $23,19 \pm 13,78$ min) war etwas größer als in unserer Untersuchung. Die maximale durchschnittliche Leistung (46 ± 15 W) entsprach etwa den Prozeduren an den ICM-Patienten in dieser Arbeit ($44,26 \pm 13,91$ W). Im Durchschnitt erfolgten mehr Radiofrequenzstromimpulse (19 ± 10 vs. $15,42 \pm 11,40$). Wie in dieser Studie war keiner der genannten intraprozeduralen Parameter in erfolgreichen und nicht erfolgreichen Prozeduren unterschiedlich. Entgegen der Studie von Stevenson et al. (2008) war auch die Anzahl an Radiofrequenzstromimpulsen wie in der hier durchgeführten Untersuchung nicht signifikant unterschiedlich zwischen den erfolgreichen und nicht erfolgreichen Prozeduren.

Bei Tanner et al. war die Nicht-Induzierbarkeit der *klinischen* VTs als akuter Erfolg gewertet worden. Dieser konnte bei Tanner et al. in 81 % der Prozeduren erzielt werden. Verglichen mit unserer Arbeit entspräche die Nicht-Induzierbarkeit der klinischen VT einem partiellen Erfolg, da ein voller Erfolg als Nicht-Induzierbarkeit *aller* VTs gewertet wurde. Dieser lag in unserer Arbeit bei 88 % der ICM-Patienten vor. Nur in 12 % der Prozeduren an ICM-Patienten war die klinisch relevante VT am Ende der Prozedur noch induzierbar (s. Tabelle 3.2.7). Das akute Ergebnis dieser Arbeit ist also etwas besser als in der Studie von Tanner et al. zu bewerten.

Der Langzeiterfolg war bei Tanner et al. moderat. Im Follow-up (zwölf Monate) entwickelten 49 % aller Patienten bzw. 37 % der Patienten mit erfolgreichen Prozeduren eine Rekurrenz einer VT.

Studien zur Katheterablation bei DCM

In der Studie von Cano et al. (2009) waren DCM-Patienten mit VTs mit vorwiegend epikardialen Exit abladiert worden. Es waren im Induktionsversuch durchschnittlich deutlich mehr VTs (3,3) induzierbar gewesen als bei den DCM-Patienten dieser Untersuchung ($1,78 \pm 1,03$). Bei 14 der 21 (67 %) Patienten war ein voll erfolgreiches Kurzeitergebnis (akuter Erfolg der Prozedur) erreicht worden und 15 (71 %) der Patienten überlebten im Follow-up (18 ± 7 Monate) ohne eine Rekurrenz einer VT. Die Studie ist nur sehr eingeschränkt mit dieser Arbeit vergleichbar. Es handelte sich bei dem Patientenkollektiv fast ausschließlich um DCM-Patienten mit einer epikardialen Exit der VT und fast alle Patienten waren zuvor erfolglos endokardial abladiert worden. Gleichwohl zeigt die Studie, dass auch bei einer VT mit einem epikardialen Exit durch eine Katheterablation vergleichbare Langzeitergebnisse erzielt werden können.

In der vorliegenden Arbeit war bei DCM-Patienten signifikant häufiger ein epikardialer Zugang gewählt ($p < 0,001$) und eine epikardiale Ablation durchgeführt ($p < 0,001$) worden als bei ICM-Patienten. In der vorliegenden Arbeit lag allerdings (bei ICM- und DCM-Patienten) zwischen erfolgreichen und nicht erfolgreichen Prozeduren kein signifikanter Unterschied in Bezug auf das Vorliegen einer epikardialen Ablation vor ($p = 0,306$ bis $0,547$).

Tokuda et al. (2012) verglichen den Erfolg der Katheterablation an DCM mit den Prozeduren anderer nicht-ischämischer Herzerkrankungen (ARVC, Herzklappenerkrankungen, kongenitale Herzerkrankungen, kardiale Sarkoidose, HCM). Im Durchschnitt waren in ihrer Studie bei DCM-Patienten $2,7 \pm 1,9$ VTs induzierbar. Dies waren deutlich mehr als in der hier zugrunde liegenden Untersuchung ($1,78 \pm 1,03$ VTs). Es erhielten bei Tokuda et al. mehr (34 bzw. 29 %) DCM-Patienten eine epikardiale Ablation als in dieser Untersuchung (sechs bzw. 15 %).

Der akute Erfolg der Prozedur bei Tokuda et al. war in etwa mit den Ergebnissen dieser Studie vergleichbar. In 51 (43 %) konnte ein voller Erfolg erzielt werden. In 22 (18 %) war

die Prozedur nicht erfolgreich. Bei Tokuda et al. stellte eine hohe Anzahl an induzierbaren VTs zu Beginn der Prozedur einen unabhängigen Prädiktor für das Erreichen eines primären Endpunktes der Studie (Tod des Patienten oder die Notwendigkeit einer Herztransplantation) dar. Ein schlechtes akutes Ergebnis der Ablation (klinische VT weiterhin induzierbar) korreliert allerdings nicht mit einer erhöhten Mortalität im Follow-up.

Studien zur Katheterablation bei DCM und ICM

Verschiedene Studien untersuchten den Erfolg der Katheterablation bei Patienten mit DCM und ICM.

In der ersten multizentrischen, prospektiven Studie zur VT Ablation bei Patienten mit strukturellen Herzerkrankungen von Calkins et al. (2000) waren zu Beginn der Prozedur durchschnittlich deutlich mehr VTs induzierbar ($3 \pm 2,1$) als in dieser Untersuchung (DCM: $1,78 \pm 1,03$; ICM: $2,41 \pm 1,20$). In 89 % war die klinische VT bei Calkins et al. induzierbar und entsprach damit etwa dem Ergebnis dieser Arbeit (DCM: 93,9 %; ICM: 94,5 %).

Calkins et al. definierten den Erfolg der Prozedur auch als Abwesenheit von induzierbaren VTs am Ende der VT. Dagegen unterteilten sie den akuten Erfolg der Prozedur nicht in voll, partiell und kein Erfolg.

Im Gegensatz zu der vorliegenden Arbeit war die Anzahl an induzierbaren VTs im Induktionsversuch zwischen erfolgreichen und nicht erfolgreichen Prozeduren bei Calkins et al. nicht signifikant unterschiedlich. In unserer Arbeit zeigte sich eine signifikant ($p < 0,001$) höhere Anzahl an induzierbaren VTs bei voll erfolgreichen gegenüber nicht voll erfolgreichen Prozeduren und eine hohe Anzahl an induzierbaren VTs stellte einen negativen Prädiktor für einen vollen Prozedurerfolg dar.

Bei Calkins et al. waren durchschnittlich weniger (12 ± 10 Radiofrequenzstromimpulse) Radiofrequenzablationen abgegeben worden, die maximale durchschnittliche Leistung war etwas geringer (35 ± 9 W), die durchschnittliche Prozedurdauer (288 ± 160 min) und Durchleuchtungsdauer (56 ± 42 min) war hingegen deutlich länger als in den Prozeduren dieser Untersuchung.

In Übereinstimmung mit der hier durchgeführten Arbeit waren bei Calkins et al. die maximale durchschnittliche Leistung und Dauer der Radiofrequenzstromimpulse in erfolgreichen und nicht erfolgreichen Prozeduren nicht signifikant unterschiedlich. Im Gegensatz zu den Ergebnissen dieser Studie war allerdings die durchschnittliche Anzahl an applizierten Radiofrequenzablationen bei Calkins et al. in nicht erfolgreichen Prozeduren signifikant größer (16 ± 14 vs. 12 ± 8 , $p < 0,01$). Dieses Ergebnis ließ sich in der vorliegenden Arbeit nicht reproduzieren. In der Gruppe der voll erfolgreichen Prozeduren war die Anzahl an Radiofrequenzablationen sogar größer als in partiell und nicht erfolgreichen Prozeduren. Eine mögliche Erklärung wäre, dass nicht erfolgreiche Prozeduren mit multiplen VTs in dieser Untersuchung eher abgebrochen worden sind als bei Calkins et al. Eine andere Erklärung wäre, dass in den Prozeduren, die in dieser Arbeit ausgewertet wurden, das Narbengewebe in voll erfolgreichen Prozeduren besser homogenisiert worden ist, als in nicht erfolgreichen Prozeduren, d. h. mehr Radiofrequenzstromimpulse zu einer besseren Nicht-Erregbarkeit des ablatierten Areals geführt haben.

Bei Calkins et al. korrelierte der akute Erfolg der Prozedur nicht mit dem Langzeiterfolg (keine Rekurrenz der VT) im Follow-up (243 ± 153 Tage). 44 % der Patienten mit erfolgreicher VT-Ablation und 46 % der Patienten ohne erfolgreiche Ablation erlitten eine Rekurrenz der VT. Nur die Induktion der klinisch relevanten VT korrelierte mit einem Erfolg im Follow-up, wobei weniger als zwei induzierbare VTs und das Alter des Patienten mit einer geringeren Mortalität im Follow-up assoziiert waren (Calkins et al., 2000).

Carbucicchio et al. (2008) verwendeten wie in dieser Arbeit die Induzierbarkeit der klinischen und nicht klinischen VT für die Messung des akuten Erfolgs der Ablationsprozedur. Bei der Behandlung von Patienten mit ICM, DCM und ARVC war in 68 (72 %) Prozeduren ein voller Erfolg, in 17 (18 %) ein partieller und in zehn (11 %) kein Erfolg erzielt worden. Allerdings waren zwölf Patienten mit partiellem oder keinem Erfolg mit einer zweiten Prozedur und sechs nicht erfolgreiche Prozeduren mit einer dritten Prozedur nachbehandelt worden, wodurch die deutlich besseren Ergebnisse verglichen mit dieser Untersuchung teilweise erklärbar sind. Nach der ersten Prozedur lag bei Carbucicchio et al. bei 65 % Patienten ein voller Erfolg, bei 20 % ein partieller Erfolg und bei 15 % kein Erfolg der Prozedur vor, was in etwa der Anzahl an nicht erfolgreichen Prozeduren dieser Arbeit entsprach. In der vorliegenden Arbeit waren zwar ebenfalls Redo-Prozeduren in die Auswertung aufgenommen

worden, der Erfolg war allerdings nach jeder einzelnen Prozedur und nicht nach mehreren aufeinanderfolgenden Prozeduren gemessen worden.

Bei Carbucicchio et al. erwies sich das Vorliegen einer DCM statt einer ICM oder ARVC als unabhängiger Prädiktor für eine nicht erfolgreiche Prozedur, während sich in der vorliegenden Studie kein Unterschied im akuten Prozedurerfolg bei ICM und DCM zeigte. Die Zahl der Patienten mit DCM war in der Studie von Carbucicchio deutlich geringer als in dieser Arbeit. Die Studie von Carbucicchio legte die Unterschiede der Patientencharakteristika wie die Grunderkrankung der Patienten nicht offen und lässt folglich keine gute Aussage über die Vergleichbarkeit der Studie mit dieser Arbeit zu.

Im Follow-up (22 ± 13 Monate) bei Carbucicchio et al. lag bei 66 % der Patienten ein rezidivfreies Überleben vor. Zwischen den voll und partiell erfolgreichen Prozeduren gab es keinen signifikanten Unterschied in Bezug auf eine VT-Rekurrenz oder eine erhöhte Mortalität.

Jaïs et al. (2012) untersuchten den Langzeiterfolg von Ablationsbehandlungen bei Patienten mit ICM und DCM anhand eines anderen Kriteriums zur Messung des akuten Erfolgs. Bei Jaïs et al. wurde die vollständige Elimination aller LAVA als akuter Erfolg bewertet und nicht die Induzierbarkeit einer VT am Ende der Prozedur.

Zu Beginn der Prozedur waren bei Jaïs et al. im Median 2 (1 – 3) VTs induzierbar. In 87 % war ein retrograder, in 46 % ein transeptaler und in 31 % ein epikardialer Zugang gewählt worden. Die durchschnittliche Prozedurdauer (148 ± 73 min) war etwas geringer und die Durchleuchtungszeit (42 ± 20 min) etwas größer als in unserer Untersuchung. Am Ende der Prozedur war in durchschnittlich 30 % der Prozeduren noch eine VT induzierbar, dies war kaum unterschiedlich, je nachdem, ob alle LAVA erfolgreich eliminiert worden waren oder nicht.

Jaïs et al. konnten in 70 % der Prozeduren alle LAVA eliminieren. Im Follow-up (Median 22 Monate) führte eine vollständige Ablation aller LAVA zu einer signifikanten Reduktion der VT-Rekurrenz und Mortalität. In der Gruppe, in der die LAVA komplett eliminiert werden konnten, überlebten 60 % ohne Rekurrenz einer VT, in der Gruppe ohne komplette Elimination der LAVA überlebten 20 % ohne Auftreten einer VT im Follow-up. Zwischen

Patienten mit ICM und DCM gab es keinen signifikanten Unterschied in Bezug auf das rezidivfreie Überleben.

Die Studie von Jaïs et al. zeigt, dass die Nicht-Induzierbarkeit aller VTs am Ende der Prozedur nicht die einzige Möglichkeit ist, den akuten Erfolg einer Ablationsprozedur zu messen. Gegenwärtig ist die Induzierbarkeit am Ende der Prozedur jedoch das am häufigsten verwendete Kriterium.

In der Studie von Della Bella et al. (2013) ist der akute Erfolg wie in dieser Studie nach Induzierbarkeit der klinischen VT gemessen worden. Nach 1 – 4 Prozeduren war in 77 % ein voller Erfolg, in 12,4 % ein partieller Erfolg und in 10,6 % kein Erfolg der Prozedur erzielt worden. Diese deutlich besseren Ergebnisse als in dieser Arbeit sind möglicherweise dadurch zu erklären, dass nicht nach jeder Prozedur, sondern nach der Summe von z. T. mehreren Prozeduren das akute Outcome gemessen worden war. Des Weiteren waren nicht alle Patienten nur an ICM (54,9 %) oder DCM (20,6 %) erkrankt. Die Ergebnisse der Prozedur waren nicht nach den Herzerkrankungen differenziert dargestellt worden, weshalb der akute Erfolg der Behandlung im Detail kaum mit den Ergebnissen dieser Arbeit vergleichbar ist. Die durchschnittliche Prozedur- (220 ± 75 min) und Durchleuchtungsdauer (36 ± 13 min) waren bei Della Bella et al. etwas länger, die durchschnittliche Dauer der Radiofrequenzstromimpulse war etwas geringer (1320 ± 470 s). Außerdem wurde bei Della Bella et al. deutlich häufiger (29,5 %) epikardial ablatiert als in der vorliegenden Untersuchung.

Della Bella et al. konnten zeigen, dass die Wahrscheinlichkeit für eine Rekurrenz der VT und Mortalität nach Prozedur signifikant mit dem Erfolg der Ablationsprozedur assoziiert war. Während 28,6 % der Patienten mit voll erfolgreichen Prozeduren eine VT Rekurrenz hatten, lag bei 39,6 % der Patienten mit partiell und 66,7 % der nicht erfolgreichen Prozeduren eine Rekurrenz der VT im Follow-up (durchschnittlich 44 Monate) vor. Das Vorliegen einer DCM war bei Della Bella et al. mit einer erhöhten Wahrscheinlichkeit einer Rekurrenz der VT assoziiert ($p = 0,002$).

Auch Dinov et al. (2014) hatten in ihrer Studie den Erfolg in voll, partiell und nicht erfolgreiche Prozeduren eingeteilt und benutzten für die Bewertung des Kurzzeiterfolges ebenfalls die Induzierbarkeit der klinischen VT am Ende der Prozedur. In ihrer Studie waren

42 (66,7 %) DCM- und 128 (77,4 %) ICM-Patienten voll erfolgreich behandelt worden. In 14 (22,2 %) der DCM- und in 30 (18,3 %) der ICM-Prozeduren war noch ein partieller Erfolg erzielt worden. Sieben (11,1 %) der DCM- und acht (4,9 %) der ICM-Prozeduren waren nicht erfolgreich. Verglichen mit dem akuten Erfolg der Prozeduren dieser Untersuchung waren die Kurzzeitergebnisse von Dinov et al. etwas besser. Allerdings waren die Patienten bei Dinov et al. etwas jünger als in dieser Studie und alle Patienten, die durch toxische Substanzen, ernährungsbedingt, durch systemische oder endokrine Krankheiten eine DCM erworben hatten, waren von der Untersuchung ausgeschlossen. In der vorliegenden Arbeit war eine solche Exklusion nicht erfolgt. Des Weiteren nahmen Dinov et al. nur De-novo-Prozeduren in ihre Untersuchung auf. In dieser Arbeit waren allerdings auch Redo-Prozeduren mit ausgewertet worden. Dies könnte ebenfalls einen Einfluss auf das unterschiedliche Kurzzeitergebnis gehabt haben.

Dinov et al. kamen zu dem Ergebnis, dass bei gleichem akutem Prozedurerfolg die rezidivfreie Überlebenswahrscheinlichkeit nach einem Jahr bei DCM-Patienten deutlich geringer ist als bei ICM-Patienten. Vor diesem Hintergrund ist der auch in dieser Arbeit nicht signifikant unterschiedliche akute Erfolg in Bezug auf den Langzeiterfolg kritisch zu hinterfragen. Die Nicht-Induzierbarkeit jeglicher VTs am Ende der Prozedur war bei Dinov et al. ein unabhängiger Prädiktor für ein rezidivfreies Überleben nach Prozedur und ein partieller Erfolg war als ein unsicherer Prädiktor für die Rezidivfreiheit gewertet worden.

Tung et al. (2015) konnten in einer multizentrischen, kontrollierten Studie an Patienten mit ICM und nicht-ischämischen Herzerkrankungen (DCM, ARVC, HCM, kardiale Sarkoidose u. a.) zeigen, dass eine hohe Anzahl induzierbarer VTs im Induktionsversuch mit einer erhöhten VT-Rekurrenz und Mortalität assoziiert war. Der akute Erfolg war wie in dieser Studie bestimmt worden. Patienten mit voll erfolgreichen Prozeduren hatten bei Tung et al. eine signifikant höhere rezidivfreie Überlebenswahrscheinlichkeit als Patienten mit partiell oder nicht erfolgreichen Prozeduren. Ein voller Erfolg am Ende der Prozedur führte bei 991 (70,5 %) Patienten mit strukturellen Herzerkrankungen zu einer Rezidivfreiheit innerhalb von zwölf Monaten und bei 1172 (70,8 %) Patienten zu einem transplantationsfreien Überleben innerhalb von zwölf Monaten. Allerdings war das Ergebnis für Patienten mit ICM mit 72 % rezidivfreiem Überleben etwas besser als für Patienten mit nicht-ischämischen Herzerkrankungen mit 67 % rezidivfreiem Überleben. Da Tung et al. die nicht-ischämischen Herzerkrankungen nicht weiter unterteilten, lassen sich die Ergebnisse nur sehr eingeschränkt

mit der vorliegenden Studie vergleichen, bei der nur ICM- und DCM-Patienten eingeschlossen worden waren.

Proietti et al. (2015) untersuchten in ihrer Studie zur substrat-basierten Ablation bei 87 Patienten mit ICM und 55 Patienten mit DCM den akuten und längerfristigen Erfolg der Behandlung. Im Gegensatz zu unserer Untersuchung wurden bei Proietti et al. alle Redo-Prozeduren exkludiert. Die durchschnittliche Zykluslänge der klinischen VT (DCM: 348 ± 92 ms; ICM: 340 ± 90 ms) war geringer als in dieser Untersuchung (DCM: $443,09 \pm 122,75$ ms; ICM: $433,18 \pm 107,93$ ms). Zu Beginn der Prozedur waren bei Proietti et al. bei DCM- ($1,9 \pm 1,4$) und ICM-Patienten ($1,9 \pm 1,1$) durchschnittlich gleich viele VTs induzierbar. Dies steht im Widerspruch zu den Ergebnissen dieser Arbeit. Bei Prozeduren des hier untersuchten Patientenkollektivs waren bei ICM-Patienten signifikant mehr VTs im Induktionsversuch induzierbar als bei DCM-Patienten. Auch bei Proietti et al. war bei DCM-Patienten signifikant häufiger ein epikardialer Zugang gewählt worden. Die durchschnittliche Prozedur- (DCM: 221 ± 49 min; ICM: 212 ± 40 min) und Durchleuchtungsdauer (DCM: 31 ± 19 min; ICM: 28 ± 18 min) waren etwas länger als in dieser Studie. Bei Proietti et al. zeigte sich ebenfalls, dass Prozedur- und Durchleuchtungsdauer bei DCM-Patienten tendenziell etwas länger sind als bei ICM-Patienten. Allerdings war dieser Unterschied auch bei Proietti et al. nicht signifikant ($p = 0,05$ bis $0,07$).

Im Gegensatz zu unserer Untersuchung war in der Studie von Proietti et al. bei ICM-Patienten signifikant häufiger ein voller Erfolg der Prozedur erreicht worden. Bei 69 % der ICM-Patienten und bei 53 % der DCM-Patienten war am Ende der Prozedur keine VT mehr induzierbar. In 10 % der ICM- und in 7 % der DCM-Prozeduren war noch ein partieller Erfolg erreicht worden. In deutlich mehr Fällen lag bei Proietti et al. kein Erfolg der Prozedur vor. 21 % der ICM- und 40 % der DCM-Prozeduren waren nicht erfolgreich. Diesen deutlichen Unterschied zeigten die Ergebnisse dieser Arbeit nicht. Zwar waren Prozeduren an DCM-Patienten tendenziell häufiger nicht erfolgreich (18 %) als bei ICM-Patienten (12 %), allerdings konnte ein Großteil der DCM-Patienten noch partiell erfolgreich ablatiert werden (28 %). Eine mögliche Erklärung für die Unterschiede zwischen Proietti et al. und dieser Arbeit könnte sein, dass bei Proietti et al. alle Redo-Prozeduren von der Studie ausgeschlossen wurden. Des Weiteren waren bei den ICM-Patienten von Proietti et al. deutlich weniger VTs zu Beginn der Prozedur induzierbar gewesen als in dieser Untersuchung. Mehr als eine induzierbare VT ist allerdings notwendig, damit überhaupt ein

partieller Erfolg (nur klinische VT nicht mehr induzierbar) eintreten kann. Außerdem waren bei Proietti et al. bei ICM- und DCM-Patienten durchschnittlich fast gleich viele VTs im Induktionsversuch induzierbar. In unserem Patientenkollektiv waren bei ICM-Patienten allerdings durchschnittlich signifikant mehr VTs induzierbar. Da eine hohe Anzahl an induzierbaren VTs einen negativen Prädiktor für eine erfolgreiche Prozedur darstellt, wäre hierdurch erklärbar, weshalb die Prozeduren an ICM-Patienten in der vorliegenden Studie nicht häufiger erfolgreich verliefen als die Prozeduren an DCM-Patienten.

Im Follow-up (21 ± 10 Monate) zeigte sich bei Proietti et al., dass ein akuter Erfolg zu einer deutlichen Reduktion von VT-Rezidiven führte. Dabei zeigte sich aber auch, dass DCM-Patienten mit einer höheren Wahrscheinlichkeit ein VT-Rezidiv erlitten. 3 % der ICM- und 7 % der DCM-Patienten mit akutem Erfolg, 44 % der ICM- und 75 % der DCM-Patienten mit partiellem Erfolg und alle Patienten ohne Erfolg der Prozedur hatten ein VT-Rezidiv im Follow-up.

Die Studie von Muser et al. (2017) ist in einigen Teilen vergleichbar mit der vorliegenden Untersuchung. Eingeschlossen waren nur ICM- und DCM-Patienten und der akute Erfolg war wie in dieser Arbeit gemessen worden. Auch bei Muser et al. war zwischen DCM- und ICM-Patienten keinen signifikanten Unterschied in Bezug auf den akuten Erfolg der Prozedur festgestellt worden.

Im Vergleich zu dieser Arbeit war deutlich häufiger ein epikardiales Mapping (47 bzw. 66 %) und eine epikardiale Ablation (38 bzw. 54 %) bei DCM-Patienten durchgeführt worden. Bei DCM-Patienten waren bei Muser et al. im Durchschnitt 2 (1 – 4) und bei ICM-Patienten 3 (1 – 4) VTs induzierbar. Dieses Ergebnis stimmt in etwa mit dem Ergebnis dieser Arbeit überein. Bei DCM-Patienten waren in der vorliegenden Studie durchschnittlich signifikant weniger VTs als bei ICM-Patienten induzierbar gewesen ($p = 0,002$).

Bei Muser et al. war die Induzierbarkeit einer VT am Ende der Prozedur die einzige unabhängige Variable, die mit einem Wiederauftreten der VT im Follow-up (60 Monate) assoziiert war. Im Gegensatz zu Della Bella et al. (2013) und Dinov et al. (2014) unterschieden sich im Langzeitergebnis bei Muser et al. die Prozeduren der DCM-Patienten nicht von jenen der ICM-Patienten. Im Follow-up überlebten 62 % Patienten ohne Herztransplantation. Dabei gab es keinen signifikanten Unterschied zwischen den DCM- und ICM-Patienten.

Im Unterschied zu Carbucchio et al. (2008) und Proietti et al. (2015) aber vereinbar mit Muser et al. (2017) lag zwischen Prozeduren mit DCM- oder ICM-Patienten kein signifikanter Unterschied in Bezug auf den akuten Erfolg vor. Eine hohe Anzahl an induzierbaren VTs stellte in unserer Untersuchung einen negativen Prädiktor für eine erfolgreiche Prozedur dar. Bei ICM-Patienten waren signifikant mehr VTs induzierbar gewesen als bei den DCM-Patienten ($p = 0,002$) und dementsprechend waren bei ICM-Patienten durchschnittlich auch signifikant mehr VTs behandelt worden ($p = 0,006$). Dies könnte eine mögliche Erklärung sein, weshalb in dieser Studie bei ICM-Patienten nicht häufiger als bei DCM-Patienten ein akuter Erfolg der Prozedur vorlag. Dafür würde sprechen, dass bei Proietti et al. (2015), im Gegensatz zu der hier durchgeführten Studie, zu Beginn der Prozeduren bei ICM- und DCM-Patienten gleich viele VTs induzierbar waren.

4.4 Limitationen der Studie

Zur Limitation dieser Arbeit sei angeführt, dass es sich um eine unizentrische, retrospektive Analyse handelt. Des Weiteren muss eine deutliche Ungleichheit der Größe der untersuchten Patientengruppen erwähnt werden. Darüber hinaus ist die DCM eine Gruppe von Erkrankungen, deren genaue Ätiologie häufig nicht genau geklärt ist. Es ist zu bedenken, dass bei vielen Patienten der DCM-Gruppe eine unterschiedliche teilweise ungeklärte Pathophysiologie der Narbenbereiche vorliegt, die eine unbekannte Einflussgröße für den Erfolg der Prozedur sein könnte. Einschränkend ist außerdem zu erwähnen, dass eine genaue Charakterisierung der Narbenareale der ICM- und DCM-Patienten nicht erfolgt ist.

Des Weiteren wurden die Erfahrung und der Erfahrungszuwachs des jeweiligen Teams, das die Prozedur durchgeführt hat, nicht festgehalten. Dies könnte einen Einfluss auf den Erfolg der Prozeduren gehabt haben.

In dieser Untersuchung wurde ausschließlich der Kurzzeiterfolg bzw. der akute Erfolg in Form der Induzierbarkeit der klinisch relevanten VT am Ende der Prozedur gemessen. Zwar haben andere Studien gezeigt, dass sich hieraus auf den langfristigen Erfolg (keine Rekurrenz der VT bzw. rezidivfreies Überleben) schließen lässt (Della Bella et al., 2013; Dinov et al., 2014; Muser et al., 2017; Proietti et al., 2015) jedoch wurde in dieser Studie der langfristige Erfolg der Prozeduren in Form eines Follow-ups nicht festgehalten.

5 Zusammenfassung

In der vorliegenden Studie sollte untersucht werden, ob es Unterschiede zwischen Ablationsprozeduren in Bezug auf den akuten Behandlungserfolg an Patienten mit ischämischer Kardiomyopathie (ICM) oder dilatativer Kardiomyopathie (DCM) gibt. Hierzu waren die Prozeduren in voll, partiell und nicht erfolgreiche Prozeduren unterteilt worden. Der akute Erfolg der Prozeduren war danach gemessen worden, ob am Ende der Prozedur keine ventrikuläre Tachykardie (VT) mehr induzierbar war, die klinisch relevante VT nicht mehr induzierbar war oder selbst die klinisch relevanten VT weiterhin induzierbar gewesen ist.

Zwischen den Prozeduren der DCM- und ICM-Patienten war kein signifikanter Unterschied in Bezug auf den akuten Erfolg der Prozedur festgestellt worden. Zwar unterschieden sich die Prozeduren von Patienten mit DCM und ICM in Bezug auf bestimmte prozedurale Parameter, wie der Einsatz von Pace-Mapping und Ursprung der VT, allerdings waren die meisten dieser Parameter nicht signifikant unterschiedlich in Bezug auf voll, partiell oder nicht erfolgreiche Prozeduren. Eine Ausnahme stellte die Anzahl induzierbarer VTs zu Beginn der Prozedur dar. Bei Patienten mit ICM waren im Induktionsversuch durchschnittlich signifikant mehr VTs induzierbar als bei DCM-Patienten.

Eine hohe Anzahl an induzierbaren VTs im Induktionsversuch zu Beginn der Prozedur stellte sich als ein signifikanter negativer Prädiktor für den akuten Erfolg der Prozedur heraus. Je mehr VTs im Induktionsversuch induzierbar waren, desto geringer war die relative Wahrscheinlichkeit für eine voll erfolgreiche Prozedur.

Das Vorliegen einer ICM statt einer DCM, das Alter, die Implantation eines Kardioverter-Defibrillators zum Zeitpunkt der Prozedur, eine wiederholt durchgeführte Prozedur und die Induzierbarkeit der klinisch relevanten VT stellten dagegen keinen signifikanten Prädiktor für einen akuten Prozedurerfolg dar.

5.1 Abstract

In this study, we aimed to find differences between the success of ablation procedures of patients with ischemic cardiomyopathy (ICM) and patients with dilated cardiomyopathy (DCM). For this, the ablation procedures were divided into full, partial and unsuccessful procedures. A full success of the procedure was defined as non-inducibility of any ventricular tachycardia (VT) at the end of the procedure. A partial success was defined as non-inducibility of the clinical VT and no success was defined as inducibility of the clinical VT at the end of the procedure.

There was no significant difference in terms of acute success between patients with ICM or DCM. Although there were certain procedural parameters, such as the use of pace mapping and the origin of the VT, which differed between patients with ICM or DCM, most of these parameters had no significant impact on the success of the procedure.

A notable exception was the number of inducible VTs in the programmed ventricular stimulation at the beginning of the procedure. In patients with ICM, there were significantly more VTs inducible at the beginning of the procedure and a high number of inducible VTs turned out to be a significant negative predictor for a full success of the procedure. The more VTs were inducible, the lower was the relative probability of a full success of the procedure.

However, the presence of an ICM rather than a DCM, the age of the patient, the implantation of a cardioverter-defibrillator at the time of the procedure, a repeatedly performed procedure, and the inducibility of the clinical VT did not represent significant predictors for a full acute success of the procedure.

6 Literaturverzeichnis

- Bogun, F., Crawford, T., Chalfoun, N., Kuhne, M., Sarrazin, J. F., Wells, D., ... Morady, F. (2008). Relationship of frequent postinfarction premature ventricular complexes to the reentry circuit of scar-related ventricular tachycardia. *Heart Rhythm*, 5(3), 367–374. <http://doi.org/10.1016/J.HRTHM.2007.11.026>
- Calkins, H., Epstein, A., Packer, D., Arria, A. M., Hummel, J., Gilligan, D. M., ... Stevenson, W. (2000). Catheter ablation of ventricular tachycardia in patients with structural heart disease using cooled radiofrequency energy. *Journal of the American College of Cardiology*, 35(7), 1905–1914. [http://doi.org/10.1016/S0735-1097\(00\)00615-X](http://doi.org/10.1016/S0735-1097(00)00615-X)
- Cano, O., Hutchinson, M., Lin, D., Garcia, F., Zado, E., Bala, R., ... Marchlinski, F. E. (2009). Electroanatomic substrate and ablation outcome for suspected epicardial ventricular tachycardia in left ventricular nonischemic cardiomyopathy. *Journal of the American College of Cardiology*, 54(9), 799–808. <http://doi.org/10.1016/j.jacc.2009.05.032>
- Carbucchio, C., Santamaria, M., Trevisi, N., Maccabelli, G., Giralardi, F., Fassini, G., ... Della Bella, P. (2008). Catheter ablation for the treatment of electrical storm in patients with implantable cardioverter-defibrillators: short- and long-term outcomes in a prospective single-center study. *Circulation*, 117(4), 462–9. <http://doi.org/10.1161/CIRCULATIONAHA.106.686534>
- Codd, M. B., Sugrue, D. D., Gersh, B. J., & Melton, L. J. (1989). Epidemiology of idiopathic dilated and hypertrophic cardiomyopathy. A population-based study in Olmsted County, Minnesota, 1975-1984. *Circulation*, 80(3), 564–572. <http://doi.org/10.1161/01.CIR.80.3.564>
- Connolly, S. J., Dorian, P., Roberts, R. S., Gent, M., Bailin, S., Fain, E. S., ... Hohnloser, S. H. (2006). Comparison of beta-blockers, amiodarone plus beta-blockers, or sotalol for prevention of shocks from implantable cardioverter defibrillators: the OPTIC Study: a randomized trial. *JAMA*, 295(2), 165–71. <http://doi.org/10.1001/jama.295.2.165>
- de Bakker, J. M., van Capelle, F. J., Janse, M. J., Tasseron, S., Vermeulen, J. T., de Jonge, N., & Lahpor, J. R. (1993). Slow conduction in the infarcted human heart. “Zigzag” course of activation. *Circulation*, 88(3), 915–926. <http://doi.org/10.1161/01.CIR.88.3.915>
- de Chillou, C. (2001). Isthmus Characteristics of Reentrant Ventricular Tachycardia After Myocardial Infarction. *Circulation*, 105(6), 726–731. <http://doi.org/10.1161/hc0602.103675>

- Della Bella, P., Baratto, F., Tsiachris, D., Trevisi, N., Vergara, P., Bisceglia, C., ... Maccabelli, G. (2013). Management of ventricular tachycardia in the setting of a dedicated unit for the treatment of complex ventricular arrhythmias: long-term outcome after ablation. *Circulation*, *127*(13), 1359–68. <http://doi.org/10.1161/CIRCULATIONAHA.112.000872>
- Di Biase, L., Santangeli, P., Burkhardt, D. J., Bai, R., Mohanty, P., Carbucicchio, C., ... Natale, A. (2012). Endo-Epicardial Homogenization of the Scar Versus Limited Substrate Ablation for the Treatment of Electrical Storms in Patients With Ischemic Cardiomyopathy. *Journal of the American College of Cardiology*, *60*(2), 132–141. <http://doi.org/10.1016/J.JACC.2012.03.044>
- Dinov, B., Fiedler, L., Schönbauer, R., Bollmann, A., Rolf, S., Piorkowski, C., ... Arya, A. (2014). Outcomes in catheter ablation of ventricular tachycardia in dilated nonischemic cardiomyopathy compared with ischemic cardiomyopathy: results from the Prospective Heart Centre of Leipzig VT (HELP-VT) Study. *Circulation*, *129*(7), 728–36. <http://doi.org/10.1161/CIRCULATIONAHA.113.003063>
- Echt, D. S., Liebson, P. R., Mitchell, L. B., Peters, R. W., Obias-Manno, D., Barker, A. H., ... Investigators*, the C. (1991). Mortality and Morbidity in Patients Receiving Encainide, Flecainide, or Placebo. *New England Journal of Medicine*, *324*(12), 781–788. <http://doi.org/10.1056/NEJM199103213241201>
- Elliott, P., Andersson, B., Arbustini, E., Bilinska, Z., Cecchi, F., Charron, P., ... Keren, A. (2008). Classification of the cardiomyopathies: a position statement from the European Society Of Cardiology Working Group on Myocardial and Pericardial Diseases. *European Heart Journal*, *29*(2), 270–6. <http://doi.org/10.1093/eurheartj/ehm342>
- Frankel, D. S., Mountantonakis, S. E., Robinson, M. R., Zado, E. S., Callans, D. J., & Marchlinski, F. E. (2011). Ventricular tachycardia ablation remains treatment of last resort in structural heart disease: argument for earlier intervention. *Journal of Cardiovascular Electrophysiology*, *22*(10), 1123–8. <http://doi.org/10.1111/j.1540-8167.2011.02081.x>
- Hoffman, B. F., & Rosen, M. R. (1981). Cellular mechanisms for cardiac arrhythmias. *Circulation Research*, *49*(1), 1–15. <http://doi.org/10.1161/01.RES.49.1.1>
- Jais, P., Maury, P., Khairy, P., Sacher, F., Nault, I., Komatsu, Y., ... Haïssaguerre, M. (2012). Elimination of local abnormal ventricular activities: a new end point for substrate modification in patients with scar-related ventricular tachycardia. *Circulation*, *125*(18), 2184–96. <http://doi.org/10.1161/CIRCULATIONAHA.111.043216>

- Kamphuis, H. (2003). Implantable cardioverter defibrillator recipients: quality of life in recipients with and without ICD shock delivery A prospective study. *Europace*, 5(4), 381–389. [http://doi.org/10.1016/S1099-5129\(03\)00078-3](http://doi.org/10.1016/S1099-5129(03)00078-3)
- Kuck, K.-H., Cappato, R., Siebels, J., & Ruppel, R. (2000). Randomized Comparison of Antiarrhythmic Drug Therapy With Implantable Defibrillators in Patients Resuscitated From Cardiac Arrest : The Cardiac Arrest Study Hamburg (CASH). *Circulation*, 102(7), 748–754. <http://doi.org/10.1161/01.CIR.102.7.748>
- Kuck, K.-H., Schaumann, A., Eckardt, L., Willems, S., Ventura, R., Delacrétaz, E., ... Hansen, P. S. (2010). Catheter ablation of stable ventricular tachycardia before defibrillator implantation in patients with coronary heart disease (VTACH): a multicentre randomised controlled trial. *Lancet (London, England)*, 375(9708), 31–40. [http://doi.org/10.1016/S0140-6736\(09\)61755-4](http://doi.org/10.1016/S0140-6736(09)61755-4)
- Levey, A. S., Bosch, J. P., Lewis, J. B., Greene, T., Rogers, N., & Roth, D. (1999). A More Accurate Method To Estimate Glomerular Filtration Rate from Serum Creatinine: A New Prediction Equation. *Annals of Internal Medicine*, 130(6), 461. <http://doi.org/10.7326/0003-4819-130-6-199903160-00002>
- Link, M. S., Laidlaw, D., Polonsky, B., Zareba, W., McNitt, S., Gear, K., ... Estes, N. A. M. (2014). Ventricular Arrhythmias in the North American Multidisciplinary Study of ARVC: Predictors, Characteristics, and Treatment. *Journal of the American College of Cardiology*, 64(2), 119–125. <http://doi.org/10.1016/j.jacc.2014.04.035>
- Liuba, I., & Marchlinski, F. E. (2013). The Substrate and Ablation of Ventricular Tachycardia in Patients With Nonischemic Cardiomyopathy. *Circulation Journal*, 77(8), 1957–1966. <http://doi.org/10.1253/circj.CJ-13-0758>
- Marchlinski, F. E., Callans, D. J., Gottlieb, C. D., & Zado, E. (2000). Linear Ablation Lesions for Control of Unmappable Ventricular Tachycardia in Patients With Ischemic and Nonischemic Cardiomyopathy. *Circulation*, 101(11), 1288–1296. <http://doi.org/10.1161/01.CIR.101.11.1288>
- Marine, J. E., Shetty, V., Chow, G. V., Wright, J. G., Gerstenblith, G., Najjar, S. S., ... Fleg, J. L. (2013). Prevalence and prognostic significance of exercise-induced nonsustained ventricular tachycardia in asymptomatic volunteers: BLSA (Baltimore Longitudinal Study of Aging). *Journal of the American College of Cardiology*, 62(7), 595–600. <http://doi.org/10.1016/j.jacc.2013.05.026>
- Muser, D., Liang, J. J., Pathak, R. K., Magnani, S., Castro, S. A., Hayashi, T., ... Santangeli, P. (2017). Long-Term Outcomes of Catheter Ablation of Electrical Storm in

- Nonischemic Dilated Cardiomyopathy Compared With Ischemic Cardiomyopathy. *JACC: Clinical Electrophysiology*, 3(7), 767–778. <http://doi.org/10.1016/J.JACEP.2017.01.020>
- Narasimhan, C., Jazayeri, M. R., Sra, J., Dhala, A., Deshpande, S., Biehl, M., ... Blanck, Z. (1997). Ventricular Tachycardia in Valvular Heart Disease. *Circulation*, 96(12), 4307–4313. <http://doi.org/10.1161/01.CIR.96.12.4307>
- Peichl, P., Čihák, R., Koželuhová, M., Wichterle, D., Vančura, V., & Kautzner, J. (2010). Catheter ablation of arrhythmic storm triggered by monomorphic ectopic beats in patients with coronary artery disease. *Journal of Interventional Cardiac Electrophysiology*, 27(1), 51–59. <http://doi.org/10.1007/s10840-009-9443-2>
- Peichl, P., Wichterle, D., Pavlu, L., Cihak, R., Aldhoon, B., & Kautzner, J. (2014). Complications of catheter ablation of ventricular tachycardia: a single-center experience. *Circulation. Arrhythmia and Electrophysiology*, 7(4), 684–90. <http://doi.org/10.1161/CIRCEP.114.001530>
- Piccini, J. P., Berger, J. S., & O'Connor, C. M. (2009). Amiodarone for the prevention of sudden cardiac death: a meta-analysis of randomized controlled trials. *European Heart Journal*, 30(10), 1245–53. <http://doi.org/10.1093/eurheartj/ehp100>
- Piccini, J. P., Hranitzky, P. M., Kilaru, R., Rouleau, J.-L., White, H. D., Aylward, P. E., ... Velazquez, E. J. (2008). Relation of mortality to failure to prescribe beta blockers acutely in patients with sustained ventricular tachycardia and ventricular fibrillation following acute myocardial infarction (from the VALsartan In Acute myocardial iNfarcTion trial [VALIANT] Re). *The American Journal of Cardiology*, 102(11), 1427–32. <http://doi.org/10.1016/j.amjcard.2008.07.033>
- Piccini, J. P., Schulte, P. J., Pieper, K. S., Mehta, R. H., White, H. D., Van de Werf, F., ... Alexander, J. H. (2011). Antiarrhythmic drug therapy for sustained ventricular arrhythmias complicating acute myocardial infarction. *Critical Care Medicine*, 39(1), 78–83. <http://doi.org/10.1097/CCM.0b013e3181fd6ad7>
- Poole, J. E., Johnson, G. W., Hellkamp, A. S., Anderson, J., Callans, D. J., Raitt, M. H., ... Bardy, G. H. (2008). Prognostic importance of defibrillator shocks in patients with heart failure. *The New England Journal of Medicine*, 359(10), 1009–1017. <http://doi.org/10.1056/NEJMoa071098>
- Priori, S. G., Blomström-Lundqvist, C., Mazzanti, A., Blom, N., Borggrefe, M., Camm, J., ... Van Veldhuisen, D. J. (2015). 2015 ESC Guidelines for the management of patients with ventricular arrhythmias and the prevention of sudden cardiac death: The Task Force for

- the Management of Patients with Ventricular Arrhythmias and the Prevention of Sudden Cardiac Death of the Europe. *European Heart Journal*, 36(41), 2793–2867. <http://doi.org/10.1093/eurheartj/ehv316>
- Proietti, R., Essebag, V., Beardsall, J., Hache, P., Pantano, A., Wulffhart, Z., ... Verma, A. (2015). Substrate-guided ablation of haemodynamically tolerated and intolerated ventricular tachycardia in patients with structural heart disease: effect of cardiomyopathy type and acute success on long-term outcome. *Europace: European Pacing, Arrhythmias, and Cardiac Electrophysiology: Journal of the Working Groups on Cardiac Pacing, Arrhythmias, and Cardiac Cellular Electrophysiology of the European Society of Cardiology*, 17(3), 461–7. <http://doi.org/10.1093/europace/euu326>
- Qian, Z., Zhang, Z., Guo, J., Wang, Y., Hou, X., Feng, G., & Zou, J. (2016). Association of Implantable Cardioverter Defibrillator Therapy with All-Cause Mortality-A Systematic Review and Meta-Analysis. *Pacing and Clinical Electrophysiology*, 39(1), 81–88. <http://doi.org/10.1111/pace.12766>
- Qintar, M., George, J. J., Panko, M., Bea, S., Broer, K. A., St. John, J., ... Chung, M. K. (2015). A prospective study of anxiety in ICD patients with a pilot randomized controlled trial of cognitive behavioral therapy for patients with moderate to severe anxiety. *Journal of Interventional Cardiac Electrophysiology*, 43(1), 65–75. <http://doi.org/10.1007/s10840-015-9990-7>
- Reddy, V. Y., Reynolds, M. R., Neuzil, P., Richardson, A. W., Taborsky, M., Jongnarangsin, K., ... Josephson, M. E. (2007). Prophylactic Catheter Ablation for the Prevention of Defibrillator Therapy. *New England Journal of Medicine*, 357(26), 2657–2665. <http://doi.org/10.1056/NEJMoa065457>
- Reddy, Y. M., Chinitz, L., Mansour, M., Bunch, T. J., Mahapatra, S., Swarup, V., ... Lakkireddy, D. (2014). Percutaneous left ventricular assist devices in ventricular tachycardia ablation: multicenter experience. *Circulation. Arrhythmia and Electrophysiology*, 7(2), 244–50. <http://doi.org/10.1161/CIRCEP.113.000548>
- Regitz-Zagrosek, V., Roos-Hesselink, J. W., Bauersachs, J., Blomström-Lundqvist, C., Cífková, R., De Bonis, M., ... Nelson-Piercy, C. (2018). 2018 ESC Guidelines for the management of cardiovascular diseases during pregnancy. *European Heart Journal*, 39(34), 3165–3241. <http://doi.org/10.1093/eurheartj/ehy340>
- Restivo, M., Yin, H., Caref, E. B., Patel, A. I., Ndrepepa, G., Avitable, M. J., ... El-Sherif, N. (1995). Reentrant Arrhythmias in the Subacute Infarction Period. *Circulation*, 91(4), 1236–1246. <http://doi.org/10.1161/01.CIR.91.4.1236>

- Sacher, Frederic, Lim, H. S., Derval, N., Denis, A., Berte, B., ... Jaïs, P. (2015). Substrate Mapping and Ablation for Ventricular Tachycardia: The LAVA Approach. *Journal of Cardiovascular Electrophysiology*, 26(4), 464–471. <http://doi.org/10.1111/jce.12565>
- Sapp, J. L., Wells, G. A., Parkash, R., Stevenson, W. G., Blier, L., Sarrazin, J.-F., ... Tang, A. S. L. (2016). Ventricular Tachycardia Ablation versus Escalation of Antiarrhythmic Drugs. *New England Journal of Medicine*, 375(2), 111–121. <http://doi.org/10.1056/NEJMoa1513614>
- Schwartz, P. J., Crotti, L., & Insolia, R. (2012). Long-QT Syndrome. *Circulation: Arrhythmia and Electrophysiology*, 5(4), 868–877. <http://doi.org/10.1161/CIRCEP.111.962019>
- Sjögren, A., Edvinsson, L., & Fallgren, B. (1989). Magnesium deficiency in coronary artery disease and cardiac arrhythmias. *Journal of Internal Medicine*, 226(4), 213–222. <http://doi.org/10.1111/j.1365-2796.1989.tb01383.x>
- Stevenson, W. G., Friedman, P. L., Sager, P. T., Saxon, L. A., Kocovic, D., Harada, T., ... Khan, H. (1997). Exploring Postinfarction Reentrant Ventricular Tachycardia With Entrainment Mapping. *Journal of the American College of Cardiology*, 29(6), 1180–1189. [http://doi.org/10.1016/S0735-1097\(97\)00065-X](http://doi.org/10.1016/S0735-1097(97)00065-X)
- Stevenson, W. G., Khan, H., Sager, P., Saxon, L. A., Middlekauff, H. R., Natterson, P. D., & Wiener, I. (1993). Identification of reentry circuit sites during catheter mapping and radiofrequency ablation of ventricular tachycardia late after myocardial infarction. *Circulation*, 88(4), 1647–1670. <http://doi.org/10.1161/01.CIR.88.4.1647>
- Stevenson, W. G., Sager, P. T., Natterson, P. D., Saxon, L. A., Middlekauff, H. R., & Wiener, I. (1995). Relation of pace mapping QRS configuration and conduction delay to ventricular tachycardia reentry circuits in human infarct scars. *Journal of the American College of Cardiology*. [http://doi.org/10.1016/0735-1097\(95\)80026-D](http://doi.org/10.1016/0735-1097(95)80026-D)
- Stevenson, W. G., Wilber, D. J., Natale, A., Jackman, W. M., Marchlinski, F. E., Talbert, T., ... Nakagawa, H. (2008). Irrigated radiofrequency catheter ablation guided by electroanatomic mapping for recurrent ventricular tachycardia after myocardial infarction: the multicenter thermocool ventricular tachycardia ablation trial. *Circulation*, 118(25), 2773–82. <http://doi.org/10.1161/CIRCULATIONAHA.108.788604>
- Tanner, H., Hindricks, G., Volkmer, M., Furniss, S., Kühlkamp, V., Lacroix, D., ... Kottkamp, H. (2010). Catheter ablation of recurrent scar-related ventricular tachycardia using electroanatomical mapping and irrigated ablation technology: results of the prospective multicenter Euro-VT-study. *Journal of Cardiovascular Electrophysiology*, 21(1), 47–53. <http://doi.org/10.1111/j.1540-8167.2009.01563.x>

- Tokuda, M., Tedrow, U. B., Kojodjojo, P., Inada, K., Koplan, B. A., Michaud, G. F., ... Stevenson, W. G. (2012). Catheter Ablation of Ventricular Tachycardia in Nonischemic Heart Disease. *Circulation: Arrhythmia and Electrophysiology*, 5(5), 992–1000. <http://doi.org/10.1161/CIRCEP.112.971341>
- Tung, R., Vaseghi, M., Frankel, D. S., Vergara, P., Di Biase, L., Nagashima, K., ... Shivkumar, K. (2015). Freedom from recurrent ventricular tachycardia after catheter ablation is associated with improved survival in patients with structural heart disease: An International VT Ablation Center Collaborative Group study. *Heart Rhythm*, 12(9), 1997–2007. <http://doi.org/10.1016/J.HRTHM.2015.05.036>
- Volosin, K., Stadler, R. W., Wyszynski, R., & Kirchhof, P. (2013). Tachycardia detection performance of implantable loop recorders: results from a large “real-life” patient cohort and patients with induced ventricular arrhythmias. *Europace: European Pacing, Arrhythmias, and Cardiac Electrophysiology: Journal of the Working Groups on Cardiac Pacing, Arrhythmias, and Cardiac Cellular Electrophysiology of the European Society of Cardiology*, 15(8), 1215–22. <http://doi.org/10.1093/europace/eut036>
- Zafari, A. M., Zarter, S. K., Heggen, V., Wilson, P., Taylor, R. A., Reddy, K., ... Dudley, S. C. (2004). A program encouraging early defibrillation results in improved in-hospital resuscitation efficacy. *Journal of the American College of Cardiology*, 44(4), 846–52. <http://doi.org/10.1016/j.jacc.2004.04.054>
- Zheng, Z.-J., Croft, J. B., Giles, W. H., & Mensah, G. A. (2001). Sudden Cardiac Death in the United States, 1989 to 1998. *Circulation*, 104(18), 2158–2163. <http://doi.org/10.1161/hc4301.098254>
- Zipes, D. P., Camm, A. J., Borggrefe, M., Buxton, A. E., Chaitman, B., Fromer, M., ... Riegel, B. (2006). ACC/AHA/ESC 2006 guidelines for management of patients with ventricular arrhythmias and the prevention of sudden cardiac death--executive summary: A report of the American College of Cardiology/American Heart Association Task Force and the European Society. *European Heart Journal*, 27(17), 2099–140. <http://doi.org/10.1093/eurheartj/ehl199>
- Zipes, D. P., Jalife, J., Stevenson, W. G., Deshmukh, A., Kapa, S., & Asirvatham, S. (2018). Electroanatomical Mapping for Arrhythmias. *Cardiac Electrophysiology: From Cell to Bedside*, 574–586. <http://doi.org/10.1016/B978-0-323-44733-1.00061-4>
- Zipes, D. P., Jalife, J., Stevenson, W. G., Dinov, B., Arya, A., & Hindricks, G. (2018). Ventricular Tachycardia in Patients With Dilated Cardiomyopathy. *Cardiac Electrophysiology: From Cell to Bedside*, 820–828. <http://doi.org/10.1016/B978-0-323->

44733-1.00085-7

Zipes, D. P., Jalife, J., Stevenson, W. G., Frankel, D. S., & Marchlinski, F. E. (2018). Ischemic Heart Disease. *Cardiac Electrophysiology: From Cell to Bedside*, 814–819. <http://doi.org/10.1016/B978-0-323-44733-1.00084-5>

Zipes, D. P., Jalife, J., Stevenson, W. G., Jackson, N., Gizurason, S., Massé, S., & Nanthakumar, K. (2018). Mechanisms of Human Ventricular Tachycardia and Human Ventricular Fibrillation. *Cardiac Electrophysiology: From Cell to Bedside*, 453–464. <http://doi.org/10.1016/B978-0-323-44733-1.00048-1>

Zipes, D. P., Jalife, J., Stevenson, W. G., Myerburg, R. J., & Goldberger, J. J. (2018). Sudden Cardiac Death in Adults. *Cardiac Electrophysiology: From Cell to Bedside*, 937–948. <http://doi.org/10.1016/B978-0-323-44733-1.00099-7>

7 Danksagung

Zunächst möchte ich mich bei Herrn Prof. Dr. med. Stefan Blankenberg, dem Direktor der Klinik für Allgemeine und Interventionelle Kardiologie des UKE und bei Prof. Dr. med. Stephan Willems, dem ehemaligen Direktor der Klinik für Kardiologie mit dem Schwerpunkt Elektrophysiologie des UKE, für die angenehme und offene Kooperation der jeweiligen Klinik bedanken.

Mein herzlicher Dank gilt meinem Doktorvater Herrn Prof. Dr. med. Dipl.-Ing. Boris Hoffmann für seine verlässliche und engagierte Begleitung dieser Arbeit.

Des Weiteren gilt meiner Betreuerin Frau Dr. med. Julia Moser mein tiefer Dank für die jederzeit erreichbare fachliche Beratung und herzliche Motivation.

Darüber hinaus danke ich Frau Dipl.-Math. oec. Susanne Sehner und Herrn Marvin Gensicke für die Beratung in statistischen Fragestellungen.

8 Lebenslauf

Lebenslauf wurde aus datenschutzrechtlichen Gründen entfernt.

9 Eidesstattliche Versicherung

Ich versichere ausdrücklich, dass ich die Arbeit selbstständig und ohne fremde Hilfe verfasst, andere als die von mir angegebenen Quellen und Hilfsmittel nicht benutzt und die aus den benutzten Werken wörtlich oder inhaltlich entnommenen Stellen einzeln nach Ausgabe (Auflage und Jahr des Erscheinens), Band und Seite des benutzten Werkes kenntlich gemacht habe.

Ferner versichere ich, dass ich die Dissertation bisher nicht einem Fachvertreter an einer anderen Hochschule zur Überprüfung vorgelegt oder mich anderweitig um Zulassung zur Promotion beworben habe.

Ich erkläre mich einverstanden, dass meine Dissertation vom Dekanat der Medizinischen Fakultät mit einer gängigen Software zur Erkennung von Plagiaten überprüft werden kann.

Unterschrift: