

# Prädiktoren für die Progredienz von Aortenaneurysmen in der Computertomographie

Dissertation  
zur Erlangung des akademischen Grades  
Dr. med.  
an der medizinischen Fakultät  
der Universität Leipzig

Eingereicht von:

**Sebastian Schaaf**

Geburtsdatum/-ort:

**15. Januar 1987 in Leipzig**

Angefertigt in:

**Abteilung für Diagnostische und Interventionelle Radiologie,  
Universität Leipzig – Herzzentrum**

Betreuer:

**Prof. Dr. med. Matthias Gutberlet**

**PD Dr. med. Lukas Lehmkuhl**

Beschluss über die Verleihung des Doktorgrades vom:  
24. März 2015

**Bibliografische Information der Deutschen Bibliothek**

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

**Schaaf, Sebastian**

Prädiktoren für die Progredienz von Aortenaneurysmen in der Computertomographie

ISBN 978-3-86376-153-0

**Alle Rechte vorbehalten**

1. Auflage 2015

© Optimus Verlag, Göttingen

© Coverfoto: – Fotolia.com

URL: [www.optimus-verlag.de](http://www.optimus-verlag.de)

Printed in Germany

Papier ist FSC zertifiziert (holzfrei, chlorfrei und säurefrei,  
sowie alterungsbeständig nach ANSI 3948 und ISO 9706)

Das Werk, einschließlich aller seiner Teile, ist urheberrechtlich geschützt. Jede Verwertung außerhalb der engen Grenzen des Urheberrechtsgesetzes in Deutschland ist ohne Zustimmung des Verlages unzulässig und strafbar. Dies gilt insbesondere für Vervielfältigungen, Übersetzungen, Mikroverfilmungen und die Einspeicherung und Verarbeitung in elektronischen Systemen.

# Inhalt

Bibliographische Beschreibung .....	V
Referat.....	VII
Abbildungsverzeichnis.....	IX
Tabellenverzeichnis .....	XI
<b>1. Einführung .....</b>	<b>1</b>
1.1 Zur Historie des Aneurysmas.....	1
1.1.1 Erste Erwähnungen und Altertum .....	1
1.1.2 Mittelalter und Renaissance– von außen nach innen .....	2
1.1.3 Neuzeit – Evolution pathogenetischer Erkenntnisse und suffizienter Therapien.....	3
1.2 Begriffsbestimmung.....	5
1.2.1 Aneurysma verum .....	5
1.2.2 Aneurysma dissecans.....	6
1.2.3 Aneurysma spurium.....	6
1.3 Ätiologie und Einflussfaktoren der Aneurysmaentstehung .....	6
1.3.1 Pathophysiologische Aspekte der Aneurysmagenese .....	6
1.3.2 Genetische Syndrome als Ursache von Aortenaneurysmen.....	8
1.3.3 Gefäßassoziierte Pathologien als Ursache für Aortenaneurysmen .....	10
1.3.4 Risikofaktoren für die Entstehung aortaler Aneurysmen .....	12
1.3.5 Medikamentöse Wechselwirkungen.....	14
1.4 Epidemiologie des Aortenaneurysmas.....	15
1.4.1 Angaben zur Prävalenz und Inzidenz.....	15
1.4.2 Rupturraten von thorakalen und abdominellen Aneurysmen.....	17
1.4.3 Angaben zu Wachstumsraten (GRy) aortaler Aneurysmen .....	17
1.5 Diagnostik und Bildgebung der Aorta .....	18
1.5.1 Nichtapparative Diagnostik .....	19
1.5.2 Konventionelles Röntgen und Angiografie .....	19
1.5.3 Ultraschall.....	19

1.5.4	Schnittbildgebung – Computer- und Magnetresonanztomografie (CT/MRT).....	20
1.6	Therapeutische Optionen .....	20
1.6.1	Thorakale und thorakoabdominelle Aortenaneurysmen .....	20
1.6.2	Bauchaortenaneurysmen.....	21
<b>2.</b>	<b>Ziel der Studie.....</b>	<b>23</b>
<b>3.</b>	<b>Materialien und Methoden .....</b>	<b>25</b>
3.1	Studienkollektiv – Ein- und Ausschlusskriterien.....	25
3.2	Bildgebung.....	25
3.3	Bildverarbeitung und Messverfahren.....	26
3.3.1	Vorbereitung.....	26
3.3.2	Volumenberechnung.....	28
3.3.3	Messung von Diameter und Querschnittsfläche.....	29
3.3.4	Berechnung der Innen- und Außenfläche.....	29
3.3.5	Messung der minimalen und maximalen Wandstärke .....	30
3.3.6	Bestimmung der Segmentlänge.....	31
3.3.7	Winkelungs- und Krümmungsmessung .....	31
3.3.8	Exzentrizität des Gefäßquerschnittes .....	32
3.3.9	Vermessung der Gefäßwandverkalkung .....	33
3.4	Klinisch-anamnestische Faktoren .....	34
3.5	Berechnung der Wachstumsraten .....	35
3.6	Definition des Wachstumskriteriums.....	35
3.7	Gruppierung der Aortensegmente zur Auswertung.....	36
3.8	Statistische Auswertung.....	36
3.8.1	Mittelwertdifferenzen .....	36
3.8.2	Korrelation.....	37
3.8.3	Multiple Regressionsanalyse .....	37
3.8.4	Messmethodenvergleich.....	37

---

<b>4. Ergebnisse.....</b>	<b>39</b>
4.1 Charakteristika der Studienpopulation.....	39
4.1.1 Patientencharakteristika.....	39
4.1.2 Verteilung der klinischen Risikofaktoren.....	40
4.2 Quantifizierung der Aortenveränderungen anhand CT-morphologischer Parameter – initial und im Verlauf.....	42
4.2.1 Volumen .....	42
4.2.2 Diameter und Querschnittsfläche .....	45
4.2.3 Innen- und Außenfläche .....	47
4.2.4 Wandstärke .....	48
4.2.5 Länge, Proportion und Krümmung .....	51
4.2.6 Exzentrizität der Gefäßquerschnitte .....	54
4.2.7 Wandverkalkung.....	56
4.3 Einflussfaktoren des Aortenwachstums.....	60
4.3.1 Korrelationsanalyse der potentiellen Einflussfaktoren mit dem Wachstumskriterium.....	60
4.3.2 Prädiktoren des Aortenwachstums - Multiple Regressionsanalyse.....	65
4.4 Diskrepanzen zwischen unterschiedlich basierten Wachstumsraten .....	67
<b>5. Diskussion.....</b>	<b>71</b>
5.1 Wachstumsverhalten und Aortenmorphologie .....	71
5.1.1 Das Volumen als sensitiver Verlaufsparemeter des Aortenwachstums.....	71
5.1.2 Etablierte Größen: Diameter und Querschnittsfläche .....	73
5.1.3 Alternative dreidimensionale Parameter: Innen- und Außenfläche .....	74
5.1.4 Die aortale Wandstärke als Surrogatparameter für intraluminalen Thrombus und atheromatöse Wandveränderungen .....	74
5.1.5 Die segmentale Länge, Proportion und Krümmung als Korrelat longitudinalen Wachstums .....	75
5.1.6 Die Exzentrizität der Gefäßquerschnitte .....	76
5.1.7 Die aortale Wandverkalkung.....	77
5.2 Prädiktoren und Einflussfaktoren des Aortenwachstums .....	77
5.2.1 Initiale Größe.....	78

5.2.2	Gefäßwandveränderungen.....	79
5.2.3	Das Verhältnis von Proportion, Krümmung und Elongation der Aortensegmente.....	81
5.2.4	Die Morphologie des Gefäßquerschnittes.....	82
5.2.5	Die Rolle der aortalen Wandverkalkung für das Aortenwachstum.....	83
5.2.6	Die Relevanz klinischer Risikofaktoren.....	83
5.3	Diskrepanzen der unterschiedlich basierten Wachstumsraten.....	85
5.4	Limitationen der Studie.....	87
5.5	Schlussfolgerung.....	88
<b>6.</b>	<b>Zusammenfassung der Arbeit .....</b>	<b>89</b>
<b>7.</b>	<b>Literaturverzeichnis .....</b>	<b>91</b>
<b>8.</b>	<b>Curriculum Vitae.....</b>	<b>117</b>
	Persönliche Daten .....	117
	Ausbildung.....	117
	Praktische Erfahrungen und beruflicher Werdegang .....	117
	Wissenschaftliche Veröffentlichungen und Vorträge .....	118
	<b>Danksagung .....</b>	<b>119</b>

# **Bibliographische Beschreibung**

Name, Vorname: Schaaf, Sebastian

Titel der Arbeit: Prädiktoren für die Progredienz von Aortenaneurysmen  
in der Computertomographie

Universität Leipzig, Dissertation

129 S.<sup>1</sup>, 385 Lit.<sup>2</sup>, 25 Abb., 20 Tab.

---

<sup>1</sup> Seitenzahl insgesamt

<sup>2</sup> Zahl der im Literaturverzeichnis ausgewiesenen Literaturangaben

## Referat

Aortenpathologien wie das Aneurysma sind häufig und im Falle der Ruptur mit einer außerordentlich hohen Mortalität assoziiert. Die Genese des Aortenaneurysmas ist ein multifaktoriell bedingter Prozess, sodass auch das Wachstumsverhalten der Aorta schwer zu prädikieren ist. Im klinischen Alltag findet überwiegend der maximale Durchmesser Anwendung als Größen- und Verlaufsparemeter, obwohl dadurch möglicherweise den heterogenen Veränderungen der Aorta nicht ausreichend Rechnung getragen wird.

Ziel der Studie war es, anhand einer CT-gestützten Verlaufsquantifizierung von Aortenveränderungen Prädiktoren für das Wachstum der Aorta abzuleiten und Wachstumsraten auf Basis unterschiedlicher morphologischer Ausgangsgrößen zu vergleichen.

Einige CT-morphologisch messbare und klinische Prädiktoren für das volumetrisch gemessene Aortenwachstum konnten bestätigt werden.

Abschließend konnten durch einen Vergleich der Wachstumsraten beträchtliche Diskrepanzen zwischen Volumen, Diameter, Querschnittsfläche und Außenfläche als zugrunde liegende Größen festgestellt werden.

# Abbildungsverzeichnis

Abb. 1	Papyrus Ebers. ....	2
Abb. 2	3D-Ansicht vor und nach Entfernung der Umgebungsstrukturen.....	26
Abb. 3	Centerline (grüne Linie) im Gefäß .....	27
Abb. 4	Segmenteinteilung der Aorta. ....	28
Abb. 5	Korrektur der Innenzirkumferenz in der MPR-Ansicht.. ....	28
Abb. 6	Volumenberechnung.....	29
Abb. 7	Diametermessung. ....	29
Abb. 8	Innen- und Außenfläche. ....	30
Abb. 9	Vermessung der maximalen und minimalen Wandstärke .....	31
Abb. 10	Längenbestimmung .....	31
Abb. 11	Tortuosity Index und Winkelmessung.....	32
Abb. 12	Exzentrizität eines Gefäßquerschnitts .....	33
Abb. 13	Calcium-Scoring. ....	34
Abb. 14	Verteilung der Ursachen für den Ausschluss von Aortensegmenten .....	40
Abb. 15	Lumen- und Wandvolumen von proximal nach distal .....	43
Abb. 16	Prozentuale $GRy_{Vol}$ nach Aortensegmenten .....	43
Abb. 17	Anteil der maximalen Wandstärke am maximalen Diameter .....	49
Abb. 18	Schematische Darstellung zur Diameter-Längen-Ratio .....	52
Abb. 19	Exzentrizitätskennzahl nach Aortensegmenten .....	55
Abb. 20	Wandverkalkung nach Aortensegment.....	56
Abb. 21	Streudiagramme initialer Messwerte .....	61
Abb. 22	Streudiagramme der Korrelation von Diameter-Längen-Ratio (links) und maximaler Wandstärke (rechts) mit dem Wachstumskriterium ( $GRy_{Vol}$ ). ....	62
Abb. 23	Vergleich der prozentualen $GRy$ von Gesamtvolumen, maximalem Diameter, maximaler Querschnittsfläche und Außenfläche der Aortensegmente. ....	68
Abb. 24	Korrelation der volumen- und diameterbasierten Wachstumsrate .....	69
Abb. 25	Bland-Altman-Plots.....	70

## Tabellenverzeichnis

Tab. 1	Auswahl relevanter Studien zur Epidemiologie von Aortenaneurysmen .....	18
Tab. 2	Diametergrenzwerte in Abhängigkeit der Lokalisation .....	36
Tab. 3	Kennzahlen der Studienpopulation.....	39
Tab. 4	Verteilung der Risikofaktoren in der Studienpopulation.....	41
Tab. 5	Medikamenteneinnahme in der Studienpopulation .....	41
Tab. 6	Volumenwerte nach Aortensegmenten.....	44
Tab. 7	Diameter und Querschnittsfläche nach Aortensegmenten .....	46
Tab. 8	Innen- und Außenfläche nach Aortensegmenten .....	48
Tab. 9	Wandstärke nach Aortensegmenten .....	50
Tab. 10	Länge, Diameter-Längen-Ratio, Winkelung und Tortuosity. ....	53
Tab. 11	Exzentrizitätskennzahlen nach Aortensegmenten. ....	55
Tab. 12	Mittelwerte des Calcium-Scores nach Aortensegmenten.....	57
Tab. 13	Messwerte nach gruppierten Aortensegmenten.....	58
Tab. 14	Prozentuale GRy nach gruppierten Aortensegmenten .....	59
Tab. 15	Signifikante Korrelationskoeffizienten nach gruppierten Aortensegmenten .....	63
Tab. 16	Signifikante Korrelationskoeffizienten nach gruppierten Aortensegmenten .....	64
Tab. 17	Korrelationskoeffizienten nach gruppierten Aortensegmenten.....	65
Tab. 18	Ergebnisse der multiplen Regression nach gruppierten Aortensegmenten .....	66
Tab. 19	Ergebnisse der multiplen Regression nach gruppierten Aortensegmenten .....	67
Tab. 20	Dargestellt sind die GRy $\pm$ Standardabweichung.....	69

# 1 Einführung

Thomas Mann und Albert Einstein, zwei prominente Persönlichkeiten aus Kultur und Wissenschaft, die mehr verbindet als nur die Tatsache, dass sie einen Nobelpreis erhielten: Beide erlagen 1955 dem Leiden an einer Aortenaneurysmaruptur. Mann in Zürich, Einstein in New York.<sup>1,2</sup> Auch heute noch spielt das Aortenaneurysma eine wichtige Rolle im klinischen Alltag, belegt es doch in den USA Platz 15 der Todesursachenliste in der Altersgruppe 60 bis über 85 Jahre.<sup>3</sup> In Deutschland verstarben im Jahr 2010 immerhin 5752 Personen (0,7 % aller Todesfälle) an einer Aortenaneurysmaruptur.<sup>4</sup>

Als Annäherung an das Thema soll im Folgenden anhand einiger historischer Landmarken auf die Erforschung arterieller Aneurysmen eingegangen werden. Die vollständige geschichtliche Entwicklung des Begriffs kann im Rahmen dieser Arbeit nicht vollumfänglich bearbeitet werden, dennoch soll schlaglichtartig dargeboten werden, wie die Entität des Aneurysmas sukzessiven Eingang in das medizinische Bewusstsein fand.

## 1.1 Zur Historie des Aneurysmas

### 1.1.1 Erste Erwähnungen und Altertum

Bereits zur Zeit der Ägypter, etwa 1500 v. Chr., wurde im *Papyrus Ebers* (siehe Abb. 1) von Schwellungen des „metu“, womit u.a. Blutgefäße beschrieben wurden, berichtet. Dies ist wohl die erste bisher bekannte Erwähnung arterieller Aneurysmen überhaupt.<sup>5-7</sup> In Indien kündete der Chirurg Sushruta schon um 800-600 v. Chr. in seinem Werk *Samhita* von Aneurysmen als pulsierende Schwellungen der Blutgefäße.<sup>8</sup>

Rufus von Ephesos (110 – 180 n.Chr.) prägte den heutigen Begriff „Aneurysma“<sup>9</sup> (siehe dazu auch 1.2.). Galenos von Pergamon (129 – 201 n. Chr.), Arzt der Gladiatoren und des Römischen Kaisers, schrieb in seinem Traktat *De tumoribus praeter naturam*, ein Aneurysma liege vor, wenn eine Arterie erweitert sei und es trete auf, nachdem ein Gefäß verletzt wurde.<sup>10</sup> Nach Galen ist aus dem Römischen Reich nur noch sehr wenig an Forschungsarbeit zu Aneurysmen überliefert worden.

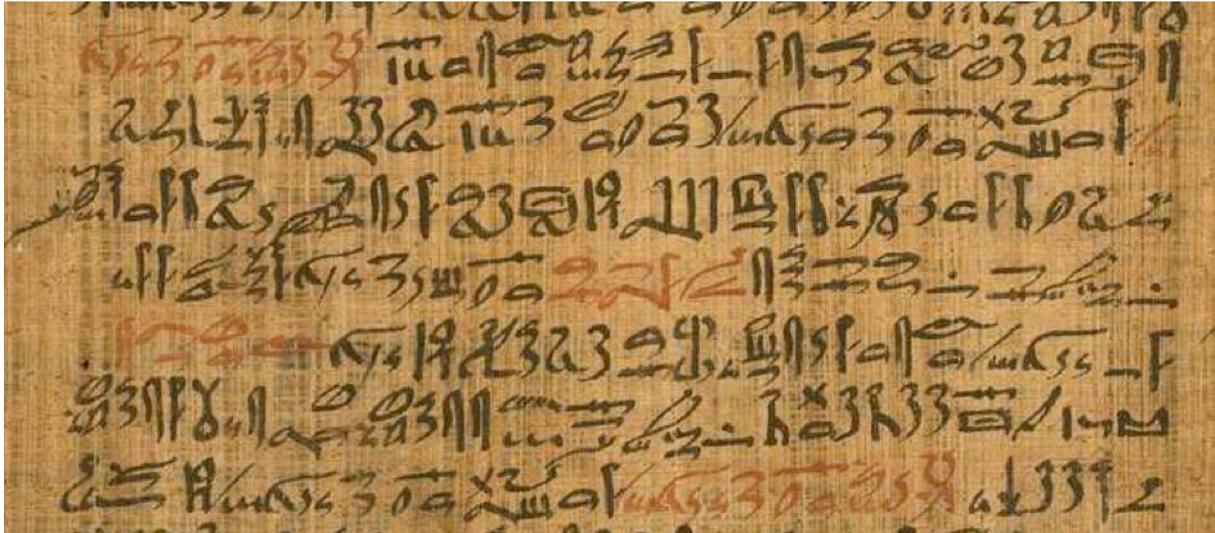


Abb. 1: Papyrus Ebers. Lagernd in der Universitätsbibliothek Leipzig: Ausgewählte Zeilen des Rezeptes 872, in dem zum ersten Mal von einem Aneurysma berichtet wird. Papyrus Ebers (108, 3-9). Mit freundlicher Genehmigung von Prof. Dr. Reinhold Scholl, Universitätsbibliothek Leipzig.

Erst byzantinische Ärzte wie Oribasius von Pergamon (325 – 403 n. Chr.), Antyllus (2. Jhd. n. Chr.), Aetios von Amida (527 – 565 n. Chr.) oder Paul von Aegina (625 – 690 n. Chr.) widmeten sich ihnen wieder ausgiebig.<sup>11</sup> So klassifizierte Oribasius in seinem Werk *Synagogae Medicae* Aneurysmen in wahre und falsche im heutigen Sinne. Antyllus lehnte das bis dato evidente, generelle Operationsverbot ab, auch wenn nicht alle Aneurysmen gleichermaßen chirurgisch therapiert werden sollten. Darüber hinaus plädierte er für eine Operationstechnik, die für Jahrhunderte Bestand haben sollte: Durch proximale und distale Ligatur wurde das Aneurysma ausgeschaltet und der Thrombus durch Inzision entfernt.<sup>12,13</sup>

### 1.1.2 Mittelalter und Renaissance– von außen nach innen

Während des Mittelalters pflegten und erweiterten orientalische Ärzte wie Ar-Razi (Rhazes, 850 – 923), Ibn Sina (Avicenna, 980 – 1037) und Abu-al-Qasim (Albucasius, 936 – 1013) die Erkenntnisse und Behandlungsmöglichkeiten. Albucasius griff in seinen chirurgischen Schriften die – bereits 800 Jahre alten – Methoden von Antyllus auf und erweiterte sie.<sup>6</sup> Einer der einflussreichsten Chirurgen des Spätmittelalters war Guy de Chauliac (1300 – 1368). In seinem Monumentalwerk *Chirurgia Magna* bezog er sich wesentlich auf Albucasius und erweiterte die Kompressionstherapie in der Anwendung von Hernien auf Aneurysmen.<sup>12</sup> Bis ins Mittelalter dürfte es sich mehrheitlich um Erkenntnisse über periphere Aneurysmen gehandelt haben, da erst später, durch häufiger praktizierte Sektionen, der „Blick“ auf Aortenaneurysmen eröffnet wurde: Vesalius (1514 – 1564) diagnostizierte Aortenaneurysmen an Lebenden und verifizierte seine Hypothesen durch spätere Sektionen.<sup>2</sup> Auch werden es häufig durch Kriegsverletzungen traumatisch bedingte, oder Aneurysmen iatrogenen Genese, durch Fehlpunktion im Rahmen des Aderlasses, gewesen sein.<sup>2,12</sup> Jean François Fernel (1497 – 1558) bemühte sich

um Ordnung im Dickicht der Diagnosen und trennte innere (zentrale) von äußeren (peripheren) Aneurysmen. Antoine Saporta (1507 – 1573) grenzte Aortenaneurysmen von Tumoren ab und beschrieb klinische Symptome der Aneurysmaruptur.<sup>6,14</sup> Zunehmend erwachte das Interesse an weiteren Ursachen der Erkrankung: So diskutierte Giovanni Maria Lancisi (1654 – 1720) in *De Motu Cordis et Aneurysmatibus* alle zeitgenössischen Pathogenesetheorien und Giovanni Battista Morgagni (1682 – 1771), Begründer der modernen Pathologie, ging noch weiter und stellte in *De Sedibus et Causis Morborum per Anatomen Indigitatis* (1761) eine definitive Verbindung zwischen Syphilis und Aortenaneurysmen her.<sup>6</sup> Alexander Monro (1697 – 1767) wies wohl ohne Mikroskop nach, dass Arterien aus drei Schichten bestehen und Aneurysmen durch eine Erweiterung all dieser zustande kommen. William Hunter (1718 – 1783) aktualisierte und präzisierte die Definition des wahren und falschen Aneurysmas im heutigen Sinne (siehe 1.2. Begriffsbestimmung). Dessen jüngerer Bruder, John Hunter (1728 – 1793), bekannt durch seine umfangreiche Sammlung pathoanatomischer Präparate im heutigen Hunterian Museum in London, postulierte eine Erkrankung der Arterienwand als Ursache für die Entwicklung von Aneurysmen, verneinte aber die unmittelbare pathogenetische Rolle der Syphilis.<sup>6,12</sup>

### **1.1.3 Neuzeit – Evolution pathogenetischer Erkenntnisse und suffizienter Therapien**

U.a. durch Antonio Scarpa (1752 – 1832) und Jean-Nicolas Corvisart (1755 – 1821) wurde das Ursachenspektrum um atherosklerotische Läsionen erweitert. Deren Einfluss wurde, begünstigt durch die Verfügbarkeit von Mikrotomen und besseren Mikroskopen, als vermeintliche Ursache der Gefäßwanddegeneration durch Carl von Rokitansky (1804 – 1878) spezifiziert.<sup>6</sup> Statistisch unterstrich eine zeitgenössische post-mortem-Studie die Relevanz der Atherosklerose in diesem Kontext.<sup>15</sup> Auch klinisch wurden die Aortenaneurysmen näher beschrieben: René Théophile Hyacinthe Laënnec (1761 – 1826), Erfinder des Stethoskops, versuchte auskultatorisch die Größe eines Bauchaortenaneurysmas zu schätzen.<sup>6</sup> Paul Broca (1824 – 1880) verfasste mit *Des Aneurysmes et de leur Traitement* (1856) ein Grundsatzwerk und einen umfassenden Überblick der Literatur zum Thema. Er negierte ebenfalls den Einfluss der Syphilis, erweiterte die Huntersche Klassifikation u.a. um die Dissektion und starb an einer Aneurysmaruptur.<sup>2,6</sup> Letztendliche Bestätigung erfuhr die Syphilis als Ursache von Aortenaneurysmen erst in der zweiten Hälfte des 19. Jahrhunderts. So untersuchte Welch erstmals systematisch den Zusammenhang an 34 Patienten mit rupturierten Aneurysmen post mortem und stellte fest, dass 2/3 der Aneurysmen mit einer Syphiliserkrankung einhergingen.<sup>16</sup> Karl Gottfried Paul Döhle postulierte 1895 den Begriff der syphilitischen Aortitis und präzisierte damit die Rolle der Syphilis in der Aneurysmagenese.<sup>17</sup> 1904 wurde *Treponema pallidum* als Erreger der Syphilis entdeckt. Durch Entwicklung suffizienter Therapie-

tika Anfang des 20. Jahrhunderts reduzierte sich das Vorkommen syphilitischer Aneurysmen auf ein Minimum und die Wissenschaft konzentrierte sich im Verlauf der Jahrzehnte vorrangig auf atherosklerotische, genetische und molekularbiologisch-biochemische Einflüsse.<sup>6</sup> Die therapeutischen Möglichkeiten erfuhren v.a. im Verlauf der jüngeren Geschichte einen enormen Fortschritt. Waren doch primitive kurative Möglichkeiten schon seit der Antike bekannt und hatten diese auch über Jahrhunderte in Grundzügen Bestand, so gingen sie aus vielerlei Gründen häufig mit nur bescheidenem Erfolg einher. Bis ins 19. Jahrhundert bestand die konservative Therapie aus absoluter Ruhe, später auch aus häufigen Aderlässen, um die Thrombusbildung im Aneurysma zu verhindern.<sup>6</sup> Schon früh bekannt war die Kompressionstherapie der afferenten Arterie oder des Aneurysmas selbst und nach 1840 waren Apparaturen verfügbar, die durch Stellschrauben und Federn verschiedenste Kompressionsregime ermöglichten.<sup>6,12</sup> Seit dem 2. Jahrhundert n. Chr. wurde die Ligatur (nach Antyllus) der zu- und abführenden Gefäße praktiziert. Astley Cooper (1786–1841) unterband 1817 erstmals die Aorta abdominalis bei einem rupturierten Iliakalaneurysma.<sup>18,19</sup> Später führte Rudolph Matas (1860-1957) die Endoaneurysmorrhaphie ein: Ein Verfahren, mit dem 1923 die erfolgreiche Ausschaltung eines Bauchaortenaneurysmas durch intrasacculäre Nähte und Erhaltung des Blutflusses gelang.<sup>14</sup> Eine weitere Methode, die auch bei Albert Einstein zur Anwendung kam, war das „Wrapping“. Durch Umwicklung des Aneurysmasackes, z.B. mit Cellophan, sollte eine fibrosierende Entzündungsreaktion zur Stabilisierung induziert werden.<sup>2,6,12</sup> Eine weitere, heute exotisch anmutende Methode – das „Wiring“ – wurde 1864 in England eingeführt und sollte eine Thrombosierung des Aneurysmasackes durch eingebrachte Metalldrähte aus Eisen, Stahl, Kupfer oder Silber herbeiführen.<sup>20</sup> 1951 beschrieb Arthur Hendley Blakemore (1897-1970), bekannt durch die Sengstaken-Blakemore-Sonde zum Einsatz bei Ösophagusvarizenblutung, sogar eine Kombination aus Wrapping, Wiring und Elektrokauterisierung.<sup>21</sup> Die erste erfolgreiche Resektion eines Bauchaortenaneurysmas und Ersatz durch einen Homograft konnte von Charles Dubost (1914-1991)<sup>22</sup> 1951 durchgeführt werden.<sup>23,24</sup> Der Patient überlebte 8 Jahre postoperativ. Der durch geringe Verfügbarkeit der Transplantate limitierte Einsatz von Homografts wurde mit Einführung synthetischer Prothesen in den 1950er Jahren für Aortenaneurysmen schließlich obsolet.<sup>25</sup> Im Jahr 1952 wurde mit einem Schlauch aus Vinyon-N das Prinzip des Prothesenersatzes etabliert und es folgten einige Weiterentwicklungen und neue Materialien.<sup>20</sup> Ein Gewebe, das noch heute verbreitet Anwendung als Aortenprothese findet, ist das Dacron. Micheal E. DeBakey (1908-2008) fertigte die erste Dacron-Prothese mit der Nähmaschine seiner Frau an und etablierte dieses Prothesenmaterial zusammen mit Denton A. Cooley (\*1920) in der Herz- und Gefäßchirurgie.<sup>26</sup> Fünfzehn Jahre nach der erfolgreichen Bauchaortenaneurysmaresektion durch Dubost veröffentlichte Oscar Creech, Jr. (1916-1967)<sup>27</sup> ein Operationsverfahren, das Elemente der Endoaneurysmorrhaphie nach Matas mit dem Protheseneinsatz vereint

und im Wesentlichen bis heute durchgeführt wird.<sup>28</sup> Für thorakoabdominelle Aneurysmen war Ernst Jeger (1884-1915) der Pionier, indem er erstmals 1913 solche Aneurysmen mit autologen oder allogenen Spendergefäßen ersetzte.<sup>29</sup> Die Operationstechnik, die im Grunde heute noch Anwendung findet, wurde von Ernest S. Crawford (1922-1992)<sup>30</sup> 1974 publiziert und verwendet eine Dacron-Prothese.<sup>20,31</sup> Das erste fusiforme thorakale Aneurysma wurde von DeBakey und Cooley im Jahre 1953 erfolgreich operiert.<sup>32</sup> Abschließend darf der Beginn der Ära der endovaskulären Aortenaneurysmresektion (EVAR) 1986 durch den Ukrainer Nicholay Volodos (\*1934) nicht unerwähnt bleiben, der – von der westlichen Welt weitgehend unbemerkt<sup>12</sup> – erstmals ein Bauchortenaneurysma mittels eines Stentgrafts versorgte.<sup>13</sup> Parodi et al. zeigten tierexperimentell 1991, dass ein infrarenales Aortenaneurysma mit einem Dacron-gecoverten Stent auszuschalten ist.<sup>33</sup> Die Argentinier gelangten durch die Publikation in den *Annals of Vascular Surgery* zu Weltruhm und werden besonders in der englischsprachigen Literatur als Erfinder der EVAR angesehen.<sup>12,34</sup> Durch methodische und technische Weiterentwicklungen fand dieses Verfahren einen festen Platz in der Versorgung von Aortenaneurysmen, sodass es mittlerweile zum Goldstandard für Hochrisikopatienten geworden ist.<sup>34</sup> Die Frage, ob die endovaskuläre Therapie generell der Operation überlegen ist, ist gegenwärtig noch nicht abschließend beantwortet (siehe 1.6.).

## 1.2 Begriffsbestimmung

Etymologisch geht der Begriff „Aneurysma“ auf das griechische Wort „*ἀνεύρυσμα*“ zurück und bedeutet Erweiterung oder Dilatation.<sup>35,36</sup> Der heute gängige Begriff umfasst verschiedene pathologische Entitäten.

### 1.2.1 Aneurysma verum

Das „wahre“ Aneurysma, das im Mittelpunkt der vorliegenden Arbeit steht, ist durch die beständige, umschriebene Erweiterung einer Arterie unter Beteiligung aller Gefäßwandschichten definiert.<sup>37-41</sup> Morphologisch treten fusiforme (spindelförmige) oder sacculäre (sackartige) Aneurysmen auf. In Abhängigkeit von der Lokalisation thorakale und abdominelle Aneurysmen unterschieden.<sup>38,42-44</sup> Thorakale Aneurysmen werden weiter in Ascendens- (60%), Descendens- (40%) sowie Aortenbogen-(10%) und thorakoabdominelle Aneurysmen (10%) unterteilt.<sup>40,42</sup> Letztere werden entsprechend ihrer Ausdehnung nach Crawford klassifiziert.<sup>38,45,46</sup> Bei Bauchortenaneurysmen kann in infra-, juxta- und suprarenale Formen<sup>40</sup> sowie, zur therapeutischen Entscheidung zwischen operativer und endovaskulärer Versorgung, in drei Haupttypen nach Allenberg unterschieden werden.<sup>47,48</sup> Diameterbasiert werden ektatische und aneurysmatische Gefäßabschnitte voneinander unterschieden. Beträgt der maximale Diameter weniger als 150% des entsprechenden Normalwertes, spricht man von einer Ektasie, darüber von einem Aneurysma.<sup>35,38,45,49</sup>