

Journal für Kardiologie

Austrian Journal of Cardiology

Österreichische Zeitschrift für Herz-Kreislauserkrankungen

**Moderne Therapie des Aortenbogens
– standardisiert und weniger
invasiv // Modern treatment of the
aortic arch – standardized and less
invasive**

Werner P, Winter M+

Stelzmueller ME, Dumfarth J

Zimpfer D, Ehrlich M

Journal für Kardiologie - Austrian

Journal of Cardiology 2026; 33

(3-4), 70-75

Homepage:

www.kup.at/kardiologie

Online-Datenbank
mit Autoren-
und Stichwortsuche



Offizielles
Partnerjournal der ÖKG



Member of the ESC-Editor's Club



Offizielles Organ des
Österreichischen Herzfonds



ACVC
Association for
Acute CardioVascular Care

In Kooperation
mit der ACVC

Indexed in ESCI
part of Web of Science

Indexed in EMBASE

Veranstaltungskalender

Hybrid-Veranstaltungen der Herausgeber des **Journals für Kardiologie**

Finden Sie alle laufend aktualisierten Termine
auf einem Blick unter

www.kup.at/images/ads/kongress.pdf

Moderne Therapie des Aortenbogens – standardisiert und weniger invasiv

P. Werner, M. Winter, M.-E. Stelzmueller, J. Dumfarth, D. Zimpfer, M. Ehrlich

Kurzfassung: Die Aortenbogenchirurgie hat sich in den letzten Jahrzehnten von einem Eingriff mit erheblichem Risiko zu einem standardisierten und eigenen Feld entwickelt. Fortschritte in Bildgebung, Patientenselektion und Operationstechnik ermöglichen heute individualisierte Behandlungskonzepte. Während die offene Bogenchirurgie nach wie vor den Goldstandard darstellt und exzellente Langzeitergebnisse liefert, haben sich hybride Verfahren wie die „Frozen Elephant Trunk“-Technik oder der Zone-2-Aortenbogensersatz als sichere und weniger invasive Alternativen bei ausgewählten Patienten etabliert. Parallel dazu erweitern endovaskuläre Konzepte mit modernen Stentgraft-Systemen das therapeutische Spektrum insbesondere für ältere oder multimorbide Patienten deutlich. Diese Entwicklungen eröffnen neue Behandlungsoptionen für Patientinnen und Patienten, die bislang als inoperabel galten, und verdeutlichen die Bedeutung einer frühzeitigen Zusammenarbeit im interdisziplinären Aortenteam.

Ziel dieses Artikels ist es, einen praxisorientierten Überblick über die modernen Konzepte der Aortenbogenchirurgie zu geben und die Schnittstellen zwischen endokaskulärer und chirurgischer Therapie hervorzuheben.

Schlüsselwörter: Aortenbogenchirurgie, Hybridverfahren, Frozen Elephant Trunk, endovaskuläre Therapie, interdisziplinäres Aortenteam

Abstract: Modern treatment of the aortic arch – standardized and less invasive. Over the past decades, aortic arch surgery has evolved from a high-risk intervention into a standardized surgical discipline. Advances in imaging, patient selection, and operative technique now allow individualized treatment strategies. While open arch repair remains the gold standard with excellent long-term results, hybrid procedures such as the Frozen Elephant Trunk

technique or Zone 2 arch repair have become safe and less invasive alternatives for selected patients. In parallel, endovascular concepts employing modern stent-graft systems have substantially expanded the therapeutic spectrum, particularly for elderly or multimorbid patients. These developments open new treatment options for patients who were previously considered inoperable and underline the importance of early interdisciplinary collaboration within dedicated aortic teams.

The aim of this article is to provide a practical overview of current concepts in modern aortic arch surgery and to highlight the interface between endovascular and surgical therapy. **J Kardiologie 2026; 33: (3–4): 70–5.**

Keywords: aortic arch surgery, hybrid procedures, frozen elephant trunk, endovascular therapy, interdisciplinary aortic team

■ Einleitung

Erkrankungen der Aorta, insbesondere des Aortenbogens, haben sich in den letzten Jahren zunehmend zu einem eigenen Krankheitsbild entwickelt. In den aktuellen EACTS/STS-Leitlinien (2024) wird die Aorta als eigenständiges Organ mit spezifischen funktionellen, strukturellen und pathophysiologischen Eigenschaften verstanden. Sie erfüllt nicht nur eine passive Transportfunktion, sondern spielt durch ihre elastischen, hämodynamischen und molekularen Eigenschaften eine zentrale Rolle im kardiovaskulären System [1]. Mit der alternden Bevölkerung und verbesserten Bildgebung nehmen Diagnosen von Aortenpathologien, insbesondere auch des Aortenbogens, kontinuierlich zu. Besonders der Aortenbogen stellt durch seine komplexe Anatomie mit supraaortalen Ästen eine besondere therapeutische Herausforderung dar. Die zunehmende Komplexität der Patientenkollektive hat zur Entwicklung spezifischer Aortenzentren geführt [2].

Zahlreiche Studien konnten zeigen, dass die Ergebnisse nach Aortenoperationen eng mit dem Fallvolumen und der institutionellen Erfahrung korrelieren [3, 4]. Entsprechend empfehlen die aktuellen europäischen Leitlinien, Patienten mit komplexen Aortenerkrankungen in spezialisierten Zentren durch ein interdisziplinäres Aortenteam zu betreuen. An der Medizinischen Universität Wien erfolgt die Evaluierung und Behandlung dieser Patienten dementsprechend auch im inter-

disziplinären Aortenteam, um eine optimale, patientenorientierte Behandlung zu gewährleisten.

Ziel dieses Artikels ist es, einen Einblick in moderne Therapiekonzepte des Aortenbogens zu geben und eine Übersicht über offen-chirurgische, hybride und endovaskuläre Verfahren zu vermitteln.

■ Pathologien und Indikationen

Erkrankungen des Aortenbogens umfassen vorwiegend degenerative Aneurysmen und akute Aortensyndrome. Letztere bilden eine Gruppe aus Aortendissektion, intramuralem Hämatom (IMH) und penetrierendem Aortenulkus (PAU). Diese Erkrankungen unterscheiden sich in ihrer Morphologie, teilen jedoch ein gemeinsames Risiko: die chronische oder akute strukturelle Instabilität der Aortenwand, welche mit dem Risiko einer Ruptur oder Minderperfusion einhergeht. Dieses Rupturrisiko korreliert stark mit dem Durchmesser der Aorta, weshalb die aktuellen EACTS/STS-Leitlinien eine Aortenreparatur von asymptomatischen Aneurysmen ab 55 mm empfehlen [1].

Bei symptomatischen Aneurysmen wird eine Behandlung unabhängig vom Durchmesser empfohlen. Aufgrund der angrenzenden Strukturen des Aortenbogens können Aneurysmen zu verschiedenen Symptomen wie einer Kompression des Ösophagus mit Dysphagie führen [1]. Auch eine sekundäre Recurrens-Parese mit Heiserkeit und Dyspnoe (Ortner-Syndrom) ist in 5 % aller Bogenaneurysmen beschrieben [5]. Wichtig zu erwähnen ist, dass Aneurysmen des Aortenbogens nur in etwa 10 % der Fälle isoliert auftreten, sondern meist eine Folge chronischer Dissektionen sind [1]. Diese können langfristig durch

Eingelangt am: 21.10.2025, angenommen am: 01.12.2025

Aus der Klinischen Abteilung für Herz- und Thorakale Aortenchirurgie, Medizinische Universität Wien

Korrespondenzadresse: Priv. Doz. Dr. med. univ. Paul Werner, PhD, Facharzt für Herzchirurgie, Medizinische Universität Wien, A-1090 Wien, Währinger Gürtel 18–20, E-mail: paul.werner@meduniwien.ac.at

unterschiedliche Mechanismen, wie persistierende Perfusion des falschen Lumens, mediale Degeneration und entzündliche Vorgänge, zur aneurysmatischen Erweiterung der betroffenen Segmente führen [6].

Bei den akuten Aortensyndromen hingegen besteht in den überwiegenden Fällen eine unmittelbare Operationsindikation. Laut den aktuellen europäischen Leitlinien ist die chirurgische Therapie der akuten Typ-A-Aortendissektion eine Indikation der Klasse Ib [1]. Grund hierfür ist das hohe Rupturrisiko sowie die exponentiell ansteigende Mortalität unbehandelter Typ-A-Dissektionen, die um etwa 1–2 % pro Stunde zunimmt. Auch beim intramuralen Typ-A-Hämatom (IMH) wird eine umgehende chirurgische Versorgung empfohlen, während Typ-B-IMHs zunächst medikamentös stabilisiert und nur bei Komplikationen wie Malperfusion, drohender Ruptur, persistierenden Schmerzen oder anderer Befundprogression interventionell oder chirurgisch behandelt werden sollen.

Das penetrierende Aortenulkus (PAU) des Aortenbogens stellt ab Durchmessern von über 2 cm oder einer Tiefe über 1 cm eine Indikation zur Behandlung dar. Ähnliches gilt für PAUs der Aorta descendens, die je nach Symptomatik und Progression zumeist endovaskulär behandelt werden können.

Die Symptomatik akuter Aortensyndrome ist meist unspezifisch, jedoch durch plötzlich einsetzende, reißende, thorakale oder interskapuläre Schmerzen charakterisiert. Diese können je nach Ausprägung und Lokalisation von Blutdruckdifferenzen, neurologischen Ausfällen oder Organmalperfusionen begleitet sein [1].

Eine weitere relevante Pathologie der Aorta, insbesondere des Aortenbogens, betrifft Erwachsene mit angeborenen Herzfehlern (EMAH) nach Korrektur einer Koarktation der Aorta, meist in Form einer Aortenisthmusstenose. Im Langzeitverlauf kann es bei diesen Patienten zur Entwicklung einer Rekoarktation kommen, die typischerweise durch narbige oder fibrotische Veränderungen im Bereich der früheren Anastomose oder Stentimplantation entsteht. Zudem kann es zu aneurysmatischen Erweiterungen des Aortenbogens oder der proximalen Aorta descendens kommen [7]. Nach den aktuellen europäischen Leitlinien (EACTS/STS 2024) sollte bei erwachsenen Patienten mit Koarktation oder Rekoarktation eine Behandlung bei hämodynamisch relevanter Restenose, therapieresistenter Hypertonie oder morphologischer Progression in der Bildgebung erwogen werden. Diagnostik und Therapieplanung sollen interdisziplinär im spezialisierten Aortenzentrum erfolgen [1].

Für die anatomische Orientierung und die Wahl des geeigneten Therapieansatzes bei allen Aortenbogenpathologien wird die Ishimaru-Klassifikation von den Leitlinien empfohlen [1]. Dabei umfasst die Zone 0 die Aorta ascendens bis unmittelbar nach dem Abgang des Truncus brachiocephalicus, die Zone 1 reicht bis zur linken Arteria carotis communis, die Zone 2 bis zur linken Arteria subclavia und die Zone 3 beschreibt den

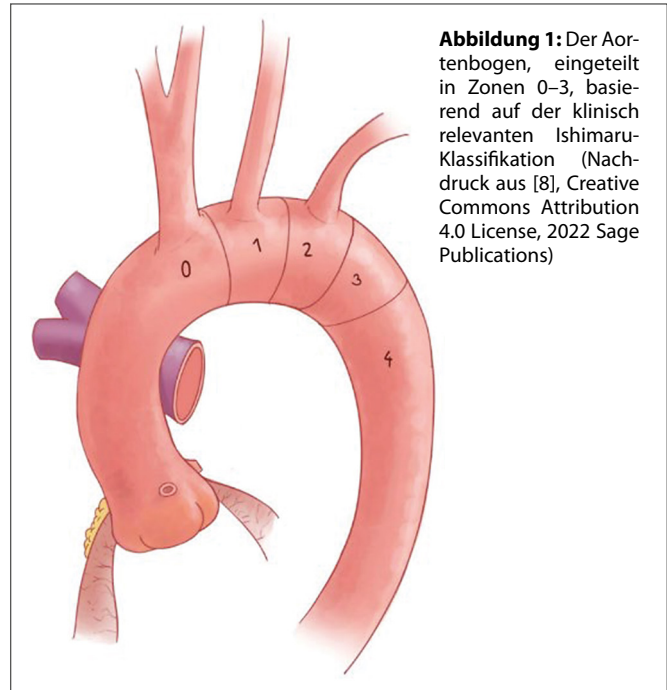


Abbildung 1: Der Aortenbogen, eingeteilt in Zonen 0–3, basierend auf der klinisch relevanten Ishimaru-Klassifikation (Nachdruck aus [8], Creative Commons Attribution 4.0 License, 2022 Sage Publications)

proximalen Abschnitt der Aorta descendens (Abb. 1). Diese Einteilung ermöglicht eine präzise Beschreibung der Pathologien und dient als gemeinsame Grundlage für offene, hybride und endovaskuläre Behandlungskonzepte.

■ Moderne Aortenbogen-Chirurgie: neue Prothesen und neuroprotektive Maßnahmen

Die offene Therapie von Aortenbogen-Aneurysmen erfolgt zumeist über eine mediane Sternotomie. Jedoch besteht mittlerweile in ausgewählten Patienten auch die Option, Eingriffe an der Aorta ascendens sowie des Aortenbogens minimal-invasiv durchzuführen. Hierbei wird über eine obere Hemisternotomie operiert, bei der das Brustbein nur bis zum dritten oder vierten Interkostalraum durchtrennt wird (Abb. 2). Dies erlaubt ein kosmetisch besseres Ergebnis und reduziert die postoperative Liegedauer sowie den Verbrauch von Transfusionen. Eine strenge Patientenselektion ist hierbei unerlässlich, da nicht jede Anatomie für minimalinvasive Aorteneingriffe geeignet ist.

Beim chirurgischen Ersatz werden die betroffenen Segmente des Aortenbogens exzidiert und durch eine Gefäßprothese ersetzt. Dies erfordert mehrere Anastomosen, proximal mit der

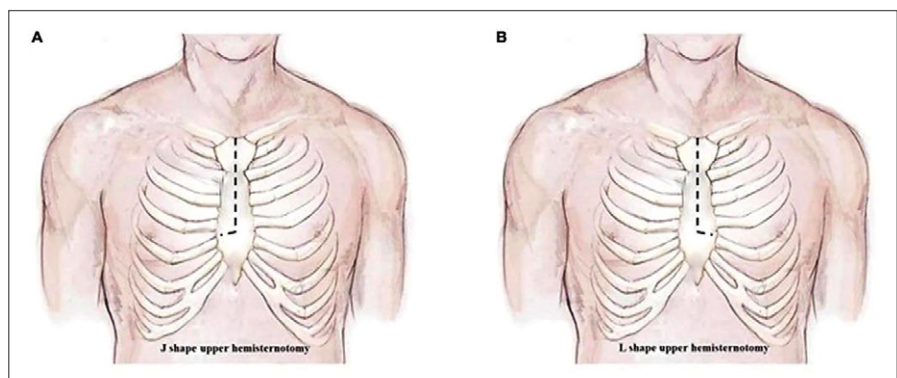
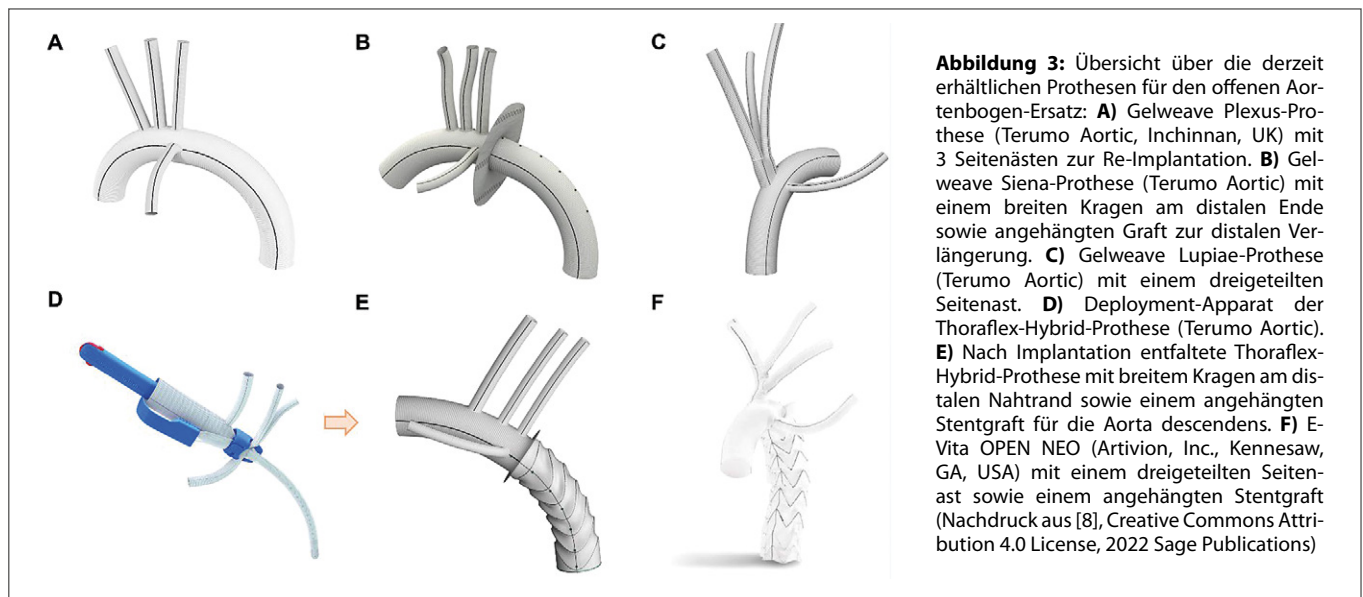


Abbildung 2: Schematische Darstellung einer oberen Hemisternotomie (Nachdruck aus [9], Creative Commons Attribution 4.0 License, 2022 Frontiers Media SA)



Aorta ascendens, mit den supraaortalen Ästen, sowie distal mit der Aorta descendens. Abhängig von den begleitenden Pathologien kann es notwendig sein, auch den proximalen Teil der Aorta descendens für spätere Eingriffe vorzubereiten oder zu stabilisieren. Hierbei stehen dem Aorten-Chirurgen heutzutage mehrere Prothesen zur Verfügung (Abbildung 3).

Für den klassischen Bogenersatz kommt weiterhin die **Gelweave-Plexus-Prothese** (Terumo Aortic, Inchinnan, United Kingdom) zum Einsatz (Abb. 3A). Diese ist eine Polyethylenterephthalat- (PTFE-) Gefäß-Prothese, welche einen kompletten Ersatz des Aortenbogens mit selektiver Re-Implantation der supraaortalen Äste ermöglicht. Die Prothese ist mit Gelatine versiegelt, um eine ideale Hämostase direkt nach Implantation zu ermöglichen. Die nächste Iteration ist die **Gelweave-Siena-Prothese** (Terumo Aortic), welche im Gegensatz zur Plexus-Prothese einen breiteren Kragen am distalen Nahtrand aufweist (Abb. 3B). Dies hilft, ein mögliches Missverhältnis mit einer übergroßen verbliebenen Restaorta auszugleichen. Sie besitzt, wie die Plexus-Prothese, einen distalen Teil nach dem Nahtkragen, der in der nativen Aorta descendens verbleiben kann, um eine Landezone für spätere Stenteingriffe zu schaffen oder einen direkten prothetischen Anschluss für einen späteren thorako-abdominellen Ersatz zu ermöglichen (klassischer Elephant-Trunk). Dieser distale Teil hat bei der Siena-Prothese röntgendichte Marker als Hilfe für die mögliche Landezone für eine endovaskuläre Verlängerung. Die **Lupiae-Prothese** ermöglicht durch ihren alleinigen, dreigeteilten Seitenast eine Vorwärts-Verlagerung der distalen Anastomose, in Kombination mit verschiedenen Debranching-Konzepten der supraaortalen Äste (Abb. 3C). Die **Thoraflex-Prothese** (Terumo Aortic) besitzt neben ihrem breiten Kragen am distalen Nahtrand einen daran verbundenen Stentgraft (Abb. 3D–E). Dieser wird in der descendierenden Aorta platziert und kann, im Falle einer Dissektion, das wahre Lumen offenhalten bzw. das falsche Lumen abdecken, oder auch als Landezone für endovaskuläre oder chirurgische Erweiterungen dienen (Frozen-Elephant-Technik).

Eine rezente Weiterentwicklung in diesem Bereich stellt das **Rapidlink-Device** dar. Dabei handelt es sich um eine hybride

Prothese, die dafür konzipiert wurde, die Rekonstruktion der supraaortalen Gefäße zu vereinfachen. Das Device kombiniert eine Stentgraft-Komponente mit einer Dacron-Prothese, die an die Aortenbogenprothese anastomosiert wird. In ersten klinischen Anwendungen konnte bereits gezeigt werden, dass mit diesem System eine schnelle und sichere Anastomose der supraaortalen Gefäße, vor allem der linken A. subclavia, realisierbar ist [10].

Die **E-Vita-Open-Neo** (Artivion) ist eine weitere Prothese für die Frozen-Elephant-Technik, zusätzlich besitzt eine ihrer Iterationen auch noch die Möglichkeit eines einzelnen, dreigeteilten Seitenastes (Abb. 3F). Ziel dieser modernen Konzepte ist es, die Kreislaufstillstandszeit möglichst zu reduzieren und gleichzeitig das Management der linken Arteria subclavia, welche durch ihre anatomische Lage besonders komplex ist, zu vereinfachen.

Neben dem kompletten Aortenbogenersatz besteht auch die Möglichkeit, nur Teile des Aortenbogens zu ersetzen, abhängig von der Ausdehnung der Pathologie. Hierbei kann einerseits die kleine Kurvatur bis zum Beginn der Aorta descendens ersetzt werden, ohne Reimplantation der supraaortalen Ästen (= Hemiarch, Abb. 4A). Dieses Verfahren wird bei Patienten mit alleiniger proximaler Dilatation des Aortenbogens angewandt, sowie bei Patienten mit akutem Aortensyndrom mit Intima-Einriss innerhalb des ersetzten Gebietes. Ein partieller Bogenersatz kann durchgeführt werden, wenn auch eine Notwendigkeit der Reimplantation der supraaortalen Äste besteht.

Zuletzt sollte auch der Ascendens-Descendens-Bypass erwähnt werden, welcher sich als gute therapeutische Alternative für Patienten mit Verengungen im Aortenbogen, im speziellen mit Koarktation oder Rekoarktation, erwiesen hat, da hierbei eine intraperikardiale Umgehung von der aufsteigenden zur absteigenden Aorta geschaffen wird. Diese Operation ermöglicht eine Beseitigung der Obstruktion durch einen extra-anatomischen Bypass, während sie die Risiken eines klassischen Bogeneingriffes (Kreislaufstillstand, oftmals starke Adhäsionen im Bereich der Rekoarktation) vermeidet.

Ein wesentliches Konzept bei allen offenen Eingriffen am Aortenbogen ist, dass während der distalen Anastomose mit der absteigenden Aorta der Körper nicht durchgehend durch die Herz-Lungen-Maschine (HLM) perfundiert wird, da die Aorta durchtrennt wird und offenliegt. Deshalb wird während dieser kritischen Phase die systemische Perfusion des Körpers durch die HLM temporär unterbrochen und ein kontrollierter Kreislaufstillstand (KLS) etabliert. Um während dieser Phase ischämische Schäden des Gehirns und anderer Organe zu minimieren, gibt es mehrere Protektionsstrategien. Zum einen wird der Körper durch die HLM abgekühlt, um den Sauerstoffbedarf zu senken. Historisch wurde ein tiefer Kreislaufstillstand mit 18 °C Körpertemperatur verwendet, was jedoch mit Komplikationen wie Koagulopathie, metabolischen Störungen und Mikrozirkulationsstörung assoziiert ist [12]. Die Entwicklung moderner Konzepte wie antegrade zerebrale Perfusion (ACP) hat es ermöglicht die Zieltemperatur auf moderate (20–28 °C) und milde Hypothermie (28–34 °C) anzuheben. Dabei wird während des Kreislaufstillstandes das Gehirn selektiv, uni- oder bilateral antegrad durch zusätzliche Kanülen in den supraaortalen Gefäßen perfundiert. Dieser beinahe physiologische Blutfluss führt dazu, dass das Gehirn während dieser Phase mit sauerstoffreichem Blut versorgt wird, was die maximal tolerierbare Dauer des Kreislaufstillstandes wesentlich anhebt und neurologische Komplikationen minimiert [12].

Zusätzlich zu den Fortschritten der operativen Technik selbst haben sich zahlreiche intraoperative **Neuromonitoring-Verfahren** etabliert, um eine frühzeitige Erkennung von zerebraler Minderperfusion zu ermöglichen. Die Nahinfrarotspektroskopie (NIRS) misst kontinuierlich die regionale Sauerstoffsättigung des Hämoglobins und dient damit als indirekter Marker der zerebralen Durchblutung [13]. Der bilaterale Einsatz wird von aktuellen Leitlinien empfohlen, da Perfusionsunterschiede zwischen den Hemisphären frühzeitig erkannt und durch Anpassung der Perfusionsstrategie oder Kanülierungsposition korrigiert werden können [1]. Das Elektroenzephalogramm (EEG) ermöglicht die Beurteilung der kortikalen Aktivität und wird häufig zur Detektion von Hypoperfusionsphasen oder Krampfaktivität eingesetzt. Unter tiefer Hypothermie kommt es jedoch zu einer isoelektrischen EEG-Aktivität, wodurch die Aussagekraft während des Kreislaufstillstands eingeschränkt ist. In Kombination mit anderen Verfahren, wie somatosensorisch evozierten Potenzialen (SSEPs), kann das EEG dennoch zur Früherkennung neurologischer Komplikationen beitragen [14]. Bislang konnte jedoch keine einzelne Methode als überlegen identifiziert werden; der größte Nutzen ergibt sich aus der multimodalen Kombination mehrerer Überwachungsstrategien [12].

Alle diese Methoden tragen wesentlich dazu bei, Perfusionsasymmetrien oder kritische Durchblutungsstörungen in Echtzeit zu erkennen und das operative Vorgehen wie z. B.

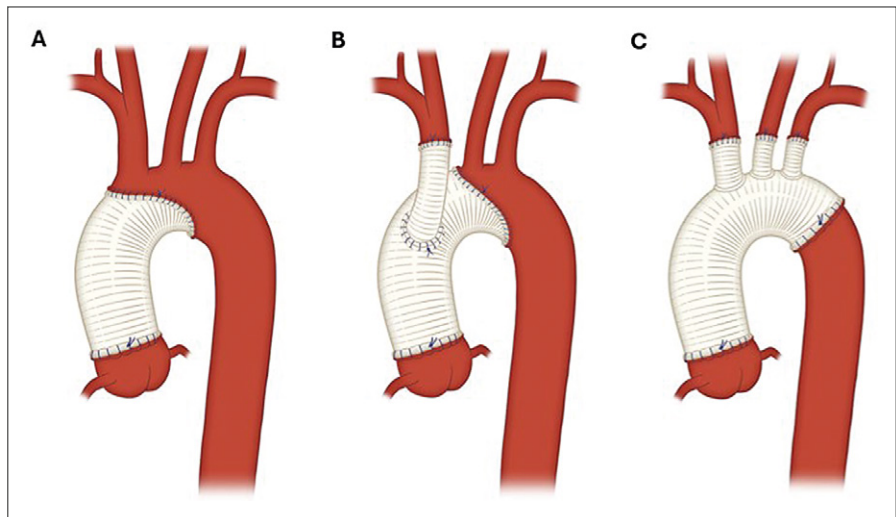


Abbildung 4: Schematische Darstellung verschiedener Aortenbogenersatz-Techniken: **A)** Hemiarch, **B)** partieller Bogenersatz, **C)** kompletter Bogenersatz (Nachdruck aus [11], Creative Commons Attribution 4.0 License, 2025 Sage Publications)

die Perfusionsstrategie oder Flussraten unmittelbar anzupassen [15]. Durch diese Kombination aus standardisierten Perfusionsverfahren mit zielgerichtetem Monitoring konnten die perioperativen Ergebnisse in den letzten Jahren deutlich verbessert werden. In erfahrenen Zentren liegt die operative Mortalität heute häufig bei etwa 3–5 %, während neurologische Komplikationen in größeren Serien mit rund 2–6 % angegeben werden [16–18].

Insgesamt hat sich die Aortenbogenchirurgie im elektiven Setting vom Hochrisikobereich hin zu einer standardisierten Chirurgie mit niedriger Mortalität und Komplikationsrate entwickelt. Trotz dieser Fortschritte besteht für einen Teil der Patientinnen und Patienten aufgrund erhöhter Komorbiditäten, fortgeschrittenen Alters oder ungünstiger anatomischer Voraussetzungen ein hohes operatives Risiko für eine offene Aortenbogenoperation. Diese Patientengruppen können von weniger invasiven Behandlungsstrategien profitieren.

■ Hybridverfahren

Seit der weltweit ersten kombinierten offenen und endovaskulären Rekonstruktion des Aortenbogens, die 2003 an der Medizinischen Universität Wien beschrieben wurde [19], hat sich das Konzept der Hybrid-Aortenbogen-Rekonstruktion zu einem festen Bestandteil der modernen Aortenchirurgie entwickelt. Hybridverfahren stellen eine Kombination aus klassischer offener Bogenchirurgie und endovaskulärer Therapie dar. Ziel ist die Ausschaltung des pathologischen Aortensegments bei reduzierter Invasivität, insbesondere bei Patienten mit erhöhtem Operationsrisiko oder komplexen Voroperationen. Kern des Konzepts ist das chirurgische Debranching, also die operative Verlagerung der supraaortalen Gefäße, um eine stabile proximale Landezone für die Stentgraft-Implantation zu schaffen. Hierbei werden der Truncus brachiocephalicus, die linke A. carotis communis und gegebenenfalls die linke A. subclavia reimplantiert oder umgeleitet. Anschließend wird das pathologische Segment durch einen Stentgraft endovaskulär ausgeschaltet, der in der zuvor chirurgisch geschaffenen Landezone verankert wird [20].

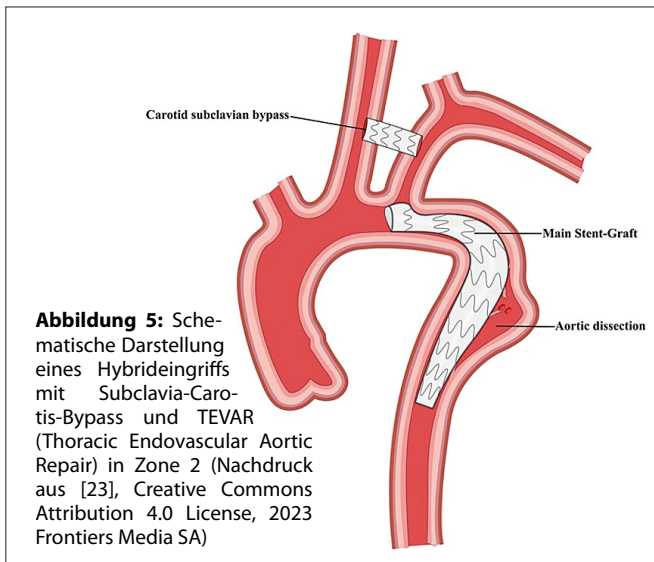


Abbildung 5: Schematische Darstellung eines Hybrideingriffs mit Subclavia-Carotis-Bypass und TEVAR (Thoracic Endovascular Aortic Repair) in Zone 2 (Nachdruck aus [23], Creative Commons Attribution 4.0 License, 2023 Frontiers Media SA)

Ein spezielles Hybridverfahren ist die **Frozen-Elephant-Trunk-Technik** [21]. Das Konzept basiert auf der gleichzeitigen, offenen Rekonstruktion des Aortenbogens und der antegraden, chirurgischen Implantation eines Stentgrafts in die Aorta descendens während derselben Operation. Hierfür wird eine Hybridprothese verwendet, die einen proximalen Dacron-Graft-Abschnitt mit einem distal integrierten, selbst-expandierenden Stentgraft kombiniert. Nach Ersatz des totalen Aortenbogens wird der Stentgraft antegrad in die Aorta descendens vorgeschoben und entfaltet. Dies führt zur Ausschaltung des pathologischen Segments und ermöglicht eine nahtlose Verbindung zwischen offenem und endovaskulärem Anteil der Prothese. Zudem wird eine distale Landezone für spätere endovaskuläre Erweiterungen geschaffen.

Ein weiteres, häufig angewandtes Konzept ist die **Zone-2-Hybrid-Bogenrekonstruktion**. Dabei werden der Truncus brachiocephalicus und die linke A. carotis communis chirurgisch debranched, also auf die Aorta ascendens reimplantiert, um eine stabile proximale Landezone zu schaffen. Der Stentgraft wird anschließend distal der linken A. carotis, jedoch proximal der linken A. subclavia (Zone 2) implantiert. Dieses Vorgehen bietet mehrere Vorteile: Durch die Positionierung des Stentgrafts in Zone 2 kann die offene Rekonstruktion auf den proximalen Aortenbogen beschränkt werden. Dadurch

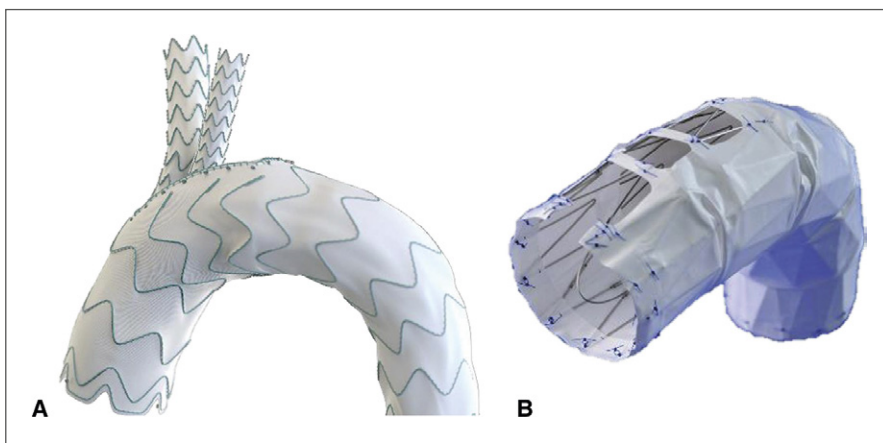


Abbildung 6: Schematische Darstellung eines „branched“ (A) und „fenestrated“ (B) TEVAR (Nachdruck aus [28], Creative Commons Attribution 4.0 License, 2022 Elsevier)

entfällt die Notwendigkeit einer Anastomose der linken A. subclavia, die aufgrund ihrer oft hohen oder variablen Lage technisch anspruchsvoll und zeitintensiv sein kann. Diese Vereinfachung kann potentiell in einer verkürzten Operations-, Hypothermie- und Kreislaufstillstandszeit resultieren und damit die Belastung für den Patienten verringern [22].

Ein noch weniger invasives Hybridverfahren für Pathologien des distalen Aortenbogens sowie der proximalen Descendens mit mangelnder Landezone ist die Kombination aus einem chirurgischen Carotis-Subclavia-Bypass mit nachfolgender endovaskulärer Versorgung der Aorta (Abb. 5). Der Bypass der linken A. subclavia auf die linke A. carotis sichert die Versorgung des linken Arms und schafft somit gleichzeitig eine Landezone in der Zone 2 des Aortenbogens, da hierbei der Abgang der A. subclavia nun problemlos mit dem Stent abgedeckt werden kann. Hierbei gilt es jedoch zu beachten, dass ein interventioneller Verschluss der proximalen Subclavia notwendig werden kann, um ein Typ-II-Endoleak zu verhindern.

■ Endovaskuläre Therapiekonzepte

In den letzten Jahren hat die endovaskuläre Therapie von Pathologien des Aortenbogens rasante Fortschritte gemacht. Dies ist insbesondere darauf zurückzuführen, dass ältere oder multimorbide Patienten häufig ein deutlich erhöhtes perioperatives Risiko für eine offene Operation (inkl. Sternotomie, Herz-Lungen-Maschine und Kreislaufstillstand) aufweisen und dadurch besonders von endovaskulären Verfahren profitieren [24]. Im Zentrum dieser Entwicklungen stehen moderne **Stentgraft-Systeme mit branched oder fenestriertem Design**, also Prothesen mit integrierten Seitenästen (engl. „branched“) oder mit präzise platzierten Öffnungen (engl. „fenestrated“), die ein chirurgisches Debranching der supraaortalen Äste ersetzen (Abb. 6). Dies ermöglicht eine vollständig endovaskuläre Versorgung des Aortenbogens.

Eine weitere Unterscheidung betrifft die Art der verfügbaren Stentgrafts: Während „custom-made devices“ (z. B. Terumo Relay single-branch, Cook Zenith Arch Branched, Nexus Duo/Tre) individuell auf die Patientenanatomie zugeschnitten sind und in spezialisierten Zentren nach CT-Planung gefertigt werden, stehen inzwischen auch „off-the-shelf“-Prothesen (z. B. Gore TBE, Nexus Single-Branch) zur Verfügung. Diese standardisierten Stentgraft-Systeme erlauben eine raschere Verfügbarkeit, was insbesondere bei dringlichen oder akuten Fällen wie Dissektionen vorteilhaft ist. Im Gegensatz dazu haben individuell angefertigte Prothesen in der Regel eine längere Produktionszeit, bieten jedoch eine exaktere anatomische Anpassung [24].

Trotz erheblicher technischer Fortschritte bestehen weiterhin wesentliche **Limitationen** endovaskulärer Stentgrafts im Aortenbogen. Bei Patienten mit genetischen Aortopathien wie Marfan-, Loeys-Dietz- oder Ehlers-Danlos-Syndrom ist das Aortenwandgewebe strukturell geschwächt. Endovaskuläre

Stentgrafts üben dort einen radialen Druck auf die Aortenwand aus, was zu Neodissektionen, Rupturen oder proximalen Endoleaks führen kann, da die Aorta bei diesen Patienten weniger belastbar ist. Daher werden endovaskuläre Verfahren bei angeborenen Aortopathien nicht primär angewandt, sondern nur in Ausnahmesituationen oder bei inoperablen Fällen [25].

Zudem sind anatomische Faktoren wie Aortenkrümmung oder Länge und Durchmesser der Landezone des Stentgrafts entscheidend. So kann ein zu großer Durchmesser (> 4 cm) der proximalen Landezone zu einer unzureichenden Abdichtung zwischen Stentgraft und Gefäßwand führen. Dies erhöht das Risiko für proximale Endoleaks vom Typ Ia und Prothesenmigration, insbesondere bei stark dilatierten und degenerativ veränderten Aortenabschnitten [26, 27].

Konklusion

Die chirurgische Therapie des Aortenbogens ist weiterhin der Gold-Standard für chronische und akute Aortenpathologien.

Hierbei konnten innerhalb der letzten Jahrzehnte im elektiven Setting durch weitgehende Standardisierung gute Ergebnisse mit niedrigen Komplikationsraten erzielt werden.

Hybridverfahren sowie endovaskuläre Verfahren bieten mittlerweile eine relevante therapeutische Alternative für Patienten mit erhöhtem chirurgischem Risiko, hierbei ist eine personalisierte Planung unerlässlich.

Aufgrund der teilweise hoch-komplexen Krankheitsbilder sowie der multimodalen Therapiemöglichkeiten sollten Patienten mit Pathologien des Aortenbogens wenn möglich in spezialisierten Zentren durch interdisziplinäre Aorten-Teams betreut werden.

Interessenkonflikt

Keiner.

Literatur:

1. Czerny M, Grabenwöger M, Berger T, et al. EACTS/STS Guidelines for diagnosing and treating acute and chronic syndromes of the aortic organ. *Eur J Cardiothorac Surg* 2024; 65: ezad426.
2. Tanious A, Wooster M, Giarelli M, et al. Positive impact of an aortic center designation. *Ann Vasc Surg*. 2018; 46: 142–6.
3. Mori M, Shioda K, Wang X, et al. Perioperative risk profiles and volume-outcome relationships in proximal thoracic aortic surgery. *Ann Thorac Surg* 2018; 106: 1095–104.
4. Umana-Pizano JB, Nissen AP, Sandhu HK, et al. Acute type A dissection repair by high-volume vs low-volume surgeons at a high-volume aortic center. *Ann Thorac Surg* 2019; 108: 1330–6.
5. Teixeira MT, Leonetti JP. Recurrent laryngeal nerve paralysis associated with thoracic aortic aneurysm. *Otolaryngol Head Neck Surg* 1990; 102: 140–4.
6. Fleischmann D, Afifi RO, Casanegra AI, et al. Imaging and surveillance of chronic aortic dissection: a scientific statement from the American Heart Association. *Circ Cardiovasc Imaging* 2022; 15: e00075.
7. Saliccioli KB, Zachariah JP. Coarctation of the aorta: modern paradigms across the lifespan. *Hypertension* 2023; 80: 1970–9.
8. Werner P, Stelzmüller ME, Mahr S, Ehrlich M. The 10 commandments of open aortic arch repair. *Innov Technol Tech Cardiothorac Vasc Surg* 2022; 17: 259–65.
9. Yang Z, Jiang H, Liu Y, Ge Y, Wang H. Both J- and L-shaped upper hemisternotomy approaches are suitable for total arch replacement with frozen elephant trunk in patients with type A dissection. *Front Cardiovasc Med* 2022; 9: 998139.
10. Shrestha M. Rapidlink™: a new technology to simplify the supra-aortic vessel anastomoses in total arch arch surgery. *Ann Cardiothorac Surg* 2025; 14: 330–4.
11. Powell TR, Shah EB, Khalifa A, Orozco-Sevilla V, Tolpin DA. Anesthetic management for proximal aortic repair. *Semin Cardiothorac Vasc Anesth* 2025; 29: 8–36.
12. Werner P, Winter M, Mahr S, Stelzmüller ME, Zimpfer D, Ehrlich M. Cerebral protection strategies in aortic arch surgery – past developments, current evidence, and future innovation. *Bioengineering* 2024; 11: 775.
13. Zheng F, Sheinberg R, Yee MS, Ono M, Zheng Y, Hogue CW. Cerebral near-infrared spectroscopy monitoring and neurologic outcomes in adult cardiac surgery patients: a systematic review. *Anesth Analg* 2013; 116: 663–76.
14. Sultan I, Brown JA, Serna-Gallegos D, et al. Intraoperative neurophysiologic monitoring during aortic arch surgery. *J Thorac Cardiovasc Surg* 2023; 165: 1971–81.e2.
15. Friess JO, Beeler M, Yildiz M, et al. Determination of selective antegrade perfusion flow rate in aortic arch surgery to restore baseline cerebral near-infrared spectroscopy values: a single-centre observational study. *Eur J Cardio-Thorac Surg* 2023; 63: ezad047.
16. Settepani F, Cappai A, Basciu A, Barbone A, Tarelli G. Outcome of open total arch replacement in the modern era. *J Vasc Surg* 2016; 63: 537–45.
17. Sundt TM, Orszulak TA, Cook DJ, Schaff HV. Improving results of open arch replacement. *Ann Thorac Surg* 2008; 86: 787–96.
18. Okita Y, Miyata H, Motomura N, Takamoto S, Japan Cardiovascular Surgery Database Organization. A study of brain protection during total arch replacement comparing antegrade cerebral perfusion versus hypothermic circulatory arrest, with or without retrograde cerebral perfusion: analysis based on the Japan Adult Cardiovascular Surgery Database. *J Thorac Cardiovasc Surg* 2015; 149 (2 Suppl): S65–73.
19. Czerny M, Fleck T, Zimpfer D, et al. Combined repair of an aortic arch aneurysm by sequential transposition of the supra-aortic branches and endovascular stent-graft placement. *J Thorac Cardiovasc Surg* 2003; 126: 916–8.
20. Shi R, Wooster M. Hybrid and endovascular management of aortic arch pathology. *J Clin Med* 2024; 13: 6248.
21. Karck M, Chavan A, Hagl C, Friedrich H, Galanski M, Haverich A. The frozen elephant trunk technique: a new treatment for thoracic aortic aneurysms. *J Thorac Cardiovasc Surg* 2003; 125: 1550–3.
22. Desai ND, Hoedt A, Wang G, et al. Simplifying aortic arch surgery: open zone 2 arch with single branched thoracic endovascular aortic repair completion. *Ann Cardiothorac Surg* 2018; 7: 351–6.
23. Wu X, Li Y, Zhao Y, et al. Efficacy of left subclavian artery revascularization strategies during thoracic endovascular aortic repair in patients with type B dissection: a single-center experience of 105 patients. *Front Cardiovasc Med* 2023; 10: 1084851.
24. Lescan M, Kondov S, Dimov A, et al. Endovascular arch repair: endograft design options and worldwide results. *Eur J Cardiothorac Surg* 2025; 67: ezaf273.
25. Le Huu A, Olive JK, Cekmecelioglu D, et al. Endovascular therapy for patients with heritable thoracic aortic disease. *Ann Cardiothorac Surg* 2022; 11: 31–6.
26. Nation DA, Wang GJ. TEVAR: endovascular repair of the thoracic aorta. *Semin Interv Radiol* 2015; 32: 265–71.
27. Scurto L, Peluso N, Pascucci F, et al. Type 1A endoleak after TEVAR in the aortic arch: a review of the literature. *J Pers Med* 2022; 12: 1279.
28. Hauck SR, Kupferthaler A, Kern M, et al. Branched versus fenestrated thoracic endovascular aortic repair in the aortic arch: a multi-center comparison. *J Thorac Cardiovasc Surg* 2022; 164: 1379–89.e1.

Mitteilungen aus der Redaktion

Besuchen Sie unsere Rubrik

☒ Medizintechnik-Produkte



Neues CRT-D Implantat
Intica 7 HF-T QP von Biotronik



Artis pheno
Siemens Healthcare Diagnostics GmbH



Philips Azurion:
Innovative Bildgebungslösung

Aspirator 3
Labotect GmbH



InControl 1050
Labotect GmbH

e-Journal-Abo

Beziehen Sie die elektronischen Ausgaben dieser Zeitschrift hier.

Die Lieferung umfasst 4–5 Ausgaben pro Jahr zzgl. allfälliger Sonderhefte.

Unsere e-Journale stehen als PDF-Datei zur Verfügung und sind auf den meisten der marktüblichen e-Book-Readern, Tablets sowie auf iPad funktionsfähig.

☒ Bestellung e-Journal-Abo

Haftungsausschluss

Die in unseren Webseiten publizierten Informationen richten sich **ausschließlich an geprüfte und autorisierte medizinische Berufsgruppen** und entbinden nicht von der ärztlichen Sorgfaltspflicht sowie von einer ausführlichen Patientenaufklärung über therapeutische Optionen und deren Wirkungen bzw. Nebenwirkungen. Die entsprechenden Angaben werden von den Autoren mit der größten Sorgfalt recherchiert und zusammengestellt. Die angegebenen Dosierungen sind im Einzelfall anhand der Fachinformationen zu überprüfen. Weder die Autoren, noch die tragenden Gesellschaften noch der Verlag übernehmen irgendwelche Haftungsansprüche.

Bitte beachten Sie auch diese Seiten:

[Impressum](#)

[Disclaimers & Copyright](#)

[Datenschutzerklärung](#)