



Was man zu verstehen gelernt hat, fürchtet man nicht.

MARIE CURIE-SKŁODOWSKA

GERD L. GOLDYN

# **Praxishandbuch Angiographie**

**Spektrum der Diagnostik und Interventionen**

ZWEITE, ÜBERARBEITETE UND ERWEITERTE AUFLAGE,  
MIT 370 ZUM TEIL FARBIGEN ABBILDUNGEN  
IN 637 EINZELDARSTELLUNGEN

STEINKOPFF  
VERLAG

GERD L. GOLDYN  
Klinik für Radiologische Diagnostik  
Universitätsklinikum Aachen AÖR  
Pauwelsstraße 30, D-52074 Aachen  
E-Mail: goldyn@rwth-aachen.de

ISBN 978-3-7985-1764-6 Steinkopff Verlag

Bibliografische Information der Deutschen Bibliothek  
Die Deutsche Nationalbibliothek verzeichnet diese Publikation in der Deutschen Nationalbibliografie;  
detaillierte bibliografische Daten sind im Internet über <http://dnb.d-nb.de> abrufbar.

Dieses Werk ist urheberrechtlich geschützt. Die dadurch begründeten Rechte, insbesondere die der Übersetzung, des Nachdrucks, des Vortrags, der Entnahme von Abbildungen und Tabellen, der Funk- sendung, der Mikroverfilmung oder der Vervielfältigung auf anderen Wegen und der Speicherung in Datenverarbeitungsanlagen, bleiben, auch bei nur auszugsweiser Verwertung, vorbehalten. Eine Vervielfältigung dieses Werkes oder von Teilen dieses Werkes ist auch im Einzelfall nur in den Grenzen der gesetzlichen Bestimmungen des Urheberrechtsgesetzes der Bundesrepublik Deutschland vom 9. September 1965 in der jeweils geltenden Fassung zulässig. Sie ist grundsätzlich vergütungspflichtig. Zuwiderhandlungen unterliegen den Strafbestimmungen des Urheberrechtsgesetzes.

Steinkopff Verlag  
ein Unternehmen von Springer Science + Business Media

[www.steinkopff.com](http://www.steinkopff.com)

© Steinkopff Verlag 2003, 2008  
Printed in Germany

Die Wiedergabe von Gebrauchsnamen, Handelsnamen, Warenbezeichnungen usw. in diesem Werk be- rechtigt auch ohne besondere Kennzeichnung nicht zu der Annahme, dass solche Namen im Sinne der Warenzeichen- und Markenschutz-Gesetzgebung als frei zu betrachten wären und daher von jeder- mann benutzt werden dürften.

Produkthaftung: Für Angaben über Dosierungsanweisungen und Applikationsformen kann vom Verlag keine Gewähr übernommen werden. Derartige Angaben müssen vom jeweiligen Anwender im Einzel- fall anhand anderer Literaturstellen auf ihre Richtigkeit überprüft werden.

Redaktion: Dr. Annette Gasser Herstellung: Klemens Schwind  
Umschlaggestaltung: Erich Kirchner, Heidelberg  
Satz: K + V Fotosatz GmbH, Beerfelden  
Druck und Bindung: Stürtz GmbH, Würzburg

SPIN 12044931 85/7231-5 4 3 2 1 0 – Gedruckt auf säurefreiem Papier

---

# Geleitwort zur 2. Auflage

Mit zunehmender klinischer Bedeutung der Interventionellen Radiologie und der Ausweitung und Verfeinerung der Techniken haben sich die Anforderungen an Ärzte und MTAR erhöht. Daher ist ein Praxishandbuch, in dem Theorie und Praxis der interventionellen Verfahren aus MTAR-Sicht kompakt und umfassend dargestellt werden, von großem Nutzen. Die 2. komplett überarbeitete Auflage des Buches von G. Goldyn, der als MTRA den vaskulären Interventionsbereich in unserer Klinik leitet, bezieht wichtige Weiterentwicklungen der letzten Jahre mit ein. Das vor allem für MTAR gedachte Werk über Angiographie erfreut sich großer Beliebtheit, da es ausführliche allgemeine Informationen und viele praktische Tipps bei radiologischen Gefäßeingriffen vermittelt.

Grundlage des Buches sind die in der Aachener Interventionellen Radiologie angewandten Techniken. Die praktischen Anleitungen sind jedoch so gehalten, dass sie auch in anderen Kliniken zu übernehmen und ohne weiteres umzusetzen sind. Insgesamt ermöglicht das Buch eine rasche Orientierung nicht nur für MTAR-Anfänger, sondern auch für Fortgeschrittene, die ihre Kenntnisse über interventionelle Techniken auffrischen möchten. Auch für Assistenzärzte ist der Einstieg in Materialkunde und Technik der Interventionellen Radiologie auf diese Weise interessant. Als Grundlage für das Verständnis, die Vorbereitung und die Durchführung von vaskulären Interventionen sollte das Buch deswegen in keinem Angiographieraum fehlen.

Aachen, im Herbst 2007

Univ.-Prof. Dr. med. ROLF W. GÜNTHER

---

# Vorwort zur 2. Auflage

Die im Jahre 2003 veröffentlichte 1. Auflage dieses Buches spiegelte den damaligen Stand der Methoden und der Technik wieder. Inzwischen hat sich die interventionelle Radiologie auch auf dem Gebiet der Gefäßbehandlung weiterentwickelt, sodass eine grundlegende Bearbeitung erforderlich war. Alle Kapitel wurden sorgfältig überarbeitet und aktualisiert; drei neue Kapitel kamen hinzu. Viele Abbildungen wurden ausgetauscht bzw. neu hinzugefügt, denn aus Bildern lernt man leicht, da sie die Sachverhalte am besten veranschaulichen.

In den letzten Jahren hat sich die Zusammenarbeit zwischen Radiologen und Gefäßchirurgen intensiviert, vor allem was intraoperative Interventionen und stentgestützte Ausschaltung von Aortenaneurysmen betrifft. Diesem Trend wird mit dem neuen, gemeinsam verfassten Kapitel über endovaskuläre Behandlung von Aortenaneurysmata Rechnung getragen.

Um den Umfang des Buches nicht zu groß werden zu lassen, konnten nicht alle technischen und therapeutischen Neuigkeiten einbezogen werden, sondern es wurde eine Auswahl getroffen. Bei den beschriebenen Untersuchungen handelt es sich immer um Vorschläge zu den Instrumenten und der Vorgehensweise. Jedem Anwender steht es selbstverständlich frei, die vorgeschlagenen Rezepte zu variieren, zu ergänzen und nach eigener Vorstellung zu bereichern.

Mein Dank richtet sich an Herrn Prof. Dr. med. Rolf W. Günther, Direktor der Klinik für Radiologische Diagnostik des Universitätsklinikums Aachen, für die klinische Ausbildung sowie die langjährige vertrauensvolle und freundschaftliche Zusammenarbeit.

Für die Beiträge zum Kapitel über die Implantation von Aortenprothesen spreche ich meinen herzlichsten Dank den Herren Prof. Dr. med. J.E. Wildberger und Dr. med. G. Mommertz aus. Herrn Dr. med. Dipl.-Phys. Ch. Hohl danke ich herzlich insbesondere für seine Aktualisierung des Strahlenschutzkapitels.

Ich hoffe, dass diese 2. Auflage wiederum eine interessierte Leserschaft findet und in Ausbildung und klinischer Praxis nützlich ist.

Aachen, im Herbst 2007

GERD L. GOLDYN

---

# Vorwort zur 1. Auflage

Zu der Herausgabe meines zuvor im Internet veröffentlichten Leitfadens der Angiographie im Buchformat habe ich mich aufgrund der zahlreichen Nachfragen und aufgrund der Motivierung durch einige Arbeitskollegen entschieden. Das Buch mit seinen kurz gefassten, praktischen Informationen zur Vorbereitung, Betreuung, Auswertung und Durchführung von angiographischen Untersuchungen, wie sie in unserer Aachener Klinik praktiziert werden, soll den medizinisch-technischen Assistenten/innen in der Radiologie und auch allen anderen Interessierten bei der Fortbildung und am Arbeitsplatz eine Hilfestellung geben.

Da sich der Angiographiebereich nicht nur aufgrund der Invasivität der Untersuchungen von den anderen Arbeitsplätzen in der radiologischen Diagnostik deutlich unterscheidet, werden besondere Kenntnisse und Fähigkeiten gefordert, welche das vorliegende Buch, ohne dabei Anspruch auf Vollständigkeit zu erheben, vermitteln möchte. Selbstverständlich lässt die Durchführung von angiographischen Untersuchungen meist zahlreiche Varianten und Modifikationen zu, die natürlich nicht alle aufgeführt werden können, die aber im Grundkonzept einheitlich sind. Bestimmt hat auch jede radiologische Abteilung bei den einzelnen Untersuchungen ihre eigenen bewährten Vorgehensweisen bzw. Materialvorlieben, die aufgrund der Empfehlungen dieses Handbuchs durchaus nicht umgestellt werden müssen. Das Buch ist kein Standardlehrwerk und lediglich als praktische Anleitung gedacht. Mit seinen rezeptartigen Übersichten sollte es nur als ein nützliches Handwerkszeug im beruflichen Alltag dienen.

Mein Dank gilt an erster Stelle meiner ehemaligen Arbeitskollegin S. Brinkmann für die Grundsteinlegung zu diesem Handbuch.

Einen besonderen Dank schulde ich auch dem Fotografen unserer Klinik für seine ständige Bereitschaft und seine Fachkompetenz bei der Anfertigung von notwendigen Abbildungen. Prof. Dr. med. B. Wein und Dr. med. H. Schubert danke ich herzlich für ihre Beiträge zur Entstehung der Internetversion meines Leitfadens, die als Grundlage für dieses Buch diente.

Im Besonderen bedanke ich mich auch beim Direktor unserer Klinik, Herrn Univ.-Prof. Dr. med. R. W. Günther für die Durchsicht des Leitfadenmanuskripts.

Meinen Arbeitskollegen U. Buhl, Dr. med. M. Wingen, Prof. Dr. med. C. Nolte-Ernsting sowie Herrn Dr. rer. nat. J. Stargardt (†) habe ich ebenfalls viel zu verdanken.

Alle Arbeitskollegen/innen, die hier namentlich nicht erwähnt werden konnten, bitte ich um Verständnis und spreche ihnen hiermit für ihre hilfreichen und fachlichen Informationen, Berichtigungen, Bilder, Vorschläge u. dgl. ein Dankwort aus.

Dank gebührt meiner Familie, die mir mit viel Geduld und Toleranz den nötigen Raum beim Verfassen und Bearbeiten dieses Buchs gewährt hat.

Durch die Publikation meines Leitfadens als Buch hoffe ich, dass es sich als ein ständiger Begleiter bewähren wird und damit Beschäftigten in der radiologischen Diagnostik hilft, hochwertige Angiographieuntersuchungen durchzuführen. Zugleich soll es auch dazu beitragen, dass die Untersuchungen durch eine präzise Durchführung möglichst kosteneffektiv werden können. In diesem Sinn wünsche ich allen Nutzern viel Freude und stets gutes Gelingen beim „Angiographieren“.

Aachen, im Herbst 2002

GERD L. GOLDYN



## Zur Person

Als kleiner Junge erzählte ich allen im Kindergarten, dass ich später Polizist werden möchte. Im Gymnasium fand ich dann meine Vorliebe zur Physik. Deshalb wollte ich nach dem Abitur Radios und Fernseher reparieren. Den Beruf des medizinisch-technischen Radiologieassistenten erlernte ich eher durch „Zufall“, weil mich der Begriff Elektroradiologie angezogen hatte. Ich habe danach auf einer Technischen Hochschule noch Wirtschaftswissenschaften studiert. Nach dem Studium absolvierte ich meinen Militärdienst im Nachschubwesen als Leutnant d.R. Beruflich war ich anfangs als Disponent und Speditionskaufmann in der Transportbranche tätig. Seit 1985 betätige ich mich als MTAR in der Klinik für Radiologische Diagnostik am Universitätsklinikum Aachen. Hier wurde mir im Jahr 1995 die Angiographie anvertraut, mit der ich mich nun eingehender auseinandergesetzt habe, da zu meiner Ausbildungszeit nicht viel darüber unterrichtet wurde. Als ein Ergebnis dieser intensiven Beschäftigung ist dieses Buch entstanden, das ich meiner Mutter posthum zugeben möchte.



Universitätsklinikum Aachen

---

## **Autor**

GERD L. GOLDYN

Klinik für Radiologische Diagnostik  
Universitätsklinikum Aachen AÖR  
Pauwelsstraße 30, D-52074 Aachen

### Mitautoren

Dr. med. Dipl. Phys. CHRISTIAN HOHL (Kapitel 1.2)

Oberarzt und Strahlenschutzbeauftragter  
Klinik für Radiologische Diagnostik  
Universitätsklinikum Aachen  
Pauwelsstraße 30, D-52074 Aachen

Dr. med. GOTTFRIED MOMMERTZ (Kapitel 4.13)

Ltd. Oberarzt der Klinik für Gefäßchirurgie  
Universitätsklinikum Aachen  
Pauwelsstraße 30, D-52074 Aachen

Dr. med. HENNING SCHUBERT (Kapitel 1.2)

Praxisgemeinschaft im Kapuzinerkarree  
Alter Posthof 14, D-52062 Aachen

Prof. Dr. med. BERTHOLD WEIN (Kapitel 1.11)

Praxisgemeinschaft im Kapuzinerkarree  
Alter Posthof 14, D-52062 Aachen

Prof. Dr. med. JOACHIM E. WILDBERGER (Kapitel 4.13)

Chefarzt des Instituts für Röntgendiagnostik  
HELIOS Klinikum Berlin-Buch  
Schwanebecker Chaussee 50, D-13125 Berlin

# Inhaltsverzeichnis

|             |  |    |
|-------------|--|----|
| <b>1</b>    | <b>Basiswissen</b>   |    |
| <b>1.1</b>  | <b>Kurzeinführung in die Angiographie</b>  | 1  |
| 1.1.1       | Röntgenographische<br>Gefäßuntersuchung .....                                      | 1  |
| 1.1.2       | Angiographietechniken .....  | 2  |
| 1.1.3       | Aufnahmetechnik .....  | 3  |
| 1.1.4       | Gefäßwandveränderungen .....   | 4  |
| <b>1.2</b>  | <b>Grundwissen<br/>über den Strahlenschutz</b> .....                               | 8  |
| 1.2.1       | Röntgenstrahlung .....   | 8  |
| 1.2.2       | Strahlenwirkung<br>auf biologische Gewebe .....                                    | 9  |
| 1.2.3       | Dosisbegriffe .....  | 10 |
| 1.2.4       | Strahlenwirkung<br>auf menschliche Gewebe .....                                    | 10 |
| 1.2.5       | Allgemeiner Strahlenschutz ....  | 12 |
| 1.2.6       | Grundsatz des Personenschutzes   | 15 |
| <b>1.3</b>  | <b>Instrumentarien</b> .....   | 20 |
| 1.3.1       | Größenangaben .....  | 20 |
| 1.3.2       | Punktionsnadeln und Kanülen ..   | 21 |
| 1.3.3       | Diagnostikkatheter .....   | 21 |
| 1.3.4       | Interventionelle Katheter .....  | 23 |
| 1.3.5       | Embolieschutzsysteme .....   | 33 |
| 1.3.6       | Katheterschleusen .....  | 35 |
| 1.3.7       | Fremdkörperextraktions-<br>instrumente .....                                       | 35 |
| 1.3.8       | Führungsdrähte .....   | 36 |
| <b>1.4</b>  | <b>Stents und Gefäßendoprothesen</b> ..  | 38 |
| 1.4.1       | Stentvorgeschichte .....   | 38 |
| 1.4.2       | Stentmaterialien .....   | 39 |
| 1.4.3       | Stentarten .....   | 40 |
| 1.4.4       | Stentproblematik .....   | 45 |
| 1.4.5       | Resümee .....  | 47 |
| <b>1.5</b>  | <b>Untersuchungsvorbereitung</b> .....   | 47 |
| 1.5.1       | Patientenaufnahme .....  | 47 |
| 1.5.2       | Blutlabordiagnostik .....  | 48 |
| <b>1.6</b>  | <b>Patientenvorbereitung</b> .....   | 51 |
| 1.6.1       | Patientenaufklärung .....  | 51 |
| 1.6.2       | Überwachungsmaßnahmen .....  | 52 |
| <b>1.7</b>  | <b>Spezielle Anamnese<br/>und Sondermedikation</b> .....                           | 53 |
| 1.7.1       | Kontrastmittelunverträglichkeit ..   | 53 |
| 1.7.2       | Schilddrüsenerkrankungen .....   | 54 |
| 1.7.3       | Diabetes mellitus .....  | 54 |
| 1.7.4       | Nierenfunktionseinschränkungen   | 55 |
| 1.7.5       | Phäochromozytom .....  | 55 |
| 1.7.6       | Heparinallergie .....  | 55 |
| <b>1.8</b>  | <b>Steriler Standardangiographietisch</b> .  | 57 |
| 1.8.1       | Wäscheset .....  | 58 |
| 1.8.2       | Zubehör .....  | 58 |
| <b>1.9</b>  | <b>Prävention und Behandlung von<br/>Kontrastmittelnebenwirkungen</b> ....         | 58 |
| 1.9.1       | Prävention von Kontrastmittel-<br>nebenwirkungen bei Nieren-<br>insuffizienz ..... | 58 |
| 1.9.2       | Behandlung<br>bei Kontrastmittelreaktionen ....                                    | 59 |
| 1.9.3       | Wissenswertes<br>über Kontrastmittelreaktionen ...                                 | 60 |
| <b>1.10</b> | <b>Patientenbetreuung</b> .....  | 61 |
| 1.10.1      | Während des Eingriffs .....  | 61 |
| 1.10.2      | Nach dem Eingriff .....  | 61 |
| <b>1.11</b> | <b>Auswertung von DSA-Serien</b> .....   | 62 |
| 1.11.1      | Allgemeinregeln .....  | 62 |
| 1.11.2      | Grundregeln .....  | 63 |
| 1.11.3      | Auswertungsanforderungen .....   | 64 |

|            |   |     |
|------------|---|-----|
| <b>2</b>   | <b>Diagnostische Angiographien</b>                            |     |
| <b>2.1</b> | <b>Becken-Bein-Angiographie i.a.</b> . . . .                  | 69  |
| 2.1.1      | Untersuchungsvorbereitung . . . .                             | 69  |
| 2.1.2      | Patientenvorbereitung . . . . .                               | 70  |
| 2.1.3      | Bereitzuhaltende Medikamente<br>und Materialien . . . . .     | 70  |
| 2.1.4      | Patientennachsorge . . . . .                                  | 70  |
| 2.1.5      | CO <sub>2</sub> -Angiographie . . . . .                       | 70  |
| 2.1.6      | Becken-Bein<br>mit Tischschrittverschiebung . . . .           | 72  |
| 2.1.7      | Hauptindikation,<br>Einschränkungen, Komplikationen           | 72  |
| <b>2.2</b> | <b>Becken-Bein-DSA i.v.</b> . . . . .                         | 73  |
| 2.2.1      | Untersuchungsvorbereitung . . . .                             | 73  |
| 2.2.2      | Patientenvorbereitung . . . . .                               | 74  |
| 2.2.3      | Bereitzuhaltende Medikamente<br>und Programmauswahl . . . . . | 74  |
| 2.2.4      | Wissenswertes . . . . .                                       | 75  |
| <b>2.3</b> | <b>Karotiden und Zerebralgefäße</b> . . . .                   | 76  |
| 2.3.1      | Untersuchungsvorbereitung . . . .                             | 76  |
| 2.3.2      | Patientenvorbereitung . . . . .                               | 76  |
| 2.3.3      | Bereitzuhaltende Medikamente<br>und Materialien . . . . .     | 77  |
| 2.3.4      | Wissenswertes . . . . .                                       | 77  |
| <b>2.4</b> | <b>Arteria-pulmonalis-DSA</b> . . . . .                       | 79  |
| 2.4.1      | Untersuchungsvorbereitung . . . .                             | 79  |
| 2.4.2      | Patientenvorbereitung . . . . .                               | 80  |
| 2.4.3      | DSA-Aufnahmebedingungen . . . .                               | 80  |
| 2.4.4      | Wissenswertes . . . . .                                       | 81  |
| <b>2.5</b> | <b>Zöliako- und Mesenterikographie</b> . .                    | 82  |
| 2.5.1      | Untersuchungsvorbereitung . . . .                             | 82  |
| 2.5.2      | Programm Vorbereitung . . . . .                               | 82  |
| 2.5.3      | Patientenvorbereitung . . . . .                               | 83  |
| 2.5.4      | Bereitzuhaltende Materialien<br>und Medikamente . . . . .     | 83  |
| 2.5.5      | Wissenswertes . . . . .                                       | 83  |
| <b>2.6</b> | <b>Armphlebographie<br/>und Vena subclavia</b> . . . . .      | 85  |
| 2.6.1      | Untersuchungsvorbereitung . . . .                             | 85  |
| 2.6.2      | Patientenvorbereitung . . . . .                               | 85  |
| 2.6.3      | Zu beachtende Punkte . . . . .                                | 85  |
| 2.6.4      | Programmwahl . . . . .  | 85  |
| 2.6.5      | Wissenswertes . . . . .                                       | 85  |
| 2.6.6      | Einstelltechnik . . . . .                                     | 86  |
| <b>2.7</b> | <b>Armarteriographie<br/>und Arteria subclavia</b> . . . . .  | 86  |
| 2.7.1      | Untersuchungsvorbereitung . . . .                             | 86  |
| 2.7.2      | Patientenvorbereitung . . . . .                               | 87  |
| 2.7.3      | Bereitzuhaltende Medikamente . .                              | 87  |
| 2.7.4      | Wissenswertes . . . . .                                       | 87  |
| 2.7.5      | Einstelltechnik . . . . .                                     | 87  |
| <b>2.8</b> | <b>Portkontrollen</b> . . . . .                               | 88  |
| 2.8.1      | Untersuchungsvorbereitung . . . .                             | 88  |
| 2.8.2      | Patientenvorbereitung . . . . .                               | 89  |
| 2.8.3      | Wissenswertes . . . . .                                       | 89  |
| <b>3</b>   | <b>Selektive Blutentnahme</b>                                 |     |
| <b>3.1</b> | <b>Sinus-petrosus-Blutentnahme</b> . . . .                    | 93  |
| 3.1.1      | Untersuchungsvorbereitung . . . .                             | 93  |
| 3.1.2      | Patientenvorbereitung . . . . .                               | 95  |
| 3.1.3      | Bereitzuhaltende Materialien . . .                            | 95  |
| 3.1.4      | Probenentnahmen . . . . .                                     | 95  |
| 3.1.5      | Zu beachtende Punkte . . . . .                                | 95  |
| 3.1.6      | Patientennachsorge . . . . .                                  | 96  |
| 3.1.7      | Wissenswertes . . . . .                                       | 96  |
| <b>3.2</b> | <b>Neben- und<br/>Schilddrüsenblutentnahme</b> . . . . .      | 97  |
| 3.2.1      | Untersuchungsvorbereitung . . . .                             | 97  |
| 3.2.2      | Blutentnahmeorte . . . . .                                    | 97  |
| 3.2.3      | Zu beachtende Punkte . . . . .                                | 98  |
| 3.2.4      | Patientenvorbereitung . . . . .                               | 98  |
| 3.2.5      | Bereitzuhaltende Materialien . . .                            | 98  |
| 3.2.6      | Patientennachsorge . . . . .                                  | 99  |
| 3.2.7      | Wissenswertes . . . . .                                       | 99  |
| <b>3.3</b> | <b>Nebennierenblutentnahme</b> . . . . .                      | 99  |
| 3.3.1      | Untersuchungsvorbereitung . . . .                             | 100 |
| 3.3.2      | Blutentnahmeorte . . . . .                                    | 101 |
| 3.3.3      | Patientenvorbereitung . . . . .                               | 101 |
| 3.3.4      | Bereitzuhaltende Materialien . . .                            | 101 |
| 3.3.5      | Zu beachtende Punkte . . . . .                                | 101 |
| 3.3.6      | Patientennachsorge . . . . .                                  | 101 |
| 3.3.7      | Wissenswertes . . . . .                                       | 101 |
| <b>3.4</b> | <b>Blutentnahme zur Reninbestimmung</b>                       | 103 |
| 3.4.1      | Untersuchungsvorbereitung . . . .                             | 103 |
| 3.4.2      | Blutentnahmestellen . . . . .                                 | 104 |
| 3.4.3      | Patientenvorbereitung . . . . .                               | 105 |
| 3.4.4      | Bereitzuhaltende Materialien . . .                            | 105 |
| 3.4.5      | Zu beachtende Punkte . . . . .                                | 105 |
| 3.4.6      | Patientennachsorge . . . . .                                  | 105 |
| 3.4.7      | Wissenswertes . . . . .                                       | 105 |

|             |  |     |  |
|-------------|--|-----|--|
| <b>4</b>    | <b>Interventionen</b>  |     |  |
| <b>4.1</b>  | <b>Hämodialyseshunts</b>                                     | 107 |  |
| 4.1.1       | Untersuchungsvorbereitung                                    | 107 |  |
| 4.1.2       | Patientenvorbereitung  | 107 |  |
| 4.1.3       | Bereitzuhaltende Materialien                                 | 108 |  |
| 4.1.4       | Gefäßzugänge für Hämodialyse                                 | 108 |  |
| 4.1.5       | Anzeichen für ein Dialyseshunt-<br>versagen und Kontroll-DSA | 110 |  |
| 4.1.6       | Interventionsmethoden<br>bei insuffizienten Dialyseshunts    | 111 |  |
| 4.1.7       | Stentimplantationen<br>bei Dialyseshunts                     | 114 |  |
| 4.1.8       | Wissenswertes  | 115 |  |
| <b>4.2</b>  | <b>Nierenangiographie<br/>und PTRÄ/Stentung</b>              | 116 |  |
| 4.2.1       | Untersuchungsvorbereitung                                    | 117 |  |
| 4.2.2       | Patientenvorbereitung  | 118 |  |
| 4.2.3       | Bereitzuhaltende Materialien                                 | 118 |  |
| 4.2.4       | Patientennachsorge   | 118 |  |
| 4.2.5       | Intravasale Druckmessung                                     | 120 |  |
| 4.2.6       | Wissenswertes  | 120 |  |
| <b>4.3</b>  | <b>PTA/Stentung<br/>der Becken-Bein-Gefäße</b>               | 123 |  |
| 4.3.1       | Untersuchungsvorbereitung                                    | 124 |  |
| 4.3.2       | Patientenvorbereitung  | 125 |  |
| 4.3.3       | Bereitzuhaltende Materialien                                 | 125 |  |
| 4.3.4       | Patientennachsorge   | 125 |  |
| 4.3.5       | Wissenswertes  | 126 |  |
| <b>4.4</b>  | <b>Karotisstentung</b>                                       | 134 |  |
| 4.4.1       | Untersuchungsvorbereitung                                    | 134 |  |
| 4.4.2       | Patientenvorbereitung  | 135 |  |
| 4.4.3       | Bereitzuhaltende Materialien                                 | 135 |  |
| 4.4.4       | Patientennachsorge   | 136 |  |
| 4.4.5       | Wissenswertes  | 136 |  |
| <b>4.5</b>  | <b>PTCD-Anlage</b>   | 138 |  |
| 4.5.1       | Untersuchungsvorbereitung                                    | 138 |  |
| 4.5.2       | Patientenvorbereitung  | 139 |  |
| 4.5.3       | Bereitzuhaltende Materialien                                 | 139 |  |
| 4.5.4       | Patientennachsorge   | 140 |  |
| 4.5.5       | Wissenswertes  | 140 |  |
| <b>4.6</b>  | <b>Subklaviaportimplantation</b>                             | 142 |  |
| 4.6.1       | Untersuchungsvorbereitung                                    | 143 |  |
| 4.6.2       | Patientenvorbereitung  | 144 |  |
| 4.6.3       | Portimplantation   | 145 |  |
| 4.6.4       | Patientennachsorge   | 146 |  |
| 4.6.5       | Portpflege   | 147 |  |
| 4.6.6       | Wissenswertes  | 147 |  |
| <b>4.7</b>  | <b>Dialyseports</b>  | 149 |  |
| 4.7.1       | Untersuchungsvorbereitung                                    | 149 |  |
| 4.7.2       | Patientenvorbereitung  | 150 |  |
| 4.7.3       | Bereitzuhaltende Materialien                                 | 150 |  |
| 4.7.4       | Vorgehensweise   | 150 |  |
| 4.7.5       | Wichtiges  | 152 |  |
| 4.7.6       | Wissenswertes  | 152 |  |
| <b>4.8</b>  | <b>Kavafilter</b>  | 154 |  |
| 4.8.1       | Untersuchungsvorbereitung                                    | 154 |  |
| 4.8.2       | Patientenvorbereitung  | 155 |  |
| 4.8.3       | Bereitzuhaltende Materialien                                 | 155 |  |
| 4.8.4       | Zum Beachten   | 155 |  |
| 4.8.5       | Patientennachsorge   | 156 |  |
| 4.8.6       | Wissenswertes  | 156 |  |
| <b>4.9</b>  | <b>TIPS-Anlage, Reintervention,<br/>Revision</b>             | 158 |  |
| 4.9.1       | Vorbereitung zur TIPS-Anlage                                 | 158 |  |
| 4.9.2       | Patientenvorbereitung  | 159 |  |
| 4.9.3       | Tischvorbereitung  | 159 |  |
| 4.9.4       | Vorbereitung zur TIPS-<br>Reintervention und -Revision       | 159 |  |
| 4.9.5       | Bereitzuhaltende Materialien                                 | 160 |  |
| 4.9.6       | Vorgehensweise bei TIPS-Anlage                               | 161 |  |
| 4.9.7       | Intravaskuläre Druckmessung                                  | 161 |  |
| 4.9.8       | Patientennachsorge   | 161 |  |
| 4.9.9       | TIPS-Ziel und Problematik                                    | 162 |  |
| <b>4.10</b> | <b>Leberbiopsie</b>  | 165 |  |
| 4.10.1      | Transjuguläre Nadelbiopsie<br>der Leber                      | 165 |  |
| 4.10.2      | Transvenöse Zangenbiopsie<br>der Leber                       | 167 |  |
| <b>4.11</b> | <b>Stentapplikation im Ösophagus</b>                         | 167 |  |
| 4.11.1      | Untersuchungsvorbereitung                                    | 168 |  |
| 4.11.2      | Patientenvorbereitung  | 168 |  |
| 4.11.3      | Bereitzuhaltende Materialien                                 | 169 |  |
| 4.11.4      | Patientennachsorge   | 169 |  |
| 4.11.5      | Wissenswertes  | 169 |  |
| <b>4.12</b> | <b>PEG-Anlage</b>  | 170 |  |
| 4.12.1      | Untersuchungsvorbereitung                                    | 170 |  |
| 4.12.2      | Patientenvorbereitung  | 171 |  |
| 4.12.3      | Bereitzuhaltende Materialien                                 | 171 |  |
| 4.12.4      | Vorgehensweise   | 171 |  |
| 4.12.5      | Patientennachsorge   | 172 |  |
| 4.12.6      | Wissenswertes  | 173 |  |

|             |   |     |            |  |     |
|-------------|---|-----|------------|--|-----|
| <b>4.13</b> | <b>Endovaskuläre Ausschaltung von Aortenaneurysmata</b> . . . . .       | 174 | <b>5.4</b> | <b>Venöse Thrombektomie</b> . . . . .                          | 196 |
| 4.13.1      | Patientenvorbereitung . . . . .   | 174 | 5.4.1      | Untersuchungsvorbereitung . . . . .                            | 196 |
| 4.13.2      | Untersuchungsvorbereitung . . . . .                                     | 175 | 5.4.2      | Instrumentarium zur mechanischen Thrombektomie . . . . .       | 196 |
| 4.13.3      | Intervention . . . . .  | 176 | 5.4.3      | Wissenswertes . . . . .  | 198 |
| 4.13.4      | Endovaskuläre Stentgrafts und Implantationsbeispiele . . . . .          | 177 |            |  |     |
| 4.13.5      | Patientennachsorge . . . . .  | 182 |            |  |     |
| 4.13.6      | Indikationen/Kontraindikationen zur TEVAR . . . . .                     | 182 |            |  |     |
| 4.13.7      | Indikationen/Kontraindikationen zur EVAR . . . . .                      | 182 |            |  |     |
| 4.13.8      | Differenzierung der Aortendissektion . . . . .                          | 183 |            |  |     |
| 4.13.9      | Klassifikation von Endoleckagen . . . . .                               | 183 |            |  |     |
| 4.13.10     | Rückblick und Ausblick . . . . .  | 184 |            |  |     |
| <hr/>       |   |     |            |  |     |
| <b>5</b>    | <b>Fibrinolyse und Thrombektomie</b>                                    |     | <b>6</b>   | <b>Blutungen und Embolisationen</b>                            |     |
| <b>5.1</b>  | <b>Lokale intraarterielle Fibrinolyse</b> . . . . .                     | 185 | <b>6.1</b> | <b>Blutungsbehandlung und Gefäßembolisation</b> . . . . .      | 201 |
| 5.1.1       | Untersuchungsvorbereitung . . . . .                                     | 185 | 6.1.1      | Untersuchungsvorbereitung . . . . .                            | 201 |
| 5.1.2       | Patientenvorbereitung . . . . .   | 185 | 6.1.2      | Patientenvorbereitung . . . . .                                | 202 |
| 5.1.3       | Bereitzuhaltende Materialien . . . . .                                  | 185 | 6.1.3      | Bereitzuhaltende Materialien . . . . .                         | 202 |
| 5.1.4       | Fibrinolytika . . . . .   | 185 | 6.1.4      | Embolisationsmaterialien . . . . .                             | 203 |
| 5.1.5       | Dosierungsrichtlinien bei peripherer lokaler i.a. Fibrinolyse . . . . . | 187 | 6.1.5      | Minimumwissen über Embolisationsspiralen . . . . .             | 205 |
| 5.1.6       | Patientennachsorge . . . . .  | 188 | 6.1.6      | Embolisationsmittelauswahl . . . . .                           | 206 |
| 5.1.7       | Wissenswertes . . . . .   | 188 | 6.1.7      | Indikationen und Embolisationsbeispiele in Bildern . . . . .   | 207 |
| 5.1.8       | Zu beachtende Punkte . . . . .  | 189 | 6.1.8      | Wissenswertes . . . . .  | 212 |
| 5.1.9       | Beendigung der Lyse . . . . .   | 190 | <b>6.2</b> | <b>Chemoembolisation der Leber</b> . . . . .                   | 212 |
| 5.1.10      | Nachbehandlung . . . . .  | 190 | 6.2.1      | Untersuchungsvorbereitung . . . . .                            | 213 |
| <b>5.2</b>  | <b>Direkte intravenöse Thrombolyse</b> . . . . .                        | 190 | 6.2.2      | Patientenvorbereitung . . . . .                                | 214 |
| 5.2.1       | Untersuchungsvorbereitung . . . . .                                     | 190 | 6.2.3      | Bereitzuhaltende Materialien . . . . .                         | 214 |
| 5.2.2       | Obere Extremität . . . . .  | 191 | 6.2.4      | Zubereitung von Doxorubicin und Beladen von DC-Beads . . . . . | 214 |
| 5.2.3       | Untere Extremität . . . . .   | 191 | 6.2.5      | Patientennachsorge . . . . .                                   | 216 |
| 5.2.4       | Vena cava . . . . .   | 192 | 6.2.6      | Wissenswertes über TACE . . . . .                              | 217 |
| 5.2.5       | Patientennachsorge . . . . .  | 192 | 6.2.7      | SIRT, eine innovative Leberkrebstherapie . . . . .             | 220 |
| 5.2.6       | Wissenswertes . . . . .   | 192 | <b>6.3</b> | <b>Embolisation von Hämangiomen</b> . . . . .                  | 222 |
| <b>5.3</b>  | <b>Arterielle Thrombembolktomie</b> . . . . .                           | 192 | 6.3.1      | Embolisationstechniken . . . . .                               | 222 |
| 5.3.1       | Untersuchungsvorbereitung . . . . .                                     | 193 | 6.3.2      | Untersuchungsvorbereitung . . . . .                            | 223 |
| 5.3.2       | Instrumentarium zur Thrombembolktomie . . . . .                         | 193 | 6.3.3      | Patientenvorbereitung . . . . .                                | 225 |
| 5.3.3       | Perkutane Aspirationsthrombembolktomie . . . . .                        | 194 | 6.3.4      | Bereitzuhaltende Materialien . . . . .                         | 225 |
| 5.3.4       | Thrombembolktomie nach Starck . . . . .                                 | 194 | 6.3.5      | Wissenswertes . . . . .  | 225 |
| 5.3.5       | Schutz vor distalen Embolien . . . . .                                  | 195 | <b>6.4</b> | <b>Verödung von Varikozelen</b> . . . . .                      | 226 |
|             |   |     | 6.4.1      | Spermatika-Varikozelen . . . . .                               | 226 |
|             |   |     | 6.4.2      | Untersuchungsvorbereitung . . . . .                            | 227 |
|             |   |     | 6.4.3      | Patientenvorbereitung . . . . .                                | 227 |
|             |   |     | 6.4.4      | Bereitzuhaltende Materialien . . . . .                         | 227 |
|             |   |     | 6.4.5      | Patientennachsorge . . . . .                                   | 227 |
|             |   |     | 6.4.6      | Ergänzendes zu Testikularis-Varizen . . . . .                  | 228 |
|             |   |     | 6.4.7      | Pelvine Varikozelen . . . . .                                  | 230 |

|            |   |     |            |  |     |
|------------|---|-----|------------|--|-----|
| <b>6.5</b> | <b>Uterusmyomembolisation</b> . . . . .                                 | 231 | 7.1.3      | Bereitzuhaltende Materialien . . . .   | 239 |
| 6.5.1      | Beschwerdebild,<br>Diagnosesicherung<br>und Behandlungsmethoden . . . . | 232 | 7.1.4      | Informatives . . . . .   | 239 |
| 6.5.2      | Patientenvorbereitung . . . . .   | 234 | <b>7.2</b> | <b>Perkutane</b>   |     |
| 6.5.3      | Untersuchungsvorbereitung . . . .                                       | 234 |            | <b>Gallengangsteinentfernung</b> . . . . .   | 242 |
| 6.5.4      | Schmerzmanagement . . . . .   | 235 | 7.2.1      | Steinentfernung<br>über den T-Drain-Kanal . . . . .                                    | 242 |
| 6.5.5      | Interventionsverlauf,<br>radiologischer Eingriff . . . . .              | 236 | 7.2.2      | Transhepatische und transpapilläre<br>Gallengangsteinentfernung<br>über PTCD . . . . . | 245 |
| 6.5.6      | Nachsorge und Kontrolle . . . . .                                       | 236 |            |  |     |
| 6.5.7      | Schlussfolgerung . . . . .  | 236 |            |  |     |
|            |   |     |            | <b>Literaturverzeichnis</b> . . . . .  | 249 |
|            |   |     |            | <b>Bezugsquellen</b> . . . . .   | 251 |
|            |   |     |            | <b>Abbildungsnachweis</b> . . . . .  | 255 |
|            |   |     |            | <b>Sachverzeichnis</b> . . . . .   | 257 |
| <hr/>      |   |     |            |  |     |
| <b>7</b>   | <b>Extraktionen</b>   |     |            |  |     |
| <b>7.1</b> | <b>Extraktion intravasaler Fremdkörper</b>                              | 239 |            |  |     |
| 7.1.1      | Untersuchungsvorbereitung . . . .                                       | 239 |            |  |     |
| 7.1.2      | Patientenvorbereitung . . . . .   | 239 |            |  |     |

---

# Abkürzungsverzeichnis

|           |  |      |  |
|-----------|--|------|--|
| A.        | Arteria (Aa. = Arteriae)   | CT   | Computertomographie  |
| AAA       | abdominelles Aortenaneurysma<br>(engl.: Abdominal Aortic Aneurysm)                                   | DA   | digitale Röntgenaufnahme   |
| ACE       | Angiotensin-konvertierendes Enzym<br>(engl.: Angiotensin Converting Enzyme)                          | DC   | Drug Chargeable  |
| ACTH      | adrenocorticotropes Hormon,<br>auch Adrenocorticotropin (engl.:<br>Adrenocorticotropic Hormone)      | DL   | Durchleuchtung   |
| ADP       | Adenosindiphosphat   | DLC  | diamond like carbon coating  |
| AFS       | A. femoralis superficialis   | DNA  | Desoxyribonukleinsäure   |
| AGS       | adrenogenitales Syndrom<br>(CAH, engl.: Congenital Adrenal<br>Hyperplasia)                           | DSA  | digitale Subtraktionsangiographie  |
| AIC       | A. iliaca communis   | EDTA | ethylene-diamine-tetraacetic acid  |
| ALT, ALAT | Alanin-Aminotransferase<br>(früher GPT genannt)  | EGTA | ethylenebis-[( $\beta$ -aminoethyl ether)<br>N,N,N',N']-glycol-tetraacetic acid  |
| AMI       | A. mesenterica inferior  | EHL  | elektrohydraulische Lithotripsie   |
| AMS       | A. mesenterica superior  | EKG  | Elektrokardiographie,<br>Elektrokardiogramm  |
| APR       | anatomically programmed<br>radiography   | ERCP | endoskopisch retrograde Cholangio-<br>pankreatikographie<br>(engl.: Endoscopic Retrograde<br>Cholangiopancreatography) |
| aPTT      | aktivierte partielle Thrombo-<br>plastinzeit   | ESWL | extrakorporale Stoßwellenlithotripsie<br>(engl.: Extracorporeal Shock Wave<br>Lithotripsy)                             |
| ASS       | Azetylsalizylsäure   | EVAR | endovaskuläre Aneurysma-Rekon-<br>struktion (engl.: Endovascular<br>Aneurysm Repair)                                   |
| AST, ASAT | Aspartat-Aminotransferase<br>(früher GOT genannt)  | FKDS | farbkodierte Duplexsonographie   |
| AT        | Antithrombin   | FNP  | Feinnadelpunktion  |
| a.-v.     | arterio-venös  | FSH  | follikelstimulierendes Hormon,<br>auch Follitropin (engl.: Follicle<br>Stimulating Hormone)                            |
| AVK       | arterielle Verschlusskrankheit (AOD,<br>engl.: Artery Occlusive Disease)                             | ft3  | freies Trijodthyronin  |
| BAA       | Bauchaortaaneurysma  | ft4  | freies Thyroxin  |
| BV        | Bildverstärker   | GAW  | Gianturco-Anderson-Wallace   |
| CCC       | cholangiozelluläres Karzinom<br>(engl.: Cholangiocarcinoma)  | GFR  | glomeruläre Filtrationsrate  |
| COAG      | Koagulation  | GOT  | Glutamat-Oxalazetat-Transaminase   |
| CRH       | Corticotropin Releasing Hormone<br>bzw. Corticotropin Releasing Factor<br>(CRF), auch Corticoliberin | GP   | Guaninnukleotide bindende Proteine   |
|           |  | GPT  | Glutamat-Pyruvat-Transaminase  |
|           |  | Hb   | Hämoglobin   |
|           |  | HCC  | hepatozelluläres Karzinom<br>(engl.: Hepatocellular Carcinoma)   |

|       |   |      |   |
|-------|---|------|---|
| hGH   | Wachstumshormon, somatotropes Hormon (engl.: human Growth Hormone)                          | PCA  | Patient Controlled Analgesia (PCA-Infusionspumpe, umgs. Schmerzpumpe)                                 |
| HIPAA | heparininduzierter Plättchenaktivierungsassay   | PD   | diastolischer Blutdruck (engl.: Pressure Diastolic)   |
| HVL   | Hypophysenvorderlappen  | PEG  | perkutane Enterogastrostomie  |
| HWZ   | Halbwertszeit   | PET  | Polyester   |
| i. a. | intraarteriell  | PM   | Mitteldruck (engl.: Pressure Mean)  |
| i. m. | intramuskulär   | p.o. | per os (oral)   |
| i. v. | intravenös  | PS   | systolischer Blutdruck (engl.: Pressure Systolic)   |
| INR   | International Normalized Ratio (Folgenormung zum „Quick“)                                   | psi  | Pfund pro Quadratzoll, Druckeinheit, 14,5 psi = 1 bar (engl.: pound per square inch)                  |
| KA    | konventionelle Röntgenaufnahme  | PSS  | Porto-Systemischer Shunt  |
| KEA   | Karotisendarterektomie (CEA, engl.: Carotid Endarterectomy)                                 | PTA  | perkutane transluminale Angioplastie (engl.: Percutaneous Transluminal Angioplasty)                   |
| KG    | Körpergewicht   | PTC  | perkutane transhepatische Cholangiographie (engl.: Percutaneous Transhepatic Cholangiography)         |
| KM    | Kontrastmittel  | PTCA | perkutane transluminale koronare Angioplastie (engl.: Percutaneous Transluminal Coronary Angioplasty) |
| LAO   | links anterior oblique  | PTCD | perkutane transhepatische Cholangiodrainage (engl.: Percutaneous Transhepatic Cholangiodrainage)      |
| LE    | Lungenembolie   | PTD  | Percutaneous Thrombolytic Device  |
| LMWH  | niedermolekulares Heparin (engl.: Low Molecular Weight Heparin)                             | PTFE | Polytetrafluoräthylen   |
| MAO   | Monoaminoxidase (mitochondriales Enzym)   | PTG  | perkutanes thrombolytisches Gerät   |
| MEN   | multiple endokrine Neoplasie  | PTH  | Parathormon   |
| MRCP  | Magnetresonanzcholangiopankreatikographie   | PTRA | perkutane transluminale renale Angioplastie (engl.: Percutaneous Transluminal Renal Angioplasty)      |
| MRT   | Magnetresonanztomographie   | PTT  | partielle Thromboplastinzeit, partielle Prothrombinzeit   |
| MTBÄ  | Methyltertiärybutyläther  | RAO  | rechts anterior oblique   |
| NA    | Nierenarterien  | RAT  | Rotations-Aspirations-Thrombolektomie   |
| NAST  | Nierenarterienstenose   | RCA  | Redha-Cut-Atherectomycatheter   |
| NIBD  | nichtinvasive Blutdruckmessung  | RIS  | Radiologie Informationssystem   |
| NN    | Nebenniere  | RNA  | Ribonukleinsäure  |
| NNM   | Nebennierenmark   | RöV  | Röntgenverordnung   |
| NNR   | Nebennierenrinde  | rt   | recombinant tissue  |
| OTW   | over the wire   | RX   | Rapid Exchange  |
| PA    | plasminogen activator   | SAC  | Simpson-Atherectomy Catheter  |
| Pa    | Pascal, SI-Einheit des Drucks (1 Pa = 0,00001 bar)  | s.c. | subkutan  |
| PAC   | Pullback atherectomy catheter   |      |   |
| PACS  | Picture Archiving and Communication System  |      |   |
| PAT   | Perkutane Aspirations-Thrombolektomie   |      |   |
| pAVK  | periphere arterielle Verschlusskrankheit (PAOD, engl.: Peripheral Artery Occlusive Disease) |      |   |

|          |  |       |  |
|----------|--|-------|--|
| S.E.T.   | Shredding-Embolectomy-Thrombectomy-Catheter                                    | TEVAR | thorakale endovaskuläre Aneurysma-Rekonstruktion (engl.: Thoracic Endovascular Aortic Repair)                  |
| s.f.     | subfazial  |       |  |
| SI       | Internationales Einheitensystem (frz.: Système International d'unités)         | TIA   | transitorische ischämische Attacke (engl.: Transient Ischemic Attack)  |
| SIRT     | selektive interne Radio-Therapie (engl.: Selective Internal Radiation Therapy) | TIPS  | transjugulärer intrahepatischer portosystemischer Shunt (engl.: Transjugular Intrahepatic Portosystemic Shunt) |
| SPI      | Sinus petrosus inferior  |       |  |
| STH      | Somatotropin (somatotropes Hormon)   | TIPSS | transjugulärer intrahepatischer portosystemischer Stent-Shunt  |
| StrlSchV | Strahlenschutzverordnung   | TIS   | Thoracic-inlet-Syndrom   |
| Sv       | Sievert  | TOS   | Thoracic-outlet-Syndrom  |
| T3       | Trijodthyronin   | t-PA  | Tissue-Plasminogenaktivator  |
| T4       | Thyroxin   | TPZ   | Quickwert, Thromboplastinzeit  |
| TAA      | thorakales Aortenaneurysma (engl.: Thoracic Aortic Aneurysm)                   | TSH   | Thyreotropin   |
| TACE     | transarterielle Chemoembolisation (engl.: Transarterial Chemoembolization)     | TZ    | Thrombinzeit   |
| TE       | Thrombektomie  | UME   | Uterusmyomembolisation   |
| TEC      | Transluminal-Extractor-Catheter  | u-PA  | Urokinase, urokinase like plasminogen activator  |
| TEE      | transösophageale Echokardiographie (engl.: Transesophageal Echocardiography)   | US    | Ultraschall, Sonographie   |
| TEF      | Teflon   | V.    | Vena (Vv.= Venae)  |
|          |  | VCI   | Vena cava inferior   |
|          |  | VCS   | Vena cava superior   |
|          |  | Vol.  | Volumen  |
|          |  | ZVK   | zentraler Venenverweilkatheter   |

# 1 Basiswissen

## 1.1 Kurzeinführung in die Angiographie

### 1.1.1 Röntgenographische Gefäßuntersuchung

Mit dem Begriff Angiographie wird die röntgenographische Darstellung der Blut- oder Lymphgefäße nach Injektion eines Kontrastmittels (KM) bezeichnet [5]. Die konventionelle Darstellung der Lymphbahnen wurde endgültig durch die MRT bzw. ggf. die CT abgelöst und wird aus diesem Grunde hier nicht behandelt. Mittels der klassischen Angiographie können Arterien und Venen optimal untersucht werden. Gefäßdarstellungen haben schon sehr frühzeitig das Interesse des Radiologen erweckt. Bereits am 17.1.1896 füllten in Wien E. Haschek und O.T. Lindenthal eine so genannte Teichmann-Paste (Mischung aus Kreide, Zinnober und Steinöl) in die Arterien einer amputierten Leichenhand [24] und erhielten so auf diese Weise das erste Angiogramm (Abb. 1.1). Eine Anwendung dieses Gemisches an lebenden Menschen war jedoch nicht denkbar, und es sind viele Jah-



**Abb. 1.1.** Erste „Angiographie“: hier Leichenhand-Arterien mit Teichmannscher Masse gefüllt

re vergangen, bis andere intravaskulär geeignete Kontrastmittelsubstanzen entwickelt wurden. Die erste Angiographie in vivo wurde 1923 erfolgreich unter Verwendung von Natriumjodid vorgenommen. Ende der 20er Jahre erschienen endlich 2 neue Kontrastmittel (KM), die sich für damalige Zeiten ziemlich gut u. a. zu Gefäßdarstellungen eigneten. Es handelte sich um die radioaktiven und teratogenen KM Thorotrast und Uroselectan. Diese Substanzen blieben die nächsten 3 Jahrzehnte im Gebrauch. Dank der im Jahr 1953 durch Seldinger [43] entwickelten perkutanen Kathetereinführungstechnik kam es zum Durchbruch in der Angiographie, und sie wurde nun eine rein radiologische Tätigkeit ohne Beistand von Gefäßchirurgen. Die Punktion der Gefäße erfolgt auch heute noch nach der Seldinger-Methode. Sie kann durch eine direkte (immer seltener) oder indirekte (überwiegend) perkutane Punktion des zu untersuchenden Gefäßareals vorgenommen werden.

Zur Hervorhebung der Gefäße vom restlichen Gewebe werden heutzutage in das entsprechende Gefäß ständig verbesserte wasserlösliche nichtionische jodinierte KM wie z.B. Visipaque (Fa. GE Healthcare Buchler) oder Ultravist (Fa. Bayer Schering Pharma) gegeben. Bei der direkten Angiographie wird in örtlicher Betäubung eine Hohlnadel in das zu untersuchende Gefäß eingeführt und über diese ein KM injiziert, während Röntgenaufnahmen angefertigt werden. Bei der indirekten Angiographie wird nach Punktion in Lokalanästhesie der ausgewählten Zugangsstelle ein Katheter in das zu untersuchende Gefäß eingeführt. Über diesen Katheter kann dann KM manuell oder maschinell gespritzt werden, wodurch Blutgefäße sichtbar gemacht werden können.

Eine Angiographie sollte v.a. bei Verdacht auf Gefäßeinengung, Gefäßverschluss und Gefäßmissbildung durchgeführt werden. Bei Blutungen kann mit Hilfe der Angiographie die Blutungsquelle lokalisiert werden. Da Verengun-

gen, Thrombosen und Ablagerungen in Gefäßen früher erst dann entdeckt wurden, wenn der Patient bereits Beschwerden hatte, war es immer ein Anliegen der Mediziner, vorher tätig werden zu können. Der Goldstandard zur Untersuchung von Gefäßen ist derzeit die moderne digitale Subtraktionsangiographie (DSA). Diese eignet sich auch zur Überwachung operativer Eingriffe und Therapien.

Die Strahlenbelastung konnte mittels laufender technischer Verbesserung der Röntgenanlagen deutlich reduziert werden. Trotz dieser Strahlendosisreduzierung liefern die DSA-Apparate scharfe Bilder und einen räumlichen Eindruck. So können z. B. Real-Time-Aufnahmen von der Hüfte bis in die Zehen im Gesamtbild beider Beine mittels eines KM-Bolus mit Tischverschiebungstechnik erfolgen.

Gefäßveränderungen von Arterien oder Venen kommen entweder durch Krankheiten, wie Zuckerkrankheit (Diabetes melitus), zu hohe Blutfette (Cholesterin), Nikotinmissbrauch, Verletzungen, eventuell auch langzeitige hormonelle Verhütung bei Frauen, zustande. Auch erbliche Belastungen spielen eine Rolle. Es bilden sich dann entweder Blutpfropfen (Thrombosen), die ein Gefäß verstopfen, oder Ablagerungen an den Gefäßwänden (Atherosklerose), die Verengungen (Stenosen) hervorrufen. Blutgerinnungsstörungen könnten ebenfalls eine der Ursache von Gefäßveränderungen sein. Verstopfungen führen zu Engpässen in der Blut- und Sauerstoffversorgung der betroffenen Extremität, und das Gewebe stirbt ab (Nekrose), was u. U. zu einer Amputation führen kann. Im Gehirn kommt es zu Schlaganfällen, im Herzen zu Infarkten. Bei Thrombosen der tiefen Beinvenen besteht die Gefahr von Lungenembolien. Weil mit der Angiographie nicht nur die Herstellung stehender Bilder der möglichst ist, sondern auch der Blutfluss sichtbar gemacht wird, sind solche Engpässe bestens zu identifizieren. Bestimmte Medikamente, so genannte Fibrinolytika, lösen Blutpfropfen auf, Verengungen können mittels Ballonkatheter aufgeweitet und evtl. durch Stentimplantation auf Dauer offen gehalten werden.

Als Komplikationen der Angiographie kann es in seltenen Fällen zu Blutergüssen, Blutungen, Thrombosen, Embolien, Infektionen und allergischen Reaktionen gegen das jodhaltige Kontrastmittel („KM-Allergie“) kommen.

## 1.1.2 Angiographietechniken

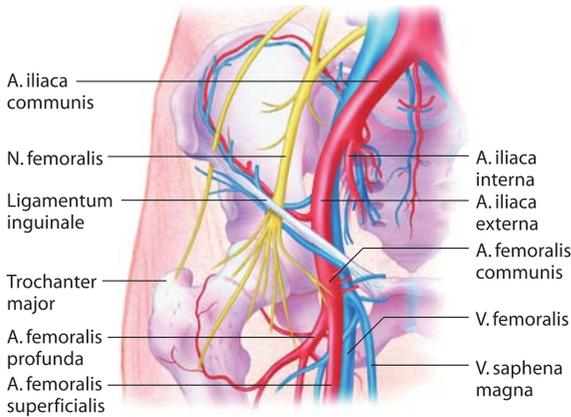
Die Angiographie ist eine Methode zur Darstellung von Blutgefäßen, in welche über einen Zugang ein positives KM injiziert wird. Die einfachste Form des Zugangs ist die oben beschriebene Direktpunktion von Arterien und Venen, deren Strombahn dargestellt werden soll. Mit dieser Methode sind jedoch viele Gefäßregionen nicht ausreichend darstellbar, weil das KM sie zu stark verdünnt erreicht bzw. es einen anderen Weg geflossen ist. Das gilt insbesondere für das Herz, die thorakale Aorta, alle Abdominalorgane und dergleichen. Nur dank einer perkutanen selektiven Kathetereinführung können die gewünschten Regionen ausreichend dargestellt werden.

### 1.1.2.1 Direktpunktion

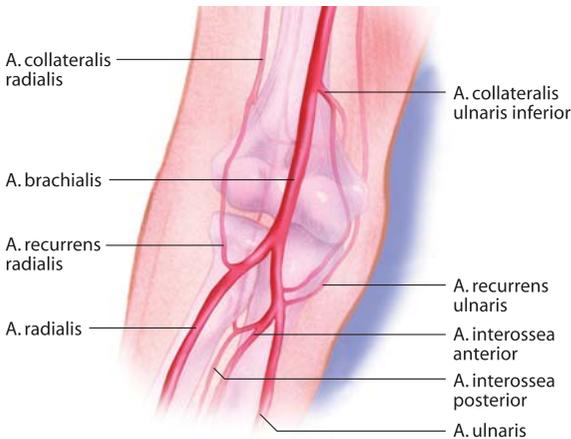
Die Direktpunktion wird je nach der Lage des Gefäßes, z. B. *A. femoralis communis* bei Feinnadelpunktion des DSA-Beins oder *V. cubitalis* bei i. v. DSA des Beckens, unter Lokalanästhesie mit 16–18-G-Katheternadeln, z. B. Abbocath (Fa. Abbott), durchgeführt.

### 1.1.2.2 Perkutane Katheterinsertion

Die perkutane Einführung von Kathetern in Arterien oder Venen nach Seldinger-Technik ist bis heute die Methode der Wahl. Meistens werden die *A. femoralis communis*, z. B. bei i. a. DSA der Nierengefäße, oder die *V. femoralis*, z. B. bei der selektiven Blutentnahme aus den Nebennieren, in der Lücke zwischen *Os pubis* und Leistenband (*Lacuna musculorum et vasorum*) punktiert (Abb. 1.2). Bei nicht fühlbarem Puls in der Leiste wird oft die *A. brachialis* am linken Arm, z. B. bei i. a. DSA der Becken- und Beingefäße, als Punktionsort gewählt (Abb. 1.3). Die *V. cubitalis* am rechten Arm wird bei zentralvenöser Kontrastmittelgabe, z. B. bei Pulmonalis-DSA, als Einführungsort eines Katheters empfohlen. Das benötigte Instrumentarium besteht aus einer Punktionsnadel (18–22-G), einem gebogenen Führungsdraht [z. B. Draht mit Radiuskurve von 3,0 mm, 0,89 mm (0,035 inch) stark] und einem Katheter (z. B. 4-F-Pigtail-Katheter). Nach vorheriger Lokalanästhesie z. B. mit 1%igem Meaverin (Fa. Aventis Pharma) wird

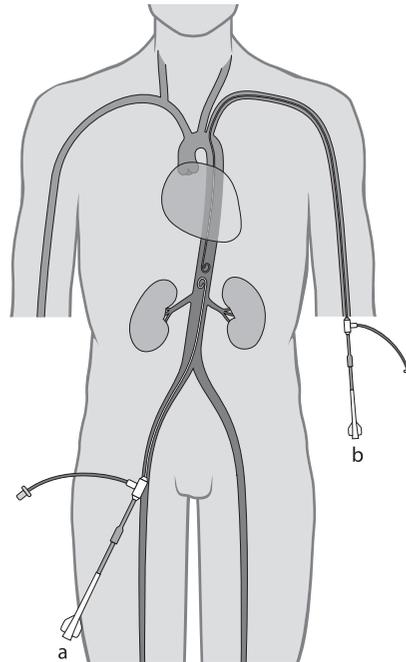


**Abb. 1.2.** Zugangsstelle für transfemorale Punktion (Edwards Lifesciences)



**Abb. 1.3.** Zugangsstelle für transbrachiale Punktion (Edwards Lifesciences)

die Punktionskanüle mit Mandrin in einer Neigung von etwa 45° retrograd (Punktion gegen den Blutstrom), ggf. antegrad (Punktion mit dem Blutstrom) eingeführt. Dann wird der Mandrin entfernt, die Kanüle wird langsam zurückgezogen, bis ein pulsierender (Arterie) oder kontinuierlicher (Vene) Blutaustritt erfolgt. Sodann wird der Führungsdraht über die Kunststoff- oder Metallhülle der Kanüle in das Gefäß unter Durchleuchtung eingeführt und mit seiner Spitze bis zum interessierenden Gefäßabschnitt vorgeschoben. Die Hülle selbst kann danach unter Kompression der Punktionsstelle entfernt werden. Über den liegenden und positionierten Führungsdraht wird der benötigte Katheter eingeführt und der Führungsdraht in der bekannten Seldinger-Technik (Katheter-über-Führungsdraht) entfernt (Abb. 1.4).



**Abb. 1.4.** Perkutane Katheterinsertion zu einer Angiographie, hier Aortographie **a** transfemorale, **b** transbrachiale

### 1.1.3 Aufnahmetechnik

Prinzipiell werden 2 Aufnahmetechniken unterschieden

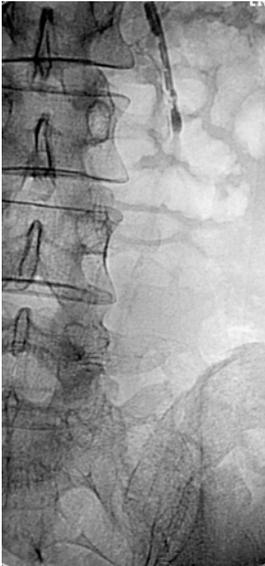
- Nichtsubtrahierte, digitale Aufnahmen
- Digitalsubtrahierte Aufnahmen.

#### 1.1.3.1 Digitale Röntgenaufnahmen

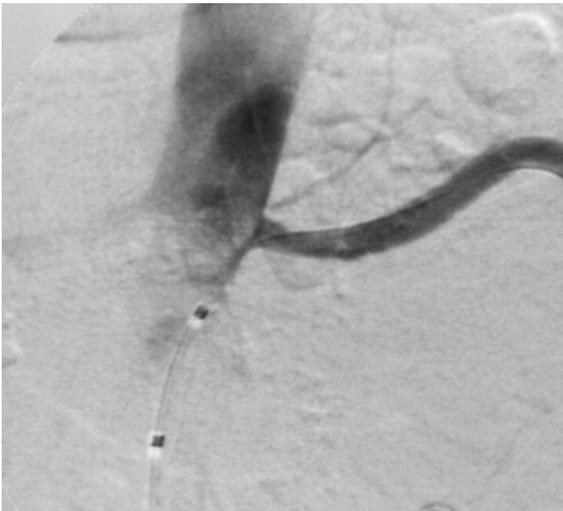
Alle DSA-Anlagen verfügen über ein Spezialprogramm, so genanntes „Einzelschussbild“ (engl.: single shot), das eine Dokumentation mit Hilfe von nichtsubtrahierten, digitalen Einzelaufnahmen ermöglicht. Die Aufnahmen werden auf dem Rechner gespeichert (Abb. 1.5).

#### 1.1.3.2 Digitale Subtraktionsangiographie (DSA)

Die DSA gilt heute als Goldstandard der Angiographie und ist – wo möglich – einzusetzen. Sie hat die konventionelle Blattfilmangiographie ohne Subtraktion des Nativbildes wegen der geringeren Kontrastmittelmenge und der höheren Sensitivität fast vollständig verdrängt. Ein Hauptbestandteil der DSA ist außer Röntgenröhre und Bildverstärkerfernsehkette eine schnelle digitale Datenverarbeitungsanlage. Die Bildverstärkerfernsehkette liefert dabei das analoge Bildsignal,



**Abb. 1.5.** Digitale Aufnahme der linken V. testicularis nach Verödung



**Abb. 1.6.** Digitale Subtraktionsaufnahmen der linken A. renalis

welches vom Rechner sofort, d.h. in Echtzeit (engl.: real time) mit frei wählbarer Bildfrequenz digitalisiert, verarbeitet und gespeichert wird. Die Sofortverarbeitung beinhaltet im Wesentlichen eine digitale Subtraktion von Bildern, und zwar in der Form, dass zu Beginn einer Aufnahmeserie ein Leerbild ohne KM als so genannte Maske definiert und von den darauf folgenden Bildern mit KM in Echtzeit subtrahiert wird. Der Untersucher kann wegen der Echtzeitverarbeitung den gesamten KM-Fluss durch die Gefäße sofort am Bildschirm verfolgen (Abb. 1.6).

Erst mit digitalen Techniken ist es möglich geworden, Blutgefäße mit sehr geringen Mengen

an KM deutlich sichtbar zu machen. Die DSA-Anlagen von heute sind alle u.a. auch mit einer so genannten Pfadfinder-Technik (engl.: roadmap) ausgestattet. Dies ist nichts anderes als eine Möglichkeit zur Erzeugung eines subtrahierten Durchleuchtungsbildes (engl.: trace-subtract image), welches für die nachfolgenden Durchleuchtungsaktionen als Maske dient. Um Bewegungsartefakte zu vermeiden, darf der Patient während des Roadmap-Betriebes seine Lage nicht mehr verändern und der Patiententisch sowie auch der C-Bogen dürfen nicht bewegt werden. Damit spart man KM-Gebrauch, reduziert die Strahlungs dosis erheblich und erleichtert vor allem die selektive Sondierung von Blutgefäßen. Das Verfahren kann bei „beweglichen“ Körperorganen wie z.B. Herz, Nieren nicht angewendet werden. Die DSA-Serien werden heute nur digital archiviert und können jederzeit abgerufen werden. Dazu wurde z.B. das PACS-Programm (engl.: Picture Archiving and Communication System) entwickelt, das eine Bildarchivierung und Kommunikation auf der Basis digitaler Rechner und Netzwerke ermöglicht.

#### 1.1.4 Gefäßwandveränderungen

Die Alterung der Arterien ist physiologisch. Sie ist mit einem Elastizitätsverlust verbunden.

Als wichtigste Gefäßerkrankung des arteriellen Systems gilt die Atherosklerose. Davon sind meistens die großen Gefäße des Halses (Karotiden), die Aorta, die Nierenarterien, die Arterien des Beckens (*A. iliaca*) und der Beine (*A. femoralis*, *A. poplitea*, *A. tibialis*) sowie Herzkranzgefäße betroffen. Gefäßwandveränderungen führen im Lauf der Zeit entweder zur Einengung (Stenose, Verschluss) des Gefäßlumens oder zu dessen Erweiterung (Aneurysma).

##### 1.1.4.1 Stenose

Die Stenosen werden je nach ihrer Lokalisation, dem Stenosierungsgrad, der Längenausdehnung und der Form der Einengung beurteilt. Von diesen Parametern hängen die hämodynamische Auswirkung der Stenose, ihre Behandlungsform und ihre Prognose ab.

■ **Lokalisation der Stenose.** Eine mittelgradige Stenose der *A. iliaca* z.B. wird in ihrem Versorgungsgebiet keine nennenswerten hämodyna-

mischen Veränderungen und damit auch keine akuten Beschwerden verursachen. Anders ist es bei einer gleich schweren Stenose der Nierenarterie, die in den meisten Fällen eine renovaskuläre, therapiebedürftige Erhöhung des Blutdrucks (Hypertonie) verursacht. Die unbehan-



**Abb. 1.7.** Kurzstreckige Stenose in der linken A. renalis



**Abb. 1.8.** Langstreckige Stenose in der rechten A. iliaca communis

delten Verengungen in den Karotiden können zu einem Schlaganfall und in dessen Folge zu Dauerschäden führen.

■ **Längenausdehnung der Stenosen.** Sie ist im Gegensatz zu ihrem Grad im Hinblick auf die Hämodynamik von geringer Bedeutung, da sie in den Strömungswiderstand (Hagen-Poiseuille-Gesetz) nur in einfacher Potenz eingeht. Sie spielt eher bei der Therapieentscheidung eine Rolle. Kurzstreckige Stenosen (Abb. 1.7) (< 2 cm) werden mittels Ballonkatheter aufgeweitet, langstreckige Stenosen (Abb. 1.8) werden dagegen eher operativ versorgt, falls sie radiologisch nicht angehbar sind.

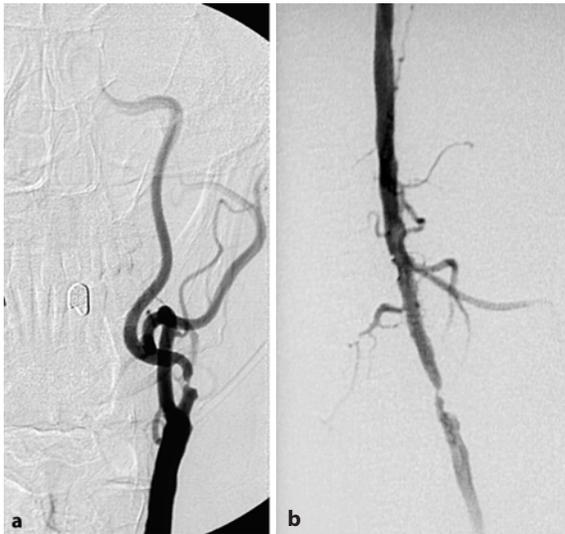
■ **Form der Stenosen.** Diese hat letztlich eine Auswirkung auf die Prognose der ballondilatierten Gefäßstellen. Die symmetrischen, konzentrischen Stenosen (Abb. 1.9) weisen bezüglich der Ballonangioplastie eine höhere Erfolgsquote und geringere Rezidivneigung als symmetrische, exzentrische Stenosen (Abb. 1.10) auf.

#### 1.1.4.2 Verschluss

Ein Verschluss des Gefäßes kann entweder mit langsam zunehmender Stenosierung oder plötzlich durch ein thrombotisches bzw. thromboembolisches Geschehen, wie z.B. Blutgerinnsel oder Embolus, entstehen. Für die Entstehung chronischer Arterienverschlüsse sind exogene (Nikotin, Fettsucht) und endogene Faktoren (Bluthochdruck, Hyperlipoproteinämie, Diabetes mellitus, Gicht) verantwortlich.



**Abb. 1.9.** Symmetrische, konzentrische Stenose in der linken A. subclavia



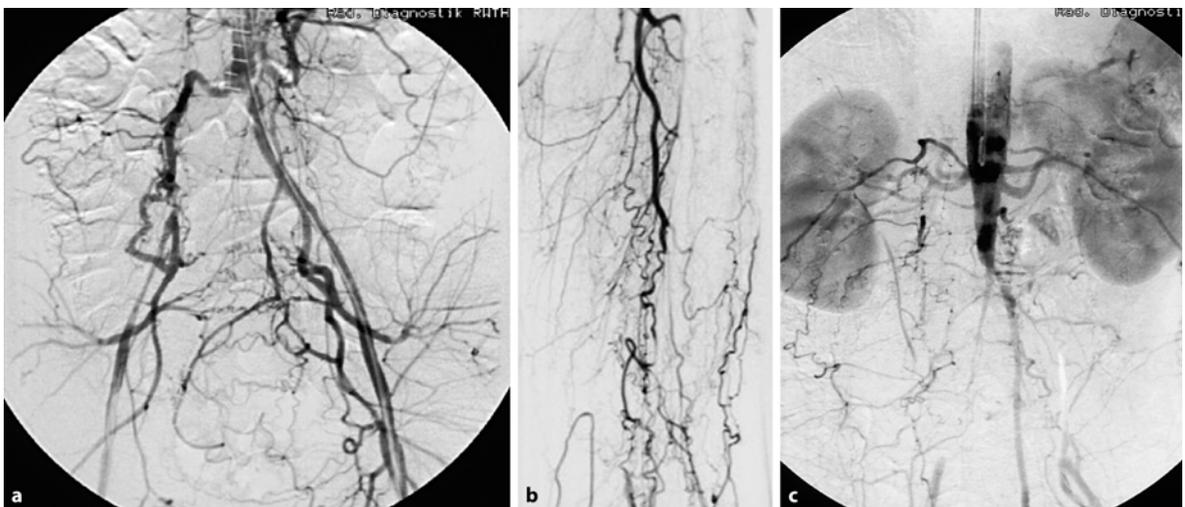
**Abb. 1.10 a, b.** Asymmetrische, exzentrische Stenose **a** in der linken A. carotis interna, **b** in der A. femoralis superficialis

■ **Allmähliche Ausbildung eines Verschlusses.** Bei dieser Entstehungsart eines Verschlusses kann sich durch Kaliberzunahme der in den meisten Gefäßregionen vorhandenen Umgehungsgefäße eine Kollateralversorgung der distal des Verschlusses gelegenen Körperregionen ausbilden. Solche langsam entstehenden, insbesondere langstreckigen Verschlüsse (Abb. 1.11) werden in der Regel operativ durch Überbrückung oder Gefäßersatz (Bypass, Graft) behoben. Atherosklerotische Verschlüsse der *Aorta* treten mit einer Häufigkeit von 8–28% aller atheroskleroti-

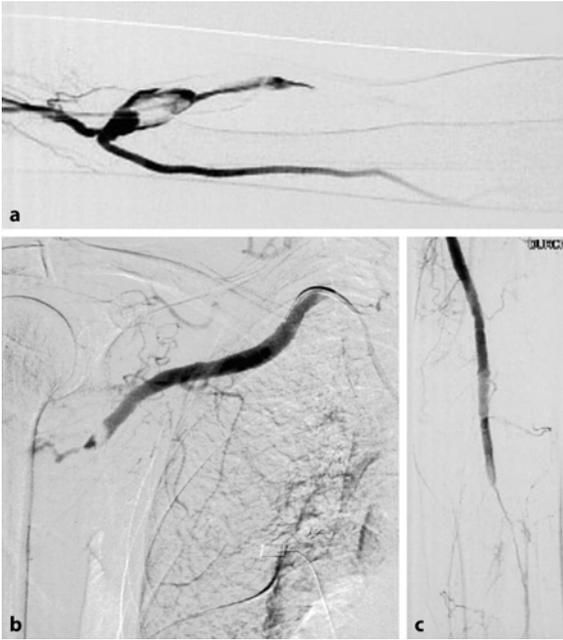
schen Verschlüsse auf. Die *Aorta* ist meist zuerst in ihrem abdominellen Abschnitt betroffen. Es lassen sich 3 Aortenverschlusstypen unterscheiden:

- Typ I** *segmentärer Typ:* der Verschluss beschränkt sich auf ein kurzes Segment der kaudalen *Aorta* und der Beckenarterien (38%),
- Typ II** *Bifurkationstyp, Leriche-Syndrom:* Verschluss im Bereich der Aortenbifurkation (55%),
- Typ III** *hohe Aortenthrombose:* der Verschluss erstreckt sich zentralwärts bis zu den Mündungen (*Ostien*) der Nierenarterien (8–12%).

■ **Plötzliche Ausbildung eines Verschlusses.** Beim akuten, plötzlich entstandenen Verschluss (Abb. 1.12) reichen meist die vorhandenen Umgehungsgefäße nicht aus, sodass hier ein hypoxischer Organschaden (Ischämie) droht, der eine sofortige Therapie erforderlich macht (z. B. so genanntes „kaltes Bein“, Herzinfarkt). Die interventionelle Radiologie bietet hier die Möglichkeit einer direkten Lokalyse mit rt-PA (Actilyse), Urokinase oder Streptokinase. Die häufigsten Thrombembolien entstehen im Einstromgebiet der *A. pulmonalis* (Lungenembolie) mit dem Ursprungsort des Embolus aus den tiefen Becken-Bein-Venen (Beinthrombose). Mittels der DSA der *Aa. pulmonales* wurde früher (heute CT) eine Lungenembolie sofort bestätigt bzw. ausgeschlossen. Weitere häufige Embolieorte sind die Gefäße



**Abb. 1.11 a–c.** Allmählich ausgebildeter Verschluss **a** in der rechten A. iliaca communis, **b** in der linken A. femoralis superficialis, **c** in der infrarenalen Bauchaorta, so genanntes Leriche-Syndrom



**Abb. 1.12 a–c.** Plötzlich ausgebildete akute embolische Verschlüsse, **a** in einem Brescia-Cimino-Hämodialyseshunt, **b** in der rechten A. subclavia, **c** im Truncus tibiofibularis

des Gehirns und der oberen und unteren Extremitäten, z.B. durch Thromben aus dem linken Vorhof (Vorhofflimmern).

### 1.1.4.3 Aneurysma

Es gibt 3 Typen von Aneurysmen:

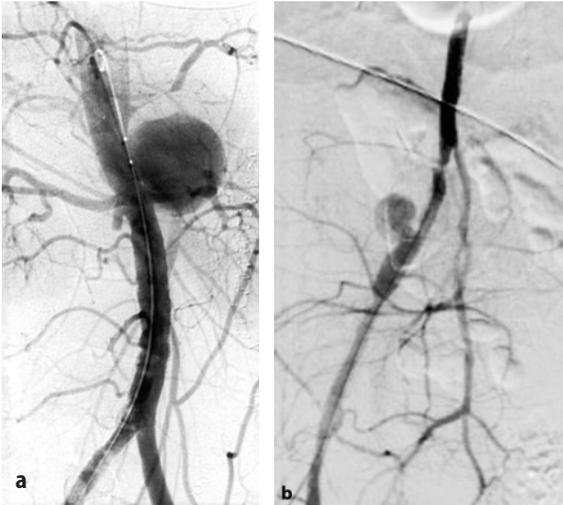
■ **Aneurysma verum.** Hierbei handelt es sich um ein so genanntes echtes Aneurysma (Abb. 1.13) mit Aussackung der gesamten Gefäßwand atherosklerotischer, seltener luetischer (Lues: Syphilis) Genese, das sich am häufigsten im Bereich der *Aorta abdominalis infrarenal*, seltener im Bereich des Aortenbogens bildet. Angiographisch wird nur das durchströmte Lumen dargestellt. Der thrombosierte Anteil kann mit vergleichbarer Qualität entweder sonographisch oder computertomographisch ermittelt werden.

■ **Aneurysma spurium.** Das falsche Aneurysma (Abb. 1.14) entsteht nach Arterienverletzung als abgeriegeltes, pulsierendes, perivaskuläres Hämatom, das mit der zugehörigen Arterie in Verbindung steht. Da das Aneurysma spurium außerhalb der normalen Blutstrombahn liegt, sich also eine subkutane Blutungshöhle ausgebildet hat, bleibt das KM länger als Depot nachweisbar.

■ **Aneurysma dissecans.** Hier liegt ein Intimariss vor, der durch Eindringen des Blutstroms zwischen die innere (*Intima*) und mittlere Wand (*Media*) des Gefäßes entsteht. Als häufigste Ursache gilt die Atherosklerose, seltener Lues und Marfan-Syndrom. Bevorzugte Lokalisation des Aneurysma dissecans ist die *Aorta thoracica*



**Abb. 1.13 a–c.** Aneurysma verum, echtes Aneurysma, **a** in der Aorta abdominalis, **b** in den Aa. iliacae communes, **c** in den distalen Aa. femorales superficiales



**Abb. 1.14 a, b.** Aneurysma spurium, falsches Aneurysma, **a** in der suprarenalen Aorta abdominalis, **b** in der rechten A. iliaca communis



**Abb. 1.15.** Aneurysma dissecans, Intimariss, in der Aorta thoracica

(Abb. 1.15). Angiographisch wird eine Darstellung des wahren, d.h. des ursprünglichen und des falschen, zwischen der *Intima* und der *Media* entstandenen Lumens angestrebt, was besonders beim teilthrombosierten falschen Lumen nicht immer einfach ist. Eine Computer- und Magnetresonanztomographie können hier oft die endgültige Klärung bringen.

## 1.2 Grundwissen über den Strahlenschutz<sup>1</sup>

Kaum war die Röntgenstrahlung entdeckt, zeigte sich auch schon deren gewebescheidende Wirkung. Röntgenstrahlung erlaubt bekanntlich wertvolle Einblicke in den Körper. Gleichzeitig kann sie jedoch dort auch ihre unerwünschten Spuren hinterlassen. Aus diesem Grund hat der Strahlenschutz für radiologische Abteilungen einen hohen Stellenwert. Heute gibt es gesetzlich verankerte Strahlenschutzbestimmungen, die u.a. verhindern sollen, dass der zunehmende Einsatz der interventionellen radiologischen Verfahren die u.a. durch die verbesserte Technik und die Einführung der „Ärztlichen Stellen“ als Teil der berufsständischen Selbstverwaltung erreichte Absenkung der Patientendosis wieder aufhebt. Da diese neuen Verfahren aber eine größere Diagnosesicherheit und damit auch eine bessere Behandlung bieten, mithin einen hohen Nutzen für den Patienten haben, kann grundsätzlich nicht auf sie verzichtet werden. Wer die Anforderungen des Strahlenschutzes verstehen will, muss grundsätzlich wissen, wie ionisierende Strahlen auf biologische Gewebe wirken und wie Strahlenschäden entstehen. Strahlenschutz ist nach wie vor eine der wichtigsten Aufgaben des Radiologen auch und gerade in der Interventionsradiologie. Wer angiographiert, kommt nicht um diese Forderung herum. Im Folgenden sollen einige Wirkungen ionisierender Strahlung aufgezeigt, die wichtigsten gebräuchlichen Dosisgrößen erläutert und Grundlagen des Strahlenschutzes angesprochen werden.

### 1.2.1 Röntgenstrahlung

Am 8.10.1895 entdeckte Wilhelm Conrad Röntgen (Abb. 1.16 a) die bisher unbekanntenen „X-Strahlen“, die später seinen Namen erhielten. Seine bahnbrechende Entdeckung, für die ihm 1901 der Nobelpreis für Physik verliehen wurde – es war der erste Nobelpreis, der vergeben

<sup>1</sup> Erstveröffentlichung in der Fachzeitschrift *mta Spektrum* (2001) 9:404–406, 10:461–462 und 11: 508–510. Mitautor: H. Schubert. Aktualisiert: Ch. Hohl



**Abb. 1.16 a, b.** Wilhelm Conrad Röntgen, Entdecker der „X-Strahlen“ (a) und seine Demonstrationsaufnahme von der Hand des Anatomen A. von Kölliker (b)

wurde –, veröffentlichte Röntgen am 28.12.1895 in Würzburg in einer „Vorläufigen Mitteilung“ über „Eine Art von Strahlen“. Am 23.1.1896 hielt Röntgen einen Vortrag vor der Physikalisch-Medizinischen Gesellschaft zu Würzburg. Dort dokumentierte er seine Rede durch die Demonstration zahlreicher Versuche mit den neuen Strahlen. Zum Schluss fertigte er eine Skelettaufnahme von der Hand (Abb. 1.16b) des berühmten Anatomen Geheimrat A. von Kölliker an, dessen Vorschlag, die „neuen X-Strahlen“ nach seinem Entdecker zu benennen, einstimmig angenommen wurde.

Diese Entdeckung bildete die Grundlage der modernen Röntgendiagnostik und -therapie. Jetzt war es der Medizin möglich geworden, in das Leibesinnere zu schauen, ohne den Körper operativ öffnen zu müssen. Schon 1898 erschien das erste Lehrbuch zur Röntgenuntersuchung. Mit der verbesserten Leistungsfähigkeit der Röntgenröhren wurde die Untersuchung größerer Körperpartien möglich.

Bereits im Entdeckungsjahr wurden aber neben dieser rein darstellenden Anwendung die 2 weiteren Aspekte der Strahlen entdeckt: der positive, therapeutische und der negative, schädigende Aspekt.

Die Erkenntnis, dass Röntgenstrahlung in biologischen Geweben Wirkungen erzielt, ist also fast so alt wie das Wissen um die Röntgenstrahlung selbst. Es erschien ein Bericht über einen erstmaligen Behandlungsversuch an einem behaarten Muttermal (*Naevus pilosus*) und über die Strahlenschädigung an einer Hand mit

Haarausfall und Hautveränderungen. Parallel zu den technischen Weiterentwicklungen des Einsatzes von Röntgenstrahlung erweiterten sich auch die Kenntnisse über die Eigenschaften und Wirkungen der Strahlung. So wurde 1903 eine Mitteilung über die unterschiedliche Strahlensensibilität einzelner Gewebe veröffentlicht, 1908 wurde über die krebserregende Wirkung berichtet und 1911 darüber, dass die Zellkerne weitaus strahlensensibler sind als das Zytoplasma. Die Mechanismen strahlenschädigender Wirkungen sind seither eingehend erforscht worden. Der Schaden, den ionisierende Strahlung an biologischem Gewebe verursacht, wird in der Strahlentherapie ausgenutzt, um Tumorzellen zu zerstören. Bei diagnostischen Maßnahmen aber sind die ionisierenden Einflüsse unerwünscht. Sie machen es notwendig, die Anwendung von Röntgenstrahlung durch gesetzliche Bestimmungen zu regulieren.

## 1.2.2 Strahlenwirkung auf biologische Gewebe

Die Wirkung ionisierender Strahlung auf biologische Gewebe beruht darauf, dass sie beim Durchtritt durch Materie einen Teil der Energie durch Absorption verliert. Hierbei spielen Anregung und Ionisation im durchstrahlten Material die entscheidende Rolle. Wirksam werden kann nur die absorbierte Strahlung. Die Wahrscheinlichkeit und das Ausmaß biologischer Strahlenwirkung hängen von der absorbierten Strahlenenergie und der Strahlenart ab (Röntgenstrahlung,  $\alpha$ -Teilchen und Neutronen). Für die Strahlenwirkung in lebenden Zellen ist das Eiweiß am wichtigsten.

### 1.2.2.1 Phasen der Strahlenwirkung

1. *Physikalische Phase*, in der eine Energieabsorption mit Ionisation, Molekulanregung und Wärmezufuhr stattfindet;
2. *Physikalisch-chemische Phase*, die eine direkte oder indirekte Wirkung auf die Zelle hat;
3. *Biochemische Phase*, die eine Veränderung organischer Moleküle, z.B. durch Einführung von Hydroxylgruppen in eine chemische Verbindung, so genannte Hydroxylierung, bewirkt;
4. *Biologische Phase*, in der die Vitalfunktionen der Zelle durch Schäden bis zum Zelltod hin oder durch Mutationen gestört werden.

### 1.2.2.2 Arten von Strahlenwirkung

Es werden 2 Arten der Strahlenwirkung differenziert:

1. *Direkte Strahlenwirkung*, die ein oder mehrere Bindungselektronen aus einem Molekül der Zelle durch ionisierende Strahlenwirkung herauslöst. Das führt zu Veränderungen der biologischen Eigenschaften der Moleküle und im Genmaterial zu Mutationen; bei Schäden an lebenswichtigen Zentren sogar zum Absterben der Zelle. Mit der Dosis steigt die Trefferzahl („Treffertheorie“) und damit die Wahrscheinlichkeit des Zelltods.
2. *Indirekte Strahlenwirkung*, wodurch ein Wassermolekül ein Bindungselektron verliert. Es wird dann zum hochreaktiven Radikal und holt sich ein Elektron aus einem organischen Molekül, meist sind Nukleotidbasen betroffen. Das führt zum Verlust der biologischen Wirksamkeit z.B. von Desoxyribonucleinsäure, DNA (engl.: deoxyribonucleic acid), und Ribonucleinsäure, RNA (engl.: ribonucleic acid).

### 1.2.3 Dosisbegriffe

Um Röntgenstrahlung zu messen, werden ihre Wirkungen quantifiziert (Tabelle 1.1):

- *Ionisation von Gasen*, insbesondere Luft, z. B. Stabdosisimeter;
- *Lumineszenzwirkung*, z. B. Szintillationszähler;
- *Fotografische Wirkung*, z. B. Filmdosisimeter;
- *Halbleitereffekte*, wie Thermolumineszenz, z. B. Fingerring und Fotoeffekt.

#### 1.2.3.1 Energiedosis

Die Energiedosis mit der Einheit Gray (Gy) charakterisiert die in der Materie absorbierte Energie. 1 Gray entspricht der Energie von 1 Joule

(J), die von 1 kg Materie aus der Strahlung absorbiert wird:  $1 \text{ Gy} = 1 \text{ J/kg}$ .

#### 1.2.3.2 Ionendosis

Die Ionendosis mit der Einheit Coulomb/Kilogramm (C/kg), quantifiziert die Strahlenmenge anhand der durch sie hervorgerufenen Ionisation.

#### 1.2.3.3 Äquivalentdosis

Die Äquivalentdosis (H) mit der Einheit Sievert (Sv) beschreibt die Strahlenmenge unter Berücksichtigung ihrer biologischen Wirkung. Hierzu wird die Energiedosis (D) mit einem Wirkungsfaktor (q) multipliziert:  $H = q \cdot D$ . Der Faktor berücksichtigt die unterschiedliche biologische Wirksamkeit der verschiedenen Strahlenarten. Für Röntgenstrahlung gilt  $q = 1$ ; für Neutronenstrahlung dagegen:  $q = 10$ . Die Anzahl der Sievert entspricht der Energiemenge in Joule (J), die von 1 kg Materie aus der Strahlung absorbiert wird (also der Energiedosis), multipliziert mit dem Wirkungsfaktor der vorliegenden Strahlenart:  $1 \text{ Sv} = 1 \text{ J/kg}$ . In den Strahlenschutzbestimmungen wird die Einheit Millisievert (mSv) angewendet; sie entspricht 0,001 Sv.

### 1.2.4 Strahlenwirkung auf menschliche Gewebe

Die beschriebenen biologischen Einflüsse ionisierender Strahlung gelten auch für den möglichen schädigenden Einfluss der Röntgenstrahlung auf den menschlichen Organismus.

#### 1.2.4.1 Strahlenschädenformen

*Somatische Strahlenschäden* sind Folgeerscheinungen am Körper des Individuums, das der Strahlung ausgesetzt war.

**Tabelle 1.1.** Zusammenstellung der neuen heute geltenden SI- und alten ersetzten Strahlendosisseinheiten

| Begriff           | Bezug                                   | SI-Einheit                                    | Alte Einheit   |
|-------------------|---|---|--|
| ■ Energiedosis    | Auf Materie übertragene Energie         | Gray [Gy]: $1 \text{ Gy} = 1 \text{ J/kg}$    | Rad [rd]:<br>$1 \text{ rd} = 0,01 \text{ Gy}$                  |
| ■ Ionendosis      | In Luft freigesetzte elektrische Ladung | Coulomb pro Kilogramm [C/kg]                  | Roentgen [r]:<br>$1 \text{ r} = 2,58 \times 10^4 \text{ C/kg}$ |
| ■ Äquivalentdosis | Biologische Strahlenwirkung             | Sievert [Sv]: $1 \text{ Sv} = 1 \text{ J/kg}$ | Rem [rem]:<br>$1 \text{ rem} = 0,01 \text{ Sv}$                |