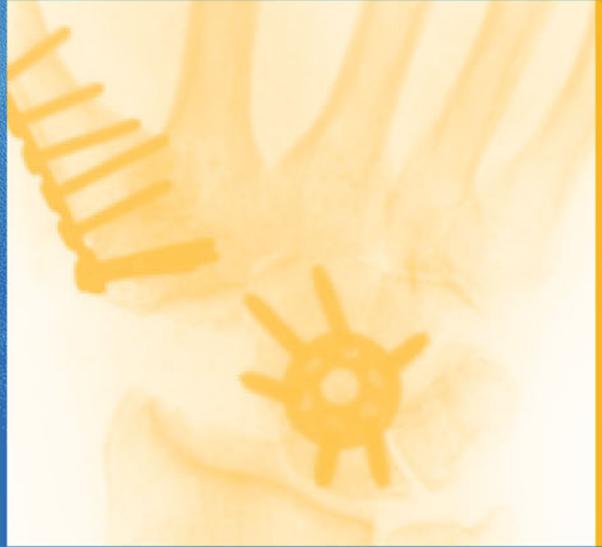


Towfigh
Hierner
Langer
Friedel



Frakturen und Luxationen der Hand

 Springer

Frakturen und Luxationen der Hand

Hossein Towfigh
Robert Hierner
Martin Langer
Reinhard Friedel
(Hrsg.)

Frakturen und Luxationen der Hand

Mit 840 Abbildungen

Auszug aus:

Towfigh et al. (Hrsg.) Handchirurgie, 1. Aufl. 2011,
ISBN 978-3-642-11757-2

Herausgeber

Prof. Dr. med. Hossein Towfigh

St. Barbara Klinik Hamm
Hand- und Wiederherstellungschirurgie
Am Heessener Wald 1
59073 Hamm

PD Dr. med. Martin Langer

Universitätsklinikum Münster
Hand- und Mikrochirurgie
Albert-Schweitzer-Campus 1
48149 Münster

Prof. Dr. med. Robert Hierner

Bethanienkrankenhaus Moers
Plastische, Rekonstruktive, Ästhetische
und Handchirurgie
Bethanienstraße 21
47441 Moers

Dr. med. Reinhard Friedel

Universitätsklinikum Jena
Klinik für Unfall-, Hand-
und Wiederherstellungschirurgie
Hand- und Mikrochirurgie
Erlanger Allee 101
07747 Jena

ISBN-13 978-3-642-40468-9

ISBN 978-3-642-40469-6 (eBook)

DOI 10.1007/978-3-642-40469-6

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

Springer Medizin

© Springer-Verlag Berlin Heidelberg 2014

Dieses Werk ist urheberrechtlich geschützt. Die dadurch begründeten Rechte, insbesondere die der Übersetzung, des Nachdrucks, des Vortrags, der Entnahme von Abbildungen und Tabellen, der Funksendung, 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.

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

Die Wiedergabe von Gebrauchsnamen, Warenbezeichnungen usw. in diesem Werk berechtigt auch ohne besondere Kennzeichnung nicht zu der Annahme, dass solche Namen im Sinne der Warenzeichen- und Markenschutzgesetzgebung als frei zu betrachten wären und daher von jedermann benutzt werden dürfen.

Planung: Dr. Klaus Richter, Heidelberg

Projektmanagement: Christiane Beisel, Heidelberg

Projektkoordination: Barbara Karg, Heidelberg

Zeichnungen: Reinhold Henkel, Heidelberg

Umschlaggestaltung: deblik, Berlin

Fotonachweis Umschlag: ©Argomedical

Satz: Fotosatz-Service Köhler GmbH – Reinhold Schöberl, Würzburg

Gedruckt auf säurefreiem und chlorfrei gebleichtem Papier

Springer Medizin ist Teil der Fachverlagsgruppe Springer Science+Business Media
www.springer.com

Vorwort

Nachdem das im Jahre 2011 erschienene Werk »Handchirurgie« großen Zuspruch und Beliebtheit im deutschsprachigen Raum gefunden hat und die Erstauflage innerhalb eines Jahres nahezu vergriffen war und nachgedruckt wurde, ist der Springer-Verlag mit der Idee an die Herausgeber herangetreten, einige Kapitel in einem eigenen Band zu veröffentlichen, um Teile der »Handchirurgie« anderen Fachrichtungen leichter zugänglich zu machen, die relevant für sie sind.

Die zusammengestellten Kapitel behandeln Frakturen und Luxationen sowie Bandverletzungen an der Hand (Kapitel 9, 23-33 der »Handchirurgie«).

In den meisten Kapiteln sind auch konservative und operative Verfahren bei Verletzungen im Wachstumsalter beschrieben.

Eine Aktualisierung oder Ergänzung der einzelnen Kapitel ist nicht erfolgt, sondern für eine zukünftige Auflage vorgesehen, da sich seit dem Erscheinen keine wesentliche neuere Entwicklung ergeben hat. Es wurden lediglich einige kleinere Korrekturen vorgenommen.

Bei der Versorgung der Frakturen an der Hand muss unbedingt auf die Weichteilversorgung und die Sensibilität sowie die Durchblutung der Weichteile – wie natürlich auch der Knochen – geachtet werden. Bei komplizierten Verletzungen muss dringend ein Spezialist herangezogen werden.

Die Versorgung von Frakturen und Luxationen sowie Bandverletzungen an der Hand nehmen an Bedeutung zu, da die Funktionalität der Hand in einer Gesellschaft, die zunehmend mit elektronischen Geräten arbeitet, eine zentrale Rolle spielt. Die Wiederherstellung der verletzten Hand stellt für die soziale und menschliche Kommunikation einen unschätzbaren Wert dar – ist die Hand doch ein Instrument sozialer Interaktion. Da sie auch ein wichtiges Identitäts- und Identifikationsmerkmal und Zeichen der Individualität eines Menschen ist, kommt ihrer Versorgung eine besondere Bedeutung zu.

Die Herausgeber hoffen, dass diese neue Zusammenstellung einen speziellen Bedarf decken wird, im Sinne der Patienten eingesetzt werden kann und sich ähnlich positiver Resonanz erfreuen wird, wie das Ursprungswerk »Handchirurgie«.

Für die Herausgeber

H. Towfigh

Juli 2013

Inhaltsverzeichnis

1	Prinzipien der Behandlung von Knochenverletzungen und -defekten	1
	<i>Hossein Towfigh, Lars Gerres, Robert Hierner</i>	
2	Kapsel-Band-Läsionen und Luxationen im Fingerbereich (einschließlich Arthrodesen)	29
	<i>Hossein Towfigh</i>	
3	Frakturen im Fingerbereich (inklusive sekundäre Korrektur knöcherner Fehlstellungen)	79
	<i>Hossein Towfigh</i> <i>(Mit einem Beitrag von Annelie Weinberg)</i>	
4	Frakturen im Mittelhandbereich inklusive sekundärer Korrektur knöcherner Fehlstellungen	117
	<i>Hossein Towfigh</i> <i>(Mit einem Beitrag von Barbara Schmidt und Annelie Weinberg)</i>	
5	Frakturen und Luxationen im Handwurzelbereich	159
	<i>Hossein Towfigh</i> <i>(Mit einem Beitrag von Annelie Weinberg)</i>	
6	Skaphoidfraktur und Skaphoidpseudarthrose	181
	<i>Torsten Dönicke, Reinhard Friedel</i> <i>(Mit einem Beitrag von Annelie Weinberg und Barbara Schmidt)</i>	
7	Perilunäre Luxationen und Luxationsfrakturen	213
	<i>Martin Lutz, Rohit Arora, Markus Gabl</i>	
8	Kapsel-Band-Läsionen im Handgelenkbereich	227
	<i>Hossein Towfigh</i>	
9	Idiopathische Mondbeinnekrose	273
	<i>Markus Gabl, Rohit Arora</i>	
10	Distale Radiusfraktur (Verletzung der distalen radioulnaren Funktionseinheit)	295
	<i>Michael Strassmair, Klaus Wilhelm, Reinhard Friedel und Torsten Dönicke</i> <i>(Mit einem Beitrag von Annelie Weinberg und Barbara Schmidt)</i>	
11	Korrektur der in Fehlstellung verheilten distalen Radiusfraktur	353
	<i>Andreas Pachucki, Barbara Freudenschuss</i> <i>(Mit einem Beitrag von Robert Eberl und Annelie Weinberg)</i>	
12	Distales Radioulnargelenk (DRUG) und triangulärer fibroartilaginärer Komplex (TFCC)	377
	<i>Markus Gabl, Rohit Arora</i>	
	Serviceeteil	
	Stichwortverzeichnis	404

Autorenverzeichnis

PD Dr. med. Rohit Arora

Univ.-Klinik für Unfallchirurgie Innsbruck
Handchirurgie
Anichstraße 35
A-6020 Innsbruck
E-Mail: rohit.arora@uki.at

Dr. med. Torsten Dönicke

Universitätsklinikum Jena
Funktionsbereich Hand-, Plastische und Mikrochirurgie
Erlanger Allee 101
D-07740 Jena
E-Mail: torsten.doenicke@med.uni-jena.de

Priv. Doz. Dr. med. Robert Eberl

Universitätsklinik Graz
Universitätsklinik für Kinder- und Jugendchirurgie
Auenbruggerplatz 34
A-8036 Graz
E-Mail: robert.eberl@meduni-graz.at

Dr. med. Barbara Freudenschuss

KH Amstetten
Unfallchirurgie
Krankenhausstraße 21
A-3300 Amstetten
E-Mail: unfall@kh-amstetten.at

Dr. med. Reinhard Friedel

Universitätsklinikum Jena
Funktionsbereich Hand-, Plastische und Mikrochirurgie
Erlanger Allee 101
D-07740 Jena
E-Mail: reinhard.friedel@med.uni-jena.de

Prof. Dr. med. Markus Gabl

Universitätsklinik für Unfallchirurgie Innsbruck
Handchirurgie
Anichstraße 35
A-6020 Innsbruck
E-Mail: markus.gabl@uki.at

Dr. med. Lars Gerres

Klinikum Osnabrück
Klinik für Orthopädie- Unfall und Handchirurgie
Am Finkenhügel 1
D-49076 Osnabrück
E-Mail: lars.gerres@klinikum-os.de

Prof. Dr. med. Robert Hierner

Universität Duisburg-Essen
Universitätsklinikum Essen
Plastische, Rekonstruktive, Ästhetische
und Handchirurgie, Zentrum für Interdisziplinäre
Rekonstruktive Chirurgie
Hufelandstraße 55
D-45147 Essen
E-Mail: robert.hierner@uk-essen.de

Prof. Dr. med. Martin Lutz

Universitätsklinik für Unfallchirurgie Innsbruck
Handchirurgie
Anichstraße 35
A-6020 Innsbruck
E-Mail: martin.lutz@uki.at

Dr. med. Andreas Pachucki

KH Amstetten
Unfallchirurgie
Krankenhausstraße 21
A-3300 Amstetten
E-Mail: unfall@kh-amstetten.at

Prof. Dr. med. Barbara Schmidt

Universitätsklinik Graz
Universitätsklinik für Kinder- und Jugendchirurgie
Auenbruggerplatz 34
A-8036 Graz
E-Mail: barbara.schmidt@meduni-graz.at

Dr. med. Michael Strassmair

Klinikum Starnberg
Zentrum für Handchirurgie
Oßwaldstraße 1
D-82319 Starnberg
E-Mail: handchirurgie@web.de

Prof. Dr. med. Hossein Towfigh

St. Barbara-Klinik Hamm
Abteilung für Handchirurgie, Mikrochirurgie
und Plastische Wiederherstellungschirurgie
Am Heessener Wald 1
D-59073 Hamm
E-Mail: prof.towfigh@towfigh.de

PD Dr. med. Annelie Weinberg

Universitätsklinik Graz
Universitätsklinik für Kinder- und Jugendchirurgie
Auenbruggerplatz 34
A-8036 Graz
E-Mail: anneliemartina.weinberg@meduni-graz.at

Prof. em. Dr. med. Klaus Wilhelm

Ludwig-Maximilians-Universität München
König-Heinrich Straße 11
D-80686 München
E-Mail: Wilhelmklaus@t-online.de

Prinzipien der Behandlung von Knochenverletzungen und -defekten

Hossein Towfigh, Lars Gerres, Robert Hierner

1.1 Allgemeines – 3

- 1.1.1 Chirurgisch relevante Anatomie und Physiologie – 3
- 1.1.2 Epidemiologie – 6
- 1.1.3 Ätiologie – 7
- 1.1.4 Diagnostik – 7
- 1.1.5 Klassifikation – 7
- 1.1.6 Indikationen und Differenzialtherapie – 10
- 1.1.7 Therapie – 12
- 1.1.8 Besonderheiten im Wachstumsalter – 15

1.2 Spezielle Techniken – 16

- 1.2.1 Technik der osteoplastischen Entnahme von spongösem Knochen oder eines kortikospongiosen Spans vom vorderen Beckenkamm – 16
- 1.2.2 Technik der Entnahme des dorsoradialen gestielten vaskularisierten Knochenspans (A.-innominata-Lappenplastik nach Zaidenberg) – 16
- 1.2.3 Technik der Entnahme des gestielten vaskularisierten Knochenspans vom Metakarpale II nach Brunelli – 18
- 1.2.4 Technik der Entnahme des gestielten vaskularisierten Knochenspans vom 4./5. Extensor-Kompartiment nach Moran – 19
- 1.2.5 Technik des Os- pisiforme-Transfers nach Beck – 19
- 1.2.6 Technik der Entnahme des palmaren gestielten vaskularisierten Knochenspans nach Kuhlmann/Mathoulin – 19
- 1.2.7 Technik der Entnahme des freien mikrovasculären Knochenspans von der Skapula nach Teot – 19
- 1.2.8 Technik der Entnahme des freien mikrovasculären Knochenspans vom lateralen distalen Humerus – 21
- 1.2.9 Technik der Entnahme des freien mikrovasculären Knochenspans vom distalen Radius – 21
- 1.2.10 Technik der Entnahme des freien mikrovasculären vorderen Beckenkammspans nach Taylor – 21

- 1.2.11 Technik der Entnahme des freien vaskularisierten Knochentransplantats vom medialen Kondylus nach Masquelet – 23
- 1.2.12 Technik der Entnahme des vaskularisierten Fibuladiaphysentransplantats nach Ueba/Taylor – 25

1.3 Fehler, Gefahren und Komplikationen – 27

Weiterführende Literatur – 27

1.1 Allgemeines

1.1.1 Chirurgisch relevante Anatomie und Physiologie

Vaskularisation des Knochens

» Where bone is a plant, with its roots in soft tissues, and when its vascular connections are damaged, it often requires, not the technique of a cabinet maker, but the patient care and understanding of a gardener. (Girdlestone 1932)

Vor allem bei den langen Röhrenknochen können hinsichtlich der internen Blutversorgung zwei Hauptsysteme unterschieden werden: 1. das zentrale medulläre Gefäßsystem und 2. das periphere muskuloperiostale Gefäßsystem. Beide Systeme sind durch zahlreiche Anastomosen miteinander verbunden und tragen in unterschiedlichem Maße zur Ernährung der Knochenkortikalis bei (■ Abb. 1.1, ■ Abb. 1.2).

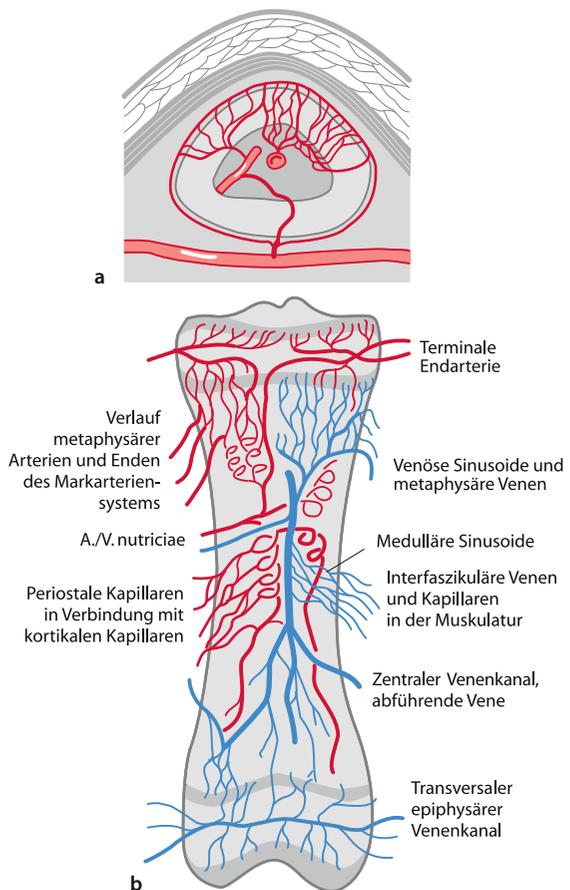
Nach dem »Konzept der dualen Blutversorgung« von Berggren et al. (1982) entspricht das intraossäre Gefäßnetz einem System aus starren Röhren, in dem sich die Flussrichtung des Blutstromes nach dem herrschenden Druckgradienten richtet. Unter physiologischen Bedingungen werden schematisch die inneren zwei Drittel hauptsächlich aus den Markraumgefäßen, das äußere Kortikalisdrittel hauptsächlich aus dem muskuloperiostalen Gefäßsystem versorgt (■ Abb. 1.2a). Unter unphysiologischen Bedingungen kann es zu einer Stromumkehr kommen. Sinkt der Blutdruck im Markraum unter den Druck im Periost ab (z. B. intramedullärer Kraftträger), baut sich ein zentripetaler Druckgradient auf, der einen zentripetalen Blutfluss bewirkt. Die Kortikalis wird hauptsächlich bis vollständig aus dem periostalen Gefäßsystem versorgt (»muskuloperiostale Blutversorgung«: ■ Abb. 1.2b) Die fehlende medulläre Blutversorgung kann durch die periostale Blutversorgung kompensiert werden. Fällt der Blutdruck im muskuloperiostalen System stark ab (z. B. im Rahmen einer Verbrennungsverletzung) kann die gesamte Kortikalis hauptsächlich bis ausschließlich aus dem medullären Gefäßsystem versorgt werden (»medulläre Blutversorgung«: ■ Abb. 1.2c). Tierexperimentelle und klinische Studien haben gezeigt, dass sowohl die medulläre als auch die periostale Blutversorgung alleine in der Lage ist, das vaskularisierte Knochentransplantat suffizient zu versorgen.

Mit Blick auf die operative Frakturbehandlung ist es wichtig anzumerken, dass die verschiedenen Osteosyntheseverfahren unterschiedlichen Einfluss auf die Knochendurchblutung des osteosynthetisierten Knochens haben. Die Plattenosteosynthese führt zur größten Devaskularisation bei allerdings größtmöglicher Stabilität. Demgegenüber führt der Fixateur externe nur zu einer

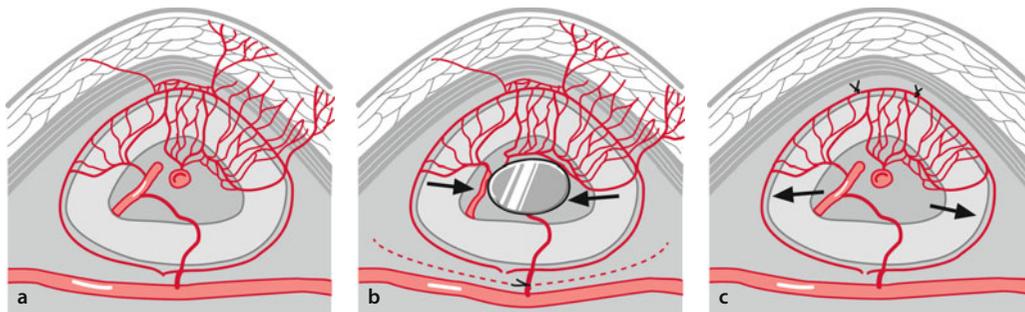
geringen zusätzlichen Beeinträchtigung der Vaskularität des gebrochenen Knochens, bietet aber nur die geringste Stabilität (■ Abb.1.3).

Pathophysiologie der Knochenheilung

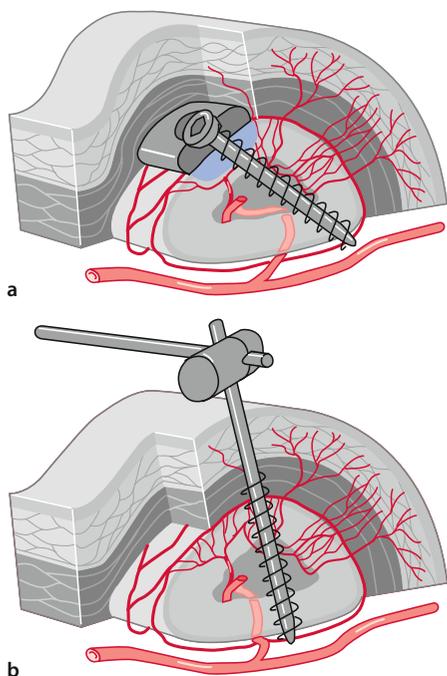
Weder Knochen noch Weichteile können im Hinblick auf die reparativen Vorgänge bei der Wundheilung für sich alleine betrachtet werden. Entscheidend für die Frakturheilung ist eine möglichst gute Kooperation beider Gewebe als sog. »Funktionseinheit Weichteil/Knochen« (■ Abb. 1.4, ■ Tab. 1.1). Bei den Weichteilen muss unterschieden werden zwischen einer (faszio-)kutanen Schicht und eine Muskelschicht. Histologisch zu den Weichteilen zählend nimmt das Periost eine Mittelstellung ein, da es die mechanische und funktionelle Bindschicht zwischen Weichteil und Knochen darstellt. Die Vaskularität im Frakturlager wird bestimmt durch die Qualität und Quantität der Gefäßverbindungen zwischen dem peripheren muskuloperiostalen und dem zentralen medullären Gefäßsystem der »Funktionseinheit Weichteil/Knochen« im Frak-



■ **Abb. 1.1** Das innere Gefäßplexussystem des langen Röhrenknochens und dessen Zuflüsse nach Trias und Frey. **a** Knochenquerschnitt, **b** Knochenlängsschnitt. (Aus Berger u. Hierner 2002)



■ **Abb. 1.2** Konzept der dualen Blutversorgung nach Berggren. **a** Physiologische Blutversorgung (im Diaphysenbereich, **b** muskulo-periostale (zentripetale) Blutversorgung bei Blockade des medullären, zentralen Gefäßsystems, **c** medulläre (zentrifugale) Blutversorgung bei Blockade des muskuloperiostalen peripheren Gefäßsystems. (Aus Berger u. Hierner 2002)



■ **Abb. 1.3** Einfluss der Osteosynthesemethode auf Durchblutung und Stabilität im Frakturbereich. **a** Plattenosteosynthese: Durch den operativen Zugang und die Kompression unterhalb der Platte kommt es zur größten Beeinträchtigung der Vaskularisation bei allerdings bester Stabilität. **b** Fixateur externe: Aufgrund des geringen zusätzlichen operativen Traumas und der nur geringen Kontaktfläche kommt es zur geringsten Beeinträchtigung der Vaskularisation, bei allerdings auch geringerer Stabilität

turbereich (■ Abb. 1.4a). Eine Schädigung der Funktionseinheit Weichteil/Knochen führt zu einer Verminderung von Qualität und Quantität der Gefäßverbindungen und somit zu einer Abnahme der Vaskularität in dem betroffenen Abschnitt. Denudierung der Frakturstümpfe und -fragmente durch Abscherung von Periost und darüber liegender Weichteilgewebe, Knochenkontusion sowie eine beeinträchtigte medulläre Blutversorgung des Kno-

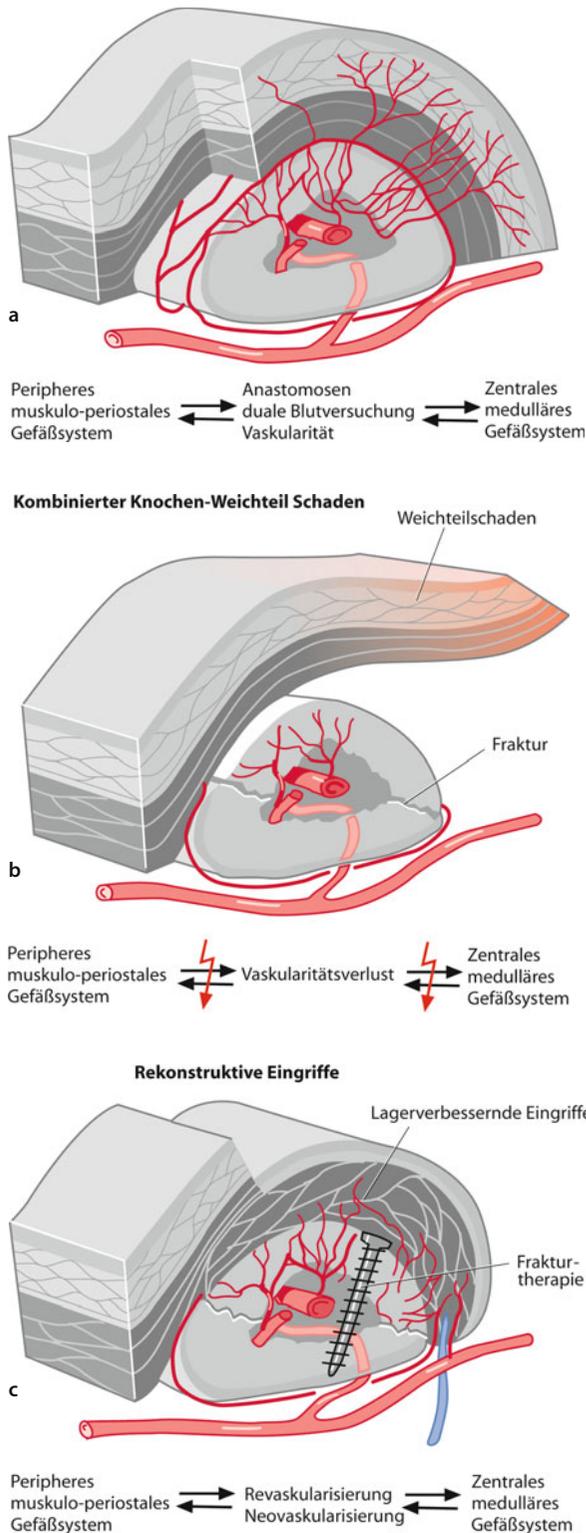
chens führen zu mehr oder weniger avaskulären Knochenfragmenten. Avaskuläre Knochenfragmente können keinen nennenswerten Beitrag zur Osteogenese leisten (■ Abb. 1.4b). Therapeutische Eingriffe zielen auf die Verbesserung von Qualität und Quantität der Gefäßverbindungen und somit auf eine Zunahme der Vaskularität im betroffenen Areal. Nur durch eine Revaskularisation präexistenter Gefäße oder eine Neovaskularisation, d. h. eine Neueinsprossung von Gefäßen, kann eine Revitalisierung der Knochenfragmente erreicht werden. Bei einer zu großen Schädigung müssen Knochenfragmente entfernt und defektüberbrückende Maßnahmen ergriffen werden (■ Abb. 1.4c).

Bei kombinierten Knochen-Weichteil-Schäden kommen der Weichteil- und Knochenkomponente jeweils spezifische Aufgaben zu. Aufgaben des umliegenden Haut- und/oder Muskelgewebes oder einer eventuellen Weichteilplastik im Falle einer Fraktur sind

1. die Frakturdeckung als mechanischer und biologischer Schutz (Wundschluss bedeutet Infektprophylaxe, da die Möglichkeiten des Keimeintrittes reduziert werden) und
2. die Re- und/oder Neovaskularisation des Frakturbereiches zur Infektprophylaxe- oder therapie und zur Vorbereitung weiterer operativer Eingriffe im Sinne der Lagerverbesserung.

Über das Periost wird Haut- und Muskelgewebe mechanisch (Muskel-Sehnen-Ansätze) und funktionell (Gefäßanastomosen) an den Knochen gekoppelt. Im Falle einer Fraktur besteht die Aufgabe des Knochens in der Frakturheilung mit den Komponenten Knochenresorption, Knochenapposition und Knochenumbau (»internal remodeling«).

Der Zustand der »Funktionseinheit Weichteil/Knochen« wird bestimmt aus den Funktionszuständen seiner Komponenten. Die Vaskularisationssituation oder der Funktionszustand der Weichteile im Defektbereich lässt



■ **Abb. 1.4** Konzept der »Funktionseinheit Weichteil/Knochen«. **a** Physiologischer Zustand, **b** Schädigung, **c** Rekonstruktion. (Aus Berger u. Hierner 2002)

sich im Hinblick auf die Qualität als Transplantatlager klassifizieren in »ersatzstark«, »ersatzschwach« und »ersatzunfähig«. Klinisch-morphologisch lässt sich der Funktionszustand des Knochens beschreiben als »gut vaskularisiert«, »gering vaskularisiert« und »avaskulär«. Besteht ein »ersatzstarkes Lager« mit »gut vaskularisiertem« Knochen, liegt ein sehr guter Funktionszustand der Funktionseinheit Weichteil/Knochen vor. Für die Fraktur gesprochen liegen im Frakturbereich ein optimales Frakturlager und optimal durchblutete Frakturstümpfe vor. Eine ungestörte Frakturheilung kann erwartet werden. Ein guter Funktionszustand der Funktionseinheit Weichteil/Knochen liegt vor, wenn entweder ein »ersatzstarkes Lager« und ein »gering vaskularisierter Knochen« oder ein »ersatzschwaches Lager« und ein »gut vaskularisierter« Knochen vorliegen. Entweder werden die gering vaskularisierten Frakturstümpfe aus dem umliegenden Weichteillager so gut revascularisiert oder beide Frakturstümpfe sind so gut vaskularisiert, dass sie auf eine zusätzliche Revaskularisierung aus dem Weichteillager hinsichtlich der Frakturheilung nicht angewiesen sind. Bei beiden Situationen kommt es in den meisten Fällen zu einer ungestörten Frakturheilung. Ein schlechter Funktionszustand der Funktionseinheit Weichteil/Knochen liegt vor, wenn ein »ersatzstarkes Lager« und ein »avaskulärer Knochen« oder ein »ersatzunfähiges Lager« und ein »gut vaskularisierter Knochen« bestehen. Von einer komplikationsreichen Frakturheilung muss ausgegangen werden. Bei allen anderen Konstellationen ist der Funktionszustand der Funktionseinheit Weichteil/Knochen als ungenügend zu bezeichnen, eine Frakturheilung kann nicht erwartet werden (■ Tab. 1.1).

Frakturheilung

Voraussetzungen für eine ungestörte Bruchheilung sind: Kontakt der Fragmente, Ruhigstellung der Fraktur und ausreichende Durchblutung der Fragmente. Sind diese Bedingungen erfüllt, heilt die Fraktur primär, d. h. ohne den Umweg über spezifisches Narbengewebe – den Kallus – (direkte oder primäre Bruchheilung). Die primäre Frakturheilung erfolgt durch direkte angiogene Knochenbildung zwischen stabil fixierten, gut durchbluteten Fragmenten, die ohne erkennbaren Zwischenraum zusammengefügt sind. Die Fragmente werden durch die vorwachsenden Osteone dübelartig verzahnt (Kontaktheilung; ■ Abb. 1.5a). Wird die Fraktur der Spontanheilung überlassen oder sind eine oder mehrere der zuvor genannten Voraussetzungen für eine erfolgreiche Bruchheilung nicht oder nur unvollständig gegeben, bildet sich zwischen den Fragmenten und um sie herum Kallusgewebe, das dann sekundär über das Stadium des Geflechtknochens durch den sog. Haver'schen Knochenumbau (»internal remodelling«) zu strukturierem lamellärem Knochen umgebaut wird (indirekte oder sekundäre Bruchheilung; ■ Abb. 1.5b).

Tab. 1.1 Klassifikation und klinische Bedeutung des Funktionszustandes der »Funktionseinheit Weichteil/Knochen« nach Hierner. (Aus Hierner u. Berger 2002)

Funktionszustand im Frakturbereich	Weichteil (»Frakturlager«)	Knochen (»Frakturstümpfe«)	Heilungsprognose
Sehr gut	Ersatzstark	Gut vaskularisiert	Komplikationslos
Gut	Ersatzstark Ersatzschwach	Gering vaskularisiert Gut vaskularisiert	Komplikationsarm
Schlecht	Ersatzstark Ersatzunfähig	Avaskulär Gut vaskularisiert	Komplikationsreich
Ungenügend	Ersatzschwach Ersatzunfähig	Avaskulär Gering vaskularisiert	Keine Konsolidierung

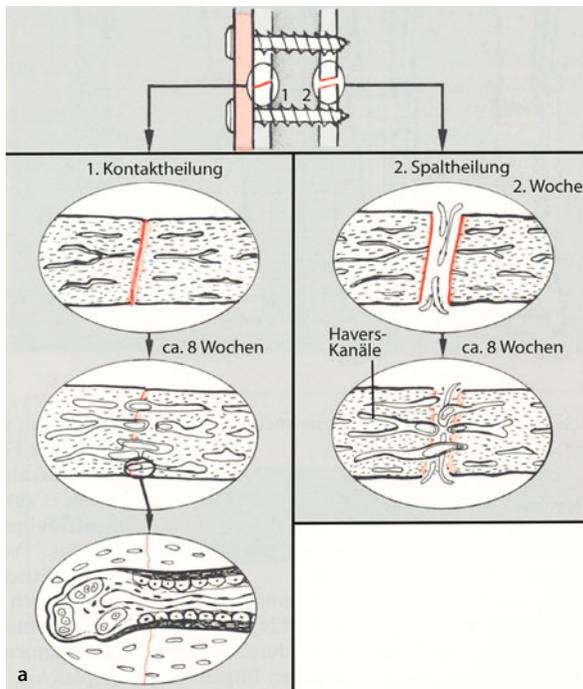


Abb. 1.5 Primäre und sekundäre Frakturheilung. **a** Direkte Osteogenese (primäre Frakturheilung), **b** indirekte Osteogenese (sekundäre Frakturheilung). (Aus Heberer et al. 1986)

Knochendefektheilung

Für die Knochendefektheilung gelten grundsätzlich die gleichen Prinzipien wie für die Frakturheilung. Die Einheilung nicht vaskularisierter Knochentransplantate erfolgt nach dem Prinzip des »schleichenden Ersatzes« nach Barth (1895). Vaskularisierte Knochentransplantate heilen wie eine Etagenfraktur ein. Der Einfluss der permanenten eigenen Durchblutung des vaskularisierten Knochentransplantates auf dessen biologische Einheilung und mechanischen Charakteristika war Gegenstand zahlreicher tierexperimenteller und klinischer Studien. Das vaskularisierte Knochentransplantat unterscheidet sich von seinem nicht vaskularisierten Analogon durch:

1. geringere Abhängigkeit von der Vaskularität im Empfängerlager hinsichtlich der Vitalität und somit geringerer Gewebeuntergang nach Transplantation,
2. erhöhte Resistenz gegen Infektionen und Bestrahlungstherapie,
3. schnellere und stärker ausgeprägte knöcherne Einheilung im Empfängerknochen,
4. früher einsetzende und stärker ausgeprägte Umbauvorgänge und
5. Neovaskularisierungspotenz für minderdurchbluteten und/oder avaskulären (spongiosen) Knochen im Empfängergebiet.

1.1.2 Epidemiologie

Frakturen im Handbereich sind häufige Verletzungen. Etwa 60% aller Frakturen im Bereich der Hand entfallen auf die Phalangen, etwa 30% auf die Mittelhand und ca. 10% auf die Handwurzel, wobei die Skaphoidfraktur eine besondere Rolle einnimmt. Auch heute gilt die Aussage von Bunnell unverändert, dass Fingerfrakturen derart häufig sind und die damit verbundenen Folgekosten die Unfallversicherungsträger genauso belasten wie Frakturen

der langen Röhrenknochen. Daher müssen jedem Handchirurgen die Grundsätze der operativen und konservativen Behandlung von Fingerfrakturen bekannt sein.

1.1.3 Ätiologie

Knochendefekte können angeboren oder erworben sein. Bei den erworbenen Knochenverletzungen und -defekten unterscheidet man hinsichtlich der Ätiologie nach Trauma, Infekt oder Tumor.

1.1.4 Diagnostik

Die Untersuchung beginnt mit der Inspektion der Hand, sodass der Untersucher einen Überblick über die Weichteilsituation, Sensibilität und Durchblutung bekommt. Grobe Fehlstellungen der Fingerachsen oder Luxationen werden selten übersehen. Typische Bruchformen sind durch die enge Verbindung mit dem umgebenden Kapselbandapparat sowie den Streck- und Beugesehnenansätzen zu erklären (► Kap. 2, ► Kap. 3).

Ein besonderes Augenmerk verdienen die Rotationsfehlstellungen der Finger, die nicht immer auf den ersten Blick erkennbar sind. Rotationsfehler erkennt man daran, dass der Fingernagel nicht in einer Reihe mit den übrigen Nägeln liegt, sondern nach der Seite hin verdreht abweicht. Achsabweichungen, wie auch die Rotationsfehlstellungen, werden dann deutlich, wenn man die Fingerstellung bei Faustschluss überprüft. Hier über- oder unterkreuzen die verletzten Finger die Nachbarfinger und zeigen so die Fehlstellung an (► Kap. 2).

Die subtile klinische Untersuchung der Finger zum Erkennen von Bandrupturen oder Sehnenverletzungen ist wegen der vorhandenen Schmerzen nicht immer leicht durchzuführen, aber für die sich hieraus abzuleitende Behandlungsstrategie besonders wichtig. Wenn primär nach dem Unfall kein eindeutiger Befund zu erheben ist, muss nach Rückgang der Weichteilschwellung erneut eine klinische Kontrolle erfolgen. Hierbei ist gelegentlich der Vergleich zur gesunden unverletzten Gegenseite hilfreich. Beim Vorhandensein von palmaren Begleitverletzungen mit Zerstörung der Gefäß-Nerven-Bündel muss frühzeitig die Entscheidung getroffen werden, den Patienten in eine handchirurgische Spezialklinik zu überweisen, die über einen Schwerpunkt verfügt und in der mikrochirurgische Operationsverfahren beherrscht werden.

Die Röntgenaufnahmen werden möglichst im dorso-palmaren und exakt seitlichen Strahlengang für jeden Finger getrennt angefertigt. Hier hat sich die Vergrößerungstechnik für Fingeraufnahmen bewährt, um z. B. auch knöcherne Kapselbandverletzungen nicht zu übersehen.

Das Anfertigen einer dritten schrägen Ebene ist nur ausnahmsweise notwendig. Gelegentlich ist, zur exakten Einschätzung des Ausmaßes einer geringen Verletzung oder einer Fraktur, eine hochauflösende computertomografische Untersuchung in koronarer oder sagittaler Rekonstruktion erforderlich. Für die genauere Weichteildiagnostik kann auch eine Kernspintomografie wichtige Informationen liefern. Bei dieser Untersuchung sollte auch eine Bandverletzung oder knöcherner Bandverletzung mit beurteilt werden.

1.1.5 Klassifikation

Frakturen

Frakturen können aufgrund mehrerer Kriterien klassifiziert werden. Besondere Bedeutung für die klinische Praxis hat:

- die Unterscheidung in geschlossene und offene Frakturen,
- die Klassifikation hinsichtlich der Bruchform und
- die Klassifikation hinsichtlich der Bruchlokalisierung (Diaphyse/Metaphyse/Epiphyse) bzw. extraartikuläre/intraartikuläre Frakturen.

Geschlossene und offene Frakturen werden heute meist nach Tscherne/Oestern klassifiziert. Alternativ kann auch die Klassifikation der Arbeitsgemeinschaft Osteosynthese angewendet werden. Für die Klassifikation von offenen Frakturen hat sich auch die Klassifikation nach Gustilo bewährt (► Tab. 1.2).

Für die Klassifikation hinsichtlich der Bruchform (A–C) und Bruchlokalisierung (proximales Segment/Gelenk und Metaphyse, diaphasäres Segment/Schaft, distales Segment/Gelenk und Metaphyse) hat sich die Klassifikation der Arbeitsgemeinschaft Osteosynthese bewährt. Für einzelne Lokalisationen können alternativ auch andere Klassifikationen verwendet werden (s. in den jeweiligen Kapiteln). Für die Klassifikation von Frakturen im Epiphysenbereich beim wachsenden Skelett haben sich die Klassifikation nach Aitken (Typ I–III) sowie Salter und Harris bewährt (► Abb. 1.6).

Knochentransplantate

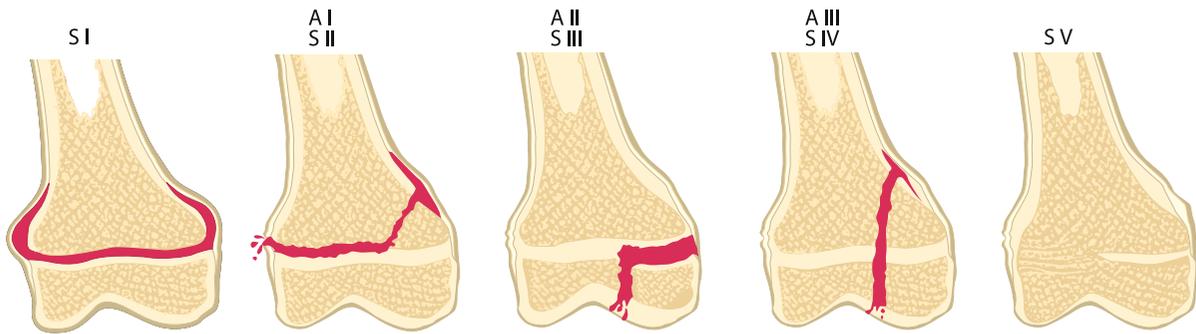
Zur Rekonstruktion von Knochendefekten bietet sich eine große Auswahl an Knochenersatzstoffen an. Prinzipiell lässt sich zwischen Eigenmaterial und Fremdmaterial unterscheiden.

Das Fremdmaterial kann eingeteilt werden in allogenes Knochengewebe, heterogenes Knochengewebe und künstlichen (alloplastischen) Knochenersatz. Fremdmaterial hat den Vorteil, dass kein zusätzlicher Spenderdefekt gesetzt werden muss. Bei der klinischen Anwendung von

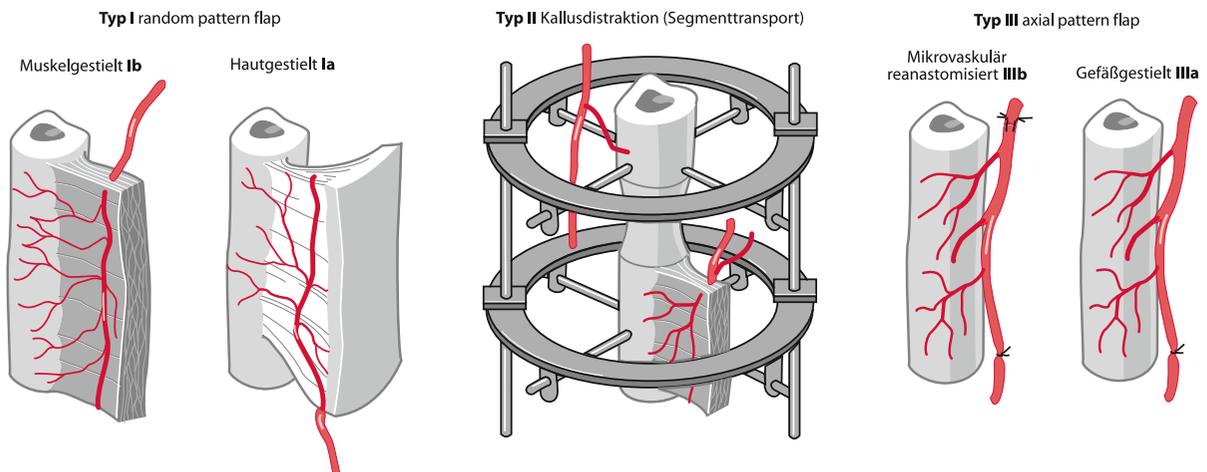
■ **Tab. 1.2** Auflistung der international gebräuchlichsten Klassifikationen zur Beschreibung von geschlossenen und offenen Frakturen

Tscherne/Oestern		Gustilo		Arbeitsgemeinschaft Osteosynthese (AO)	
<i>Geschlossene Frakturen</i>		<i>Knochen-Weichteil-Defekt</i>		<i>Geschlossene Hautverletzungen (IC)</i>	
0:	Geringer Weichteilschaden, einfache Bruchform	Grad I:	Bis 1 cm lange Wunde, saubere Wundränder, Unfallmechanismus im Sinne einer Durchspießung eines der Fragmente	IC 1:	Keine Hautverletzung
I:	Oberflächliche Schürfung, einfache bis mittelschwere Bruchform	Grad II:	1–3 cm lange Wunde, Unfallmechanismus Trauma von außen nach innen, Wunde ohne extensiven Weichteilverlust, keine Lappenbildung oder Weichteilavulsionen	IC 2:	Kontusion und Hauteröffnung
II:	Tiefe, kontaminierte Schürfung, lokalisierte Haut- und Muskelkontusion, alle Bruchformen	Grad III:	Alle Komplikationswunden >3 cm mit extensivem Weichteilschaden, häufige Gefäß-/Nervenbeteiligung	IC 3:	Umschriebenes Décollement
III:	Ausgedehnte Hautkontusion, Hautquetschung oder Zerstörung der Muskulatur, subkutanes Décollement, dekompensiertes Kompartmentsyndrom	Grad III A:	Knochen von vitaler Muskulatur oder Periost umgeben	IC 4:	Ausgedehntes geschlossenes Décollement
<i>Offene Frakturen</i>		Grad III B:	Freiliegender Knochen, hochgradige Kontamination	IC 5:	Nekrose aufgrund von tiefer Kontusion
I:	Fehlende oder geringe Kontusion, unbedeutende bakterielle Kontamination, einfache bis mittelschwere Bruchformen	Grad III C:	Rekonstruktionspflichtiger Gefäßschaden	<i>Offene Hautverletzungen (IO)</i>	
II:	Umschriebene Haut- und Weichteilkontusion, mittelschwere Kontamination			IO 1:	Hautdurchspießung von innen nach außen
III:	Ausgedehnte Weichteildestruktion, häufig zusätzlich Gefäß- und Nervenverletzungen, starke Wundkontamination			IO 2:	Hautdurchspießung von außen <5 cm mit kontusionierten Rändern
IV:	Totale und subtotale Amputationen			IO 3:	Hautläsionen >5 cm, umschriebenes Décollement mit Randkontusionen
				IO 4:	Hautverlust, tiefe Kontusion, Schürfung
				IO 5:	Ausgedehntes Décollement
				<i>Muskel- und Sehnenverletzungen (MT)</i>	
				MT 1:	Keine Verletzung
				MT 2:	Umschriebene Muskelverletzung
				MT 3:	Ausgedehnte Muskelbeteiligung
				MT 4:	Ausriss oder Verlust ganzer Muskelgruppen, Sehnendurchtrennungen
				MT 5:	Logen- oder Crash-Syndrom
				<i>Neurovaskuläre Verletzungen (NV)</i>	
				NV 1:	Keine Verletzung
				NV 2:	Isolierte Nervenläsion
				NV 3:	Umschriebene Gefäßverletzung
				NV 4:	Kombinierte neurovaskuläre Verletzung
				NV 5:	Subtotale Amputation

1.1 · Allgemeines



■ **Abb. 1.6** Klassifikation der Frakturen im Bereich der Wachstumsfugen nach Salter (die korrespondierenden Einteilungen nach Aitken sind angegeben). Bei Typ I und II besteht eine gute Wachstumsprognose, bei Typ III–V ist das Stratum germinativum mit betroffen, weshalb mit Wachstumsbeeinträchtigungen zu rechnen ist. Typ I: reine Epiphysenlösung, Typ II: partielle Epiphysenlösung mit einem metaphysären Keil (entspricht Aitken I), Typ III: epiphysäre Fraktur, die in eine partielle Epiphysenlösung ausläuft (entspricht Aitken II), Typ IV: epiphysäre Fraktur, die direkt oder über eine partielle Epiphysenlösung in eine metaphysäre Fraktur ausläuft (entspricht Aitken III), Typ V: Crush-Verletzung der Epiphyse. (Aus Siewert u. Brauer 2010)



■ **Abb. 1.7** Klassifikation der vaskularisierten Knochentransplantate im Hinblick auf ihre externe Gefäßversorgung nach Hierner. (Aus Berger u. Hierner 2002)

allogenem und heterologem Knochengewebe kann es zu verzögerter Bruchheilung, Pseudarthrosenbildung, Ermüdungsfrakturen, Infektion, Abstoßungsreaktion und partieller bis vollständiger Resorption kommen. Darüber hinaus belasten die Nebenwirkungen der notwendigen Immunsuppression den Patienten. Als Nachteile beim Einsatz von künstlichem (alloplastischem) Knochenersatz sind Implantatlockerungen, Fremdkörperreaktionen und Kanzerogenität beschrieben.

Wo immer nur möglich, sollte man versuchen, zuerst mit körpereigenem Gewebe zu rekonstruieren, da hierbei die Nachteile des Fremdmaterials nicht auftreten. Autologe Knochentransplantate können als kortikale, spongiose und kortikospongiose Transplantate gehoben werden. In Abhängigkeit von ihrer Vaskularisation lassen sich nicht vaskularisierte und vaskularisierte Knochentransplantate unterscheiden. In Abhängigkeit von der Art der externen

Vaskularisation des Knochens, d. h. über äußere periostale Gefäße oder A.(a) nutricia(e) mit Verbindung zu den inneren medullären Gefäßsystemen, können die vaskularisierten Knochentransplantate weiter unterteilt werden (■ Abb. 1.7). Haut- (Typ Ia) und muskelgestielte (Typ Ib) Transplantate gehören zu den »random pattern flaps«, da ihre Blutversorgung über anatomisch nicht einheitlich klassifizierbare und lokalisierbare Gefäße verläuft. Die Blutversorgung geschieht durch Stromumkehr aus dem periostalen Gefäßsystem des Knochens in zentripetaler Richtung auf den Markraum zu (■ Abb. 1.2c). Die »random pattern flaps« nehmen aufgrund ihrer Vaskularisation eine Mittelstellung zwischen den konventionellen oder nicht vaskularisierten und den vaskularisierten Knochentransplantaten ein. In Abhängigkeit von der zufällig vorhandenen Blutversorgung ähnelt ihr biologisches und mechanisches Verhalten jenem der gefäßgestielten bzw.

mikrochirurgisch revascularisierten Transplantate oder den nicht vaskularisierten Pflanzlingen. Wegen der primär geringen Blutversorgung der ossären Komponente haben hautgestielte Knochentransplantate im Gegensatz zu muskelgestielten heute nur noch geringe Bedeutung. Pathophysiologisch gesehen stellt die Kallusdistraction zur Extremitätenverlängerung nach Ilizarov oder zur Knochendefektdeckung durch Segmenttransport eine Sonderform der lokalen vaskularisierten Knochentransposition (Typ II) dar. Je nach Höhe der Osteotomie handelt es sich hier um ein gefäß- und/oder muskelgestieltes lokales vaskularisiertes Knochentransplantat. Im Gegensatz zu den zuvor genannten Transponaten besteht aber zusätzlich über den Kallus Schlauch eine weitere vaskuläre Verbindung. Gefäßgestielte Knochentransponate (Typ IIIa) haben eine makroskopisch definierte Blutzufuhr- und -abfuhr, welche während Präparation und Schwenkung nicht beschädigt werden darf. Man zählt beide deshalb zu den »axial pattern flaps«. Bei den frei vaskularisierten Knochentransplantaten (Typ IIIb) wird die Blutversorgung kurzzeitig unterbrochen und mithilfe mikrochirurgischer Techniken im Empfängerlager wiederhergestellt.

1.1.6 Indikationen und Differenzialtherapie

Stabile knöcherne Verhältnisse sind unabdingbare Voraussetzung für eine erfolgreiche Weichteildeckung. Liegt eine Fraktur vor, muss sie stabilisiert werden, um die notwendige mechanische Stabilität zu erreichen und einen weiteren Weichteilschaden zu vermeiden.

Die Methode der Frakturbehandlung wird dabei bestimmt durch Ausmaß, Lokalisation sowie die beabsichtigte Therapie des Weichteil- und Knochenschadens. Luxationen und stärkere Dislokationen sollten so schnell wie möglich (bereits am Unfallort) beseitigt werden und instabile Frakturen provisorisch geschient werden, um den Weichteilschaden und die Durchblutungsstörungen zu begrenzen. Falls keine Frühoperationen erforderlich sind oder aktuell wegen des Allgemeinzustandes des Patienten nicht durchgeführt werden können, müssen alle konservativen Stabilisierungsmaßnahmen so durchgeführt werden, als handle es sich um die definitive Versorgung. Bei fehlender oder geringer Weichteilschädigung und einfachen Frakturformen ohne Kontinuitätsdefekt kann die definitive Versorgung am Unfalltag durchgeführt werden. Bei unklarer oder ausgedehnter Weichteilschädigung bei Frakturen und Kontinuitätsdefekten hat sich ein abgestuftes Verfahren der Osteosynthese bewährt. Am Unfalltag wird die Knochenverletzung mit einem Fixateur externe gestellt. Dieses Verfahren erlaubt eine angemessene Stabilität des Knochens und guten Zugang für die Diagnostik und Therapie eines mitbestehenden Weichteilschadens.

Zeitpunkt und Art der definitiven osteosynthetischen Versorgung sind hauptsächlich abhängig von:

1. Ausmaß der Weichteilschädigung nach Demarkation,
2. Ausmaß des Knochenschadens,
3. Infektsituation und
4. der Defektlokalisation (Stamm versus Extremitäten versus Kopf, untere Extremität versus obere Extremität).

Frakturen

Prinzipiell steht der Benefit der geringeren Immobilisation und damit der Verhinderung der Einsteifung der Hand gegen das Operationsrisiko. Bei der Auswahl des für den individuellen Patienten optimalen Therapieverfahrens – konservativ versus operativ – müssen defektbedingte, therapiebedingte und patientenbedingte Kriterien berücksichtigt werden.

Gute Indikationen für eine konservative Therapie sind stabile und wenig dislozierte Frakturen.

Als klare Indikationen zur Osteosynthese gelten:

1. alle Frakturen, die erfahrungsgemäß auf konservativem Wege nicht knöchern ausheilen können, wie z. B. metakarpale V-Basis-Fraktur, oder Bennet-Fraktur;
2. dislozierte Gelenkfrakturen, die sich nicht geschlossen reponieren lassen; die exakte anatomische Gelenkrekonstruktion ist als Prävention einer vorzeitigen posttraumatischen Arthrose anzustreben;
3. Schaftfrakturen, die durch Osteosynthese rascher und sicherer heilen;
4. offene Frakturen;
5. geschlossene Frakturen, die durch Gefäß- oder Nervenschädigungen oder ein Kompartmentsyndrom kompliziert sind;
6. Kettenfrakturen und gewisse Frakturen beim Polytraumatisierten;
7. bestimmte Frakturen im Kindesalter;
8. pathologische Frakturen.

Knochentransplantate

Eine optimale Knochendefektdeckung kann nur erzielt werden, wenn der »optimale Rekonstruktionszeitpunkt« (»Konzept der Einzeitigkeit« vs. »Konzept der Mehrzeitigkeit«) und das »optimale Rekonstruktionsverfahren« (Spongiosaplastik vs. vaskularisierter Knochentransfer vs. Kallusdistraction, aber auch Amputation) gewählt werden. Die Knochenrekonstruktion darf nicht vor der Sanierung eines mitbestehenden Weichteildefektes erfolgen. Die heute am meisten eingesetzten Verfahren zur Rekonstruktion von Knochendefekten mit autologem Material sind die Spongiosaplastik, der vaskularisierte Knochentransfer in Form des vaskularisierten Beckenkamm- und Fibulatransfers und die Kallusdistraction. Es ist wichtig diese Verfahren nicht als konkurrierende, sondern als sich ergänzende Techniken zu verstehen. Welches der drei genannten Ver-

1.1 · Allgemeines

fahren zur Rekonstruktion eines Knochendefektes herangezogen wird, ist abhängig von:

1. Ursache des Knochendefektes (Trauma/Tumor/Osteomyelitis),
2. Defektgröße,
3. Defektlokalisation (Metaphyse/Diaphyse) und
4. Defekttyp (partiell, segmental).

Darüber hinaus beeinflusst die Erfahrung des behandelnden Chirurgen die Verfahrenswahl entscheidend.

➤ **Die Durchsicht der Literatur zeigt, dass an der oberen Extremität in den meisten Fällen der nicht vaskularisierte Knochentransfer (Spongiosaplastik, kortikospongiöser Span) in Verbindung mit einer technisch gut durchgeführten Osteosynthese zum Erfolg führt.**

Indikationen für den vaskularisierten Knochentransfer bestehen bei:

1. Knochendefekten nach Trauma und Osteomyelitis >4 cm,
2. Knochendefekten nach Tumorresektion mit anschließender Bestrahlung oder Chemotherapie,
3. Knochendefekte <4 cm bei gleichzeitig bestehendem ersatzschwachem Lager,
4. gleichzeitig bestehender Gefäßdefekt und
5. gleichzeitigiger Radius und Ulnaknochendefekt.

Da innere Distractionssysteme noch nicht routinemäßig eingesetzt werden können, führt eine Kallusdistraction an der oberen Extremität mit äußeren Systemen zu einer größeren Beeinträchtigung des Patienten im täglichen Leben. Darüber hinaus gestaltet sich eine krankengymnastische Übungsbehandlung zur Prophylaxe der Einsteifung angrenzender Gelenke – vor allem des Schultergelenks – schwieriger. Die Kallusdistraction sollte deshalb derzeit im Bereich der langen Röhrenknochen der oberen Extremität nur dann angewendet werden, wenn Kontraindikationen für den mikrovaskulären Knochentransfer bestehen. Für diaphysäre Defekte wird das vaskularisierte Fibulatransplantat eingesetzt, da die langen Röhrenknochen der oberen Extremität einen annähernd gleichen Durchmesser zeigen. Mithilfe der modernen Osteosyntheseverfahren ist es möglich, ein vaskularisiertes Fibulatransplantat nach den Richtlinien einer Etagenfraktur übungstabil zu integrieren. Die weitere Therapie erfolgt nach den Richtlinien der Frakturbehandlung. Darüber hinaus lassen sich gleichzeitig bestehende Knochensubstanzdefekte von Radius und Ulna sowie ein segmentaler Gefäßdefekt während der gleichen Operation rekonstruieren. Das vaskularisierte Beckenkammtransplantat sollte eingesetzt werden bei metaphysären Knochendefekten unter 10 cm. Vor allem bei Arthrodesen nach Defektbrüchen mit Gelenkbeteili-

gung zeigt der kortikospongiöse Beckenkamm eine schnellere und stärkere Knochenbildung als die kortikale Fibula.

Bei der Therapie von avaskulären Knochennekrosen mit vaskularisierten Knochentransplantaten zeigt sich, dass bei Therapiebeginn in frühen Stadien, d. h. die subchondrale Knochenlamelle ist noch intakt, die Gelenkfunktion zumindest temporär funktionell erhalten werden kann. Vor allem bei kortisoninduzierten Nekrosen scheint der vaskularisierte Knochentransfer im Gegensatz zu anderen Therapiemethoden den raschen devastären Verlauf am wirkungsvollsten verhindern oder jahrelang hinauszögern zu können. Bei Stadien mit bereits strukturellen Gelenkveränderungen kann das Fortschreiten der Gelenkzerstörung nicht mehr aufgehalten werden. Eine Osteotomie, Gelenkversteifung oder die Implantation einer Prothese sind unausweichlich. Zur Beurteilung der Knorpelverhältnisse hat sich die Arthroskopie im Handgelenkbereich bewährt (► Übersicht). Derzeit werden Neovaskularisierungsoperationen meist erst nach Versagen aller anderen Techniken eingesetzt. Ein frühzeitigerer Einsatz könnte hier noch zu einer zusätzlichen Ergebnisverbesserung hinsichtlich der Gelenkerhaltung führen.

Aktuelle Indikationen für den (freien mikrovaskulären) Knochentransfer im Bereich der oberen Extremität

— Aktuelle Indikationen

1. Knochendefekte >4 cm nach Trauma und Osteomyelitis
2. Knochendefekte nach Tumorresektion mit anschließender Bestrahlung oder Chemotherapie
3. Knochendefekte <4 cm bei gleichzeitig bestehendem ersatzschwachem Lager
4. gleichzeitig bestehender Gefäßdefekt
5. gleichzeitiger Radius- und Ulnaknochendefekt
6. Skaphoidpseudarthrose :
 - länger bestehende Pseudarthrose
 - schlechte Durchblutungsverhältnisse
 - letzte Therapiemöglichkeit vor Teilarthrodese
7. Revaskularisation des Os lunatum Stadium II und III

— Aktuelle Kontraindikationen

1. ausgeprägte Gefäßveränderungen im Spender- oder Empfängergebiet
2. systemische Gerinnungserkrankungen
3. fehlende oder eingeschränkte Operabilität des Patienten
4. Diabetes mellitus mit ausgeprägten makroangiopathischen Veränderungen (nicht mehr mikroangiopathische Veränderungen)
5. Alter

Sowohl der frei vaskularisierte als auch der gestielte Knochentransfer zur Therapie einer Skaphoidpseudarthrose bleibt derzeit eine Ausnahmeindikation. Die Autoren weisen ausdrücklich darauf hin, dass diese aufwendige Technik nur in ausgewählten Fällen, bei sehr schlechten Durchblutungsverhältnissen bzw. kleinen Polfragmenten und länger bestehender Pseudarthrose anzuwenden sei. Der vaskularisierte Knochentransfer soll die knöcherne Konsolidierung beschleunigen oder überhaupt erst ermöglichen. Diese Methode kann weder eine bereits bestehende Arthrose des Handgelenks noch eine manifeste Dekompensation des Karpus rückbilden. Sie sollte aber vor allem bei jungen Patienten vor Durchführung einer Teilarthrodese im Karpusbereich oder der kompletten Handgelenkarthrodese bedacht werden.

Der gestielte Transfer des Os pisiforme ist indiziert bei Lunatummalazie im Stadium II und III nach Decoulx. Im Stadium II ist definitionsgemäß die Schale des Os pisiforme noch intakt. Durch Ausfräßen des nekrotischen Knochens und Zurechtformen des Os pisiforme kann ein vaskularisierter Knochenblock in die Lunatumschale eingebracht werden. Dies hat den Vorteil, dass die intrinsischen Bänder (skapholunär und lunotriquetral) und somit die Architektur der proximalen Karpalreihe intakt bleiben. Dissoziative karpale Instabilitäten sind selten. Bei vielen Patienten im Stadium III besteht zwar ein Höhenverlust des Os lunatum, die lateralen Verankerungen zu Skaphoid und Triquetrum sind aber noch weitgehend intakt. Hier kann wie im Fall des Stadiums II vorgegangen werden. Bei Frakturierung der Lunatumschale und/oder ausgeprägten arthrotischen Veränderungen der Gelenkflächen (Stadium III und IV) bleibt nur deren Resektion. Eine Transposition des gesamten Os pisiforme führen wir wegen der beträchtlichen sekundären Luxationsrate und der Neigung zum sekundären karpalen Kollaps nur selten durch. Die STT-Arthrodese oder neuerdings die Kallusdistraktion des Os capitatum haben sich in dieser Situation bewährt.

Als allgemeine Kontraindikationen für den vaskularisierten (vor allem freien mikrovaskulären) Knochentransfer gelten

1. ausgeprägte Gefäßveränderungen im Spender- und Empfängergebiet,
2. systemische Gerinnungserkrankungen und
3. fehlende Operabilität des Patienten.

Aufgrund klinischer Studien, die zeigen konnten, dass Patienten über 65 Jahre kein signifikant erhöhtes transplantatspezifisches Risiko haben, stellt diese Gruppe keine strikte Kontraindikation für den mikrovaskulären Knochentransfer mehr dar. Auch Patienten mit Diabetes mellitus, bei denen hauptsächlich nur mikroangiopathische Veränderungen vorliegen, können ohne erhöhte Lappen-

verlustate mikrochirurgischen Eingriffen zugeführt werden (s. oben ► Übersicht).

1.1.7 Therapie

- Sowohl für die konservative als auch für die operative Therapie der Frakturen gelten folgende identische Grundregeln: »Re-«**position**, »Re-«**tention** und »Re-«**habilitation**.

Die Umsetzung dieser Prinzipien erfolgt mit unterschiedlichen Mitteln. Während bei der operativen Osteosynthese die Reposition in der Regel offen oder zumindest minimalinvasiv und nach Möglichkeit mittels indirekter Technik erzielt wird, stützt sich die konservative Behandlung auf gedeckte Techniken durch Einrichtung eines Knochenbruchbehandlungsprinzips von Zug und Gegenzug mit oder ohne lokale Repositionsmanöver.

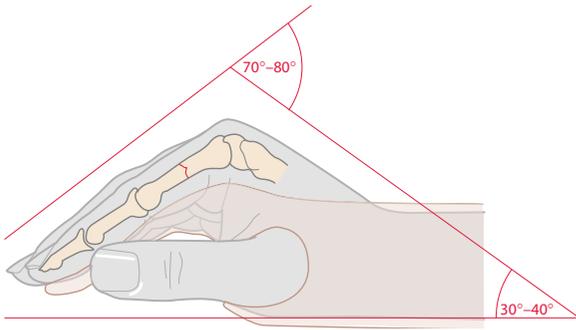
Die Retention wird bei den konservativen Maßnahmen sichergestellt durch funktionelle oder immobilisierende Verbände in Intrinsic-plus-Stellung in einer modernen Schienenanlage oder Orthese. Mit diesen Hilfsmitteln wird sich nach Möglichkeit eine sofortige oder eine allmählich sich steigernde Übungstherapie anschließen. Bei dem operativen Verfahren wird die Retention nach offener oder geschlossener Reposition durch Schrauben-, Platten- oder nach Möglichkeit durch intramedulläre Kirschner-Drahtosteosynthese erreicht. Zur Anwendung kommt auch der Mini-Fixateur-externe. Ziel ist die übungsstabile Osteosynthese. Ist die Osteosynthese stabil, was immer angestrebt werden soll, so wird sofort postoperativ mit der Übungstherapie begonnen, falls keine Bandrekonstruktionen durchgeführt worden sind.

Daran anschließend erfolgt die begleitende Rehabilitation, die ebenso kontrolliert und begleitet werden muss.

Bei der konservativen Frakturbehandlung bedarf es wegen der möglichen Komplikationen, wie evtl. Achsen- und Rotationsfehlstellung in der Anfangsphase, einer intensiven und sorgfältigen Überwachung.

Konservative Therapie

Frakturen der Phalangen stellen zahlenmäßig den größten Anteil der Frakturen des menschlichen Skeletts dar. Da diese Verletzungen weder spektakulär noch lebensbedrohlich sind, erhalten sie trotz ihrer Häufigkeit und ihrer z. T. schwerwiegenden funktionellen Auswirkung auf die Handfunktion nicht immer die gebührende Aufmerksamkeit, die ihnen zukommen sollte. Die korrekte konservative Behandlung stellt eine ebenso große Kunst dar wie die korrekt durchgeführte Osteosynthese. Sie ist jedoch häufig unbequem, aufwendig, langwieriger und bedarf einer sorgfältigen, ständigen Nachkontrolle, um damit ein gutes Behandlungsergebnis zu erzielen. Der überwiegende An-



■ **Abb. 1.8** Intrinsic-plus-Stellung der Hand bei Ruhigstellung

teil von Frakturen an der Hand wird konservativ behandelt. Nur bei einem geringen Anteil der Phalangenfrakturen besteht eine sichere Indikation zur Operation. Für die konservative Therapie sind geschlossene, gering verschobene und stabile Frakturen ohne Gelenkbeteiligung geeignet. In Leitungsanästhesie wird die Fraktur durch Längszug reponiert, wobei die Fingerspitze des Chirurgen als Hypomochlion benutzt wird. Das distale Fragment wird bei einem dorsal offenen Winkel durch einen palmaren Druck reponiert. Die Retention erfolgt bei stabilen Frakturen auf einer palmaren Fingergipsschiene in Intrinsic-plus-Stellung. Die End- und Mittelgelenke der Finger werden dabei in Streckstellung, die Grundgelenke gleichzeitig in einer Beugestellung von 70–80° und das Handgelenk in Extension von 20–30° immobilisiert (■ Abb. 1.8). Diese Haltung erleichtert den venösen Abfluss und minimiert das Risiko der Gelenkeinstellung. In dieser Stellung sind die Kollateralbänder der Grundgelenke gestrafft, sodass eine Schrumpfung und dadurch bedingt eine Beugekontraktur minimiert wird. Bei der Ruhigstellung der Grundgelenke in Streckstellung kontrahieren sich die Kollateralbänder und können so zu einer dauernden Bewegungseinschränkung führen. In der Akutsituation darf kein zirkulärer Gips angelegt werden. Es empfiehlt sich eine palmare Gipsschiene oder ein bis auf die letzte Faser gespaltener zirkulärer Gips. Mit Ausnahme der funktionellen Behandlung nach Kleinert sind dorsale Gipsschienen kontraindiziert, da die Intrinsic-plus-Position nur sehr schwer erreicht und gehalten werden kann.

Durch klinische und radiologische Kontrollen sollte eine sekundäre Dislokation der Fraktur nicht übersehen werden. Sollte es jedoch im weiteren Verlauf zu einer sekundären Dislokation kommen, besteht innerhalb der ersten 10 Tage die Möglichkeit, die Fraktur erneut zu reponieren und retinieren oder das Therapiekonzept zu ändern und sich für ein operatives Verfahren zu entscheiden.

Grundsätzlich bedeutet die konservative Behandlung nicht immer eine reine statische Gipsruhigstellung, sondern sie ist bei stabilen Frakturen mit frühfunktionellen Bewegungsübungen kombinierbar. So können z. B. die

Fingergelenke aus der Schiene heraus unter krankengymnastischer Anleitung geführt mobilisiert werden. Eine weitere Alternative ist die Mitnehmerschleife oder Solidaritätsschiene. Hierbei wird der frakturierte Finger am Nachbarfinger mit einer Klettschleife befestigt. Diese temporäre Syndaktyliestellung wirkt wie eine dynamische Orthese. 3 Wochen reichen aus, bis es im Frakturbereich zu einer Konsolidierung gekommen ist. Nach 3 weiteren Wochen ist bei Handarbeitern die volle Belastungsfähigkeit erreicht.

Nach primärer Schienenruhigstellung am Unfalltag werden zu einem späteren Zeitpunkt bevorzugt thermoplastische Materialien oder Kunststoffschienen verwendet, welche sich an die individuelle Anatomie besser anpassen und einen erheblichen Tragekomfort darstellen.

Bei stabilen Frakturen sollte eine frühzeitige Mobilisation unter krankengymnastischer Anleitung erfolgen, um der Ödembildung und Gelenkeinstellungen entgegenzuwirken. In der Regel reichen 3 Wochen aus, bis stabile Frakturen konsolidieren und danach die Ruhigstellung aufgegeben werden kann. Die strikte Immobilisation ist verantwortlich für den größten Teil der Einstellungen. Die aktive globale Funktion wird zu 80% wiedererlangt, wenn die Immobilisation weniger als 4 Wochen beträgt.

Operative Therapie Frakturen

Ziel der Osteosynthese ist die Wiederherstellung der exakten anatomischen Form durch präzise Reposition der Fragmente. Sie ist die biomechanische Voraussetzung für die Wiederherstellung der Funktion. Bei der Übertragung der Grundregeln für die Anwendung von Osteosyntheseverfahren auf das Handskelett sind folgende Besonderheiten zu berücksichtigen.

Die Finger sind fast frei von einem das Skelett umschließenden Muskelmantel. Eine dehnungsfähige subkutane Hautschicht fehlt. Das Fingerskelett wird von einem handschuhförmig anliegenden Sehnsystem umhüllt, dessen Gleitfunktion bei jeder operativen Freilegung in Mitleidenschaft gezogen wird. Die Kleinheit der Fragmente und der Knochen stellt höchste Ansprüche an die Operationstechnik und das Osteosynthesematerial. Die biomechanisch orientierte Osteosynthese zielt somit nicht wie an den großen Röhrenknochen auf die Entlastung des Skeletts ab, sondern strebt eine möglichst physiologische Beanspruchung des Knochens an. Anstelle der postoperativen Ruhigstellung tritt die unmittelbare Wiederaufnahme der Funktion. Die stabile Osteosynthese stellt dem möglicherweise großen Operationstrauma den Vorteil der frühzeitigen funktionellen Wiederherstellung der schmerzfreien Funktion gegenüber und darf mit Nachteilen der konservativen Therapie nicht behaftet werden.

Die Voraussetzungen für die erfolgreiche Osteosynthese an der Hand sind

- die Beherrschung der funktionellen Anatomie,
- die einwandfreie Kenntnis und Handhabung des Instrumentariums sowie
- die atraumatische Behandlung der Weichteile.

Handchirurgische Grundprinzipien, wie das Operieren in Blutleere und die Verwendung einer Lupe, sollten dabei unbedingt beachtet werden. Ebenso sind moderne streustrahlungsarme Röntgengeräte unabdingbare Voraussetzung. Sie sollten die Funktion einer Bildvergrößerung besitzen. Bei korrekter Indikationsstellung und einwandfreier Technik ist die übungsstabile Osteosynthese den konservativen Behandlungsverfahren überlegen. Sie ist Voraussetzung für den Therapieerfolg beim Vorliegen von Begleitverletzungen wie Schädigung des Hautweichteilmantels, der Sehnen, der Gefäße und Nerven.

Abhängig von der Komplexität des Verletzungsmusters ist ein Osteosyntheseverfahren zu wählen, das eine zusätzliche Freilegung und Devitalisierung des Knochens vermeidet. Hier kommt dann z. B. eine perkutane Bohrdrähteosteosynthese oder die Anlage eines Fixateur externe in Betracht. Wann immer möglich, muss sich der Osteosynthese eine frühfunktionelle Nachbehandlung anschließen, um der Gefahr von Verwachsung, vor allem der Strecksehne, mit nachfolgender Blockierung der Gleitfähigkeit entgegenzuwirken.

■ Implantate und modulare Kleinfragmentsysteme

Von der AO wurden 1959 erste Schrauben für kleine Röhrenknochen entwickelt. 1964 wurde das Kleinfragmentinstrumentarium eingeführt und in der Folgezeit wurden Ergänzungen an Implantaten und Instrumenten vorgenommen. Heute stehen von verschiedenen Herstellern spezielle Handsets zur Verfügung, die speziell für die peripheren Knochen entwickelt wurden. Die modularen Systeme enthalten die Implantate und die dazugehörigen Instrumente. Sie sind meist farblich kodiert, passend übersichtlich in einer sterilisierbaren Implantatkassette geordnet und erleichtern so die Handhabung.

Die Platten und Schrauben der Implantatsysteme sind aus **Reintitan** hergestellt. Dieses Material ist außerordentlich gewebeverträglich und korrosionsbeständig. Es zeigt beim Verformen keine Instabilität. Bei Reintitan sind bis heute keine allergischen Gewebereaktionen bekannt. Die bessere Verformbarkeit des Titans im Vergleich zu herkömmlichen Implantaten und Kobalt-Chrom-Legierungen lässt es zu, die Platten besser der Knochenkontur anzupassen.

Die Schraubendimensionen bewegen sich **zwischen 1,0 und 2,4 mm**. Sie sind **selbstschneidend** und erleich-

tern so das Einbringen. Der Schraubenkopf besitzt ein niedriges Profil und reduziert dadurch die Weichteilirritation. Die Gewindegestaltung bietet optimalen Halt im Knochen. Die Schraubenlängen sind in Millimeterschritten abgestuft erhältlich. Vor allem bei langen Querfrakturen im Schaftbereich sollte die Möglichkeit einer Zugschraubenosteosynthese im Sinne einer übungsstabilen Minimalosteosynthese bedacht werden. Die nichtkanülierten **Doppelgewindeschrauben (Stärke 1,3)** werden für intraartikuläre Frakturen im Bereich der Gelenke an der Mittelhand und den Phalangen erfolgreich eingesetzt. Die so hergestellte Schraube, die nun auch auf dem Markt zu erhalten ist, eignet sich für intraartikuläre Frakturen, wobei die Schrauben, die aus Titan hergestellt worden sind, in situ belassen werden können.

Die Plattenformen sind vielfältig, z. T. vorgebogen und lassen das individuelle Anmodellieren an den Knochen zu. Der Schraubenkopf passt präzise in das Plattenloch und überragt das Plattenprofil nicht. Die Profilstärke variiert von 0,55–1,3 mm und ist daher für eine Vielzahl von verschiedenen Einsatzmöglichkeiten geeignet. Die Interferenz der grazilen Plattenform mit den ligamentären Strukturen ist so minimiert.

Derzeit werden **winkelstabile Platten** und Schrauben angeboten, die auch im Bereich der Handosteosynthesen ihre Anwendung finden, sowohl für den Bereich der Mittelhandknochen als auch für die Phalangen.

■ Kirschner-Draht-Osteosynthese

Für die Bohrdrähteosteosynthese im Fingerbereich stehen Bohrdrähte der Stärke 0,6–1,25 mm zur Verfügung. Dabei gibt es Ausführungen mit einer Dreikantspitze oder Doppelspitzen. Wahlweise sind diese Drähte aus Stahl- oder Titanlegierungen erhältlich. In Kombination mit einem Cerclagedraht der Stärke 0,4–0,6 kann mit einfachen Mitteln eine übungsstabile Osteosynthese, die sog. »Lister-Montage«, erreicht werden.

■ Intramedulläre Fixation

Vor allem im Mittelhandbereich können Kirschner-Drähte, intramedullär platziert, einen gewissen Stabilisierungseffekt haben. Diese Osteosyntheseform zielt in erster Linie darauf ab, das Repositionsergebnis zu halten, sie ist selten übungsstabil.

■ Fixateur externe

Eine wichtige Ergänzung bilden die speziellen Fixateur-externe-Systeme, die auch zur Stabilisierung von Mehrfragment- und Defektfrakturen an den Fingern eingesetzt werden und bei Frakturen mit schwerem Weichteilschaden oder Infektionen die immobilisierenden Gipschienen ersetzt haben. Die intraartikulären Frakturen im Bereich des Mittelgelenks können mithilfe eines dynamischen

Fixateur externe erfolgreich behandelt werden. Bei der Wiederherstellung der Greiffunktion und der Knochendefektbehandlung sollte auch an die Möglichkeit der Extremitätenverlängerung nach Ilizarow/Matev bzw. eines Segmenttransportes mit speziellen Distraktoren gedacht werden.

Knochen transplantate

Klassische Spendergebiete für nicht vaskularisierte Knochen transplantate für Defekte im Bereich der oberen Extremität sind der distale Radius mit altersabhängiger Knochenqualität und der vordere Beckenkamm als das biologisch optimale Entnahmegebiet (► Abschn. 1.2.1). Das distale Radiusende liegt oft nahe dem Operationsgebiet und bedarf keines zusätzlichen Hautschnitts. Das mögliche Entnahmegebiet ist jedoch begrenzt, die Spongiosa weitmaschig und mit Fett durchsetzt, sodass die Stabilität und die osteogene Potenz – vor allem bei älteren Patienten – zu wünschen übrig lässt. Nach ausgedehnter Spongiosaentnahme besteht auch noch lange nach der Operation ein erhöhtes Frakturrisiko. Der vordere Beckenkammspan stellt das Hauptentnahmegebiet für eine Spongiosaplastik im Bereich der oberen Extremität dar. Seltener Entnahmestellen sind das Capitulum humeri radiale, das Olecranon, der Tibiakopf und die distale Tibiametaphyse.

Zahlreiche frei vaskularisierte und muskel- und/oder gefäßgestielte Knochen transplantate wurden in der Literatur beschrieben. Im Folgenden wird nur eine Auswahl der derzeit am häufigsten eingesetzten Spendergebiete für vaskularisierte Knochen transplantate im Bereich der oberen Extremität dargestellt. In Abhängigkeit von der Größe des zu hebenden vaskularisierten Knochen transplantates, kann man unterscheiden in »kleine vaskularisierte Knochen transplantate« und »große vaskularisierte Knochen transplantate« (► Übersicht).

Spendergebiete für vaskularisierte Knochen transplantate

— Kleine vaskularisierte Knochen transplantate

- Scapula (lateralen Rand und Scapulaspitze)
- Distaler Humerus
- Radiusdiaphyse
- Radiusmetaphyse (► Abschn. 1.2.2)
- Metakarpale II
- Os pisiforme
- Distaler medialer Femur

— Große vaskularisierte Knochen transplantate

- Vorderer Beckenkamm
- Fibuladiaphyse (► Abschn. 1.2.3)

Die sog. »kleinen vaskularisierten Kochentransplantate« umfassen: die Skapula, den distalen Humerus, und die die Radiusdiaphyse. Da es sich um relativ kurze Knochen transplantate handelt, eignen sie sich vor allem zur Rekonstruktion von knöchernen Defekten an Finger- und Mittelhandstrahlen im Rahmen komplexer Verletzungen. Oft werden die kleinen vaskularisierten Knochen transplantate im Rahmen eines zusammengesetzten mikrovaskulären Transplantates mit knöchernem Anteil (»composite flap«) gehoben, wobei die Weichteilkomponente die Wahl des Spendergebietes bestimmt. Für die Rekonstruktion von kleinen Knochen defekten und vor allem für Neovaskularisierungsoperationen sind im Handgelenkbereich zahlreiche muskel- und gefäßgestielte Knochen transplantate beschrieben worden. Neben dem distalen Radius (► Abschn. 1.2.2, ► Abschn. 1.2.3, ► Abschn. 1.2.6) und dem Os metacarpale II wurde das Os pisiforme (► Abschn. 1.2.4, ► Abschn. 1.2.5) als Spendergebiet beschrieben. Als Spenderstelle für freie hauptsächlich spongiöse vaskularisierte Knochen transplantate hat sich der distale mediale Femur (► Abschn. 1.2.8) bewährt. Für die Rekonstruktion von größeren Knochen defekten sind die »großen vaskularisierten Knochen transplantate« notwendig. Bewährt haben sich das vaskularisierte vordere Beckenkammtransplantat (► Abschn. 1.2.7) und das vaskularisierte Fibulatransplantat (► Abschn. 1.2.9).

1.1.8 Besonderheiten im Wachstumsalter

Für die Therapie von Frakturen und Knochen defekten im Kindesalter sind folgende Besonderheiten zu beachten: Durch das dickere Periost bei Kindern treten sog. Wulstbrüche – Frakturen mit noch intaktem Periostschlauch – auf. Aufgrund der hohen osteogenen Aktivität im Bereich der Kambiumschicht heilen diese Frakturen sehr schnell, nach 2–4 Wochen, unter konservativer Therapie aus: Die noch nicht verschlossene Epiphyse erfordert spezielle Osteosyntheseverfahren im Wachstumsalter. Bei der Epiphysenfraktur muss eine sog. wasserdichte Versorgung der Epiphyse erfolgen. Hier sollen durchaus Schraubenosteosynthesen eingesetzt werden, wobei allerdings die Schraube die Epiphysenfuge nicht tangieren darf. Bei Epiphysenlyse mit oder ohne metaphyseren Keil (Aitken-Frakturen) werden überwiegend Kirschner-Drähte angewandt, um keine Kompression auf der Epiphyse und dadurch einen vorzeitigen Verschluss zu verursachen. Auch an die Hitzeentwicklung und Gewebsschäden beim Bohren des Drahtes muss gedacht werden.

Die Häufigkeit der einzelnen Frakturtypen entsprechend des Alters ist in ■ Tab. 1.3 zusammengestellt.

■ **Tab. 1.3** Häufigkeit entsprechend des Alters für die einzelnen Frakturtypen nach Weinberg

Frakturtyp	Alter
Hand (am häufigsten Quetschverletzungen der Endphalanx und SH II der Grundphalanx)	Peak 1: Kleinkind Peak 2: 13 Jahre Mit deutlichem Anstieg nach dem 8. Lebensjahr
Karpus	Selten
Skaphoid	15 Jahre
Triquetrum	11–13 Jahre
Hamatum	Kurz vor der Skelettreife
Distaler Radius – Epiphysenlösung	Mädchen: 11–12 Jahre Jungen: 13–14 Jahre
Distale Ulna – Epiphysenlösung	11 Jahre
Distale Stauchungsfrakturen	3–6 Jahre
Unterarmschaft 5% proximal 20% Schaft 75% distal	Mädchen: 5–6 Jahre Jungen: Peak 1: 9 Jahre Peak 2: 14 Jahre
Proximaler Radius/Ulna	4–14 Jahre
Galeazzi-Fraktur	9–14 Jahre
Monteggia-Fraktur	5–9 Jahre

1.2 Spezielle Techniken

1.2.1 Technik der osteoplastischen Entnahme von spongiösem Knochen oder eines kortikospongiösen Spans vom vorderen Beckenkamm

Die Knochenentnahme erfolgt aus dem vorderen Beckenkamm und für gewöhnlich der kontralateralen Seite und wird in Vollnarkose und Rückenlage durchgeführt, wobei zur besseren Exposition ein Kissen untergeschoben wird. Ist ein zweites Operationsteam verfügbar, so kann eine Entnahme gleichzeitig von der kontralateralen Seite erfolgen. Zur Verkürzung der Operationsdauer kann das Knochentransplantat parallel zum eigentlichen Eingriff von einem zweiten Operationsteam gehoben werden.

Der Hautschnitt ist etwa 5 cm lang, verläuft parallel zum Beckenkamm und ist auf dessen mittleres Drittel zu zentrieren (■ Abb. 1.9). Wird der Schnitt zu weit ventral geführt, so kann der N. cutaneus femoris lateralis verletzt werden. Unter Schonung des N. iliohypogastricus wird das subkutane Fettgewebe scharf durchtrennt und der Beckenkamm nach subtiler Blutstillung dargestellt. Für die Ent-

nahme von rein spongiösem Knochen wird das Periost an der äußeren Kortikaliskante inzidiert, unter Verwendung eines Meißels ein etwa 3 cm langer Kortikalisdeckel gehoben und zusammen mit dem Periost nach medial geklappt (■ Abb. 1.9).

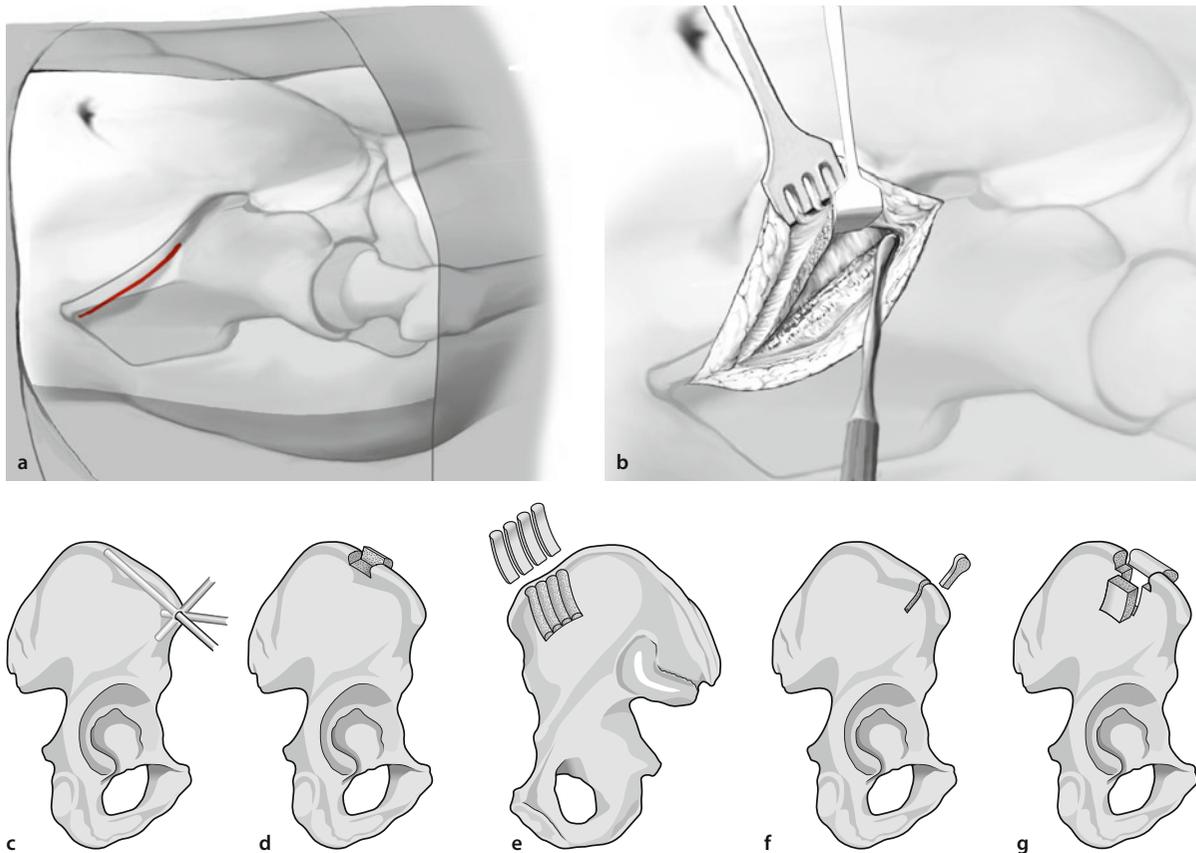
Ist nur spongiöser Knochen notwendig, kann dieser nun mit einem scharfen Löffel zwischen beiden Kortikalislamellen entnommen werden (■ Abb. 1.9).

Soll ein kleiner kortikospongiöser Span (z. B. zur Therapie einer Skaphoidpseudarthrose) entnommen werden, wird mit einem scharfen Meißel ein überdimensionierter Span aus dem Oberrand der Crista iliaca gehoben. Die laterale Kortikalis sollte, wenn möglich, geschont werden. Ist ein großer kortikospongiöser Span notwendig, wird dieser mit der oszillierenden Säge oder dem Meißel gewonnen (■ Abb. 1.9).

Durch Komprimierung der Spongiosa und Einlage eines Kollagenvlieses kann die Blutungsneigung wirkungsvoll reduziert werden. Der Kortikalisdeckel wird nun zurückgeklappt und nach Einlage einer Redon-Drainage erfolgt der schichtweise Wundverschluss (■ Abb. 1.9). Postoperativ empfiehlt sich für mindestens einen Tag Bettruhe. Die Mobilisierung sollte erfolgen, sobald es die Schmerzen im Entnahmebereich erlauben.

1.2.2 Technik der Entnahme des dorsoradialen gestielten vaskularisierten Knochenspans (A.-innominata-Lappenplastik nach Zaidenberg)

Die Operation erfolgt in Rückenlage, Plexusanästhesie und Oberarmblutleere. Über einen dorsoradialen Zugang wird die A. radialis dargestellt und der Abgang der A. innominata präpariert. Die sensiblen Äste des R. superficialis des N. radialis müssen dabei geschont werden. Auf demselben Weg kann nach Eröffnung der Kapsel das Os scaphoideum aufgesucht und die Pseudarthrose ausgeräumt werden. Die Korrektur der Pseudarthrose kann über einen zusätzlichen palmaren Zugang noch effektiver erfolgen, außerdem wird dabei die Blutversorgung noch mehr geschont. Im Weiteren wird das 1. Strecksehnenfach eröffnet; die Sehnen des M. extensor pollicis brevis und des M. abductor pollicis longus werden nach palmar, die des M. extensor carpi radialis longus und des M. extensor digitorum nach ulnar retrahiert. Damit wird die A. innominata nun auf der dorsoradialen Seite des Radius sichtbar (■ Abb. 1.10b). Entsprechend der Größe des Skaphoiddefektes wird ein kortikospongiöses Knochentransponat auf dem periostalen Blutgefäß zentriert. Aus Stabilitätsgründen sollte ein Abstand von etwa 1 cm von der radiokarpalen Gelenkfläche eingehalten werden.



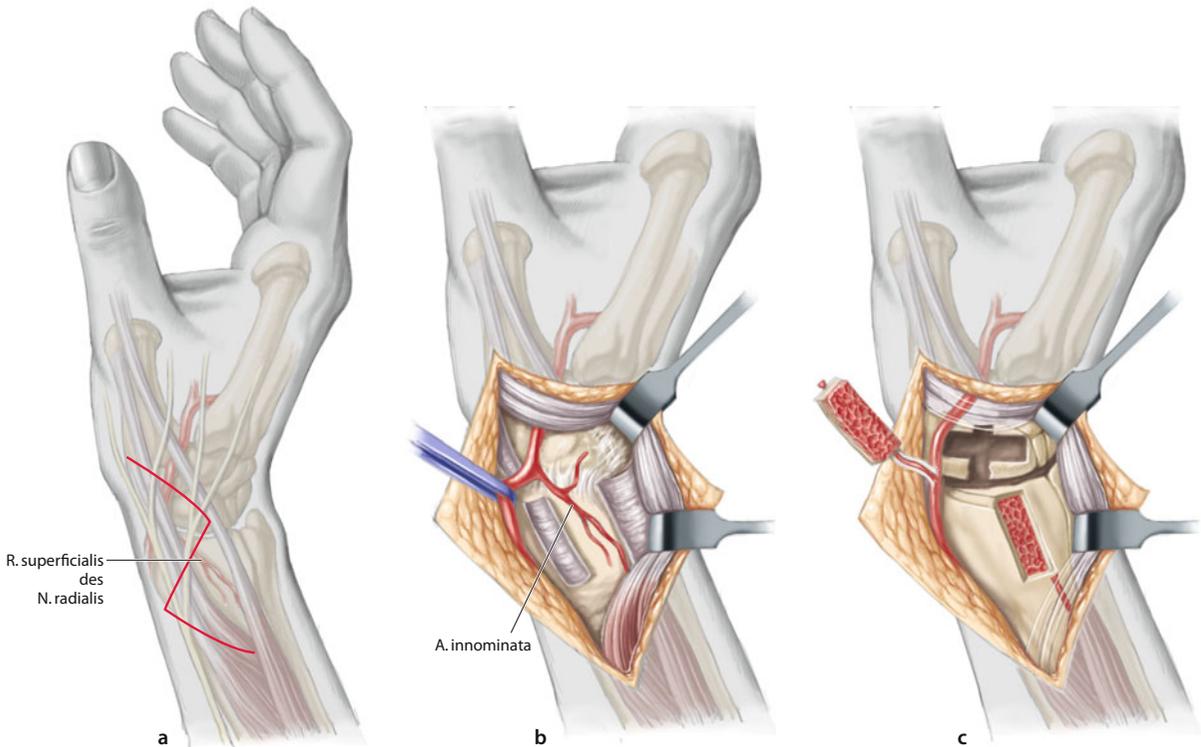
■ **Abb. 1.9** Entnahme von autologem spongiösem Knochen vom vorderen Beckenkamm. **a** Lagerung, Abdeckung und Hautschnitt, **b** Exposition des ventralen Beckenkamms, **c** Eingehen mit dem Sauger zur Gewinnung von spongiösem Knochen: Insbesondere in der Nähe der Crista iliaca ist der Raum zwischen lateraler und medialer Kortikalis relativ weit, sodass man tief in die Crista vordringen kann. **d** Heben eines Kortikalisdeckels mit medial belassenem »Periostscharnier« zur Entnahme von Spongiosachips, **e** Entnahme kortikospongiöser Späne von der Innenseite des Beckenkamms mit einem Hohlmeißel, **f** Entnahme eines schmalen trikortikalen Spans, **g** Entnahme eines großen bikortikalen Spans unter Belassung eines gestielten Beckenkammdeckels zur Defektüberbrückung

Nach Einritzen des Periosts mit dem Skalpell wird das Knochentransponat mit einem scharfen Meißel gehoben. Dabei darf es zu keiner Abscherung zwischen Periost und darunter liegendem Knochen kommen. Der Gefäßstiel verbleibt auf dem Periost und kann nun bis zur A. radialis präpariert werden. Gegebenenfalls kann ein von dem Blutgefäß versorgtes Hautareal zur Erleichterung der postoperativen Vitalitätsdiagnostik mitgehoben werden.

Der vaskularisierte Knochen span kann an seinem Schwenkpunkt in der Tabatière zum Os scaphoideum verlagert werden (■ Abb. 1.10c). Bei länger bestehender Pseudarthrose mit palmarem Substanzdefekt muss nach Korrektur einer möglichen DISI-Fehlstellung des Os lunatum mithilfe eines temporären radiokarpalen Kirschner-Drahtes ein entsprechend geformter kortikospongiöser Span eingebracht werden. Eine intraoperative Röntgenkontrolle zur Dokumentation der Skaphoidkorrektur und der Lage des Knochentransponates sollte generell durchgeführt werden.

Nach Eröffnung der Blutleere erfolgen die Kontrolle der Durchblutung und eine subtile Blutstillung. Das vaskularisierte Knochentransponat wird im Empfängergebiet mit Kirschner-Drähten oder einer Herbert-Schraube fixiert. Nach lockerem Kapselverschluss und Einlage einer Redon-Drainage ohne Sog erfolgt der Wundverschluss, wobei darauf geachtet werden muss, dass der Gefäßstiel nicht komprimiert wird.

Postoperativ ist eine Immobilisierung in einem gespaltenen Unterarmgips mit Daumeneinschluss für 6(–12) Wochen erforderlich. Anschließend muss eine krankengymnastische Behandlung zur Verbesserung von Beweglichkeit und Kraft begonnen werden. Eine Vitalitätskontrolle des vaskularisierten Knochentransponates kann entweder bis zum 5. postoperativen Tag durch eine Dreiphasen-Knochenszintigrafie oder nach 6–12 Wochen – im Falle des Einsatzes von nichtferromagnetischem Osteosynthesematerial – mithilfe der (Kontrast-) Kernspintomografie erfolgen.

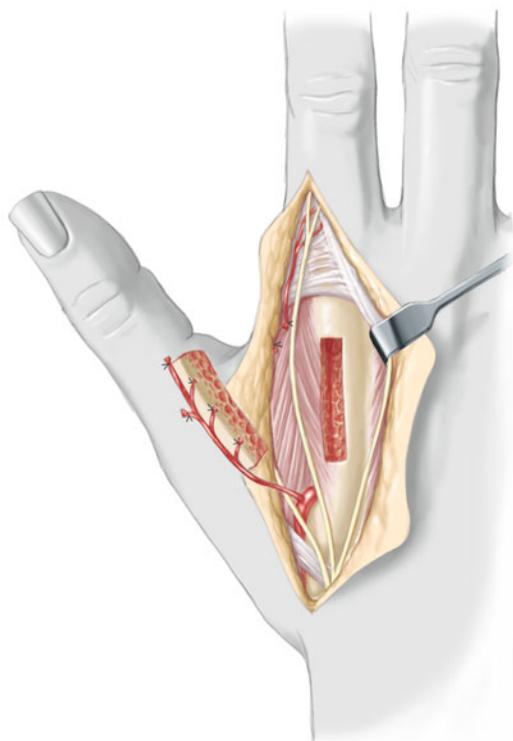


■ **Abb. 1.10** A. innominata-Lappenplastik nach Zaidenberg zur Therapie einer teilweise avaskulären Skaphoidpseudarthrose. **a** Anatomie und Lappenplanung, **b** Präparation der A. innominata unterhalb der radialen Strecksehnenfächer, **c** Zustand nach Lappenhebung und Einpassung in den Pseudarthrosenbereich

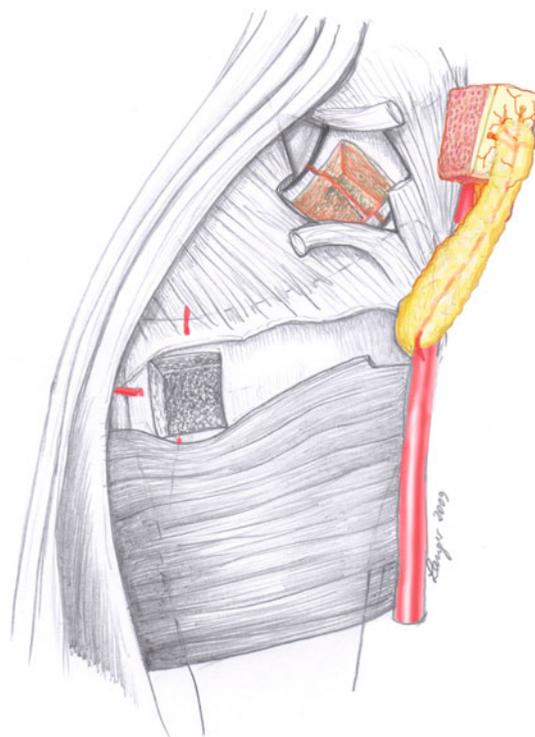
1.2.3 Technik der Entnahme des gestielten vaskularisierten Knochenspans vom Metakarpale II nach Brunelli

Nach Untersuchungen von Hoflehner et al. (1991) bzw. Pierer et al. (1992), die nur das am stärksten ausgeprägte Gefäß als versorgendes ansehen, wird das Os metacarpale II in 84,6% der Fälle von der radialen Seite her erreicht. Dieses Hauptgefäß entspringt entweder als **Radialis-Typ** direkt aus der A. radialis oder als **Metakarpal-Typ** aus dem Arcus palmaris profundus. Offenbar eignen sich beide Typen zur Transposition des Os metacarpale II, da selektive Injektionen des versorgenden Gefäßes trotz zahlreicher anatomischer Variationen in allen Fällen zu Anfärbungen des gesamten Knochens geführt haben. Ein bis zwei Vv. comitantes begleiten das versorgende Gefäß und sichern den venösen Abfluss des Transplantates. Die Operation erfolgt in Rückenlage, Plexusanästhesie und Oberarmblutleere. Das lokal gestielte Knochenransponat wird ähnlich der fasziokutanen Hautlappenplastik als **Cerf-volant-Lappenplastik** nach Foucher und Braun (1980) gehoben. Über einen doppel-S-förmigen Zugang auf der dorsalen Seite des Intermetakarpalraumes I wird die A. radialis in der Tabatière aufgesucht. Da in manchen Fällen der oberflächliche Stamm der A. metacarpalis dorsalis I fehlen kann,

wird ein breiter Stiel mit Faszie und subkutanem Fettgewebe, der beide Aa. metacarpales dorsales I und deren Anastomosen enthält, gehoben. Die Präparation des etwa 1,5 cm breiten Stieles geht vom Winkel der beiden ersten Ossa metacarpalia auf der radialen Seite des Os metacarpale II nach distal. Dabei darf der Übergang von Faszie und Periost nicht verletzt werden, da dieser die versorgenden Gefäße enthält. Die Eintrittsstelle der letzten Knochenäste des Gefäßes befindet sich im Bereich der proximalen Insertion des radialen Kollateralbandes. Da dieses zur Sicherung der Stabilität des MP-Gelenks erhalten bleiben muss, ergibt sich daraus die distale Begrenzung des Transplantates. Ohne Stabilitätsverlust kann maximal ein Drittel des Os metacarpale II gehoben werden. Dazu wird zuerst das kortikospongiose Transplantat mit der oszillierenden Säge und anschließend mit einem feinen Meißel freigelegt und die Präparation anschließend nach proximal bis zur Basis des Os metacarpale II fortgesetzt. Auch hier darf das Gelenk nicht verletzt werden (■ Abb. 1.11). Die Durchblutung des Transplantates wird nach Öffnen der Blutsperrung überprüft. Mit einem Gefäßstiel von etwa 5 cm Länge kann das Transplantat leicht in die radialen Handwurzelknochen verlagert werden. Der Stiel kann gegebenenfalls in der Technik des **Décroisement** unter den Strecksehnen des Daumens durchgezogen und dadurch verlängert werden.



▣ **Abb. 1.11** Technik der Entnahme des gestielten vaskularisierten Knochenspanns vom Metakarpale II nach Brunelli



▣ **Abb. 1.12** Palmarer vaskularisierter Knochenspan nach Kuhlmann/Mathoulin

1.2.4 Technik der Entnahme des gestielten vaskularisierten Knochenspanns vom 4./5. Extensor-Kompartiment nach Moran ▶ Abschn. 8.2.2

1.2.5 Technik des Os- pisiforme-Transfers nach Beck ▶ Abschn. 8.2.4

1.2.6 Technik der Entnahme des palmaren gestielten vaskularisierten Knochenspanns nach Kuhlmann/Mathoulin

Die Operation erfolgt in Oberarmblutleere mithilfe eines Vergrößerungsinstruments (Lupe) unter üblichem beugeseitigem Zugang am Rande der Flexor carpi radialis. Nach Darstellen der Flexor carpi radialis wird die A. radialis exakt präpariert. Von hier aus wird ein ca. 0,6 cm breiter Streifen perivaskulär präpariert, um entlang der Gefäße auf den beugeseitigen Radius zu gelangen. In leichter Beugung des Handgelenks können die Flexoren mit einem Haken leicht angehoben werden, um eine gute Sicht auf den beugeseitigen Radius zu ermöglichen. Hier wird nun nach Retraktion des M. pronator quadratus ein Streifen im Bereich des periostalen und kapsulären Gewebes geschnitten, der den Gefäßstiel des Spanns beinhaltet. Die weitere Prä-

paration erfolgt subperiostal unter Hebung des Gefäßes zusammen mit periostalem Streifen bis zum Knochenspan. Der Knochenspan wird in Höhe des distalen Radioulnargelenks mit einem Meißel an der ulnaren, distalen und proximalen Begrenzung geformt und abgegrenzt. Die radiale Spanseite muss unter dem Gefäßstiel mit dem Meißel begrenzt werden, sodass die leichte Wackelbewegung des kortikospongiosen Knochens mit reichlich Spongiosa aus der Tiefe gehoben werden kann. Dabei muss insbesondere auf den Erhalt der radiokarpalen und radioulnaren Gelenkfläche geachtet werden. Der kortikospongiose Knochen mit langem Stiel des Gefäßes kann dann mit leichter Drehung im Bereich des Skaphoids angepasst oder im Bereich des Os lunatum eingepresst werden. Der Gelenkverschluss soll ohne Einengung des Gefäßstieles erfolgen. Postoperativ wird der Arm in einer Schiene dorsalseitig je nach Erfordernis 4–6 Wochen ruhiggestellt (▣ Abb. 1.12).

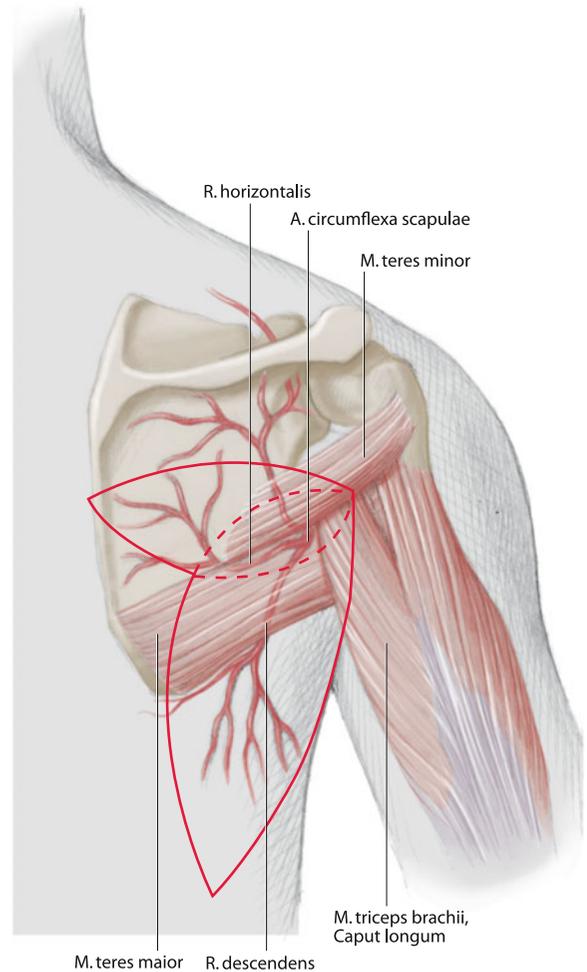
1.2.7 Technik der Entnahme des freien mikrovaskulären Knochenspanns von der Skapula nach Teot

Die Operation erfolgt in Bauch- oder Seitenlage und Vollnarkose. Die obere Extremität sollte frei beweglich gelagert

werden, um so die Präparation des Gefäßstieles im Bereich des medialen Axilladreiecks zu erleichtern. Eine Abduktion im Schulterbereich von mehr als 90° sollte vermieden werden, um den Plexus brachialis nicht durch Druck zu schädigen. Zur Verkürzung der Operationsdauer können zwei Operationsteams parallel arbeiten.

Gleichzeitig mit der Lappenhebung wird das Empfängerlager vorbereitet; die Gefäßanschlüsse werden dargestellt. Als Referenzpunkte für die Paraskapular-Lappenplastik, die ellipsenförmig über dem absteigenden Ast der *A. circumflexa scapulae* angezeichnet wird, dienen *Angulus*, *Spina* und *Margo lateralis* der *Scapula*. Die mediale Axillalücke wird entweder durch bimanuelle Palpation oder mithilfe der Doppler-Sonografie lokalisiert und markiert.

Bei der Umschneidung der Hautlappenplastik wird die untere Lappenhälfte bis auf die Muskelfaszie durchtrennt. Durch einige Nähte wird die Faszie mit der Haut vorübergehend solidarisiert und der Lappen von kaudal nach kranial gelöst. Die Präparation verläuft in der Schicht zwischen oberflächlicher Rückenfaszie und der Faszie der *Mm. latissimus dorsi* und *teres major*. In der Nähe der medialen Achsellücke stellt sich an der Lappenunterseite der absteigende Ast der *A. circumflexa scapulae* mit seinen beiden Begleitvenen dar. Nach Aufsuchen des Austrittspunktes der *A. circumflexa scapulae* aus der medialen Achsellücke wird der kraniale Lappenteil umschnitten und abpräpariert. Hier sollte der aufsteigende Hautast der *A. circumflexa scapulae*, der mit den Ästen der *A. suprascapularis* anastomosiert, aufgesucht und ligiert werden. Zur Erleichterung der Präparation wird der *M. deltoideus* retrahiert und damit die Sicht auf die mediale Achsellücke verbessert. Der Austritt der *A. circumflexa scapulae* liegt im Winkel zwischen *M. teres major* und dem lateralen Skapularand etwa 4–7,5 cm oberhalb des *Angulus inferior scapulae*. Präpariert man nun den Gefäßstiel bis zum Abgang aus der *A. thoracodorsalis* in die Tiefe, so kann eine Länge bis zu 8 cm mit einem Gefäßdurchmesser von 2–5 mm erreicht werden. Im Bereich des *Margo lateralis* befindet sich ein dichtes Geflecht aus Venen und Arterien. Hier gibt die *A. circumflexa scapulae* zahlreiche kurze muskuläre Endäste und Äste direkt zur Skapula ab, die allerdings leicht abreißen, wenn die Muskeln zu weit auseinandergezogen werden. Bleiben die Muskeläste zum *M. teres major* sowie die osteoperiostalen Äste erhalten, die zum *Margo lateralis scapulae* ziehen, so kann man den lateralen Skapularand vom *Angulus scapulae* bis unterhalb des Ansatzes des *Caput longum* des *M. triceps brachii* als vaskularisiertes Knochentransplantat heben. Das hauptsächlich kortikale Knochentransplantat kann bis zu einer Länge von 10–14 cm und einer Breite von 2–4 cm dimensioniert werden. Man beginnt mit einer Inzision der *Mm. teres major*, *minor* und *infraspinatus* bis auf das Periost.



■ **Abb. 1.13** Lappenplastiken aus dem Stromgebiet der *A. circumflexa scapulae*. (Aus Berger u. Hirner 2002)

Danach werden die Muskeln epiperiostal scharf nach lateral abpräpariert, bis die Dicke der Skapula abnimmt. Das vaskularisierte Knochentransplantat wird mit der oszillierenden Säge entnommen. Um die Beweglichkeit der Skapula zu erhalten und die Schulterfunktion nicht zu beeinträchtigen, müssen die abgehobenen Muskeln reinsertiert werden (■ **Abb. 1.13**).

Präpariert man weiter bis zur *A. axillaris*, so kann eine Stiellänge von bis zu 15 cm erreicht werden. Nach Anschlingen der Gefäße, die hier einen Durchmesser von ca. 4–6 mm besitzen, mit einem »vessel loop« erfolgt die vollständige Lösung der Lappenplastik.

Ein primärer Wundverschluss im Spendergebiet ist bis zu einer Lappenbreite von etwa 10 cm möglich. Die Hand wird in *Intrinsic-plus*-Stellung auf einer palmaren Unterarmschiene gelagert. Mit krankengymnastischer Behandlung der Hand und der Schulter kann frühestens nach 2–3 Wochen begonnen werden. Zur besseren Lappenformung wird nach etwa 4 Wochen eine Kompressions-

1.2 · Spezielle Techniken

behandlung für etwa 3 Monate empfohlen und Lymphdrainage verordnet.

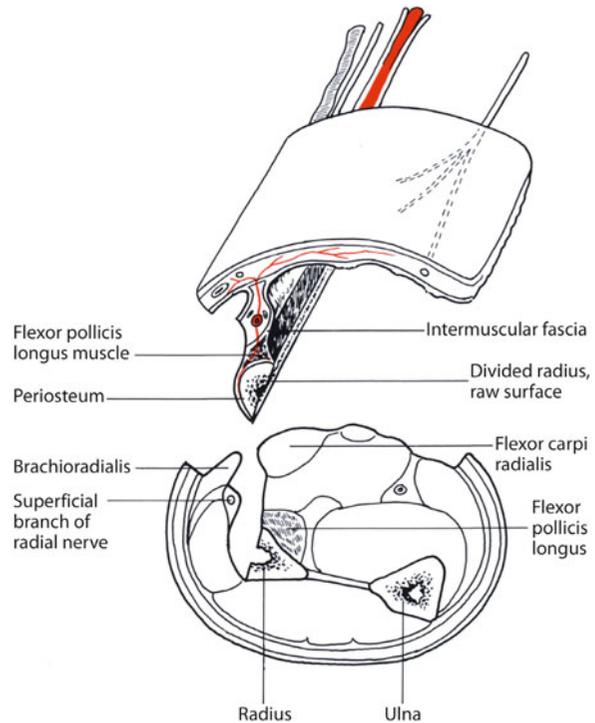
Eine möglicherweise notwendige Lappenausdünnung sollte frühestens nach 6 Monaten durchgeführt werden. Mit der Auflösung einer iatrogenen Syndaktylie nach Deckung von polydigitalen Defekten im MP-Gelenkbe- reich kann erst nach 3 Monaten begonnen werden.

1.2.8 Technik der Entnahme des freien mikrovaskulären Knochenspans vom lateralen distalen Humerus

Der distale Humerus wird über periostale Gefäße, die über das Septum intermusculare laterale verlaufen, und muskuloperiostale Gefäße, die aus den umliegenden Muskeln in den Knochen ziehen, versorgt. Ein bis zu 10 cm langes und 1,5 cm breites vaskularisiertes Knochentransplantat kann im Bereich des Septums zwischen dem Ansatz des M. deltoideus und dem Epicondylus lateralis entnommen werden. Zur Sicherung der periostalen Blutversorgung sollte eine etwa 1 cm breite Manschette aus der Insertion des M. triceps brachii dorsal und der Mm. brachialis und brachioradialis ventral des Septums belassen werden. Nach Sicherung des N. radialis ist äußerste Vorsicht bei der Entnahme des Knochenspans mit der oszillierenden Säge angebracht. In Abhängigkeit von der Breite des entnommenen Knochenstückes empfiehlt sich postoperativ ein Oberarm-Brace für 4–6 Wochen.

1.2.9 Technik der Entnahme des freien mikrovaskulären Knochenspans vom distalen Radius

Das Septum intermusculare laterale wird mit seiner Fixierung am Radius dargestellt. Entlang seiner Anheftung zwischen der Insertion des M. pronator proximal und der Insertion des M. brachioradialis distal kann ein kortikospongioses vaskularisiertes Radiusknochentransplantat gewonnen werden. Zur Verminderung der Frakturgefahr ist darauf zu achten, dass nicht mehr als die Hälfte der Radiuszirkumferenz entnommen wird (■ Abb. 1.14). Aus demselben Grund wird bei der Spanentnahme jeweils am proximalen und distalen Ende ein Bohrloch angelegt. Das Knochentransplantat wird unter Schonung der versorgenden Gefäße mit der oszillierenden Säge entnommen. Zur Deckung der Entnahmestelle können die Muskelbäuche des M. brachioradialis und/oder des M. flexor carpi radialis über der Entnahmestelle vereinigt werden. Wenn die osteofasziokutane A.-radialis-Lappenplastik zur Daumenrekonstruktion vorgesehen ist, erfolgt die Osteosynthese im Daumenbereich



■ **Abb. 1.14** Freier mikrovaskulärer Knochenspan vom distalen Radius. (Aus Mantkelow u. Zucker 1986)

mithilfe von Cerclagen oder Miniplatten. Wegen der ungenügenden Sensibilität ist eine zusätzliche, die Sensibilität wiederherstellende Operation für den Neo-Fingerkuppenbereich notwendig.

1.2.10 Technik der Entnahme des freien mikrovaskulären vorderen Beckenkammspans nach Taylor

Die Operation erfolgt in Rückenlage und Intubationsnarkose. Zur besseren Exposition des vorderen Beckenkammanteiles wird ein Sandsack unter das Gesäß geschoben (■ Abb. 1.15a). Bei Hebung eines reinen Knochentransplantates wird die Inzision parallel versetzt zu den Femoralgefäßen begonnen, entlang der oberen Begrenzung des Lig. inguinale bzw. der Crista iliaca fortgeführt und je nach Länge des benötigten Gefäßstieles nach lateral hin ausgedehnt (■ Abb. 1.15b). Der M. obliquus abdominis externus wird etwa 1 cm oberhalb des Leistenbandes und parallel dazu von der Mitte des Leistenbandes bis zur Spina iliaca anterior superior durchtrennt. Nach Zurückdrängen des Ductus deferens bzw. des Lig. teres uteri wird die Hinterwand des Leistenkanals, die Fascia transversalis, sichtbar. Auf der posterolateralen Seite können nach Darstellung und Anschlingen der Vasa iliaca interna meist A. und

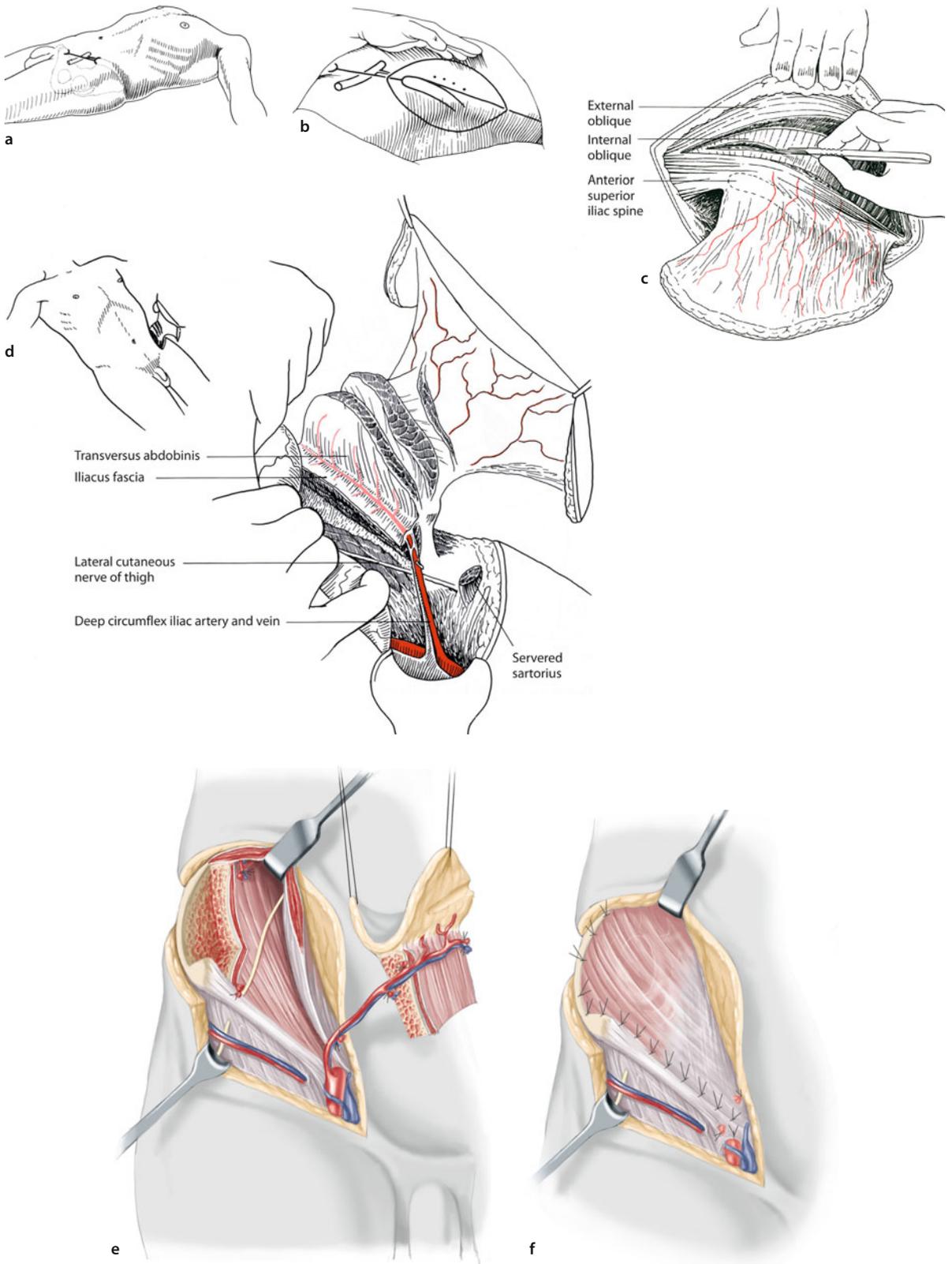


Abb. 1.15 Freier mikrovaskulärer Knochenspan vom vorderen Beckenkamm nach Taylor. **a** Patientenlagerung, **b** Planung des Hautschnitts bei osteokutaner Lappenplastik, **c** laterokraniale Präparation, **d** mediokraniale Präparation mit Darstellung des Gefäßstiels und Loslösung des M. iliacus, **e** unikortikale Hebung, **f** schichtweise Rekonstruktion des Spendergebietes. (Aus Mantkelow u. Zucker 1986)