

Lars Victor von Engelhardt

# Schaftfreie inverse Schulterendoprothetik

## Wo liegen die Vorteile und wie kommen wir zu optimalen Ergebnissen?

### Zusammenfassung:

Die inverse Schulterendoprothetik zeichnet sich mittlerweile durch ein großes Spektrum verschiedener Designs der Implantate aus. Hierbei finden schaftfreie Systeme in den letzten Jahren eine zunehmende Verwendung. Hiermit wird Knochensubstanz geschont. Auch können typische Probleme wie bspw. das Notching der Schaftprothesen vermieden werden. Neben der Möglichkeit einer knochensparenden Einbringung sind die weitaus physiologischere Knochenbelastung, die den im Laufe der Jahre zu beobachtenden Knochenschwund minimiert, sowie die exzellenten Möglichkeiten, die Gelenkgeometrie zu optimieren, wesentliche Vorteile der schaftfreien Implantate. Mittlerweile sind für den Bereich der inversen Schulterendoprothetik mehrere schaftfreie Systeme auf dem Markt. In diesem Review werden die sinnvollen Möglichkeiten der schaftfreien inversen Schulterendoprothetik anhand eigener Untersuchungen sowie der aktuellen Studienlage beschrieben.

### Schlüsselwörter:

Inverse Schulterprothese, schaftfreier Schultergelenkersatz, Defektarthropathie

### Zitierweise:

von Engelhardt LV: Schaftfreie inverse Schulterendoprothetik. Wo liegen die Vorteile und wie kommen wir zu optimalen Ergebnissen?

OUP 2025; 14: 91–96

DOI 10.53180/oup.2025.0091-0096

### Warum inverse Schulterprothetik?

Hauptindikation für die Implantation einer inversen Schulterendoprothese ist die Defektarthropathie, bei der ein dezentrierter Humerus mit einer pseudoparalytischen Schulterfunktion und Schmerzen einhergeht. Hier ermöglicht die inverse Schulterendoprothese eine effektive Funktionsverbesserung und eine sichere Schmerzfreiheit [32, 39]. Charakteristisch für die inverse Prothese ist die Umkehrung der Gelenkflächen (Abb. 1), die eine weitere Dezentrierung des Humeruskopfes entlang des Glenoides nach oben verhindert. Dies führt zu typischen Änderungen der Gelenkgeometrie mit einer Absenkung des Humerus sowie einer Medialisierung des

Rotationszentrums. Die Medialisierung ermöglicht bei aktiven Bewegungen die Rekrutierung zusätzlicher Segmente des Deltamuskels. Die Absenkung des Humerus erhöht zudem die Vorspannung des Deltamuskels. Somit kann der Deltamuskel Funktionen einer geschädigten bzw. fehlenden Rotatorenmanschette übernehmen [5, 16, 30]. Daher ist neben der Defektarthropathie auch die irreparable Rotatorenmanschettenruptur der/des älteren Patientin/Patienten ohne Vorliegen einer der sekundären Defektarthropathosen eine weitere Indikation zur Implantation einer inversen Schulterendoprothese [5, 32, 39]. Weitere Indikationen sind die rheumatoide Arthritis in Kombination mit Manschettendefekten [30], schlechte Ergebnisse

nach Hemi- und Totalendoprothesenimplantation [6, 11, 36, 38], Tumorleiden [12], frische proximale Humerusfrakturen des eher älteren Menschen [8], konservativ erfolglos behandelte Frakturschultern oder Osteosynthesen mit einem schlechten klinischen Outcome [6] etc..

### Warum schaftfreie, inverse Schulterendoprothetik?

Neben der üblichen schaftgeführten Verankerung der inversen Endoprothesen im Humerusschaft findet sich in den letzten Jahren ein zunehmendes Interesse an schaftfreien Implantaten, die weiter proximal in der Humerusmetaphyse verankert werden. Diese schaftfreien Modelle verankern über unterschiedlich groß dimensionierte

## Stemless reversed shoulder arthroplasty

### What are the advantages and how can we achieve optimal results?

**Summary:** Reversed shoulder arthroplasty is characterized by a wide range of designs of the implant. In recent years, stemless systems have increasingly been used. These systems preserve bone stock. Additionally, typical problems of stemmed prostheses, such as an inferior notching, can be avoided. In addition to the advantage of bone-preserving implantation possibilities, the physiological bone loading, which minimizes bone loss observed over the years, as well as excellent opportunities to optimize the joint geometry, are important advantages of stemless implants. Today, several stemless systems are available for reversed shoulder arthroplasty. This review describes practical possibilities of stemless inverse shoulder arthroplasty based on our research and current literature.

**Keywords:** Reversed shoulder replacement, stemless shoulder arthroplasty, cuff tear arthropathy

**Citation:** von Engelhardt LV: Stemless reversed shoulder arthroplasty. What are the advantages and how can we achieve optimal results?

OUP 2025; 14: 91–96. DOI 10.53180/oup.2025.0091-0096

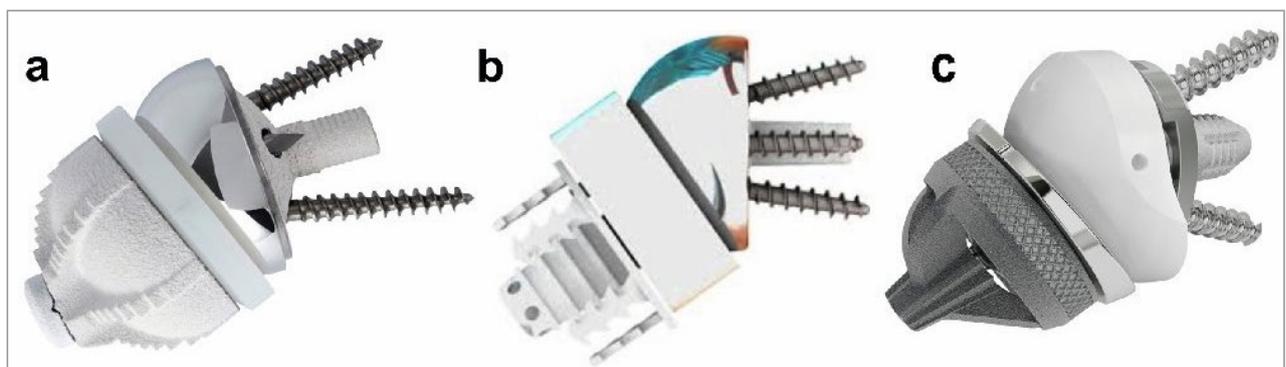
nierte Metaphysenimplantate, sodass je nach individueller Größe der Metaphyse eine peripher-metaphysäre Verankerung möglich ist. Entsprechend eigener Untersuchungen ist es für eine langfristige Einheilung und Stabilität der humeralen Komponente wichtig, dass das metaphysäre Implantat nicht nur innerhalb der präparierten Spongiosa, sondern auch peripher, nahe dem harten, kortikalen Knochen verankert wird. Erst peripher zeigt sich die notwendige Osteoblastenaktivität mit einem entsprechendem Einheilen der Implantate [35]. Um dies sicher zu erzielen, wird das Implantat nach der Vermessung der maximalen Größe und der metaphysären Knochenpräparation press-fit eingeschlagen und impaktiert. Diese Art der peripher-metaphysären Verankerung nahe dem

kortikalen Knochen unterscheidet sich deutlich von zentralen Verankerungskonzepten, die eine mehr zentrale, spongiöse Verankerung anstreben und bzgl. der Fixierung, insb. bei den inversen Implantaten, kritisch zu sehen sind.

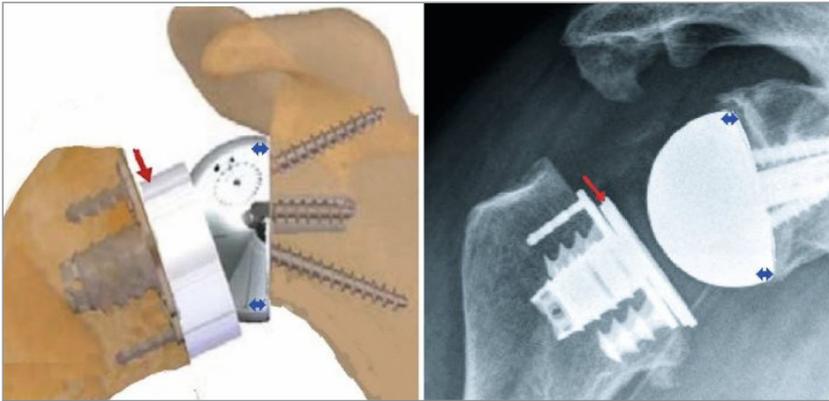
Wichtig für eine anhaltende Langzeitstabilität, ist die Oberflächenbeschaffenheit des Implantates. So besitzen das TESS- (Fa. Zimmer Biomet) (Abb. 1a) und das Easytech- System (Fa. Fx Solutions) (Abb. 1b.) eine Doppelbeschichtung, die neben einer porösen Titanlegierung (Ti6AL4V) aus einer Hydroxylapatit-Beschichtung besteht. Diese auch an der Hüfte bewährte poröse Hydroxylapatit-Doppelbeschichtung dient als Osteokonduktor zwischen Prothese und Knochen und verbessert auf diesem Weg das

Einwachsen und somit die Sekundärstabilität des Metaphysenimplantates [7]. Bei der SMR-Prothese (Fa. Lima) (Abb. 1c), der Mirai-Prothese (Fa. Permedica) oder bspw. der Embrace-Endoprothese (Fa. Link) ermöglicht eine trabekuläre Titanoberfläche das zuverlässige Einwachsen in die Metaphyse [3, 10].

Bei den schafffreien inversen Systemen liegen die Resektionsebenen am Humeruskopf je nach Modell einige wenige Millimeter tiefer oder höher. Zudem unterscheiden sich die Systeme darin, ob der Liner als Inlay eingepresst (Abb. 1a, c) oder als Onlay-Liner aufgesetzt wird (Abb. 1b). Bei den Inlay-Systemen, wie bspw. der TESS-, Mirai- und SMR-Prothese liegt das Resektionsniveau der eigenen Erfahrung nach etwas höher als bspw.



**Abbildung 1** Unterschiedliche, derzeit auf dem Markt befindliche schafffreie inverse Systeme; **a** TESS-Prothese (Fa. Zimmer Biomet), **b** Easytech-Prothese (Fa. Fx Solutions), **c** SMR-Prothese (Fa. Lima)



**Abbildung 2** Beim Setzen des inversen PE-Onlays der Easytech-Prothese, lässt sich am Humerus das Offset variieren (rote Pfeile). So lässt sich bspw. ein verschobenes posteriores Offset oder aber auch das laterale, humerale Offset individuell einstellen, sodass bspw. eine Spannungseinstellung verbliebener Rotatoren möglich wird. Die Glenosphäre weicht knochenah von einer Kugel ab, sodass eine Offsetsveränderung um 3,5 mm entsteht (blaue Doppelpfeile).

bei der Easytech-Prothese. Das Onlay-Prinzip der Easytech-Endoprothese erlaubt eine individuelle Platzierung des Liners. Hiermit lässt sich bspw. das posteriore u./o. das mediale Offset noch ein wenig feinjustieren. In einem allerdings nur begrenzten Ausmaß kann so ein Verlust des medialen Offsets ausgeglichen werden und u.a. die Spannung des Deltamuskels oder etwaiger restlicher Rotatoren erhöht werden (Abb. 2) [36].

### Welche Vorteile bietet die schaftfreie, inverse Schulterendoprothetik?

Bei all den hier erwähnten Implantaten erlaubt die metaphysäre Knochen-situation bei einer Defekarthropathie und intakter Metaphyse eine zuverlässige schaftfreie Verankerung. Diese Implantate sind nicht nur knochen-sparend. Vielmehr gibt es viele logische Gründe, weshalb diese Implantate eine sinnvolle Alternative zu den weiter distal eingepassten, schaftgeführten Endoprothesen darstellen. Die Vorteile liegen dabei in der Gelenkgeometrie einschließlich der Geometrie hinsichtlich des Notching, in der osteologischen Kompetenz der Implantate und hinsichtlich im Laufe des Lebens ggf. anstehender Revisionsoperationen.

### Gelenkgeometrie

Ziel der inversen Versorgung ist es, wie bereits erläutert, mittels Distalisierung und Medialisierung von Humerus

und Rotationszentrum die funktionell günstige inverse Gelenkgeometrie zu erreichen. In eigenen Untersuchungen zu 56 Versorgungen mit einer inversen schaftfreien TESS-Endoprothese [36] sowie 55 Patientinnen und Patienten mit einer ebenso schaftfreien inversen Easytech-Endoprothese [21] haben wir für die Auswertung der Gelenkgeometrie die prä- und postoperativen Röntgenbilder der betroffenen Schultern mit dem Programm MedCAD<sup>®</sup> vermessen (Abb. 3a). Bei den präoperativen Röntgenbildern wurden Maßstabkugeln und bei den postoperativen Röntgenbildern die Prothesengrößen zur Skalierung verwendet. In beiden Fallserien konnten wir eine effektive Medialisierung nachweisen, die im Vergleich zur Literatur weit im oberen Range lag (Abb. 3c). Passend zu den sehr guten funktionellen Ergebnissen, die u.a. eine sehr gute aktive Beweglichkeit der Schultergelenke nachweisen konnten, zeigte sich in diesen Fallserien somit eine adäquate Erweiterung des Hebelarmes des Deltamuskels. Ähnlich gut waren die Werte für die Distalisierung des Rotationszentrums, die anhand der akromiohumeralen Distanz gemessen wurden (Abb. 3b). In unseren Fallserien lag die Distalisierung wiederum im oberen Bereich der Literatur. Einhergehend mit den funktionellen Ergebnissen konnte hier eine erfolgreiche Erhöhung der Deltavorspannung mit einer entsprechenden Funktionsverbesserung und Stabilität der Schulter

nachgewiesen werden. Ein Teil dieser Distalisierung entsteht hierbei durch eine distale Positionierung der Basisplatte, wobei die Werte bei uns ähnlich zur Literatur bei ca. 4 mm lagen (Abb. 3d) [5]. Die Ergebnisse zur Medialisierung und Distalisierung und dem sehr guten funktionellen Outcomescorings zeigen, dass mit den beiden schaftfreien inversen Endoprothesen die typischen und funktionell günstigen Änderungen des Hebelarmes und auch der Vorspannung des Deltamuskels zuverlässig erreicht und optimiert werden können. Entsprechend der eigenen Studien sowie weiterer Studien in der Literatur ist dies mit einem guten klinischen Outcome und reduzierten Komplikations- bzw. Revisionsraten verbunden.

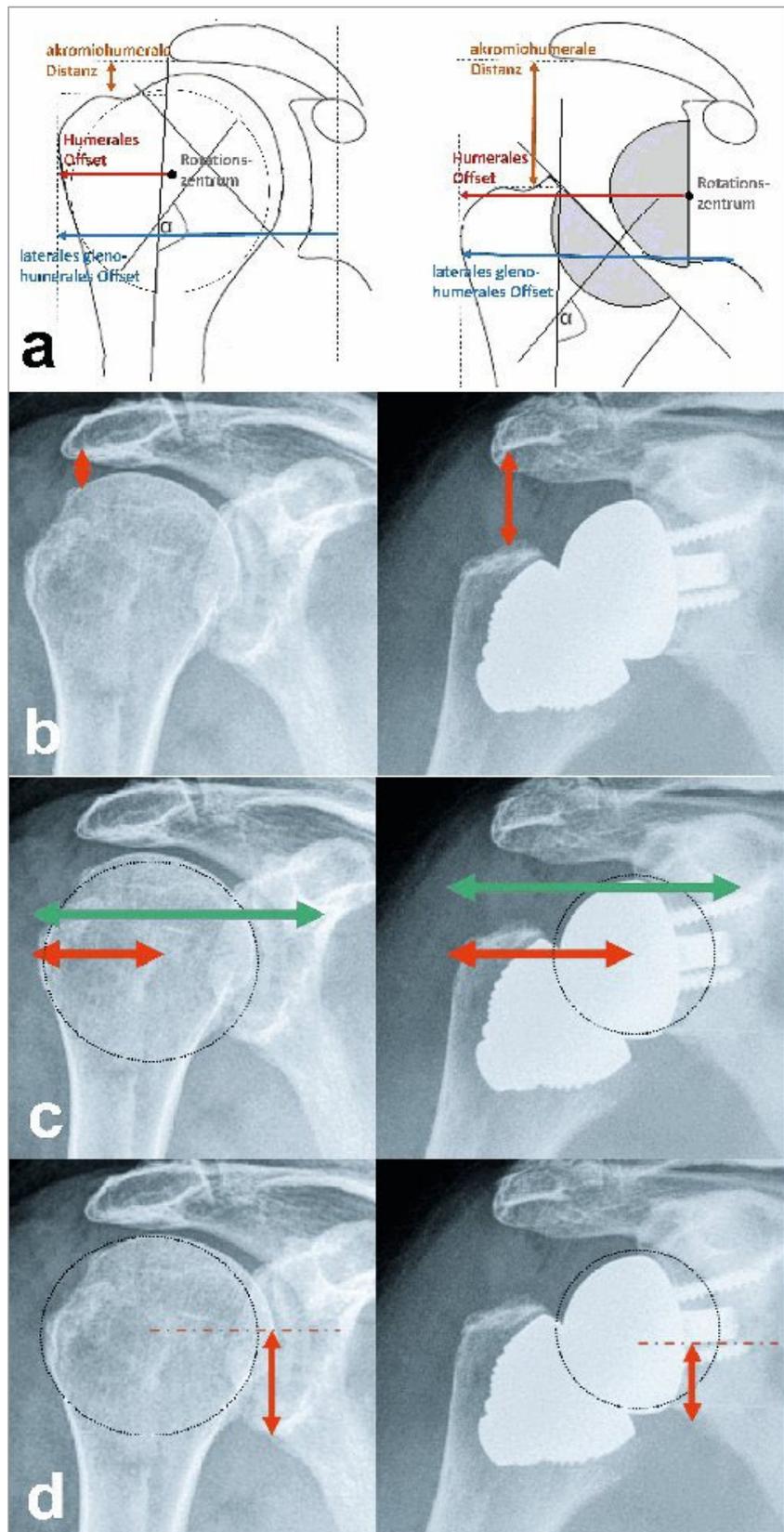
### Notching

Ein Anschlagen des inversen Inlayein-satzes am Skapulahals wird als inferiores Notching bezeichnet. In der Literatur wird dies mit Häufigkeiten von 0–88 % der Fälle beschrieben [5, 25, 26, 31, 33, 34, 37, 38]. Im Zumstein-Review, einer Metaanalyse zu unterschiedlichen inversen Schaftprothesen mit insgesamt 782 ausgewerteten Fällen, lag die Gesamthäufigkeit eines Notching bei 35 % [41]. Aufgrund der Konsequenzen des Notching, die von Schäden am Polyethylen (Abb. 4a) über Knochenerosionen (Abb. 4b) bis hin zur Lockerung oder zum Ausbruch des Glenoides führen, wurden verschiedene Möglichkeiten zur Vermeidung eines solchen Notching verfolgt. Neben einer Offsetsveränderung [4] und der Verwendung exzentrischer Glenosphären (Abb. 2) [13, 26] kann auch der Inklinationswinkel der humeralen Komponente ein Notching signifikant verringern [23]. Die meistverwendeten inversen Schulter-systeme wie bspw. die Delta X-tend (Fa. Depuy Synthes), die Aequalis Reversed (Fa. Tornier) und die Affinis Inverse (Fa. Mathys) haben einen Hals-Schaft-Winkel von 155°. Kempton et al. untersuchten ein inverses Schaftdesign mit einem Hals-Schaft-Winkel von 145° anstelle des üblichen 155°-Winkels. Es wurde gezeigt, dass die steilere Einstellung der inversen Pfanne die Rotationsamplitude bei adduziertem Arm verbessert und das Risiko eines

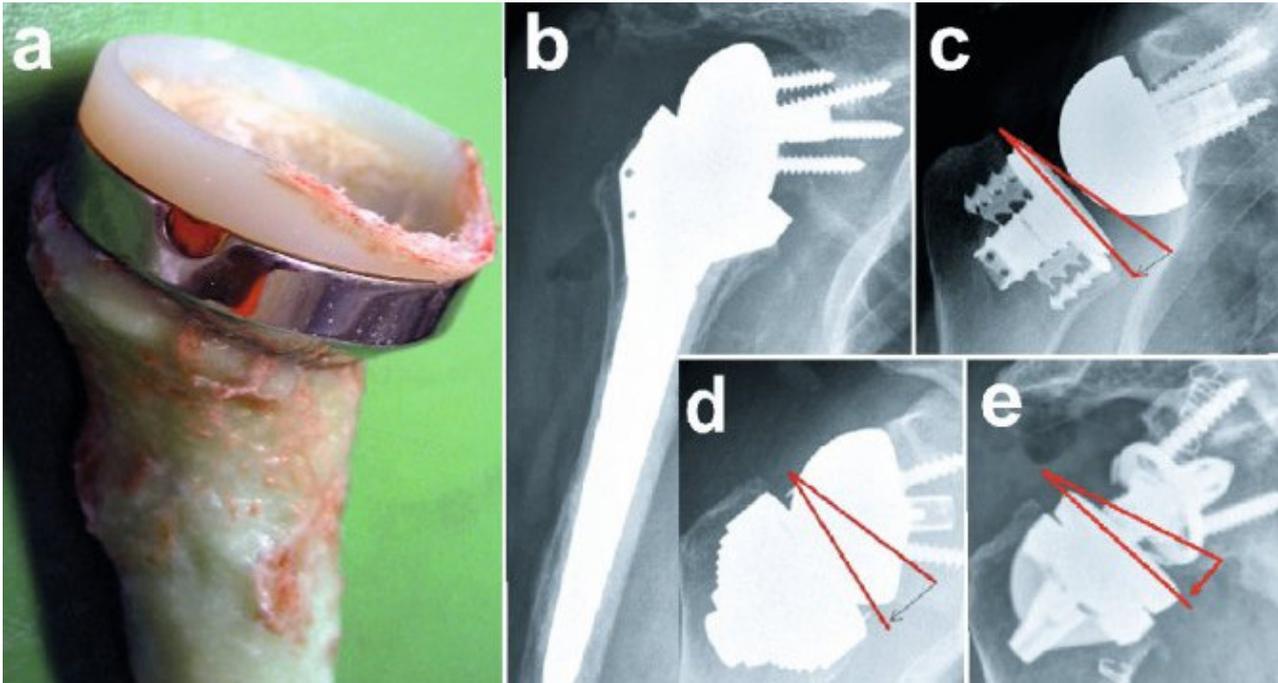
Notching signifikant senkt [18]. Das Besondere an den metaphysär verankerten, stielfreien Systemen ist, dass der Inklinationswinkel im Gegensatz zu einem Schaftsystem während der Operation an die jeweilige Situation angepasst und individuell eingestellt werden kann. (Abb. 4c–e). In unseren Fallserien mit der TESS- und der Easytech-Endoprothese haben wir diese Möglichkeit intraoperativ genutzt und so in unseren Nachuntersuchungen den mittleren Hals-Schaft-Winkel bspw. mit der TESS-Endoprothese auf  $147^\circ$  reduziert. Mit dieser Technik konnten wir, aber auch andere Studiengruppen, die Notchingraten auf ca. 10 % erniedrigen (Abb. 4d) [2, 22]. In unserer Fallserie mit der Easytech-Endoprothese, die zusätzlich eine um wenige Millimeter exzentrische Gelenosphäre aufweist, konnten wir die Notchingrate sogar auf 0% reduzieren (Abb. 4c).

### Knochenerhalt und osteologische Kompetenz

Die proximale schaftfreien Implantate sind gegenüber den konventionellen gestielten Endoprothesen nicht nur während der Implantation, sondern auch im Verlauf der nachfolgenden Jahre knochensparend bzw. -erhaltend. Bei den konventionellen, gestielten Endoprothesen ist, ähnlich zu den Hüftendoprothesen, das Phänomen eines Stress-Shielding zu beachten. Die Schaftführung bewirkt eine Ableitung der Kräfte in die Diaphyse. Entsprechend dem Wolf'schen Gesetz führt dies bei längeren Standzeiten zu einem signifikanten Knochenabbau im proximalen Bereich des Humerus [27, 28]. Der Knochenabbau betrifft dabei die Tubercula, die Kortikalis und den medialen Kalkarbereich (Abb. 4b) [40]. Eine Finite-Elemente-Analyse von Razfra et al. verglichen die proximale Knochenbelastung zwischen einer schaftlosen Prothese, einer Kurzschaftprothese und einer Standardprothese [29]. Die kortikale Belastung im proximalen Humerus im Vergleich zur normalen Belastung betrug bei einem Standardschaft noch 48 %. Bei einem Kurzschaft betrug sie 78 % und bei einem schaftlosen System 101 %. Somit führt die Reduktion der Schaftlänge oder – noch besser – das Weglassen des



**Abbildung 3** Radiologische Parameter vor und nach der inversen Schulterendoprothese. Die akromiohumeraler Distanz (AHD), das laterale glenohumerales Offset (LGO) und die Höhe des Rotationszentrums in Relation zur Glenoidunterkante sind dargestellt (a). Mit den von uns untersuchten schaftfreien Systemen konnten die gewünschte Medialisierung (c) und Distalisierung (b) des Rotationszentrums objektiviert werden. Ein Teil der Distalisierung ist durch eine distale Positionierung der Basisplatte bedingt (d). Die funktionell günstigen Änderungen von Hebelarm und Vorspannung gehen mit guten klinischen Ergebnissen einher.



**Abbildung 4** Typisches, durch ein Notching bedingtes Schadensbild einer zementierten, gestielten inversen Endoprothese. Das Polyethylen ist erheblich aufgerieben (a) und am kaudalen Glenoid finden sich relevante Knochenerosionen (b), die im Weiteren zur Lockerung oder zum Ausbruch des Glenoides führen können. Zudem findet sich der für die schaftgeführten Implantate typische Knochenabbau im proximalen Bereich des Humerus. Der Knochenabbau betrifft dabei die Tubercula, die Kortikalis und den medialen Kalkarbereich (b). Bei der schaftfreien Easytech- (c), der TESS- (d) und der SMR-Endoprothese (e) ist durch die intraoperative Wahl eines eher kleinen, bzw. steilen Hals-Schaft-Winkels (rote Linien) ein inferiores Notching vermeidbar.

Schaftes zu einer besseren bzw. physiologischen Verteilung des kortikalen Stresses innerhalb des Humerus. Die ausgeprägten Unterschiede in der Knochenbelastung erklären, warum das Stress-Shielding des proximalen Humerus bei Kurzschäften und insb. bei schaftlosen Systemen deutlich reduziert ist. Vor dem Hintergrund des vermehrten Knochenabbaus ist die Rate von humeralen Lockerungen bei den Schaftsystemen nicht zu vernachlässigen. So beschreibt eine Multicenteranalyse eine Rate von aseptischen Prothesenschaftlockerungen von immerhin 6% [15]. Hingegen zeigen unsere Untersuchungen mit der inversen TESS- sowie der Easytech-Endoprothese sowie weitere unterschiedliche Studien zu metaphysär verankerten, schaftfreien Schulterendoprothesen bei der Defekarthropathie keine Evidenz einer humeralen Lockerung [9, 17, 19, 20].

### Im Falle anstehender Revisionsoperationen

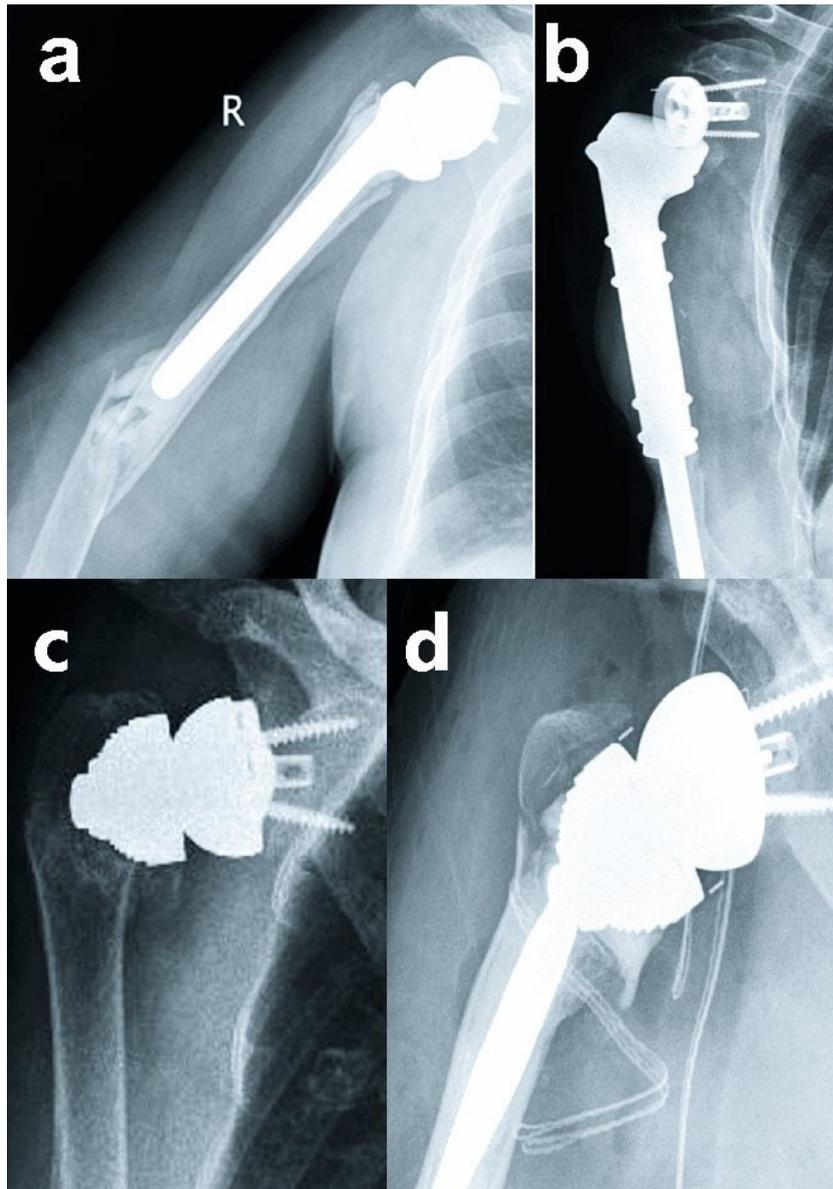
Das Stress-Shielding erhöht nicht nur das Lockerungsrisiko mit entsprechenden Revisionen, auch steigt hier

durch das Risiko für intraoperative Komplikationen bei möglichen nachfolgenden Revisionen. Bei der Revision von schaftgeführten Schulterprothesen wurden in 24% der Fälle intraoperative Frakturen des Humerus beschrieben [1]. Auch ist, unabhängig von dem Knochenabbau, bei den gestielten Prothesen oft eine Schaftfensterung notwendig, so dass nicht selten Langschaftendoprothesen erforderlich werden [1, 14]. Zudem sollte im Hinblick auf die steigende Lebenserwartung und den zunehmenden Aktivitätslevel unserer Patientinnen und Patienten, der nicht gerade seltene Fall einer periprothetischen Fraktur in unsere Überlegungen einfließen. Im klinischen Alltag sehen wir solche Fälle regelmäßig. Die Unterschiede zwischen schaftfreien und konventionellen Endoprothesen sind hier eindrucksvoll und für die Patientin/den Patienten von erheblicher Konsequenz. Bei periprothetischen Frakturen konventioneller Humerusimplantate finden sich gelegentlich Schäden des im Bereich der Schaftspitze laufenden N. radialis. Vor allem aber sind hier die Revisionsoperation,

im Unterschied zu den schaftfreien inversen Prothesen, aufwendig (Abb. 5a, b). Bei den schaftfreien Implantaten liegen periprothetischen Frakturen in den allermeisten Fällen in anatomisch deutlich günstigeren Bereichen und bieten häufig vgl. schonendere Revisionsmöglichkeiten (Abb. 5c, d). Vor dem Hintergrund des deutlich geringeren Knochenverlustes und der Revisionsfreundlichkeit der schaftfreien Prothesen ist daher bei jeder Entscheidung zu einem Implantat auch an den Revisionsfall und an die periprothetischen Frakturen zu denken [24, 35].

### Zusammenfassung

Die unterschiedlichen Hersteller schaftfreier Implantate weisen sowohl im Bereich des Metaphysenimplantates als auch im Bereich der am Glenoid eingebrachten Basisplatte erhebliche Unterschiede auf. Auf der anderen Seite vereinen sie viele Vorteile, die im Vergleich zu den schaftgeführten Implantaten erheblich sind. Wir sehen v.a. die Vorteile in der Möglichkeit einer knochensparenden Einbringung, die deutlich physiologischere



**Abbildung 5** Die periprothetische Fraktur einer im Humerusschaft einliegenden Delta-Prothese (Fa. Depuy) geht mit dem Risiko einer N. radialis Affektion einher **(a)**. Die Revision, bei der ein Wechsel auf eine Mutars®-Prothese (Fa. Implantcast) erfolgte, ist vglw. aufwendig und bietet wenige Rückzugsoptionen **(b)**. Hin-gegen erlaubt die periprothetische Fraktur bei einer inversen TESS-Endoprothese (Fa. Biomet Zimmer) andere Versorgungsmöglichkeiten. Aufgrund der schafffreien Versorgung liegt die Fraktur typischerweise im Bereich der Metaphyse **(c)**. Die Revision, bei der in diesem Fall die Kopplung des inversen Metaphysenimplantates mit einem 10 cm langen, zementierten Stiel erfolgte **(d)**, kann hier, aber auch mit anderen Systemen vglw. schonend durchgeführt werden. Aufgrund einer im Rahmen des Sturzes gelockerten Glenosphäre erfolgte auch hier ein Wechsel **(d)**.

Knochenbelastung mit dem im Laufe der Jahre nahezu vollständig minimierten Knochenschwund und die exzellenten Möglichkeiten, die Gelenkgeometrie zu optimieren als wesentliche Vorteile der schafffreien Implantate. Die in unseren Untersuchungen objektivierbare Distalisierung und Medialisierung entspricht den funktionell günstigen Änderungen von Hebelarm und Vorspannung. Dies geht mit entsprechend guten klinischen Ergebnissen einher. In der Zusammenschau finden sich einige Gründe, warum der Einsatz von schafffreien Prothesen an der Schulter in den meisten Fällen überlegen bzw. gerechtfertigt ist. Vor diesem Hintergrund wundert es nicht, dass die

schafffreie inverse Schulterendoprothetik in den letzten Jahren eine zunehmende Verbreitung findet.

#### Interessenkonflikte:

Keine angegeben; Aufwandsentschädigungen für Vorträge, Einsätze als Instruktor bei Operations- und Hospitationskursen, dem fachlichen Austausch und Beratungen von den Firmen Corin, Microport, Fx Solutions und Arthrex. Die Präsentation des Themas ist unabhängig und die Darstellung der Inhalte produktneutral.

**Das Literaturverzeichnis zu diesem Beitrag finden Sie auf: [www.online-oup.de](http://www.online-oup.de).**



Foto: privat

#### Korrespondenzadresse

Prof. Dr. med.  
**Lars Victor von Engelhardt**  
 Klinik für Unfallchirurgie, Orthopädie  
 und Sportmedizin, Klinikum Peine  
 Akademisches Lehrkrankenhaus  
 Virchowstr. 8h  
 31226 Peine &  
 Universität Witten/Herdecke  
 Alfred-Herrhausen-Straße 50  
 58455 Witten  
[larsvictor@hotmail.de](mailto:larsvictor@hotmail.de)